การประเมินความสามารถทนเค็มของต้นกล้าข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยและการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะทนเค็ม

นายนพคุณ คุณผลวัฒนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SALT TOLERANT ABILITY EVALUATION OF LOCAL THAI RICE SEEDLINGS AND GENOME-WIDE ASSOCIATION WITH SALT TOLERANT TRAITS

Mr. Nopphakhun Khunpolwattana

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Botany
Department of Botany
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความสามารถทนเค็มของต้นกล้าข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยและการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะทนเค็ม
โดย	นายนพคุณ คุณผลวัฒนา
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. มนนัทธ์ พงษ์พานิช

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ต่อศักดิ์ สีลานันท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร. มนนัทธ์ พงษ์พานิช)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์)

นพคุณ คุณผลวัฒนา : การประเมินความสามารถทนเค็มของต้นกล้าข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยและการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะทนเค็ม (SALT TOLERANT ABILITY EVALUATION OF LOCAL THAI RICE SEEDLINGS AND GENOME-WIDE ASSOCIATION WITH SALT TOLERANT TRAITS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. มนนัทธ์ พงษ์พานิช, 297 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการทนเค็ม (9 dS/m) ของข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยจำนวน 174 พันธุ์ และนำข้อมูลมาใช้สำหรับวิเคราะห์การเชื่อมโยงทั้งจีโนมเพื่อระบุตำแหน่งยีนที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความเค็ม ทั้งนี้ค่าน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ และองค์ประกอบผลผลิตถูกนำมาศึกษาในระยะต้นกล้าที่มีอายุ 14 วันซึ่งได้รับสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ส่งผลให้ดินมีความเค็มที่ระดับ 9 dS/m ระหว่างที่ทำการทดลอง นอกจากนี้การระบุความสามารถในการทนเค็มยังใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพเพื่อประเมินความสามารถในการทนเค็มด้วย จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์กลุ่มโดยใช้ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาและค่าดัชนีเสถียรภาพพบว่ากลุ่มของพันธุ์ข้าวสามารถจัดกลุ่มตามความสามารถในการทนเค็ม กลุ่มพันธุ์ข้าวที่อาจเป็นแหล่งของยีนทนเค็มที่สำคัญ ได้แก่ หลวงประทาน เจ้าขาว กข1 เล้าแตก ไอไท้ อีพวง สายหยุด ดำด่าง ป้องแอ้ว ขาวกอเดียว เหลืองเตี้ย ขี้ตมพัน และเหนียวสันป่าตอง ชุดข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้ถูกใช้ศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับฐานข้อมูลสนิปส์จำนวน 223,800 สนิปส์เพื่อแสดงตำแหน่งสนิปส์ที่คาดว่าน่าจะมีความเชื่อมโยงกับพารามิเตอร์ของการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (โดยมีค่า Logarithm of Significant Level [-log10(P)] ที่น้อยกว่า 10^{-6}) จากผลการศึกษาพบว่า มีจำนวน 30 สนิปส์ที่ถูกระบุอยู่บน exon ที่มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการทนเค็ม ซึ่งกระจายตัวบนทุกโครโมโซมยกเว้นโครโมโซมที่ 5 โดยค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของสนิปส์ 4 สนิปส์บนโครโมโซมที่ 1 3 7 และ 11 น้ำหนักสดส่วนต้นในภาวะเครียดจากความเค็มเชื่อมโยงกับ 7 สนิปส์บนโครโมโซมที่ 1 3 4 6 7 และ 10 ในขณะที่ค่าน้ำหนักแห้งต้นมีความเชื่อมโยงกับ 2 สนิปส์บนโครโมโซมที่ 10 และ 11 ส่วนค่าน้ำหนักสดรากมีความเชื่อมโยงกับ 5 สนิปส์บนโครโมโซมที่ 1 7 8 และ 12 ทั้งนี้ตำแหน่งสนิปส์ 4 ตำแหน่งดังกล่าวถูกพบว่าเชื่อมโยงกับพารามิเตอร์น้ำหนักสดส่วนต้นและน้ำหนักแห้งส่วนรากโดยค่าน้ำหนักแห้งรากในภาวะเค็มมีความเชื่อมโยงกับ 7 สนิปส์ บนโครโมโซมที่ 2 7 8 10 11 และ 12 ค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรากให้ผลการเชื่อมโยงกับจำนวนสนิปส์ 2 4 1 และ 1 สนิปส์ตามลำดับ เมื่อศึกษาการเชื่อมโยงระหว่างค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยากับสนิปส์โปรโมเตอร์พบว่ามี 9 ยีนเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการทนเค็มและถูกพบบนโครโมโซมที่ 3 4 6 9 10 11 และ 12 ผลดังกล่าวไม่สอดคล้องกับสนิปส์ที่ถูกทำนายจากผลการเชื่อมโยงกับสนิปส์บน exon ทั้งนี้ตำแหน่งดังกล่าวจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงบทบาทในการทนเค็มก่อนนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต

ภาควิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5572224023 : MAJOR BOTANY
KEYWORDS: LOCAL THAI RICE / SALT TOLERANT / GENOME-WIDE ASSOCIATION / PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS / CLUSTER ANALYSIS

NOPPHAKHUN KHUNPOLWATTANA: SALT TOLERANT ABILITY EVALUATION OF LOCAL THAI RICE SEEDLINGS AND GENOME-WIDE ASSOCIATION WITH SALT TOLERANT TRAITS. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. SUPACHITRA CHADCHAWAN, CO-ADVISOR: DR. MONNAT PONGPANICH, 297 pp.

This study aims to evaluate the salt tolerant (9 dS/m) ability of 174 local Thai rice cultivars and use the data for genome-wide association analysis to identify the loci involving in salt stress response. Shoot and root fresh weight, shoot and root dry weight, leaf relative water content, cell membrane stability and yield components were determined when 14-day-old rice seedlings were treated with NaCl solution, causing the soil salinity at 9 dS/m during the experimental period. Moreover, stability index was used to identify the ability of salt tolerance. Based on principal component and cluster analysis using physiological parameters and stability index, the clusters of rice accessions were generated according to salt tolerant ability. The rice accessions that may contain the important salt tolerant genes were Luang Pratahn, Jao Khao, RD1, Lao Taek, Ai Tai, E-Puang, Sai Yud, Dam Dahng, Pawng Aew, Khao Gaw Diaw, Leuang Tia, Khitom Pan and Niaw San-pah-tawng. Each physiological response dataset was used for genome-wide association with 223,800 SNPs database to reveal the significant SNPs that associated with physiological response parameters (logarithm of significant level [-log10(P)] less than 10^{-6}). There were 30 SNPs, locating on exons of 30 loci associating with salt tolerant ability. They are distributed on all chromosomes, except chromosome 5. Salt injury score trait was associated with 4 SNPs on chromosome 1, 3, 7 and 11. Shoot fresh weight under salt stress (S_SFW) was associated with 7 SNPs on chromosome 1, 3, 4, 6, 7 and 10, while shoot dry weight under salt stress (S_SDW) was associated with 2 SNPs on chromosome 10 and 11. Root fresh weight under salt stress (S_RFW) associated with 5 SNPs on chromosome 1, 7, 8 and 12, four of which were identified by other parameters, which were shoot fresh weight (S_SFW) and root dry weight under salt stress(S_RDW). Root dry weight under salt stress (S_RDW) was associated with 7 SNPs on chromosome 2, 7, 8, 10, 11 and 12. Stability indices of SFW, RFW, SDW and RDW were associated with 2, 4, 1 and 1 SNPs, respectively. When the phenotypes were associated with SNPs on promoters, 9 the putative salt stress associated genes were found on chromosome 3, 4, 6, 9, 10, 11 and 12. They were not consistent with SNPs predicted by association with SNPs on exons. These loci should be validated for the roles in salt tolerance before application in rice breeding program in the future.

Department:	Botany	Student's Signature	.....
Field of Study:	Botany	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2015	Co-Advisor's Signature	.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร. มนนัทธ์ พงษ์พานิช ที่มีส่วนทำให้เกิดหัวข้อวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ขึ้น รวมถึงให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย รวมถึงช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ อีกทั้งยังให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมา

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพงษ์ บัวบูชา อาจารย์ ดร.กิตติพร พลายมาศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญธิดา โกษิตทรัพย์ Professor Dr. Luca Comai ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ผลการทดลองจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ต่อศักดิ์ สีลานันท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

กราบขอบพระคุณ ดร.สมทรง โชติชื่นให้ความกรุณาอนุเคราะห์จัดหาเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยสำหรับใช้ในการทำวิจัย และ ดร.ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์ ให้ความกรุณาอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ ณ ศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว จังหวัด นครราชสีมา และให้คำแนะนำช่วยเหลือการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณธเนศ จิระพรประเสริฐ คุณมัลลิกา บุญฤทธิ คุณจักรี เหล็กกล้า คุณธานินทร์ จันทรโชติ คุณหนึ่งฤทัย คณานนท์ คุณธนิกานต์ อุดมชโลธร คุณพรจันทร์ จงศรี คุณณัฐวดี จินตโกวิท คุณกานต์สิณี หังสพฤกษ์ คุณเพทาย จรูญนารถ คุณไมยพร ไมโภคา คุณจุฑามาศ บุญชัย คุณบุษรินทร์ วรรณบุษปวิช คุณพนิตา ชุติมานุกูล คุณนพวิชญพงศ์ เครือสาร คุณฝนทิพย์ หนูทอง คุณณัฐธยาน์ ตันติภิรมย์ คุณสมิทธิ์ สายเพชร คุณธรรมพร โคจรนา คุณจุฑารัตน์ ปัญจขันธ์ คุณหฤษฎ์ ยวงมณี และนิสิตศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณะนักเรียนไทยใน University of California, Davis ที่ให้คำปรึกษา และกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าทำวิทยานิพนธ์ตลอดระยะการทำวิทยานิพนธ์ ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (รหัสโครงการ 2555NRCT512302) ภายใต้โครงการวิทยาศาตร์เชิงโอมิกส์เพื่อการศึกษาลักษณะการทนทานความเค็มในข้าวไทย

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) สำหรับทุนการศึกษาและเงินทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีตลอดการทำวิทยานิพนธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 4
1. ดินเค็มและปัญหาดินเค็ม 4
2. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชเมื่อได้รับภาวะความเครียดจากความเค็ม 5
3. ข้าวและข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย 6
3.1 ข้าวไร่ (upland rice) 7
3.2 ข้าวนาสวน (lowland rice) 7
3.3 ข้าวขึ้นน้ำ (deep water rice) 7
4. การประเมินการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ตอบสนองต่อความเครียดต่อความเค็ม 8
4.1 ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (Salt injury score or Standard Evaluation System, SES) 8
4.2 ค่าน้ำหนักสดและค่าน้ำหนักแห้ง (Fresh weight and Dry weight) 8
4.3 ค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบพืช (Relative water content: RWC) 9
4.4 ค่าเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane stability: CMS) 10
4.5 ค่าดัชนีเสถียรภาพ (Stability Index) 11
5. การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์กลุ่ม (Principal component analysis and Cluster analysis) 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

6. การศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนม (Genome-wide association study) 13
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง 15
1. พืชทดลอง 15
2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลองในการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช 15
3. โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา 16
4. สารเคมีที่ใช้ทำการทดลอง 16
5. การศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะเครียดจากความเค็ม 17
6. การระบุตำแหน่งของยีนที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการทนเค็มของข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยในระยะต้นกล้าโดยเทคนิค genome-wide association study 21
7.สถานที่ทำการทดลอง 21
บทที่ 4 ผลการทดลอง 22
1. ผลการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะเค็มระดับสูงของต้นกล้าข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย 22
1.1 ผลการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 1 22
1.2 ผลการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 2 56
1.3 ผลการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 3 102
2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA analysis) และการวิเคราะห์การจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย 182
2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยในชุดการทดลองที่ 1 182
2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยในชุดการทดลองที่ 2 192
2.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยในชุดการทดลองที่ 3 202

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย โดยใช้ลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในชุดการทดลองที่ 3 214

3. ผลการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนม (Genome-wide association study)..... 224

3.1 ผลการศึกษา Population Substructure Analysis 224

3.2 ผลการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะการทนทานความเค็มในข้าวไทย 225

บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง 240

1. ผลของภาวะเค็มระดับสูงต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ของต้นกล้าข้าว ในชุดการทดลองที่ 1 ชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 240

2. การตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปของค่าลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตหลังจากพืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วันในชุดการทดลองที่ 3 253

3.การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์กลุ่มจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตอบสนองต่อการเจริญในภาวะปกติและภาวะเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3..... 256

4. การวิเคราะห์การเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะการทนเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย 275

รายการอ้างอิง 277

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 297

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนความเสียหายจากความเค็ม (SES) (Gregorio et al., 1997)..... 18

ตารางที่ 2 พันธุ์ข้าวชุดที่ 1 ที่ทำการศึกษาลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวในระยะต้นกล้าที่มีต่อภาวะเค็ม..... 24

ตารางที่ 3 พันธุ์ข้าวชุดที่ 2 ที่ทำการศึกษาลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวในระยะต้นกล้าที่มีต่อภาวะเค็ม..... 57

ตารางที่ 4 พันธุ์ข้าวชุดที่ 3 ที่ใช้ทำการศึกษาลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวในระยะต้นกล้าที่มีต่อภาวะเค็ม..... 103

ตารางที่ 5 ผลสรุปค่าการวิเคราะห์ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการตอบสนองทางสรีรวิทยาในระยะต้นกล้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างฟีโนไทป์ต่าง ๆ และฐานข้อมูลสนิปส์ในประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย..... 181

ตารางที่ 6 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 1..... 183

ตารางที่ 7 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าดัชนีเสถียรภาพต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1..... 188

ตารางที่ 8 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 2..... 193

ตารางที่ 9 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2..... 198

ตารางที่ 10 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 3..... 203

ตารางที่ 11 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3 209

ตารางที่ 12 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าโดยตรงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในชุดการทดลองที่ 3 215

ตารางที่ 13 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในชุดการทดลองที่ 3..... 220

ตารางที่ 14 สรุปตำแหน่งของสนิปส์ที่มีการเชื่อมโยงกับค่าการตอบสนองต่อภาวะเค็มในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระยะต้นกล้า (highlight ข้อมูลเดียวกัน หมายถึง ตำแหน่งสนิปส์เดียวกันที่เป็นผลมากจากวิเคราะห์ความเชื่อมโยงจากพารามิเตอร์ที่ต่างกัน)..... 236

ตารางที่ 15 ผลการจัดกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์โดยตรงและดัชนีเสถียรภาพในชุดการทดลองที่ 1 .. 270

ตารางที่ 16 ผลการจัดกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์โดยตรงและดัชนีเสถียรภาพในชุดการทดลองที่ 3 .. 271

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 ระดับความเค็มของดินขณะที่ทำการทดลองศึกษาการตอบสนองต่อความเค็ม โดยให้สารละลาย NaCl กับดินเป็นเวลา 10 วัน จึงล้างความเค็มออก วัดระดับความเค็มของดินอีกครั้งหลังจากนำความเค็มออกเป็นเวลา 2 วัน (วันที่ 12 นับจากเริ่มการให้ความเค็ม)..... 23

ภาพที่ 2 แนวโน้มของน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 ds/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1 25

ภาพที่ 3 แนวโน้มของน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 ds/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1 25

ภาพที่ 4 แนวโน้มของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 ds/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1 26

ภาพที่ 5 แนวโน้มของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 ds/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1 26

ภาพที่ 6 น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 1 27

ภาพที่ 7 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้น (C) ในชุดการทดลองที่ 1 30

ภาพที่ 8 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดราก (C) ในชุดการทดลองที่ 1 32

ภาพที่ 9 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้น (C) ในชุดการทดลองที่ 1 34

ภาพที่ 10 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 36

ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 38

ภาพที่ 12 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 40

ภาพที่ 13 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 42

ภาพที่ 14 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 44

ภาพที่ 15 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 46

ภาพที่ 16 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 48

ภาพที่ 17 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 50

ภาพที่ 18 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1 52

ภาพที่ 19 ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (A) 6 วัน (B) และ 10 วัน (C) ในชุดการทดลองที่ 1 54

ภาพที่ 20 แนวโน้มของน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2 59

ภาพที่ 21 แนวโน้มของน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2 59

ภาพที่ 22 แนวโน้มของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2..... 60

ภาพที่ 23 แนวโน้มของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2..... 60

ภาพที่ 24 น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าว เมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 2 61

ภาพที่ 25 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และ ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2..... 64

ภาพที่ 26 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 66

ภาพที่ 27 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 68

ภาพที่ 28 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 70

ภาพที่ 29 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 72

ภาพที่ 30 เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2..... 74

ภาพที่ 31 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2..... 76

ภาพที่ 32 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 78

ภาพที่ 33 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 80

ภาพที่ 34 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 82

ภาพที่ 35 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 84

ภาพที่ 36 เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2..... 86

ภาพที่ 37 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2..... 88

ภาพที่ 38 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 90

ภาพที่ 39 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 40 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 94

ภาพที่ 41 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2 96

ภาพที่ 42 เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 2 ... 98

ภาพที่ 43 ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (A) 6 วัน (B) และ 9 วัน (C) ในชุดการทดลองที่ 2 100

ภาพที่ 44 ระดับความเค็มของดินขณะที่ทำการทดลองศึกษาการตอบสนองต่อความเค็ม โดยให้สารละลาย NaCl กับดินเป็นเวลา 0 - 12 วัน 102

ภาพที่ 45 แนวโน้มของน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3 107

ภาพที่ 46 แนวโน้มของน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3 107

ภาพที่ 47 แนวโน้มของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3 108

ภาพที่ 48 แนวโน้มของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3 108

ภาพที่ 49 น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 3 109

ภาพที่ 50 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 3 112

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 51 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 114

ภาพที่ 52 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 116

ภาพที่ 53 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 118

ภาพที่ 54 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 120

ภาพที่ 55 เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3..... 122

ภาพที่ 56 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3..... 124

ภาพที่ 57 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 126

ภาพที่ 58 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 128

ภาพที่ 59 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 130

ภาพที่ 60 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 132

ภาพที่ 61 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้า (C) ในชุดการทดลองที่ 3 134

ภาพที่ 62 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3..... 136

ภาพที่ 63 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 138

ภาพที่ 64 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 140

ภาพที่ 65 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 142

ภาพที่ 66 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3 144

ภาพที่ 67 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3..... 146

ภาพที่ 68 ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (A) 9 วัน (B) และ 12 วัน (C) ในชุดการทดลองที่ 3..... 148

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 69 ความสูงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) ความสูงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของความสูงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 151

ภาพที่ 70 จำนวนกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วันและ ดัชนีเสถียรภาพของจำนวนกอของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 153

ภาพที่ 71 จำนวนรวงต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนรวงต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนรวงต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 155

ภาพที่ 72 อัตราส่วนรวงต่อกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) อัตราส่วนรวงต่อกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของอัตราส่วนรวงต่อกอของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 157

ภาพที่ 73 มวลชีวภาพต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) มวลชีวภาพต้นต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของมวลชีวภาพต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 159

ภาพที่ 74 ความยาวรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) ความยาวรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของความยาวรวงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 161

ภาพที่ 75 จำนวนเมล็ดดีเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดดีเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดดีเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 163

ภาพที่ 76 จำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 165

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 77 จำนวนเมล็ดเต็มเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดเต็มเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดเต็มเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 167

ภาพที่ 78 จำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และ ดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 169

ภาพที่ 79 จำนวนเมล็ดรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 171

ภาพที่ 80 อัตราการผสมติดเมล็ดของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) อัตราการผสมติดเมล็ดของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของอัตราการผสมติดเมล็ดของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 173

ภาพที่ 81 น้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) น้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 175

ภาพที่ 82 น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ดเต็มของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ดเต็มของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักหนึ่งพันเมล็ดเต็มของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 177

ภาพที่ 83 น้ำหนักเมล็ดเต็มต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) น้ำหนักเมล็ดเต็มต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และ ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักเมล็ดเต็มต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3 179

ภาพที่ 84 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการวิเคราะห์กลุ่มโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1 182

ภาพที่ 85 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1 184

ภาพที่ 86 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพจากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1 187

ภาพที่ 87 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1 189

ภาพที่ 88 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2..... 192

ภาพที่ 89 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2 195

ภาพที่ 90 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพจากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2 197

ภาพที่ 91 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2 199

ภาพที่ 92 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3..... 202

ภาพที่ 93 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3 205

ภาพที่ 94 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3 208

ภาพที่ 95 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3 210

ภาพที่ 96 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้โดยตรงของค่าลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตที่เติบโตในภาวะปกติและที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะ 12 วันในระยะต้นกล้าในชุดการทดลองที่ 3..... 214

ภาพที่ 97 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้โดยใช้ค่าโดยตรงของพารามิเตอร์ลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตที่เติบโตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3 216

ภาพที่ 98 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้โดยตรงของค่าลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตที่เติบโตในภาวะปกติและที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะ 12 วันในระยะต้นกล้าในชุดการทดลองที่ 3..... 219

ภาพที่ 99 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและแผนภาพสองมิติโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตที่เติบโตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3 221

ภาพที่ 100 Population substructure ที่พบในจีโนมของข้าวพื้นเมืองไทย เมื่อพิจารณาโดยใช้ eigenvector 224

ภาพที่ 101 ชุดข้อมูล (กรอบสีเหลือง) ที่จะนำไปใช้ในการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะทนทานความเค็มในประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย 225

ภาพที่ 102 quantile-quantile plot ของค่าพารามิเตอร์โดยตรงที่เติบโตในภาวะเค็มในส่วนของโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (F) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (G) ในระยะต้นกล้า 227

ภาพที่ 103 quantile-quantile plot ของค่าพารามิเตอร์ดัชนีเสถียรภาพในส่วนของโปรโมเตอร์ของ ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (F) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (G) ในระยะต้นกล้า..... 228

ภาพที่ 104 quantile-quantile plot ของค่าพารามิเตอร์โดยตรงที่เติบโตในภาวะเค็มในส่วนที่นอกเหนือโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (F) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (G) ในระยะต้นกล้า 229

ภาพที่ 105 quantile-quantile plot ของค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่างในส่วนที่นอกเหนือโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (F) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (G) ในระยะต้นกล้า 230

ภาพที่ 106 Manhattan plot ของค่าพารามิเตอร์โดยตรงในส่วนของโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ในระยะต้นกล้า 232

ภาพที่ 107 Manhattan plot ของค่าพารามิเตอร์ดัชนีเสถียรภาพในส่วนของโปรโมเตอร์ของค่าดัชนีเสถียรภาพของ น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (E) ในระยะต้นกล้า 233

ภาพที่ 108 Manhattan plot ของค่าพารามิเตอร์โดยตรงในส่วนที่นอกเหนือจากโปรโมเตอร์ของค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ในระยะต้นกล้า 234

ภาพที่ 109 Manhattan plot ของค่าพารามิเตอร์ดัชนีเสถียรภาพในส่วนที่นอกเหนือจากโปรโมเตอร์ของค่าดัชนีของค่าน้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (E) ในระยะต้นกล้า 235

ภาพที่ 110 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของชุดยีนคาดหมายที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากเกิดภาวะเครียดจากความเค็มกระทันหัน (A) และการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มแบบค่อยเป็นค่อยไป (B) เส้นโค้ง 1 และ 2 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของชุดยีนที่สัมพันธ์กับ osmotic phase และ ionic phase ค่า ‘0’บนแกน X คือจุดเวลาเริ่มต้นที่พืชได้รับภาวะเค็ม (Shavrukov, 2012) 244

ภาพที่ 111 ค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มของประชากรข้าว CSSL จำนวน 90 สายพันธุ์ (แท่งสีเทา)และ ข้าว 9 พันธุ์มาตรฐาน (แท่งสีแดง) หลังจากที่ได้รับภาวะเครียดจาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเค็ม NaCl ความเข้มข้น 150 mM เป็นระยะเวลา 16 วัน (A) และ 21 วัน (B) (Kanjoo และคณะ (2011)..... 250

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นแหล่งอาหารหลักของประชากรโลก โดยหนึ่งในสามของประชากรบริโภคข้าวเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคเอเชีย เป็นแหล่งอาหารพลังงานที่มีบทบาทสำคัญของประชากรกว่า 3 พันล้านคน (Khush, 2005) ข้าวยังเป็นอาหารหลักของคนไทย และเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศโดยในแต่ละปีประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 58 ล้านไร่ผลผลิตโดยรวมทั่วประเทศประมาณ 30 ล้านตันข้าวเปลือกโดยมีส่วนใช้บริโภคภายในประเทศ 21 ล้านตัน และส่งออก ประมาณ 9 ล้านตัน (กระทรวงพาณิชย์และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550) นับว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าว เป็นอันดับต้น ๆ ของโลกในปัจจุบัน เนื่องด้วยข้าวไทยมีคุณภาพดี มีเอกลักษณ์ที่โดดเด่นเป็นที่ต้องการของตลาดผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ (สถาบันวิจัยข้าว, 2541)

ภาวะดินเค็มเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั่วโลกไม่ว่าจะเป็นพื้นที่แห้งแล้งหรือพื้นที่ชุ่มชื้นทั้งในเขตชลประทานและเขตอาศัยน้ำฝน พื้นที่ดินเค็มในประเทศไทยพบได้ตั้งแต่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาคกลางและพื้นที่ชายฝั่งทะเล พื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีการกระจายอยู่บริเวณกว้างถึง 17.8 ล้านไร่ (สมศรี อรุณินท์, 2539) ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรมโดยเฉพาะการทำนาข้าวซึ่งปัญหาดินเค็มมีผลกระทบโดยตรงต่อการเกษตรทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพของพืช และรายได้ของเกษตรกรลดลงส่งผลกระทบถึงเศรษฐกิจและสังคมในชุมชน

ดินเค็มส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากความเครียดออสโมติก (osmotic stress) ทำให้น้ำในดินมีแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) เพิ่มขึ้นและความต่างศักย์ของน้ำ (water potential) ลดลง เซลล์พืชมีอาการเสมือนขาดน้ำ เมื่อความเค็มของสารละลายในดินเพิ่มขึ้น รากพืชดูดน้ำจากดินได้น้อยลง (Meloni และคณะ, 2001; Taiz และ Zeiger, 2006) นอกจากนี้ ความเค็มในดินยังมีผลต่อการสะสมโซเดียมไอออนในพืชมากจนเป็นพิษต่อเซลล์พืช (ion toxicity) เมื่อได้รับความเค็ม พืชจะมีการลดการขยายขนาดของใบรวมไปถึงการลดการเจริญเติบโต โดยพบว่าพืชมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของ ใบ ลำต้น ราก และผลผลิตลดลง และอาจก่อให้เกิดการตายของเซลล์ตามมา (Hasegawa และคณะ, 2000; Munns และคณะ, 2002; Mansour และ Salama, 2004) การปลูกข้าวในพื้นที่ดินเค็มยังมีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วย

แสง การออกดอกและผลผลิตซึ่งนำไปสู่ผลเสียทางเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ (Shannon และคณะ, 1998; Zeng และ Shannon, 2000; Abdullah และคณะ, 2002; Zeng และคณะ, 2003)

ข้าวเป็นพืชที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มพืชที่สามารถทนความเค็มได้ในระดับปานกลาง (Bernstein และ Hayward, 1958; Pearson และ Bernstein, 1959) ในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ มีความสามารถในการทนทานความเค็มได้แตกต่างกัน ในระยะต้นกล้า (seedling) ไม่มีความสามารถในการทนทานความเค็มหรือทนได้น้อย แต่จะสามารถทนเค็มได้สูงขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น(Pearson และคณะ, 1965) ข้าวไม่มีความสามารถในการทนทานความเค็มในระยะออกดอก (flowering) ในขณะที่ความเค็มไม่มีผลกระทบต่อข้าวที่อยู่ในระยะเมล็ดที่ออกรวงเต็มที่หรือเมล็ดแก่ (Iwaki, 1956) นอกจากนี้ข้าวต่างพันธุ์ยังมีความสามารถในการทนทานความเค็มที่แตกต่างกันด้วย

ปัจจุบันมีข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยเพียงไม่กี่พันธุ์ที่สามารถปลูกได้ในพื้นที่ดินเค็มและหลายพันธุ์ยังไม่ได้รับการศึกษาถึงกลไกการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความเค็ม การประเมินความสามารถในการทนเค็มของข้าวไทยโดยนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวนิยมประเมินจากพารามิเตอร์ที่สังเกตง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน เช่น คะแนนความเสียหายจากการได้รับความเครียดจากความเค็มตามมาตรฐานของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (Standard Evaluation System for Rice, SES) (Gregorio และคณะ, 1997)หรือการประเมินจากการให้ผลผลิต ซึ่งเป็นเป้าหมายในการปรับปรุงพันธ์โดยตรง คือได้ข้าวพันธุ์ใหม่ที่สามารถให้ผลผลิตสูงแม้ว่าได้รับความเครียดจากความเค็ม อย่างไรก็ดีลักษณะ SES และการให้ผลผลิตถูกควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง ค่าพารามิเตอร์ทางสรีรวิทยาบางลักษณะมีความเกี่ยวข้องกับยีนจำนวนน้อยกว่าและเป็นส่วนหนึ่งของลักษณะ phenotype ดังกล่าว เช่น ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Barr และ Weatherley, 1962) และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane stability) (Sullivan และ Ross, 1979) ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อาจทำให้การค้นหายีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการทนเค็มทำได้ชัดเจนขึ้น

เนื่องจากลักษณะพื้นฐานของข้าวในแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน หรือมี genetic diversity ที่หลากหลาย เมื่อได้รับความเค็ม แม้ผลกระทบของความเค็มต่อข้าวมีเท่ากัน แต่มีค่าพื้นฐานเริ่มต้นแตกต่างกัน หากประเมินเฉพาะค่าที่ได้จากหลังได้รับความเค็มแล้ว อาจให้ค่าที่แตกต่างกันได้ งานวิจัยนี้ จึงได้เสนอวิธีการประเมินโดยการใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพที่ดัดแปลงจากวิธีการประเมินของ Bienvenido (1993) ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของแต่ละพันธุ์มาประกอบในการประเมินลักษณะการตอบสนองต่อความเค็ม ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทั้งที่เป็นค่าโดยตรง และเป็นค่าดัชนีเสถียรภาพ จะถูกนำมาใช้ในการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวตามลักษณะการตอบสนองต่อความเค็ม

จากนั้น ข้อมูลฟีโนไทป์นำไปใช้ในการวิเคราะห์เชื่อมโยงกับข้อมูลสนิปส์ของจีโนมข้าวโดยวิธีการทางชีวสารสนเทศเพื่อระบุตำแหน่งบนจีโนมที่เกี่ยวข้องกับลักษณะในการทนทานความเค็มด้วยเทคนิค Genome-wide association study (GWAS) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการค้นหา

ยีนและใช้กันอย่างแพร่หลายในการค้นหายีนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมโรคทางพันธุกรรมที่มีความซับซ้อนหรือลักษณะการแพ้ยาในมนุษย์ และนำมาใช้แพร่หลายในช่วงสองปีที่ผ่านมาในการศึกษาการเชื่อมโยงของฟีโนไทป์ที่ซับซ้อนและจีโนไทป์ในพืชหลายชนิด เช่น การศึกษาลักษณะ 107 ฟีโนไทป์ใน *Arabidopsis thaliana* L. (Atwell และคณะ, 2010) การศึกษาฟีโนไทป์เกี่ยวกับผลผลิตในข้าว 14 ฟีโนไทป์ (Huang และคณะ, 2010) การศึกษาลักษณะการทนทานโรคสมัทในข้าวโพด (Wang และคณะ, 2012) หรือการศึกษาลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทางการเกษตรในข้าวบาร์เลย์ (Varshney และคณะ, 2012) เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์และพัฒนาพันธุ์ข้าวที่สามารถปลูกได้ในพื้นที่ดินเค็มและให้ผลผลิตได้ในปริมาณมากต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการต่อภาวะเครียดจากความเค็มที่เกี่ยวข้องกับ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ และองค์ประกอบผลผลิต ในกลุ่มประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยและศึกษาความเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับ
ฟีโนไทป์กับลักษณะดังกล่าว

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการอิทธิพลของความเค็มที่ระดับ 9 dS/m ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการในระยะต้นกล้า ได้แก่ การเจริญเติบโตของลำต้นและราก เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว องค์ประกอบของผลผลิต และค่าดัชนีสเถียรภาพของแต่ละพารามิเตอร์ และจัดกลุ่มระดับความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย
2. ศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมจากฟีโนไทป์การตอบสนองต่อความเค็มในประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.เป็นฐานข้อมูลการวิจัยการตอบสนองทางสรีรวิทยาในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยที่ยังไม่เคยมีการศึกษามาก่อน เพื่อใช้เป็นแหล่งอ้างอิงและแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต
2.เป็นฐานข้อมูลตำแหน่งยีนของการตอบสนองลักษณะการทนทานความเค็มในประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

1. ดินเค็มและปัญหาดินเค็ม

ดินเค็ม คือ ดินที่มีเกลือไอออนหลายชนิดเจือปนอยู่ในเนื้อดินจนเป็นอันตรายต่อพืช เช่น เกลือโซเดียม แคลเซียม และโพแทสเซียม ในรูปของ คลอไรด์, ซัลเฟต, ไบคาร์บอเนต และไนเตรต ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานสากลที่ใช้ในการวัดค่าความเค็มในดิน สามารถวัดได้จากระดับความเข้มข้นของเกลือที่มากพอจนมีผลทำให้ผลผลิตของพืชลดลงประมาณร้อยละ 50 หรืออาจใช้ค่าความเข้มข้นของเกลือในสารละลายที่สกัดออกมาจากดิน หรือค่าเปอร์เซ็นต์การแลกเปลี่ยนโซเดียม (ESP : exchangeable sodium percentage) เป็นตัวจำแนก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะวัดความเข้มข้นของไอออนเกลือโซเดียมคลอไรด์ในรูปของค่าการนำไฟฟ้า (EC : electrical conductivity) ซึ่งมีหน่วยวัดในระบบสากลเป็น (siemens/m : S/m) โดยที่ 1 ซีเมนมีค่าเท่ากับ 1 โมห ดังนั้น 1 ซีเมนต่อเมตรจะมี 10 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mmho/cm)

ปัญหาดินเค็มในปัจจุบันพบกระจายทั่วโลก เป็นพื้นที่ถึง 1 ใน 6 ของพื้นที่ทั้งหมดซึ่งเป็นพื้นที่แห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้ง มีปริมาณเกลือละลายอยู่เป็นปริมาณมากซึ่งจะมีผลไปจำกัดการเพิ่มผลผลิตในพืชทางการเกษตร ดินที่มีโซเดียมคลอไรด์ปนอยู่ในปริมาณมากจะเหนี่ยวนำให้เกิดความเครียดออสโมติก สำหรับปัญหาดินเค็มในประเทศไทย พบอยู่มากตามชายฝั่งทะเล หรือที่ราบตามแอ่งซึ่งพบเป็นบริเวณกว้างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ทั้งหมด 17.8 ล้านไร่หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 15 ของทั้งประเทศ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2527) และพื้นที่ดินเค็มเกือบทั้งหมดมีเกลือประเภทโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นองค์ประกอบ ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความเค็มอยู่ในช่วงระหว่าง 2 - 16 เดซิซีเมน/เมตร (dS/m) ค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 6.00 – 7.00 และความอุดมสมบูรณ์ของเนื้อดินอยู่ในระดับต่ำ อีกทั้งเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายมีการระบายน้ำค่อนข้างต่ำ ลักษณะของเกลือจะสะสมอยู่บนผิวหน้าดินและมีน้ำใต้ดินเค็มอยู่ในระดับตื้น ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตไม่ได้นอกจากวัชพืชชอบเกลือเท่านั้น จากปัญหาดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ทำการเกษตรเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ ประกอบกับสภาวะความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณน้ำฝนที่ไม่คงที่ในแต่ละปี จะยิ่งทวีคูณความรุนแรงจากความเค็มในดินเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากอัตราการระเหยของน้ำ วิธีการแก้ไขดินเค็มจัดโดยล้างเกลือจากดินเพื่อปลูกพืช ต้องลงทุนสูงมาก เพราะมีระบบการชลประทานและระบายน้ำรวมกัน (USSL, 1954) อีกวิธีการหนึ่งที่ไม่ซับซ้อนและลงทุนน้อย คือ การปลูกพืชทนเค็มหรือพืชชอบเกลือ

(halophyte) ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจหรือการปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีความสามารถในการทนทานความเค็มมากขึ้นจะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากในการลดต้นทุนการผลิต ไม่ต้องลงทุนล้างไอออนออกจากเกลือ นอกจากนี้ยังได้ใช้ประโยชน์จากพื้นที่ดินเค็มให้เกิดศักยภาพในการผลิต

2. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชเมื่อได้รับภาวะความเครียดจากความเค็ม

เมื่อพืชต้องเผชิญกับสภาวะความเค็มหรือในดินมีสารละลายความเข้มข้นของไอออนที่สูงขึ้น พืชจะมีการดูดไอออนเข้าไปสะสมในเซลล์ราก ลำต้น และใบ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและเกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมี ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับเซลล์พืชซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ (Polijakoff - Mayber, 1975) เช่น การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ต่าง ๆ การสูญเสียกิจกรรมภายในคลอโรพลาสต์ส่งผลให้เกิดการลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจด้วยแสง และนำไปสู่การเพิ่มอนุมูลอิสระ นอกจากนี้เกลือที่ละลายอยู่ในดิน จะไปเพิ่มแรงดันออสโมติกที่อยู่ในดินทำให้พืชต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการดึงน้ำจากรากเข้าสู่ลำต้น พืชจึงเสมือนอยู่ในสภาวะขาดน้ำ จึงเป็นผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง อันเนื่องมาจากการดูดน้ำเข้าเซลล์ได้น้อยลง (Abdullah และคณะ, 2002; Tester และ Davenport, 2003; Munns และคณะ, 2006) ซึ่งการปรับตัวดังกล่าว ยังอาจรวมถึงกระบวนการเคลื่อนย้ายไอออนที่เป็นพิษและการควบคุมสมดุลไอออน (osmoregulation) นอกจากนี้เมื่อพืชได้รับภาวะความเครียดเค็มพืชจะมีการปรับตัวโดยมีการสะสมสารที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลไอออน เช่น โพรลีน และสารอินทรีย์อื่น ๆ เช่น nitrogen containing compounds like amino acids, QAC, polyamines, hydroxyl compounds like sucrose, polyols และ oligosaccharides ซึ่งเป็นสารปกป้องหรือ osmoprotectants เพื่อที่จะช่วยให้พืชสามารถรักษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ไว้ได้ และไว้ป้องกันการถูกการทำลายจากความเข้มข้นของเกลือระดับสูง (Yoshiba และคณะ, 1997; Khan และคณะ, 2000; Akram และคณะ, 2007)

สำหรับการศึกษาผลกระทบจากความเค็มในข้าว มีการศึกษาหลายงานวิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและยังมีการศึกษาแพร่หลายในหลายประเทศ โดยข้าวนั้นถูกจัดอยู่ในกลุ่มพืชที่มีความสามารถในการทนทานความเค็มต่ำ ทั้งนี้ระดับความสามารถในการทนทานความเค็มจะแปรผันตามแต่ระยะการเจริญของข้าว (Akbar และ Ponnamperuma, 1980) ข้าวจะมีความสามารถในการทนทานต่อความเค็มตั้งแต่ระยะแรกของวงชีวิตโดยสามารถทนทนทานความเค็มในระยะการงอก (Pearson และคณะ, 1966) แต่ก็จะไปลดคุณภาพของกระบวนการงอก มีรายงานการศึกษาของผล

ของความเข้มข้นเกลือระดับสูง 25-30 dS/m ต่ออัตราการงอกของเมล็ดข้าวจนถึงอายุ 2 สัปดาห์ พบว่าความเค็มส่งผลให้อัตราการงอกและการงอกของเมล็ดช้าลงอันเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่า osmotic pressure จนไปยับยั้งกระบวนการดูดน้ำของเมล็ด (Gill และ Dutt, 1979) สำหรับในระยะต้นกล้าโดยเฉพาะในระยะต้นกล้าอ่อน (early seedling stage) หรือระยะที่ต้นกล้ามีใบ 2-3 ใบ จะมีความสามารถในการทนทานความเค็มที่ต่ำที่สุด (Janardan และ Murty, 1970) นอกจากนี้ความสามารถในการทนทานความเค็มของข้าว ยังแปรผันไปในแต่ละพันธุ์อีกด้วย(Pearson และ Bernstein, 1959) ผลของความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มสูงขึ้นในระยะนี้เริ่มมีความซับซ้อนในกลไกการตอบสนองต่าง ๆ เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการกระจายของของการสะสมไอออนจากเกลือต่ำ นอกจากนี้ ความเครียดเค็มยังส่งผลกระทบต่อข้าวในแง่ของการลดลงขององค์ประกอบของผลผลิตมากกว่าในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น โดยความเค็มจะมีผลต่อการพัฒนาการเกิดช่อดอกและลดความสามารถในการผสมเกสรของข้าว อัตราการแตกกอความยาวของรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและผลผลิตที่ลดลง (Zeng และคณะ, 2001; Aref และ Rad, 2012; Thitisaksakul และคณะ, 2015) นอกจากนี้ Akbar และ Ponnamperuma (1980) ได้สรุปผลของความเค็มที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ด โดยความเค็มจะไปลดความยาว, ความกว้าง และ ความหนาของเมล็ดลง ส่วนระยะการพัฒนาอื่น ๆ ในข้าวจะได้รับผลกระทบจากความเค็มที่น้อยกว่า (Kaddah และคณะ, 1973)

3. ข้าวและข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย

ข้าวเป็นแหล่งอาหารคาร์โบไฮเดรตที่หล่อเลี้ยงประชากรโลกราว 300 พันล้านคน (Khush, 2005) และเป็นพืชเศรษฐกิจที่แพร่หลายไปทั่วทุกมุมโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งชาวเอเชีย นิยมบริโภคข้าวกันมาช้านาน ข้าวไทยเป็นหนึ่งในข้าวที่ชาวต่างชาตินิยมมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) ด้วยลักษณะที่เหนียวนุ่ม มีลักษณะเฉพาะตัว ทำให้ข้าวเป็นพืชอาหารที่มีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับต้นต้นของประเทศ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2557) แต่ในช่วงไม่กี่ปีให้หลัง ประเทศไทยมีสถิติการส่งออกพันธุ์ข้าวที่ลดลงโดยประเทศไทยส่งออกข้าว 7.81 ล้านตันลดลงจากปี 2557 จากปริมาณ 8.77 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 11 นับเป็นมูลค่าส่งออกที่ลดลงประมาณ 124,226 ล้านบาทหรือประมาณ 3,718 ล้านเหรียญสหรัฐ (กระทรวงพาณิชย์, 2559)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมอีกทั้งยังเป็นแหล่งพันธุกรรมของข้าวปริมาณมาก ข้าวบางสายพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงพันธ์ให้มีลักษณะตามที่เกษตรกรต้องการอย่างต่อเนื่อง และยังมีข้าวหลากหลายประเภทในประเทศไทย เช่น ข้าวพันธุ์พื้นเมืองหรือข้าวพันธุ์พื้นบ้าน (land race

varieties) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีการปรับตัวดีมีวิวัฒนาการในสภาพแวดล้อมท้องถิ่นในประเทศไทยและเกษตรกรปลูกและคัดเลือกพันธ์มาอย่างยาวนาน มีลักษณะลำต้นที่สูงและใบลู่ มีความสามารถในการปรับตัวได้ดีในสภาพดินที่อุดมสมบูรณ์ต่ำ ให้ผลผลิตต่ำถึงปานกลางในสภาพการปลูกของเกษตรกร มักมีชื่อเรียกไปตามท้องถิ่น หรือข้าวปรับปรุงพันธุ์ดีของทางราชการ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ข้าวและตรวจสอบและรับรองพันธุ์อย่างเป็นทางการ และขยายพันธุ์เผยแพร่สู่เกษตรกรในประเทศไทย มีต้นกำเนิดมาจากการคัดเลือกพันธุ์พื้นเมือง การสร้างพันธุ์ใหม่โดยวิธีการผสมข้ามสายพันธุ์ หรือด้วยการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์โดยใช้รังสี โดยทั่วไปแล้วมักจะเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีความสามารถในการต้านทานโรคและแมลง การมีตอบสนองต่อปุ๋ยในระดับสูง มีเมล็ดข้าวที่ได้มาตรฐาน คุณภาพการหุงต้มที่ดี ซึ่งจัดเป็นประเภท กข ตัวอย่างพันธุ์ดีที่ได้รับการคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมือง เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) เหนียวสันป่าตอง ขาวตาแห้ง 17 เป็นต้น หรือข้าวพันธุ์ กข ที่เกิดจากการชักนำให้กลายพันธุ์ด้วยรังสี เช่น กข6 กข10 กข15 เป็นต้น นอกจากนี้หากแบ่งประเภทข้าวในประเทศไทยโดยใช้ลักษณะทางนิเวศวิทยาการปลูกเป็นเกณฑ์จะสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่

3.1 ข้าวไร่ (upland rice) คือ ข้าวที่สามารถปลูกได้ในที่ดอน ในพื้นที่ที่ไม่มีน้ำขัง และไม่มีคันนา สามารถปลูกได้โดยอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียวเหมือนพืชไร่ทั่วไป มักเป็นพืชที่นิยมปลูกกันมากในภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทย

3.2 ข้าวนาสวน (lowland rice) เป็นข้าวที่สามารถปลูกได้ในพื้นที่ลุ่มที่มีระดับน้ำลึกไม่เกิน 80 ซม. ซึ่งเป็นกลุ่มข้าวส่วนใหญ่ที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยและนิยมปลูกในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และให้ผลผลิตที่สูงกว่าข้าวไร่

3.3 ข้าวขึ้นน้ำ (deep water rice) หรือข้าวฟางลอย (floating rice) เป็นข้าวที่ใช้ปลูกในพื้นที่น้ำท่วมลึกในฤดูน้ำหลากที่มีระดับสูงเกินกว่า 80 ซม. มีความสามารถปรับตัวได้ตามระดับน้ำที่สูงขึ้น พบมากในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางและบางแห่งในพื้นที่ภาคใต้ พันธุ์ที่ทางราชการแนะนำ เช่น เล็บมือนาง 111 ปิ่นแก้ว 56 ตะเภาแก้ว 161 นางฉลอง กข17 กข19 เป็นต้น (สถาบันวิจัยข้าว, 2541; สำนักคุ้มครองพันธุ์พืชแห่งชาติ, 2543)

ข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวชนิดอื่น ๆ ในประเทศไทยมีความหลากหลายทางพันธุกรรมอีกมาก เนื่องจากการปรับตัวต่อสภาวะแวดล้อมในภูมิภาคประเทศไทยและการคัดเลือกโดยนักปรับปรุงพันธุ์อย่างต่อเนื่องและยาวนาน ทั้งนี้ข้อมูลการศึกษาความสามารถในการตอบสนองต่อสภาวะความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยยังมีปริมาณน้อย อีกทั้งยังไม่มีการศึกษากลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะเครียดจากภาวะเค็มและภาวะอื่น ๆ การเลือกประชากรพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยที่ยังไม่เคยศึกษามาก่อนน่าจะเป็นแหล่งพันธุกรรมที่ดีที่อาจจะทำให้ค้นพบแหล่งยีนใหม่ และจะเป็นฐานข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการตอบสนองในภาวะเครียดจากความเค็ม ซึ่งจะสามารถนำมาใช้เป็น

ประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวใหม่ๆที่มีความต้านทานต่อสภาวะความเค็ม นับเป็นวิธีการแก้ปัญหาเพื่อเตรียมรับมือกับภาวะความเครียดจากความเค็มที่กำลังเป็นปัญหาอยู่ในปัจจุบันและอาจทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นจากภาวะแปรปรวนของสภาพสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

4. การประเมินการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ตอบสนองต่อความเครียดต่อความเค็ม

ที่ผ่านมาการประเมินลักษณะที่ตอบสนองต่อความเค็มมักจะประเมินจากองค์ประกอบของผลผลิตซึ่งเป็นลักษณะพื้นฐานของต้นข้าวในระยะออกดอก เช่น ลักษณะความสูงต้น การแตกกอ การออกรวง หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเต็ม โดยลักษณะพื้นฐานดังกล่าว จะประเมินไปเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้ลักษณะที่ตลาดผู้บริโภคเป็นหลัก เพื่อให้ได้สายพันธุ์หรือพันธุ์ข้าว เป็นไปตามลักษณะที่ต้องการ เพื่อให้ได้ลักษณะของผลผลิตที่ดี ทั้งนี้การประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มในระยะต้นกล้า ซึ่งเป็นอีกระยะที่สำคัญเนื่องจากเป็นระยะเริ่มแรกของต้นกล้าข้าวที่เมื่อเผชิญกับความเครียดจากความเค็มและมีความไวต่อความเค็มมากและมีการตอบสนองต่อความเค็มอย่างชัดเจนและรวดเร็ว สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ จะเลือกใช้วิธีการประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มในระยะต้นกล้าโดยใช้วิธีการต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (Salt injury score or Standard Evaluation System, SES)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เป็นเกณฑ์การให้คะแนนความทนเค็มของต้นข้าวตามมาตรฐานของ Standard Evaluation System for rice (SES) (Gregorio และคณะ, 1997) เป็นวิธีการที่เป็นที่ยอมรับ อีกทั้งยังสามารถทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้ผู้ชำนาญมากในการเก็บค่าและแปรผลข้อมูล สามารถใช้คัดพันธุ์ได้รวดเร็วและให้ผลตรงกันทุกครั้ง วิธีการดังกล่าว ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการคัดพันธุ์ข้าว 2 ระยะ คือระยะต้นกล้าและระยะแตกกอถึงออกดอก

4.2 ค่าน้ำหนักสดและค่าน้ำหนักแห้ง (Fresh weight and Dry weight)

การเจริญเติบโตของพืชเป็นกระบวนการพื้นฐานในการเพิ่มขนาดหรือปริมาตรซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ Cell differentiation และ Cell elongation ในทางทฤษฎีแล้ว ผู้วิจัยสามารถวัด

การเจริญเติบโตของพืชได้โดยการวัดการเพิ่มขึ้นใน 1-2 ทิศทาง เช่น ความสูง ความยาว ความกว้าง เส้นผ่าศูนย์กลางหรือพื้นที่ และการเพิ่มน้ำหนักสามารถพิจารณาได้จากการชั่งน้ำหนักทั้งต้นหรือบางส่วนที่ต้องการ การวัดค่าน้ำหนักสดจะต้องทำอย่างรวดเร็วเนื่องจากพืชมีการระเหยของน้ำออกจากเซลล์และกระบวนการคายน้ำที่ดำเนินอยู่ตลอดเวลาและนอกจากนี้พืชยังสูญเสียน้ำหนักแห้งของตัวอย่างสดโดยกระบวนการหายใจในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นจึงต้องลดการสูญเสียเนื่องจากกระบวนการหายใจให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้ค่าน้ำหนักที่วัดได้ยังมีความแปรผันกับปริมาณน้ำที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชอีกด้วย ในการวัดการเจริญเติบโตจึงมักใช้ค่าน้ำหนักแห้ง (dry weight หรือ Biomass) เข้ามาร่วมพิจารณาความสามารถของเซลล์พืชในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์มาเป็นมวลชีวภาพของพืช ซึ่งเป็นค่าที่มักนิยมใช้ในการวัดการเจริญเติบโต และพัฒนาการของสิ่งมีชีวิต (Willson, 1967) การวัดค่าน้ำหนักแห้งจึงมีประโยชน์ในด้านการวัดการเจริญมากกว่าการใช้น้ำหนักสด อย่างไรก็ตามการชั่งน้ำหนักอาจจะพบว่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นโดยพืชไม่มีการเจริญเติบโตได้ เพราะเนื้อเยื่ออาจจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพราะมีการสะสมอาหาร เช่น แป้ง และไขมัน โดยไม่มีการเจริญเติบโตเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่ในแง่ของพืชไร่เช่นข้าวนั้นนั้นการเพิ่มมวลชีวภาพสามารถนำมาปรับใช้ได้ดีในการนำมาประเมินความสามารถในการรักษาสภาพการเจริญเติบโตหลังจากที่พืชได้รับภาวะเครียดจากวิ่งแวดล้อมต่าง ๆ พืชที่มีความสามารถรักษาสภาพค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งได้ดีแม้ว่าจะได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม และดูการฟื้นตัวของต้นพืชว่า พืชพันธุ์ที่สนใจศึกษาที่สามารถรักษาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไว้ได้มากที่สุด (Beadle, 1993)

4.3 ค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบพืช (Relative water content: RWC)

Chulalongkorn University

น้ำมีหน้าที่ในการช่วยลำเลียงและขนส่งสารต่าง ๆ ไปทั่วเซลล์และทุกส่วนของอวัยวะต่าง ๆ ของพืชและยังเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำหนักสดต้นพืชถึง 70% – 95% น้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วสูง น้ำจึงช่วยลำเลียงสารจำพวก น้ำตาล กรดอะมิโน และโปรตีนไปยังเซลล์ข้างเคียง น้ำยังทำหน้าที่ในการช่วยกระจายและขนส่งโมเลกุลจำพวก คาร์โบไฮเดรต ธาตุอาหารอื่น ๆ และ สารควบคุมการเจริญต่าง ๆ (Plant growth regulator) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเจริญเติบโตของพืช หน้าที่ในการค้ำจุนรูปร่างของเซลล์ หากเซลล์พืชมีปริมาณน้ำอยู่ภายในมากจะก่อให้เกิดแรงดันเต่ง (turgor pressure) หากพืชมีกรสูญเสียน้ำเนื่องจากเกิดสภาวะความเครียดหรือมีแรงมากระทบด้วยสาเหตุต่าง ๆ พืชจะสูญเสียแรงดังกล่าวก่อให้เกิดอาการเหี่ยวและนำไปสู่การตายของเซลล์พืช (Lamber และคณะ, 2008) นอกจากนี้น้ำที่อยู่ในเซลล์พืช ยังมีความสำคัญและจำเป็นต่อกระบวนการต่าง ๆ เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการขยายขนาดของเซลล์พืช ซึ่งในภาวะปกติ พืชจะมีการสูญเสีย

น้ำในรูปแบบของไอน้ำทางปากใบ เมื่อพืชต้องเผชิญกับสภาวะความเครียด เช่น ความเครียดจากภาวะแล้ง หรือความเครียดจากภาวะเค็ม พืชจะมีกลไกให้มีการกระตุ้นให้เกิดการปิดปากใบเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ การศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ที่อยู่ในใบพืชจึงเป็นอีกวิธีการศึกษาเพื่อศึกษาสภาวะของน้ำในเซลล์พืช ใช้ในการประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มในแง่ของการรักษาปริมาณน้ำให้ภายในพืช และเป็นวิธีการที่สามารถใช้ประเมินลักษณะการทนทานความเค็มได้ โดยหากพืชที่สนใจศึกษาสามารถรักษาค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์ไว้ในใบได้ดี ย่อมสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของน้ำในเซลล์ได้มากกว่าพืชที่อ่อนแอต่อความเค็ม ทั้งนี้ส่งผลให้พืชสามารถดำเนินกิจกรรมที่เกี่ยวข้องภายในเซลล์ได้เป็นปกติ (Teulat และคณะ, 1997) ด้วยเทคนิคดังกล่าวสามารถทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพดีในการประเมินความสามารถในการรักษาสถานะของปริมาณน้ำหลังจากที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม งานวิจัยหลาย ๆ ได้นำลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาดังกล่าวมาใช้ในการคัดเลือกและประเมินความสามารถในการทนทานความเค็ม เช่น การประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวไทยโดยใช้ค่าปริมาณน้ำ สัมพัทธ์ในการประเมินของ Suriya-arunroj และคณะ (2004) และ Pattanagul และ Thitisaksakul (2008)

4.4 ค่าเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane stability: CMS)

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นชั้นของเซลล์พืชที่อยู่ถัดเข้ามาจากผนังเซลล์ มีหน้าที่ในการควบคุมสารโมเลกุลต่าง ๆ ผ่านเข้าออกเซลล์ทั้งแบบที่ไม่ใช้ใช้พลังงาน passive transport แบบโปรตีนตัวพา (Carriers) และโปรตีนขนส่ง (Channels) และสำหรับแบบที่ใช้พลังงาน (Active transport) แบบ pumps (Taiz และ Zeiger, 2006) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญต่อการควบคุมและรักษาสมดุลไอออนต่าง ๆ ภายในเซลล์พืช ทำให้พืชสามารถดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ได้อย่างปกติ ทั้งนี้ ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์จะสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการรักษาสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์เมื่อพืชเกิดสภาวะความเครียด เช่น ความเครียดจากความแล้ง หรือความเครียดจากความเค็ม โดยความเครียดดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เซลล์พืชเกิด Reactive oxygen species (ROS) ทำลายโครงสร้างของเซลล์โดยเฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์ (Sharma และคณะ, 2012) ซึ่งจะส่งผลต่อในกระบวนการสังเคราะห์ไขมันลดลง นอกจากนี้ยังกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสลายไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (Gigon และคณะ, 2004) พืชที่มีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีจะมีความสามารถในการซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวให้เป็นปกติได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว (Tripathy และคณะ, 2000)

จากวิธีการดังกล่าวที่นำเสนอมาทั้งหมดในบางลักษณะถูกควบคุมด้วยยีนหลายยีน บางลักษณะถูกควบคุมโดยเพียงไม่กี่ยีน และการศึกษาการตอบสนองทางสรรีวิทยามักจะแต่การนำลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ดังที่กล่าวมานำมาปรับใช้ศึกษาลักษณะการตอบสนองกับพืชเพียงไม่กี่สายพันธุ์มาเปรียบเทียบกันโดยตรง อย่างไรก็ดีการนำพืชที่มีเบื้องหลังทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน (Genetic background) หรือการนำพืชที่มีค่าเริ่มต้นทางสรีรวิทยาต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับลักษณะที่ตอบสนองต่อภาวะเค็มด้วยกันหรือเทียบกันโดยตรง อาจทำให้ผลการแปรผลความสามารถในการทนทานความเค็มไม่สะท้อนกับผลของยีนที่ควบคุมนั้นตามที่ควรจะเป็น

4.5 ค่าดัชนีเสถียรภาพ (Stability Index)

Kamyab-Talesh และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาการประเมินระดับความสามารถในการทนทานความเค็มในกลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมืองอิหร่านจำนวน 7 พันธุ์โดยใช้ค่าดัชนีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการทนทานความเค็ม รวมทั้งค่าดัชนีเสถียรภาพด้วย พบว่า การใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพมาประเมินฟีโนไทป์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความการตอบสนองต่อความเค็ม ช่วยทำให้เกิดสหสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์บางพารามิเตอร์ที่สูง นอกจากนี้ในงานศึกษาของ Singh และคณะ (2015) ในการประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มของข้าวสาลี โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพเข้ามาร่วมประเมินพบว่า การประเมินโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพมีค่าสหสัมพันธ์กับค่า Tolerance (TOL) (Rosielle และ Hamblin, 1981) และ Stress Susceptibility Index (SSI) (Fischer และ Maurer, 1978) ที่สูง (-0.809** และ 1.000** ตามลำดับ) ดังนั้น การใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพมาช่วยในการวิเคราะห์และแปรผลน่าจะช่วยสะท้อนคุณลักษณะหรือความสามารถในการทนทานความเค็มบางประการในต้นกล้าข้าวที่อาจจะไม่เคยได้รับการศึกษามาก่อนและอาจทำให้การเข้าใจการตอบสนองในพารามิเตอร์ดังกล่าวดีมากขึ้น

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์กลุ่ม (Principal component analysis and Cluster analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร (multivariate analysis) เพื่อใช้ในการสรุปรายละเอียดของหลาย ๆ ตัวแปรและช่วยลดความซับซ้อนของตัวแปรที่มีอยู่ปริมาณมาก รวมเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรใหม่เพียงตัวแปรเดียวและเรียกตัวแปรใหม่ว่า

องค์ประกอบหลัก แต่ยังคงความแปรปรวนรวมของชุดข้อมูลนั้นอยู่ ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละองค์ประกอบมีความร่วมกันน้อย หรืออาจไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551) เพื่อใช้อธิบายหาความสัมพันธ์ลักษณะฟีโนไทป์ต่าง ๆ ที่สนใจศึกษาของลักษณะเฉพาะประจำพันธุ์ของตัวที่ใช้ทำนาย (Predictor) ของกลุ่มข้อมูลที่มีปริมาณมาก สำหรับวิธีการศึกษาองค์ประกอบหลัก มักนิยมนำเอามาประยุกต์ใช้ในงานด้านการเกษตรและงานปรับปรุงพันธุ์ เช่น ลักษณะการทนทานต่อโรคในข้าวโพด (Dauda และ Olakojo, 2007) การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของสบู่ดำจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา ลักษณะทางการเกษตร และเครื่องหมายดีเอ็นเอ (Soontornyatara และคณะ, 2015) การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาในข้าวนาน้ำฝนไนจีเรียจำนวน 39 พันธุ์ (Gana และคณะ, 2013)

ความหมายของคำต่าง ๆ ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ

ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) เป็นค่าที่ใช้ ในการพิจารณาว่าตัวแปรที่ศึกษาตัวใดควรจัดอยู่ในองค์ประกอบใด โดยการพิจารณาจากค่าที่มากที่สุดว่ากระจายน้ำหนักไปที่องค์ประกอบใดบ้าง ซึ่งค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่ดีควรมีค่า 0.3 – 0.4 ขึ้นไป

ค่าไอเกน (Eigen Value) คือค่าความผันแปรของตัวแปรทั้งหมดในแต่ละองค์ประกอบ ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ องค์ประกอบร่วม (Common Factor) ที่ได้องค์ประกอบแรก จะเป็นองค์ประกอบที่แยกความผันแปรของตัวแปรออกมาจากองค์ประกอบอื่นได้มากที่สุด จึงมีตัวแปรร่วมอยู่มากที่สุด สำหรับ Eigenvalue คำนวณได้จากสมการ

$$\text{Eigenvalue} = \sum(\text{ของน้ำหนักองค์ประกอบของแต่ละตัวแปรในองค์ประกอบนั้น})^2$$

Eigenvalue จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถขององค์ประกอบว่าจะอธิบาย ความแปรปรวนของกลุ่มตัวแปรได้มากน้อยเพียงไร โดยปกติถ้าองค์ประกอบนั้นอธิบายความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างได้น้อยกว่าค่า 1 Eigenvalue องค์ประกอบจากแกนนั้นก็จะไม่มีประโยชน์ที่จะนำมาใช้ในการอธิบายข้อมูล และถ้าหากตัวแปรที่ใช้ศึกษามีจำนวนน้อย การวิเคราะห์สกัดองค์ประกอบอาจจะให้ผลแค่ 2-3 องค์ประกอบเท่านั้น และหากใช้ตัวแปรมากอาจจะได้จำนวนองค์ประกอบเพิ่มมากขึ้นไปด้วย ทั้งนี้ ผู้ศึกษาวิจัยอาจจะกำหนดเกณฑ์อื่น ๆ สำหรับการเลือกจำนวนองค์ประกอบได้ตามความเหมาะสมหรือสมมติฐานของงานวิจัยที่ตั้งไว้ (Hair และคณะ, 2010)

วิธีการวิเคราะห์กลุ่ม (cluster analysis) มักนิยมใช้เพื่อจัดกลุ่มพันธุ์ตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาและเป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปสำหรับศึกษาความแปรผันทางพันธุกรรม โดยจัดกลุ่มพันธุ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันเข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน สำหรับในการวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์กลุ่มด้วยวิธี Ward's Method หรือ Minimum Variance Clustering หรือ Orloci's Sum of Squares (Milligan, 1980) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะมีวิธีการคำนวณบนพื้นฐานการวิเคราะห์แบบ Unweighted Group Average or Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Averaging (UPGMA) ซึ่งวิธีการคำนวณแบบ Ward's Method จะทำให้ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มน้อยที่สุดและวิธีการคำนวนคำนวนค่าความห่างระหว่าง 2 Cluster สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$D_{JM} = \frac{(N_J + N_K)D_{JK} + (N_J + N_L)D_{JL} - N_J D_{KL}}{N_J + N_M}$$

เมื่อ N_I คือ จำนวนสมาชิกในกลุ่ม Cluster ที่ I

D_{JK} คือ ระยะห่างระหว่างกลุ่ม Cluster ที่ J กับ Cluster ที่ K

6. การศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนม (Genome-wide association study)

ที่ผ่านมา การศึกษาหาตำแหน่งยีนหรือเครื่องหมายทางพันธุกรรม (genetics markers) ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะที่สนใจศึกษาจะใช้เทคนิค quantitative trait loci (QTL) ในการหาแผนที่ของยีนบนโครโมโซม แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคดังกล่าวยังมีข้อจำกัดเรื่องเครื่องหมายทางพันธุกรรมที่สนใจศึกษาที่ครอบคลุมเพียงบางส่วนของจีโนมหรือบางส่วนของยีนเท่านั้น แต่ลักษณะบางลักษณะที่สนใจศึกษาเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ (Polygene) ดังนั้น การใช้เทคนิค QTL มาใช้ในการศึกษาหาตำแหน่งของ genetic marker ที่มีความสัมพันธ์ต่อลักษณะนั้นอาจทำให้พบได้ยาก นอกจากนี้ QTL marker ยังนำไปใช้ได้ไม่ง่ายนักและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ในปัจจุบันความก้าวหน้าและวิทยาการทางด้านจีโนมิกส์ (genomics) และทางอณูพันธุศาสตร์ (molecular genetics) ก้าวหน้าไปรวดเร็วมากและมีค่าใช้จ่ายที่ถูกลง ทำให้เราสามารถตรวจสอบความหลากหลายและความแปรผันของ genotype จากความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์เพียงตำแหน่งเดียวหรือที่เรียกว่า "สนิปส์" (Single Nucleotide Polymorphism, SNP) ของสิ่งมีชีวิตที่สนใจศึกษาได้ละเอียดทั่วทั้งจีโนม (Genome-wide) ทั้งยังสามารถทำได้รวดเร็ว นอกจากนี้ฐานข้อมูลสนิปส์ยังมีประโยชน์ใน

การศึกษาหายีนที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ที่สนใจด้วยวิธีการที่เรียกว่า Genome-wide association Study (GWAS)

การทำ Association study มีหลักการคือค้นหาตำแหน่งของยีน หรือ quantitative trait loci (QTLs) หรือ genetic marker ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับยีนที่ควบคุมลักษณะฟีโนไทป์ที่ทำการศึกษา โดยพิจารณาจาก haplotype ที่เป็นกลุ่มเซทของสนิปส์ ที่มีการถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูกหลานบนสายโครมาติดเดียวกัน หรือมี linkage disequilibrium (LD) ต่อกันและกัน หรือที่เรียกว่า Haplotype block และสืบค้นหาความสัมพันธ์ทางสถิติ (Statistical association) ระหว่าง Allele บน Haplotype ในแต่ละ block ซึ่งอาจไม่ได้อยู่บนโครโมโซมเดียวกันกับลักษณะฟีโนไทป์ที่ซับซ้อนเข้าด้วยกันโดยวิธีการทางชีวสารสนเทศน์ ทั้งนี้เทคนิค GWAS เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการค้นหายีน ซึ่งมีข้อดีหลายประการ คือ ไม่จำเป็นต้องสร้างลูกผสม (Rocombinant Inbred Lines: RILs) มีความละเอียดและแม่นยำสูง (high resolution map) ประหยัดระยะเวลา และช่วยเพิ่มโอกาสในการค้นหาและระบุตำแหน่งยีนเป้าหมายเมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างแผนที่พันธุกรรมแบบดั้งเดิม (traditional linkage mapping)

เทคนิคดังกล่าวมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการค้นหายีนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมโรคทางพันธุกรรมที่มีความซับซ้อนในมนุษย์ เช่น การศึกษาความสัมพันธ์ของระดับการเกิดกระบวนการ DNA methylation ในภาวะโรคอ้วนในเด็ก (Ding และคณะ, 2015) การศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่กับ SNPs ของจีโนมมนุษย์ (Wang และคณะ, 2012) หรือการศึกษาอาการไม่พึงประสงค์จากการแพ้ยา นอกจากนี้ เทคนิคดังกล่าวเพิ่งนำมาใช้ศึกษาความเชื่อมโยงของฟีโนไทป์ที่ซับซ้อนและจีโนไทป์ในพืชอย่างแพร่หลายในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เช่น การศึกษาลักษณะ 107 ฟีโนไทป์ใน *Arabidopsis thaliana* L. (Atwell และคณะ, 2010) การศึกษาฟีโนไทป์เกี่ยวกับผลผลิตในข้าว 14 ฟีโนไทป์ (Huang และคณะ, 2010) การศึกษาลักษณะการทนทานโรคสมัทในข้าวโพด (Wang และคณะ, 2012) หรือการศึกษาลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทางการเกษตรในข้าวบาร์เล่ย์ (Varshney และคณะ, 2012) การใช้เทคนิคดังกล่าวในการศึกษาความเชื่อมโยงลักษณะการตอบสนองต่อความเค็มกับฐานข้อมูลสนิปส์ในประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย จะเป็นประโยชน์อย่างมหาศาล ในการศึกษาความแปรผันทางพันธุกรรม การศึกษาวิวัฒนาการ และเป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะทนเค็มที่มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

1. พืชทดลอง

ข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยและข้าวพันธุ์ปรับปรุง รวม 174 พันธุ์ (accessions) ได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร.สมทรง โชติชื่น ศูนย์ปฏิบัติการและเก็บเมล็ดเชื้อพันธุ์ข้าวแห่งชาติ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว จังหวัดปทุมธานี ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง CSSL11 ซึ่งมีพื้นฐานพันธุกรรมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. cv KDML105) ได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร.ธีรยุทธ ตู้จินดา หน่วยค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงให้มีลักษณะทนเค็ม UBN02123-50R-B-3 ซึ่งมีพื้นฐานพันธุกรรมของข้าวพันธุ์ KDML105 ได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร.ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์ ศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว จังหวัดนครราชสีมา รายชื่อพันธุ์ข้าวและหมายเลขที่ใช้ในการทดลองจะแสดงในตารางที่ 2 3 และ 4 โดยมีพันธุ์ Pokkali IR29 และ KDML105 เป็นพันธุ์มาตรฐานทนเค็มระดับสูง พันธุ์มาตรฐานไม่ทนเค็ม และพันธุ์ทนเค็มปานกลาง เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลองในการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช

2.1 วัสดุอุปกรณ์ในการปลูกพืช

- ดินร่วนปนทราย ชุดดินพิมาย (สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์) ได้รับความอนุเคราะห์จากพื้นที่ศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว นครราชสีมา
- กระบะพลาสติกขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 40×54×14 เซนติเมตร
- ตะกร้าพลาสติกขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 27×37×13 เซนติเมตร
- กระถางพลาสติกปลูกต้นไม้สีดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
- กระถางพลาสติกปลูกต้นไม้สีดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้วสำหรับย้ายปลูกเพื่อเก็บค่าองค์ประกอบของผลผลิต
- กระบอกตวง

- ถังน้ำพลาสติก

- เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Digital conductivity meter) (SevenCompact™ Conductivity S230, Mettle Toledo, Switzerland)

2.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช

-ตู้อบตัวอย่างพืช (Hot air oven) (FED240, BINDER, USA)

-หม้อนึ่งความดันสูง (Autoclave) (TC-459, GEMMY INDUSTRIAL CORP., USA)

-ไม้เมตร

-ไม้บรรทัด

-กรรไกร

-นาฬิกาจับเวลา

-เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Digital conductivity meter) (SevenCompact™ Conductivity S230, Mettle Toledo, Switzerland)

-เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งของหน่วยกรัม (ML204/01, Mettle Toledo, Switzerland)

-เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งของหน่วยกรัม (U 4600 P+, Scientific Promotion CO., LTD., Germany)

3. โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา

- SPSS version 22.0 (IBM, USA)

- JMP version 20 (SAS corperate, USA)

- EIGENSOFT version 5.0.2 (Patterson และคณะ, 2006; Price และคณะ, 2006)

- MSU genome rice database (http://rice.plantbiology.msu.edu)

4. สารเคมีที่ใช้ทำการทดลอง

- Sodium chloride (NaCl) (Srichand United Dispensary Co., Ltd., New Zealand)

5. การศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะเครียดจากความเค็ม

5.1 วางแผนการทดลอง Randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตส่วนลำต้นและราก และลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวปรับปรุงพันธุ์และข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยทั้งหมด 174 พันธุ์

5.2 วิธีการเตรียมต้นกล้าข้าว ตามวิธีดังนี้

5.2.1 เพาะกล้าข้าวสำหรับการทดลอง โดยล้างและเพาะเมล็ดข้าวในน้ำเป็นเวลา 5 วันจนกระทั่งยอดงอกประมาณ 6 ซม. - 10 ซม.

5.2.2 ย้ายปลูกในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 4 นิ้วที่มีดินจำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ให้น้ำโดยรักษาระดับน้ำให้สูงกว่าผิวดิน 10 เซนติเมตร จนถึงวันที่ 14 จะได้กล้าข้าวอายุ 2 สัปดาห์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

5.3 นำกล้าข้าวทั้งหมดย้ายปลูกลงในภาชนะปลูกกระบะพลาสติกขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 14×40×54 เซนติเมตรที่มีสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 115 mM ปริมาตร 10 ลิตรซึ่งจะทำให้ดินมีความเค็มระดับประมาณ 9-10 dS/m (จากผลการศึกษาเบื้องต้น) และมีชุดการทดลองควบคุมที่ปลูกในดินภาวะปกติที่ได้รับน้ำกรองทดแทนสารละลาย NaCl

5.4 บันทึกค่าลักษณะการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความเค็มทุก ๆ 3 วัน ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 3 ครั้ง ค่าที่บันทึกการตอบสนองต่อภาวะเครียดต่อความเค็ม ได้แก่

5.4.1 คะแนนความเสียหายจากการได้รับความเครียดจากความเค็มตามมาตรฐานของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติหรือค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (Gregorio และคณะ, 1997)โดยวิธีการให้คะแนนดำเนินการโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญอย่างน้อยสามคนในการให้คะแนนแต่ละครั้งตามเกณฑ์ดังตารางที่ 1 บันทึกคะแนนของแต่ละตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยของคะแนนของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนความเสียหายจากความเค็ม (SES) (Gregorio et al., 1997)

score	Score Observation	Tolerance
1	Normal growth	Highly tolerant
3	Nearly normal growth;Leaf tips or few leaves whitish and rolled	Tolerant
5	Growth severely retarded; Most leaves rolled ; only a few are elongation	Moderately tolerant
7	Complete cessation of growth ; Most leaves dry ; some plants drying	Susceptible
9	Almost all plants dead or drying	Highly susceptible

5.4.2 น้ำหนักสดต้น (กรัม/ต้น)

5.4.3 น้ำหนักสดราก (กรัม/ต้น)

5.4.4 น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)

5.4.5 น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น)

5.4.6 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของใบ (Leaf relative water content) ดัดแปลงตามวิธีการของ Barr และ Weatherley (1962) โดยดำเนินการโดยใช้ใบแท้ที่อายุน้อยที่สุดและเจริญเต็มที่ (Youngest fully expanded leaf) ดังนี้

5.4.6.1 ตัดใบแท้ที่อายุน้อยที่สุดและเจริญเต็มที่ให้มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสด (FW) แล้วบันทึกค่า

5.4.6.2 นำชิ้นใบไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้ใบข้าวเกิดภาวะอิ่มตัวด้วยไอน้ำแล้วปิดฝาภาชนะ ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาค่าน้ำหนักเต่ง (TW) แล้วบันทึกค่า

5.4.6.3 นำชิ้นใบข้าวไปอบในตู้อบตัวอย่างพืชที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักแห้ง (DW) แล้วบันทึกค่า

5.4.6.4 นำค่าทั้งหมดที่บันทึกแทนค่าในสมการด้านล่าง

%RWC = ((FW-DW)/(TW-DW))*100

5.4.7 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane stability) (Sullivan และ Ross, 1979) โดยดำเนินการโดยใช้ใบแท้ที่อายุน้อยที่สุดและเจริญเต็มที่ (Youngest fully expanded leaf) ดังนี้

5.4.7.1 ชั่งน้ำหนักใบข้าวประมาณ 100 มิลลิกรัม แล้วตัดให้ได้ขนาดความยาว 5 มม.

5.4.7.2 นำชิ้นส่วนใบข้าวแช่ลงในน้ำกลั่นปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาภาชนะ

5.4.7.3 ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

5.4.7.4 หยิบชิ้นส่วนใบข้าวออกแล้ววัดค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดการนำไฟฟ้าในน้ำแล้วใส่ชิ้นพืชกลับเข้าไป บันทึกค่าที่ได้ (EC_0)

5.4.7.5 ต้มชิ้นพืชในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 15 - 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้งบันทึกค่าที่ได้ (EC_1)

5.4.7.6 นำค่าทั้งหมดที่บันทึกแทนค่าในสมการด้านล่าง

$$\% \text{ EL} = (EC_0 / EC_1) * 100$$

$$\% \text{ CMS} = 100 - (\% \text{ EL})$$

5.5 เก็บค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายของดินและน้ำในแต่ละระดับความเค็ม ทุกสามวัน ในช่วงที่เก็บผลการทดลองตามวิธีการของกรมพัฒนา 2557 ดังภาคผนวก ก และควบคุมปริมาตรน้ำให้คงที่ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองเพื่อคงสภาพค่าความเค็มที่ระดับ 9-10 dS/m

Chulalongkorn University

5.6 หลังจากที่พืชได้รับภาวะความเครียดจากความเค็มเสร็จสิ้นเป็นระยะเวลา 3 ช่วงเวลา ทำการย้ายปลูกกล้าข้าวในทั้ง 2 ชุดการทดลอง (ชุดการทดลองควบคุมและกล้าข้าวที่ได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม) ลงในดินปกติ (ชุดดินพิมาย) ในกระถางปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ที่บรรจุดิน 5 กิโลกรัมให้น้ำและปุ๋ยสูตรยูเรีย (46-0-0) ในระยะที่ข้าวเริ่มตั้งท้อง จนกระทั่งข้าวออกรวงเก็บค่าลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการประเมินลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่

5.6.1 ความสูงต้น

5.6.2 การแตกกอ (จำนวนกอต่อต้น)

5.6.3 จำนวนรวง

5.6.4 อัตราส่วนรวงต่อกอ

5.6.5 มวลชีวภาพส่วนต้น

5.6.6 ความยาวรวง

5.6.7 จำนวนเมล็ดเต็มต่อรวง

5.6.8 จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง

5.6.9 จำนวนเมล็ดเต็มทั้งหมดต่อต้น

5.6.10 จำนวนเมล็ดลีบทั้งหมดต่อต้น

5.6.11 จำนวนเมล็ดรวมทั้งหมด

5.6.12 อัตราการผสมติดรวง

5.6.13 น้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้น

5.6.14 น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ด

5.6.15 น้ำหนักเมล็ดต่อรวง

5.7 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน analysis of variance (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยการตอบสนองทางสรีรวิทยาในแต่ละพารามิเตอร์และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากการใช้ข้อมูลโดยตรง ด้วยโปรแกรม SPSS version 22 ชุดข้อมูลที่ได้ จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์องค์ประกอบหลักและวิเคราะห์การจัดกลุ่มตามการตอบสนองต่อความเค็ม (Principal component analysis และ Cluster analysis) ด้วยวิธี Ward’s method (Milligan, 1980) ด้วยโปรแกรม JMP10 (SAS corporate)

5.8 ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในทุก ๆ พารามิเตอร์จะนำมาคำนวณเป็นค่าดัชนีเสถียรภาพ (Stability Index: SI) เพื่อดูความสามารถในการรักษาสภาพของค่าพารามิเตอร์นั้น ๆ ว่าเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนไปมากน้อยแค่ไหนหลังจากที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม (Bienvenido, 1993)โดยคำนวณได้จากสูตร

$$Y_s/Y_p$$

เมื่อ Y_s คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากค่าที่พืชเจริญเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็ม

Y_p คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากค่าที่พืชเจริญเติบโตในภาวะปกติ

โดยค่าที่จะนำมาใช้คำนวณตามสูตร จะใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ในพันธุ์นั้น ๆ ค่าที่มีค่าใกล้เคียงประมาณ ค่า 1 แสดงว่ามีการรักษาสภาพของพารามิเตอร์นั้น ๆ ได้ดี ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อได้รับภาวะความเครียดจากความเค็ม

5.9 เปรียบเทียบลักษณะผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มที่ได้จากการใช้ข้อมูลโดยตรง และ การใช้ข้อมูลดัชนีเสถียรภาพว่าให้รูปแบบเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

6. การระบุตำแหน่งของยีนที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการทนเค็มของข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยในระยะต้นกล้าโดยเทคนิค genome-wide association study

6.1 ศึกษา population sub-structure ของข้าว 174 พันธุ์ โดยใช้ข้อมูลสนิปส์ซึ่งได้มาจากการทำ high-throughput exome sequencing โดยใช้โปรแกรม EIGENSOFT version 5.0.2 ซึ่งใช้หลักการ principal component analysis ในการแยกความแตกต่างระหว่างพันธุ์ทางบรรพบุรุษ เพื่อให้สามารถเลือก statistical model ที่เหมาะสมในการทำ genome-wide association

6.2 ศึกษาการเชื่อมโยงระหว่างลักษณะฟีโนไทป์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการทนทานความเค็มที่ได้จากข้อมูลฟีโนไทป์โดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพ โดยวิธีการที่เลือกในข้อ 5.2.1 กับฐานข้อมูลสนิปส์ในจีโนมของกลุ่มประชากรพันธุ์ข้าวที่ศึกษาพันธุ์ จำนวน 223,800 สนิปส์ เพื่อที่จะระบุสนิปส์ที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับฟีโนไทป์ที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะพิจารณาจากค่า Logarithm of Significant Level [$-\log_{10}(P)$] ที่มีค่าสูงกว่า 10^{-6} หลังจากที่ได้ตำแหน่งและข้อมูลของชนิดสนิปส์จะนำไปสืบค้นและการทำนายหน้าที่ยีนในฐานข้อมูลจีโนมข้าว http://rice.plantbiology.msu.edu/

สำหรับวิธีการศึกษาความเชื่อมโยงกับลักษณะการตอบสนองต่อภาวะความเค็มต่าง ๆ กับฐานข้อมูลสนิปส์จะแสดงไว้ในภาคผนวก ก

6.3 เปรียบเทียบตำแหน่งของยีนที่ได้การเชื่อมโยงระหว่างลักษณะฟีโนไทป์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการทนทานความเค็มที่ได้จากข้อมูลฟีโนไทป์โดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพ

7.สถานที่ทำการทดลอง

-โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 7 อาคารอัญมณี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-โรงเรือนปลูกข้าวศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว นครราชสีมา

-ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

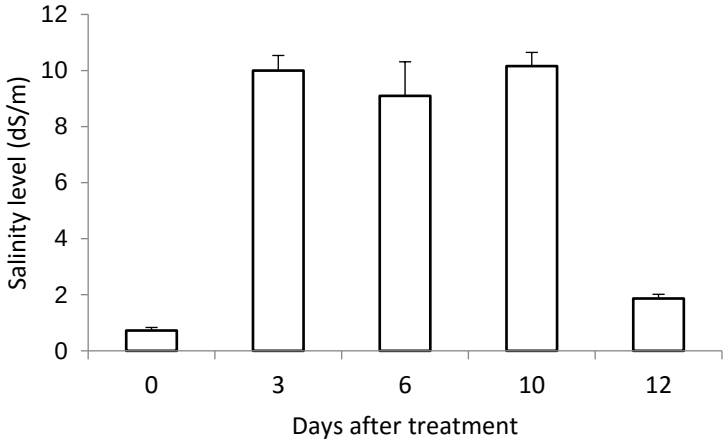
บทที่ 4
ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะเค็มระดับสูงของต้นกล้าข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย

ในส่วนการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ตอบสนองต่อความเค็มในระยะต้นกล้า การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลองเพื่อให้สะดวกต่อการเก็บผล สำหรับข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ที่มีปริมาณมาก ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลการทดลองต่าง ๆ เป็นฐานข้อมูลทางชีววิทยาของข้าวพันธุ์ไทยสำหรับการศึกษาสภาวะทนเค็มของข้าวภายใต้ชื่อฐานข้อมูล “Thai Rice DB for Salt Tolerant Studies (TRDBS)” โดยสามารถเข้าดูได้ทางเว็บไซต์ ip address ของภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ผลการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 1

ในชุดการทดลองที่ 1 ทำการทดลองเก็บค่าสรีรวิทยาระหว่างวันที่ 6 – 26 เมษายน 2555 ณ สถานีวิจัยข้าวนครราชสีมา อ.พิมาย จ.นครราชสีมา โดยทำการศึกษาในข้าวจำนวน 53 พันธุ์ ดังรายชื่อในตารางที่ 2 เมื่อต้นกล้าข้าวอายุ 2 สัปดาห์ ทำการให้ภาวะเค็มโดยการเติมสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 150 mM ปริมาตร 900 mL ลงในภาชนะปลูก ซึ่งจะทำให้ดินมีความเค็มระดับ 9-10 dS/m ตั้งแต่วันที่ 3 หลังจากได้รับภาวะเค็ม (ภาพที่1) เก็บค่าน้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว (Relative water content : % RWC), เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane stability : % CMS) และ ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (Salt Injury Score : SIS) ในวันที่ 0 3 และ 6 หลังได้รับภาวะเค็ม จากนั้นในวันที่ 10 หลังจากได้รับภาวะเค็มเก็บค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มอีกครั้งก่อนทำลดค่าความเค็มของดินจนมีระดับความเค็มต่ำกว่า 2 dS/m โดยเทน้ำเกลือออกแล้วชะด้วยน้ำ 2-3 ครั้ง แล้วปลูกเลี้ยงเพื่อรอเก็บผลผลิต แต่จากผลการทดลอง ไม่สามารถเก็บผลผลิตได้เนื่องจาก มีโรคแมลงลงในชุดการทดลองนี้ ขณะทำการปลูกรอเก็บผลผลิต จึงทำให้ในชุดการทดลองนี้มีแต่เฉพาะค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาในระยะต้นกล้าเท่านั้นซึ่งผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาในพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะแสดงในภาพที่ 4 – 17



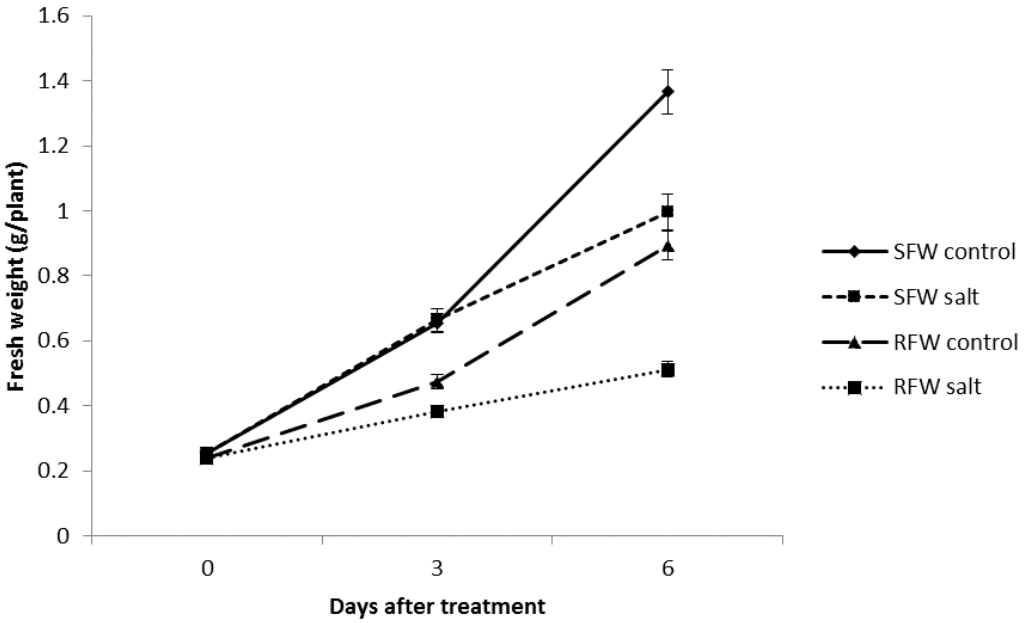
ภาพที่ 1 ระดับความเค็มของดินขณะที่ทำการทดลองศึกษาการตอบสนองต่อความเค็ม โดยให้สารละลาย NaCl กับดินเป็นเวลา 10 วัน จึงล้างความเค็มออก วัดระดับความเค็มของดินอีกครั้งหลังจากนำความเค็มออกเป็นเวลา 2 วัน (วันที่ 12 นับจากเริ่มการให้ความเค็ม)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและที่เติบโตในภาวะเครียดในระยะเวลา 3 และ 6 วันในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 2 – ภาพที่ 5) พบว่า ค่าเฉลี่ยของข้าวทุกพันธุ์ในระยะต้นกล้ามีค่าน้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักหนักแห้งราก ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องจากภาวะปกติหลังจากได้รับภาวะเครียดผ่านไปทั้ง 3 และ 6 วัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หลังจากที่ต้นกล้าข้าวในประชากร ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 6 วัน ต้นกล้าข้าวมีการสูญเสียน้ำหนักมวลชีวภาพโดยรวมประมาณ 50%

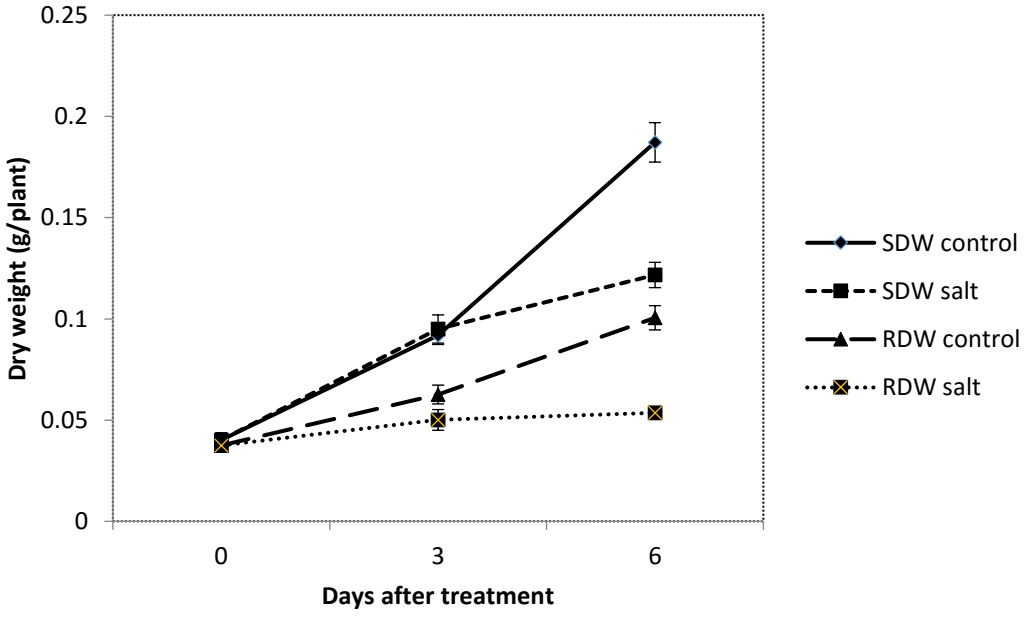
สำหรับแนวโน้มของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์และค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ พบว่า ในภาวะปกติข้าวในประชากรสามารถรักษาค่าปริมาณดังกล่าวได้ค่อนข้างดีมาก โดยมีค่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งถือว่าเป็นการตอบสนองในภาวะปกติที่พืชไม่ได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม ในขณะที่กลุ่มต้นกล้าข้าวที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ละค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบ มีค่าที่ลดน้อยลงอย่างต่อเนื่องซึ่งแนวโน้มดังกล่าว จะเริ่มเห็นชัดเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากความเค็มผ่านไป 6 วัน โดยจะมีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ ลดต่ำลงมาประมาณ 20% จากภาวะปกติและค่าเฉลี่ยของประชากรของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงประมาณ 10% จากค่าเฉลี่ยประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ

ตารางที่ 2 พันธุ์ข้าวชุดที่ 1 ที่ทำการศึกษาลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวในระยะต้นกล้าที่มีต่อภาวะเค็ม

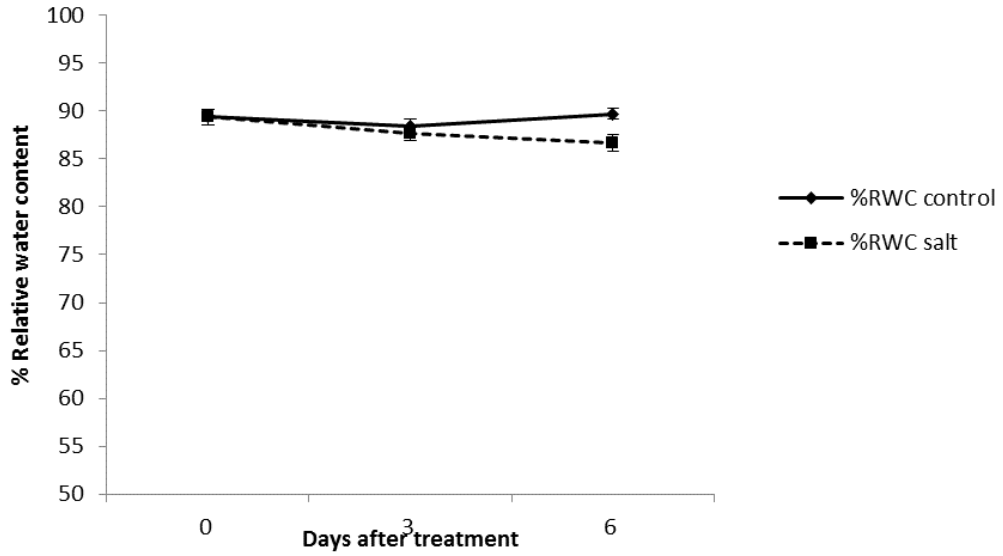
หมายเลขในการทดลอง	GS No.	ชื่อพันธุ์
1	1698	ก้นแก้ว
2	2063	เขียวหางม้า
3	2296	ขาวสุพรรณ
4	2975	หลวงประทาน
8	7214	เหลืองพวงทอง
9	1616	กข1
11	12155	ดอขาว
12	12166	มันวัว
14	18442	พวงทอง
15	20375	ประทานบ้านบุ้ง
16	21792	ดอสามเดือน
18	2975	หลวงประทาน
19	6152	ขาวแก้ว
22	1204	นางมลS4
25	5639	อีมุม
27	1193	เก้ารวง
31	1581	ปิ่นแก้ว
32	1961	ไข่มดริ้น
33	2073	ใบบัว
36	13988	มะยม
37	14082	อีลาย
41	828	ขาวตาแห้ง17
42	21706	หมากยม
48	1707	หางหยี71
54	588	เหลืองน้อย 31-1-39
55	1693	จุดมอญ
56	1697	ขาวสงวน
58	21240	เหนียวดำหลาย
59	2534	ขาวกอเดียว
62	1691	พวงหนัก
63	2056	จำปาจีน
64	3226	ขาวก้นจุด
66	3330	เจ้าขาว
70	6158	ก้นแก้ว
73	10917	ทองรากไทร
74	14085	หมากน้ำ
77	20712	ชัยนาท1
78	2387	เจ็กเชย
80	2089	พวงหางหมู
81	20864	พลายงามปราจีนบุรี
82	22357	ตะเภาล่ม
83	22358	ขาวอากาศ
85	22367	ดีสี่
87	22391	เม็ดมะม่วง
91	22802	มะยม
92	22817	ดอดอกไม้
93	22835	หมากน้ำ
95	23114	อีขาวใหญ่
98	21577	ป้องแอ้ว
100	5625	พ้าวฮ้าว
101		Pokkali
102		IR29
103		LPT123-TC171



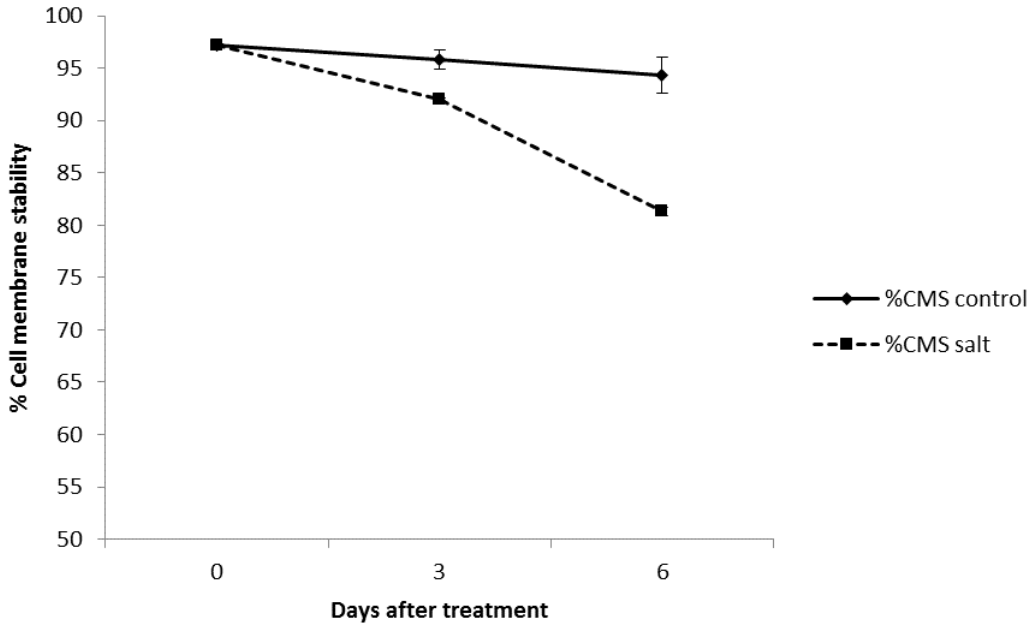
ภาพที่ 2 แนวโน้มของน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 ds/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1



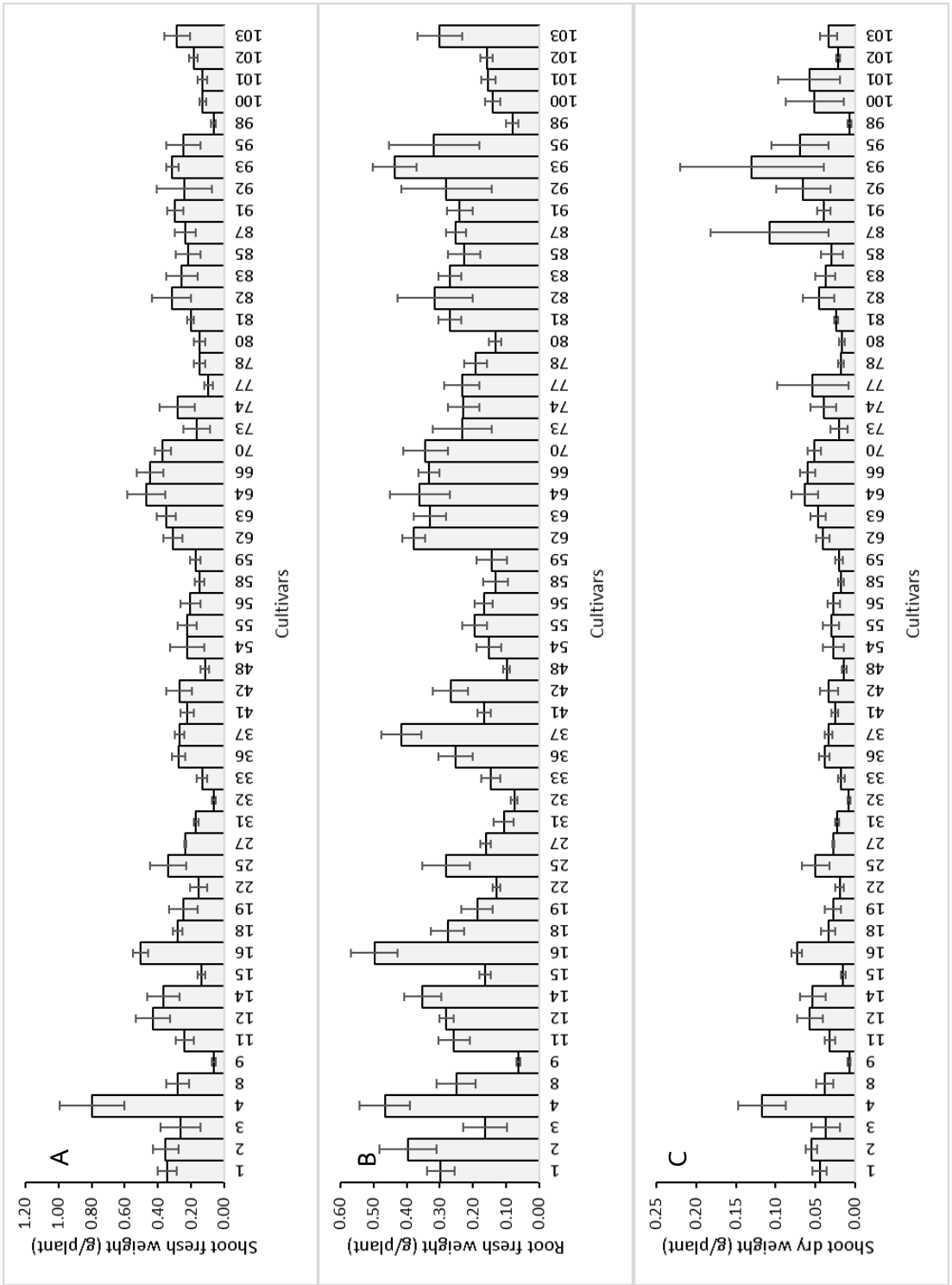
ภาพที่ 3 แนวโน้มของน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 ds/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1



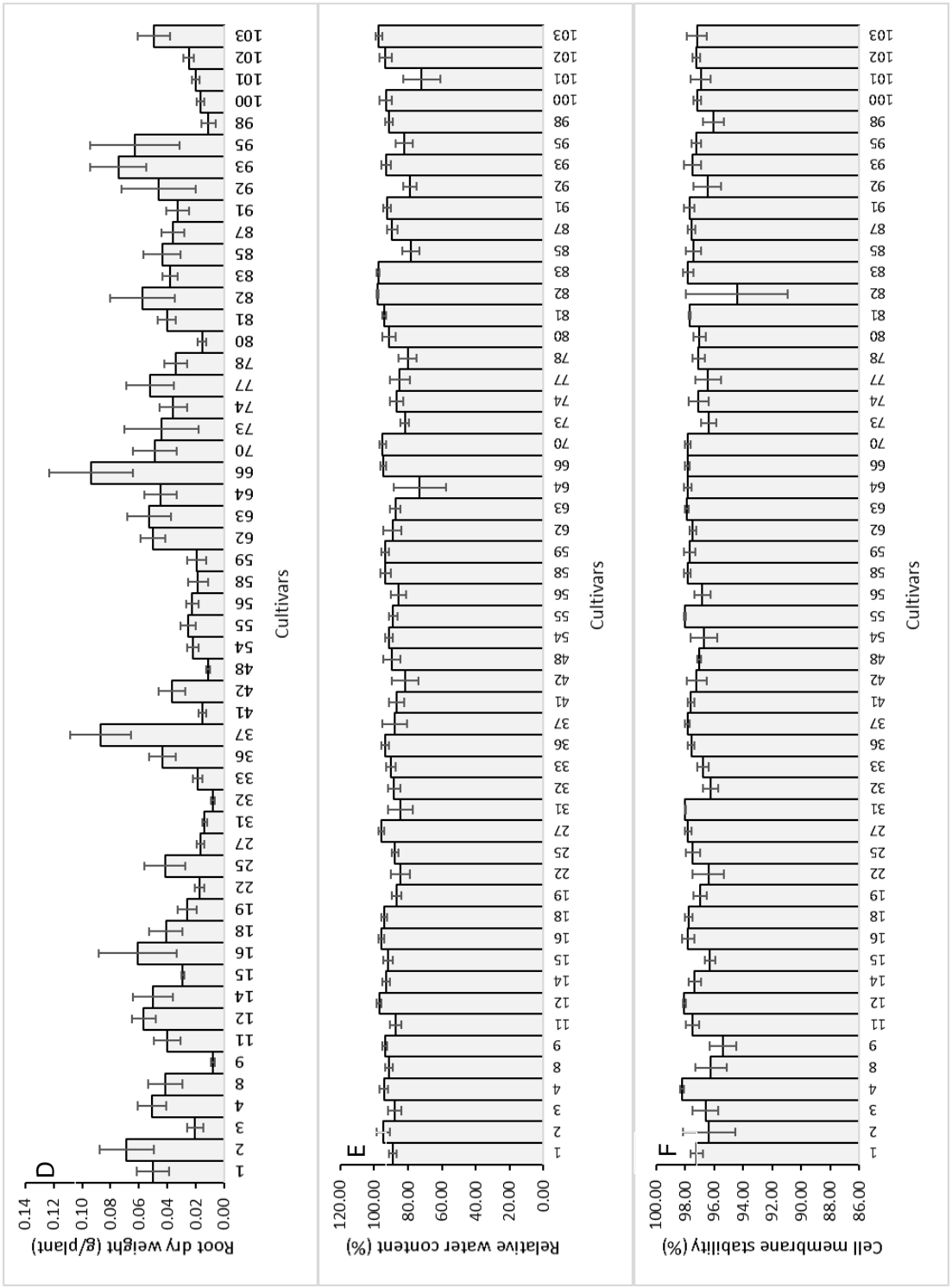
ภาพที่ 4 แนวโน้มของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 ds/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1



ภาพที่ 5 แนวโน้มของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 ds/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1



ภาพที่ 6 น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 1

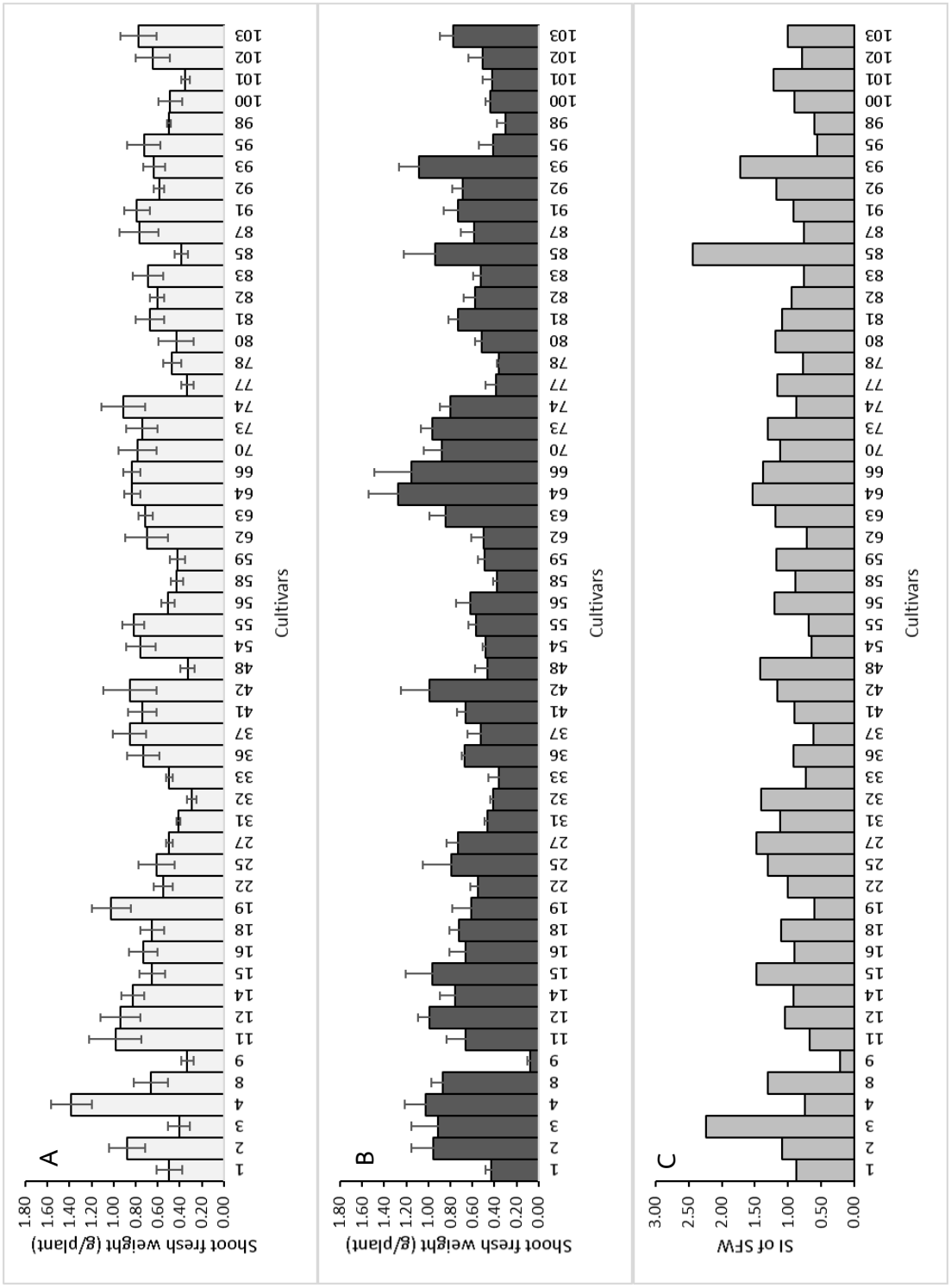


ภาพที่ 6 (ต่อ) น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 1

จากผลการศึกษาค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากของต้นกล้าข้าว ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 6A – 6F) พบว่า ค่าเริ่มต้นทุกค่ามีการตอบสนองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มประชากรข้าวที่ทดสอบ ยกเว้นค่าน้ำหนักแห้งต้นและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ในกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 6A) จะพบว่าข้าวพันธุ์หลวงประทาน (หมายเลข 4) มีค่าน้ำหนักสดต้นที่สูงที่สุดแยกจากทุกพันธุ์ในกลุ่มประชากร คือ 0.7964 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข1 (9) ไข่มดริ้น (32) และ ป้องแอ้ว (98) เป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.0637 0.0645 และ 0.0644 กรัม ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้นในประชากรมีค่าเท่ากับ 0.2535 กรัม

สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดราก (ภาพที่ 6B) ข้าวพันธุ์ดอสามเดือน (16) มีค่าน้ำหนักสดรากเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.4977 กรัม และข้าวพันธุ์กข1 (9) ยังคงมีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดเช่นเดียวกับน้ำหนักสดต้น คือ 0.0618 กรัม โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดรากในกลุ่มประชากรข้าว มีค่าเท่ากับ 0.2404 กรัม ในส่วนค่าน้ำหนักแห้งต้น (ภาพที่ 6C) มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งต้นของประชากรเท่ากับ 0.0402 กรัม และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่ 6D) พบว่ามีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.0375 กรัม โดยมีข้าวพันธุ์เจ้าขาว (66) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในประชากรเท่ากับ 0.0295 กรัม ในขณะที่พันธุ์ กข1 (9) และ ไข่มดริ้น (32) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากต่ำที่สุดในประชากรเท่ากับ 0.0078 กรัม และ 0.0081 กรัมตามลำดับ

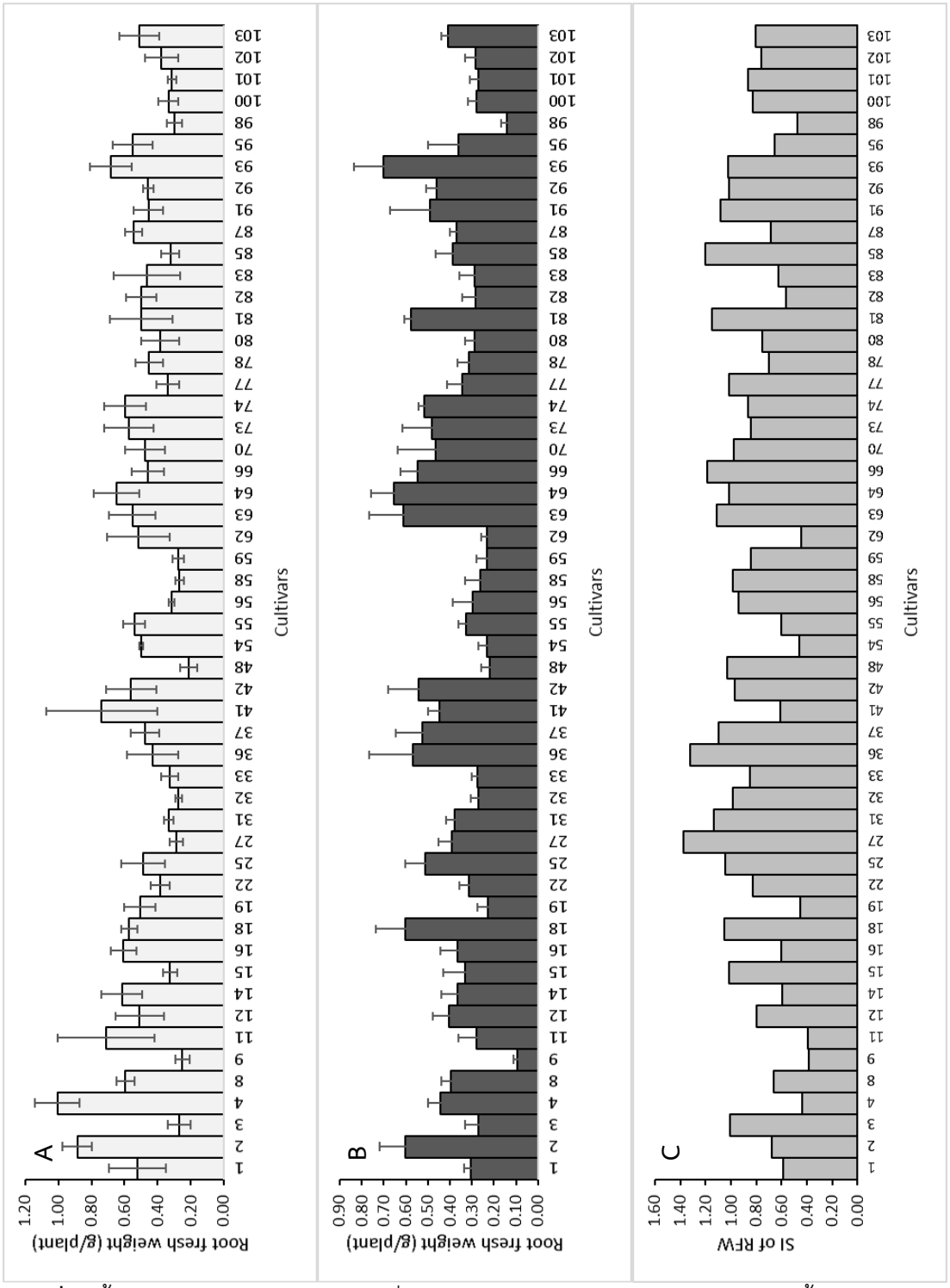
ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชของต้นกล้าข้าว (ภาพที่ 6E) มีค่าเฉลี่ยของประชากรข้าว คือ 89.35 % โดยค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์จะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ 80% – 95 % แต่จะมีข้าวบางพันธุ์ได้แก่ ขาวก้นจุด (64) และ Pokkali (101) ที่มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 73.12% และ 71.88 % ตามลำดับ และในส่วนของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่ 6F) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มประชากร ซึ่งค่าในกลุ่มประชากร จะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงระหว่าง 95%–99% โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์เท่ากับ 97.18 %



ภาพที่ 7 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้น (C) ในชุดการทดลองที่ 1

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดต้นต่อการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วันในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 7A - ภาพที่ 7C) พบว่า ในภาวะปกติของต้นกล้าข้าวที่ไม่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มมีค่าเฉลี่ยเริ่มต้นที่แตกต่างในกลุ่มประชากรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 7A) โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักสดต้นในประชากรเท่ากับ 0.6532 กรัม ข้าวพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นมากที่สุด คือ ข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) ที่มีน้ำหนักสดต้นเฉลี่ย 1.3818 กรัม สำหรับข้าวพันธุ์ไข่มดริ้น (32) มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นที่น้อยที่สุดในประชากร คือ 0.2926 กรัม เมื่อข้าวในชุดการทดลองที่ 1 ได้รับความเครียดจากภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 3 (ภาพที่ 7B) พบว่ามีค่าน้ำหนักสดต้นในกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกันกับประชากรข้าวที่ได้รับภาวะได้รับความเครียดจากความเค็ม โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้นในประชากรข้าวมีค่าเท่ากับ 0.6640 กรัม และข้าวพันธุ์ขาวก้นจุด (64) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นที่มากที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 1.2713 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข1 (9) เป็นพันธุ์ที่มีมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นที่น้อยที่สุด คือ 0.0724 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่ 7C) พบว่า ค่าโดยรวมของประชากรส่วนใหญ่ มีค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดต้นในช่วงประมาณ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังจากพืชได้รับค่าภาวะความเค็มไป 3 วันข้าวในชุดการทดลองที่ 1 ยังสามารถรักษาน้ำหนักสดได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักแต่อย่างไรก็ตามยังมีข้าวบางพันธุ์ ที่เมื่อได้รับภาวะความเค็มมีน้ำหนักต้นที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวสุพรรณ (3) ดีสี่ (85) และ หมากน้ำ (93) ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพสูงมากกว่าปกติ โดยมีค่า 2.2376, 2.4388 และ 1.7207 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์กข 1 (9) เมื่อได้รับภาวะความเค็มเพียงสามวัน มีการแสดงอาการอ่อนแอเค็มมากที่สุดในประชากรข้าว โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.2173

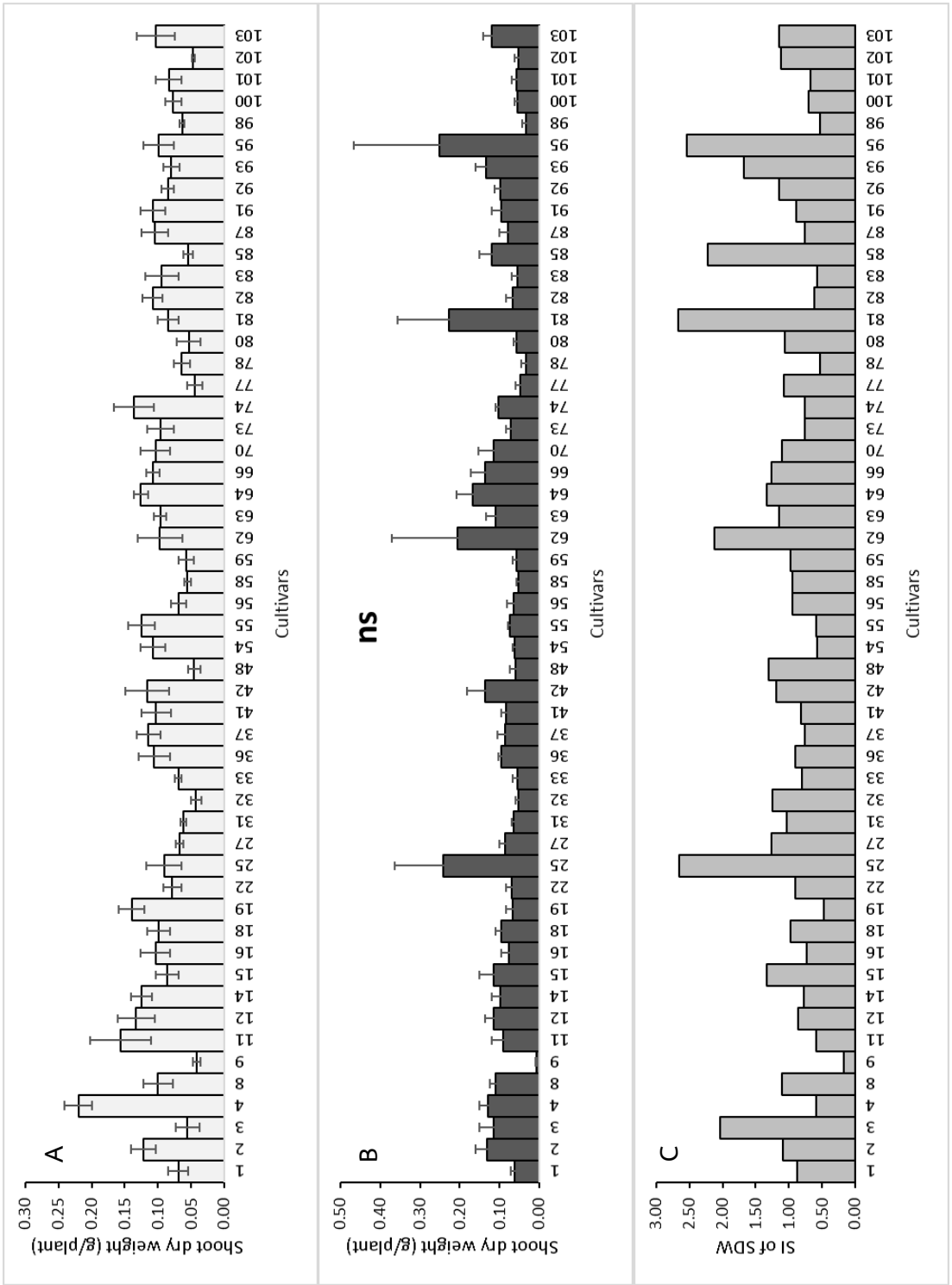
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 8 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดราก (C) ในชุดการทดลองที่ 1

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดรากของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วันในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 8A) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.4733 กรัม โดยข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงที่สุดในประชากร (1.0067 กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์หางหยี71 (48) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากต่ำที่สุดในประชากร (0.2131 กรัม) สำหรับประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่ 8B) พบว่ามีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.3819 กรัม ซึ่งลดลงจากข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วันประมาณ 24% โดยที่ข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) และเจ้าขาว (66) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงที่สุดในประชากร (0.4432 กรัม และ 0.5466 กรัมตามลำดับ) ในขณะที่พันธุ์ไข่มดริ้น (32) และ พันธุ์หางหยี71 (48) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากต่ำที่สุดในประชากร (0.2689 และ 0.2194 กรัมตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองกลุ่มประชากร (ภาพที่ 8C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีเสถียรภาพที่ลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน แต่ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่การเจริญของน้ำหนักแห้งรากตอบสนองสูงขึ้น โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพใกล้เคียง 1 หรือ เกินจากค่า 1 เล็กน้อย ได้แก่ข้าวพันธุ์ขาวสุพรรณ (3) เก้ารวง (27) ปิ่นแก้ว (31) มะยม (36) เจ้าขาว (66) พลายงามปราจีนบุรี (81) และดีสี่ (85) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.0074 1.3727 1.1380 1.3189 1.1865 1.1532 และ 1.2029 ตามลำดับ

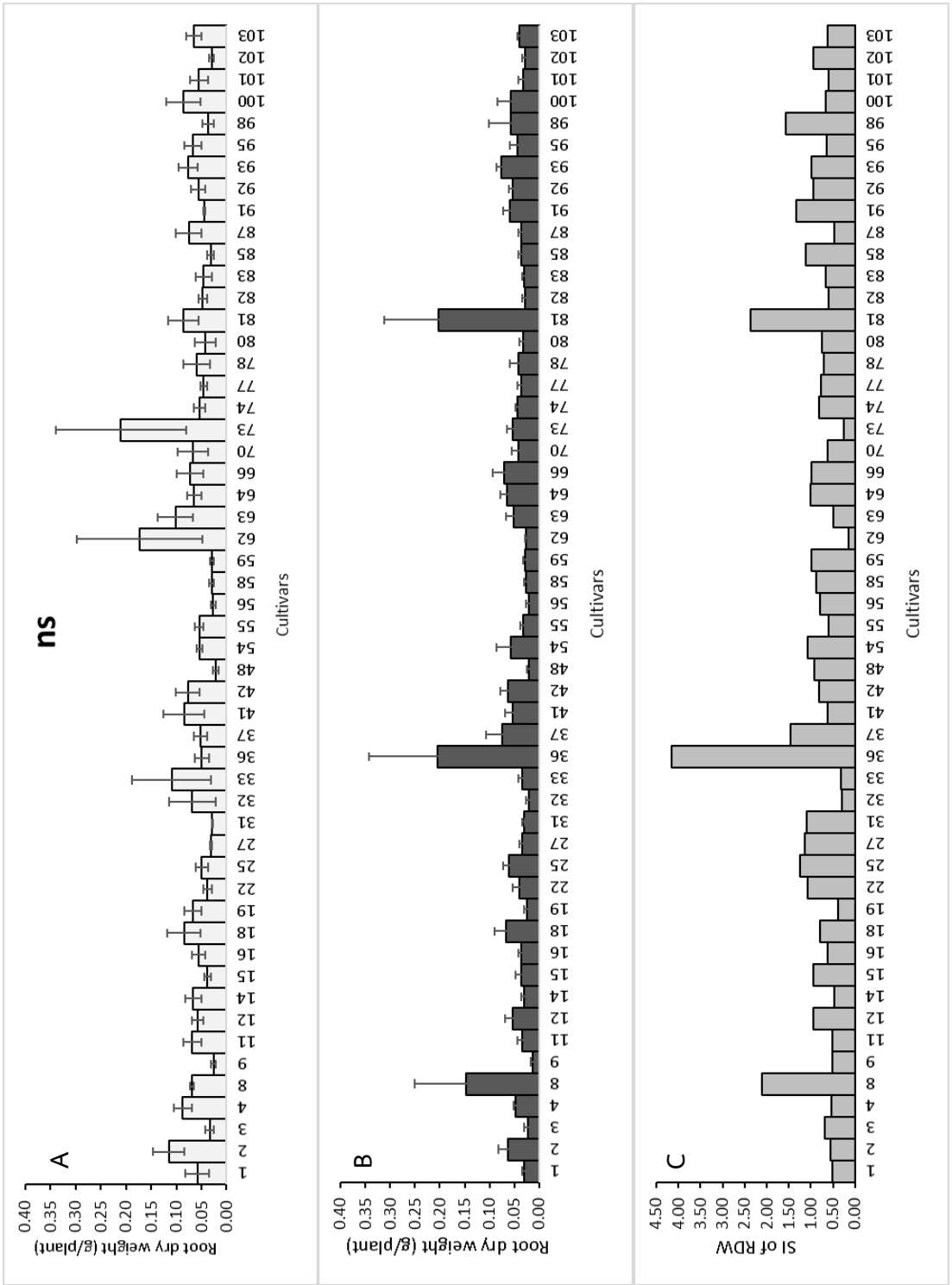
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 9 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้น (C) ในชุดการทดลองที่ 1

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งต้นของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วัน ในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 9A) พบว่าค่าเฉลี่ยในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.0919 กรัม โดยข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) ยังคงเป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในประชากร (0.2196 กรัม) เช่นเดียวกับค่าที่อยู่ในประชากรน้ำหนักสดต้น ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข1 (9) ไข่มดริ้น (32) หางหยี71 (48) ชัยนาท1 (77) และ IR29 (102) เป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นต่ำที่สุดในประชากร (0.0416 0.0426 0.0451 0.0445 และ 0.0465 กรัม ตามลำดับ) สำหรับประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่ 9B) พบว่า ค่าในกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.0950 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของทั้งสองกลุ่มประชากร (ภาพที่ 9C) พบว่าข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นที่ลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน แต่อย่างไรก็ดี ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่การเจริญของน้ำหนักแห้งต้นตอบสนองสูงขึ้นแยกออกจากข้าวพันธุ์อื่นในประชากรได้อย่างเด่นชัด โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพใกล้เคียง 1 หรือ เกินจากค่า 1 ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวสุพรรณ (3) อีมุม (25) พวงหนัก (62) พลายงามปราจีนบุรี (81) ดีสี่ (85) และอีขาวใหญ่ (95) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งต้นเท่ากับ 2.0359 2.6520 2.1196 2.6718 2.2167 และ 2.5462 ตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์กข1 (9) เป็นพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.1755

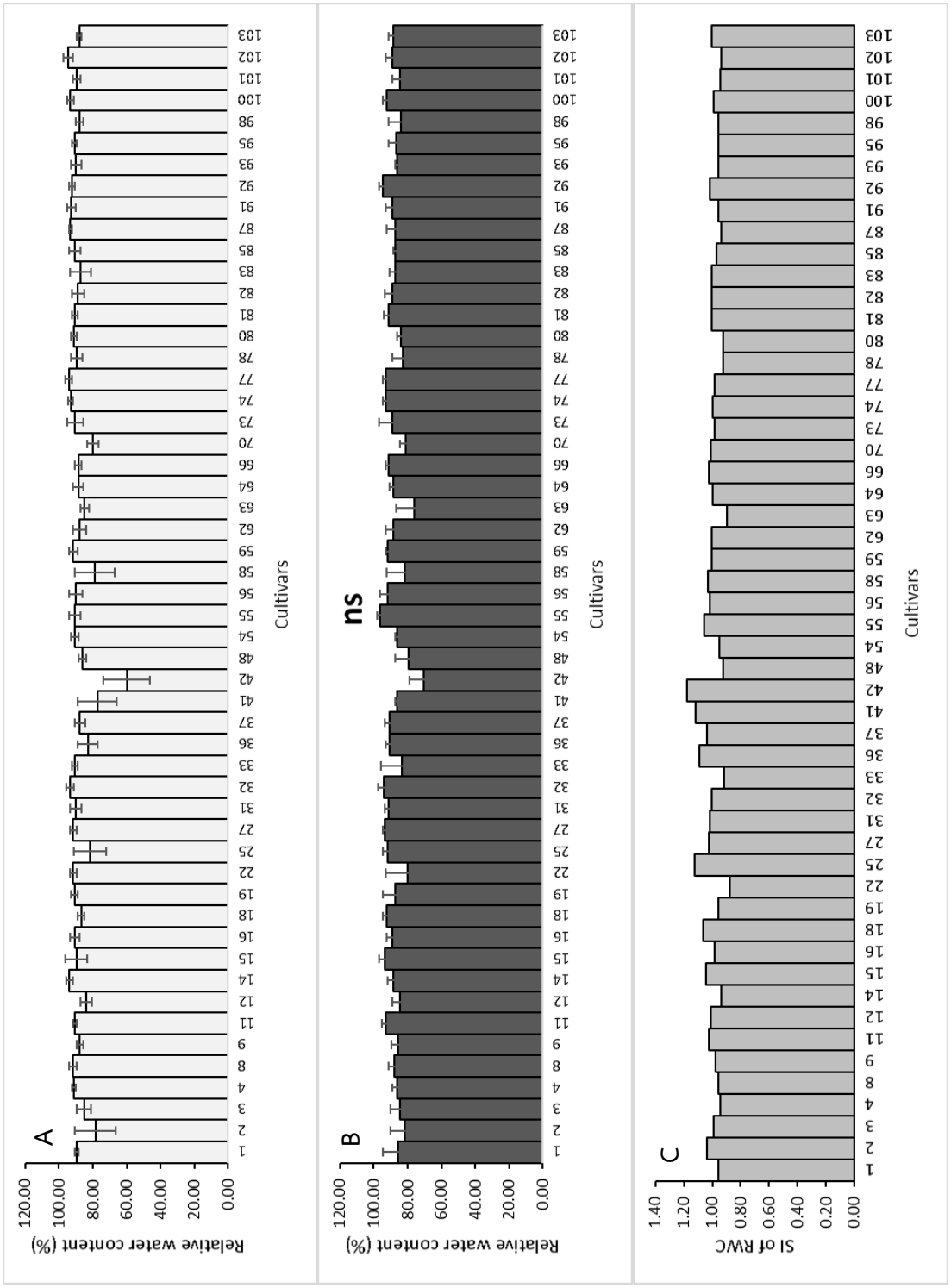
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 10 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งรากของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วัน ในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 10A) พบว่าค่าน้ำหนักแห้งรากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มประชากร แต่อย่างไรก็ตามแม้ค่าในประชากรจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีข้าวบางพันธุ์ที่ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ พันธุ์พวงหนัก (62) (0.1726 กรัม) และทองรากไทร (73) (0.2101 กรัม) โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.0626 กรัม สำหรับประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่10B) พบว่ามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.0501 กรัม ซึ่งลดลงจากข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วันประมาณ 25% โดยที่ข้าวพันธุ์มะยม (36) และพลายงามปราจีนบุรี (81) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในประชากร (0.2046 กรัม และ 0.2035 กรัม ตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองกลุ่มประชากร (ภาพที่ 10C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากรโดยภาพรวมมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วันอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 50% แต่ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่การเจริญของน้ำหนักแห้งรากตอบสนองสูงขึ้นโดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพมากกว่า 2 ได้แก่ ข้าวพันธุ์ เหลืองพวงทอง (8) มะยม (36) และพลายงามปราจีนบุรี (81) (2.1065 4.1501 และ 2.3690 ตามลำดับ)

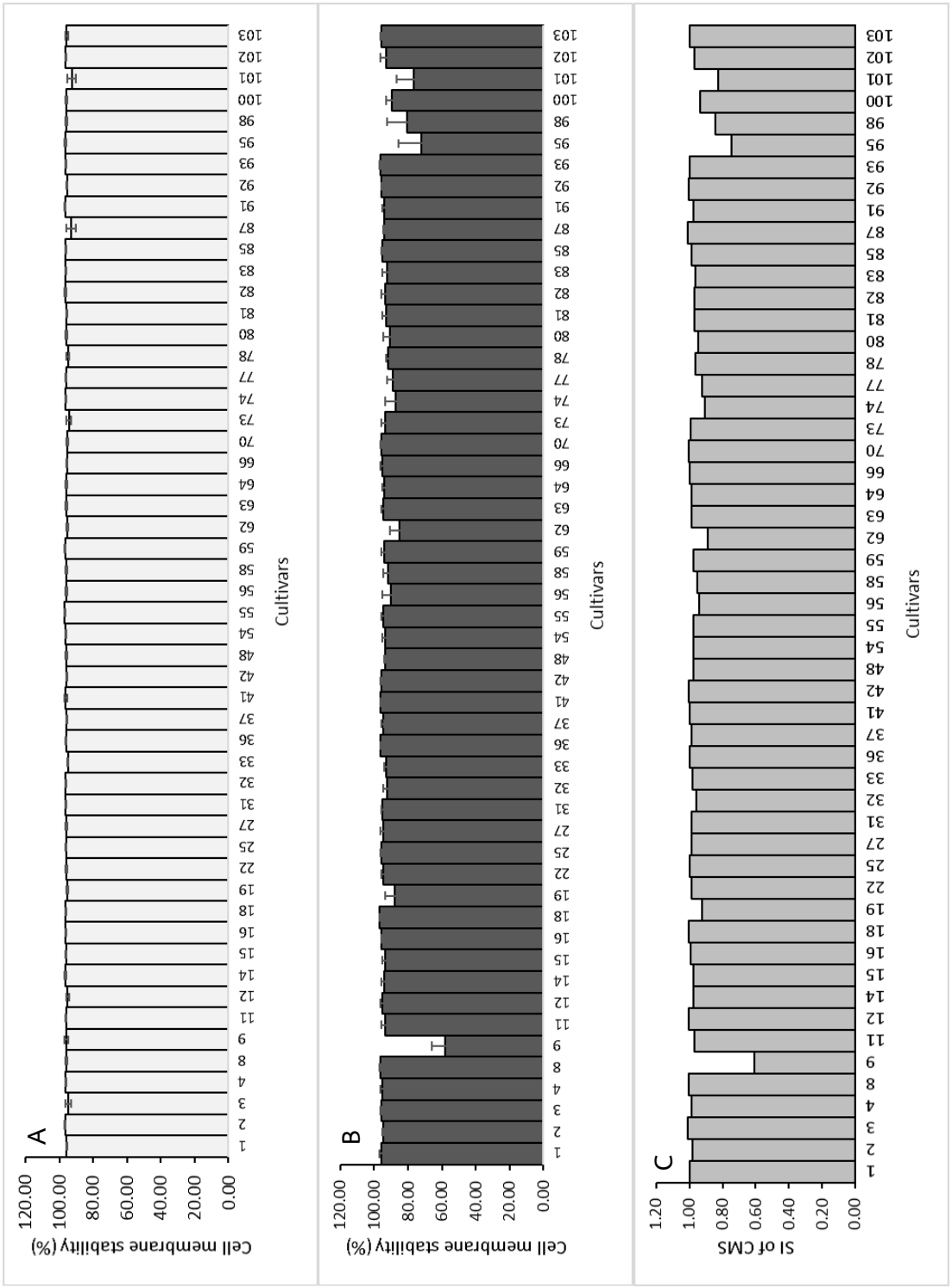
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

ผลการศึกษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ 17 วัน (ภาพที่ 11A) และภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่ 11B) พบว่า ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบในทั้งสองกลุ่มประชากร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยข้าวที่เติบโตในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 88.42% และค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในกลุ่มประชากรส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 80% - 100% แต่อย่างไรก็ตาม มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกล้าข้าวบางพันธุ์ที่ค่าเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าค่าปกติแยกจากกลุ่มประชากร ได้แก่ พันธุ์ขาวตาแห้ง17 (41) และหมากยม (42) ทีมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 77.50% และ 59.86% ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 87.61% ซึ่งค่าเฉลี่ยโดยภาพรวม มีค่าลดลงจากภาวะปกติใกล้เคียงกันทั้งประชากรโดยลดลงจากค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบที่เติบโตในภาวะปกติประมาณโดยที่พันธุ์ 2% และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (ภาพที่ 11C) พบว่า ค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียง 1 แต่จะมีบางพันธุ์เท่านั้น ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพสูงขึ้นจากค่า 1เพียงเล็กน้อย จากภาพรวมดังกล่าว เมื่อข้าวในประชากรชุดการทดลองที่ 1 ได้รับภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้พืชทั้งประชากรเกิดความเครียดจนแยกความแตกต่างได้

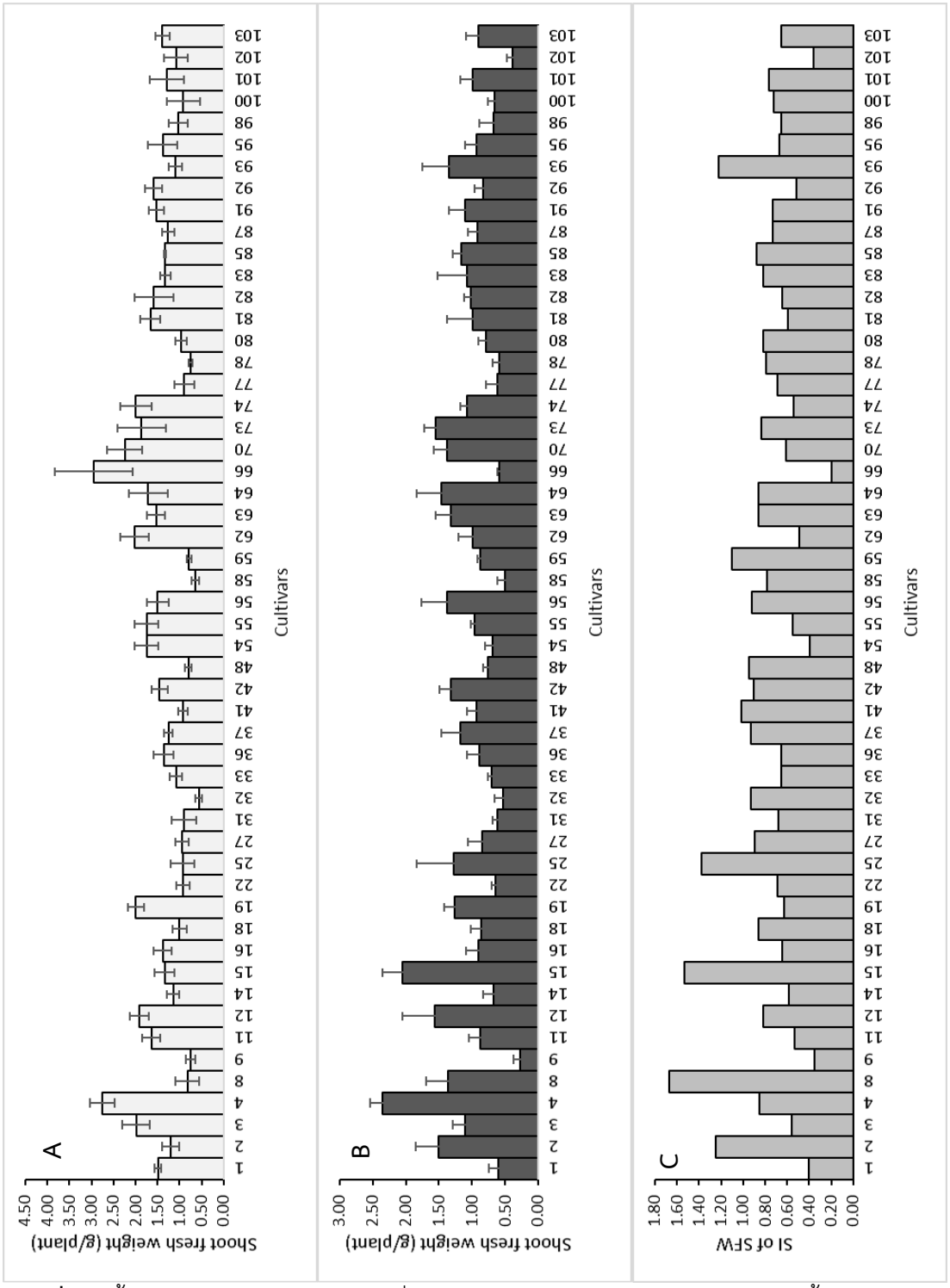
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 12 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

จากผลการศึกษาค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (ภาพที่ 12A) และที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วันในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 12B) พบว่าค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองกลุ่มประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 95.82% และ 92.06% ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ในภาวะเครียดจากความเค็มลดลงเพียงเล็กน้อยจากข้าวที่ปลูกในภาวะปกติ สำหรับค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ มีข้าวพันธุ์จุดมอญ (55) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในประชากร (96.88%) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ต่ำที่สุดในประชากร (92.68%) แต่ในภาพรวมค่าในประชากรยังคงใกล้เคียงกันและมีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์อยู่ในช่วง 90% - 100% สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็ม เป็นระยะเวลา 3 วัน ข้าวพันธุ์กข1 (9) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ต่ำที่สุดในประชากรแยกออกจากพันธุ์อื่นในประชากรได้อย่างชัดเจน (58.18%) ในขณะที่ข้าวพันธุ์อื่น ๆ ยังมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 90% - 100% และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่ 12C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่สามารถรักษาเสถียรภาพได้ค่อนข้างดีเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน โดยค่าส่วนใหญ่ในประชากรมีค่าประมาณ 1 หรือมากกว่า 1 เล็กน้อย ยกเว้นข้าวพันธุ์กข1 (9) เป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพต่ำที่สุดเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็มผ่านไป 3 วันเท่านั้น โดยมีค่าเท่ากับ 0.6071

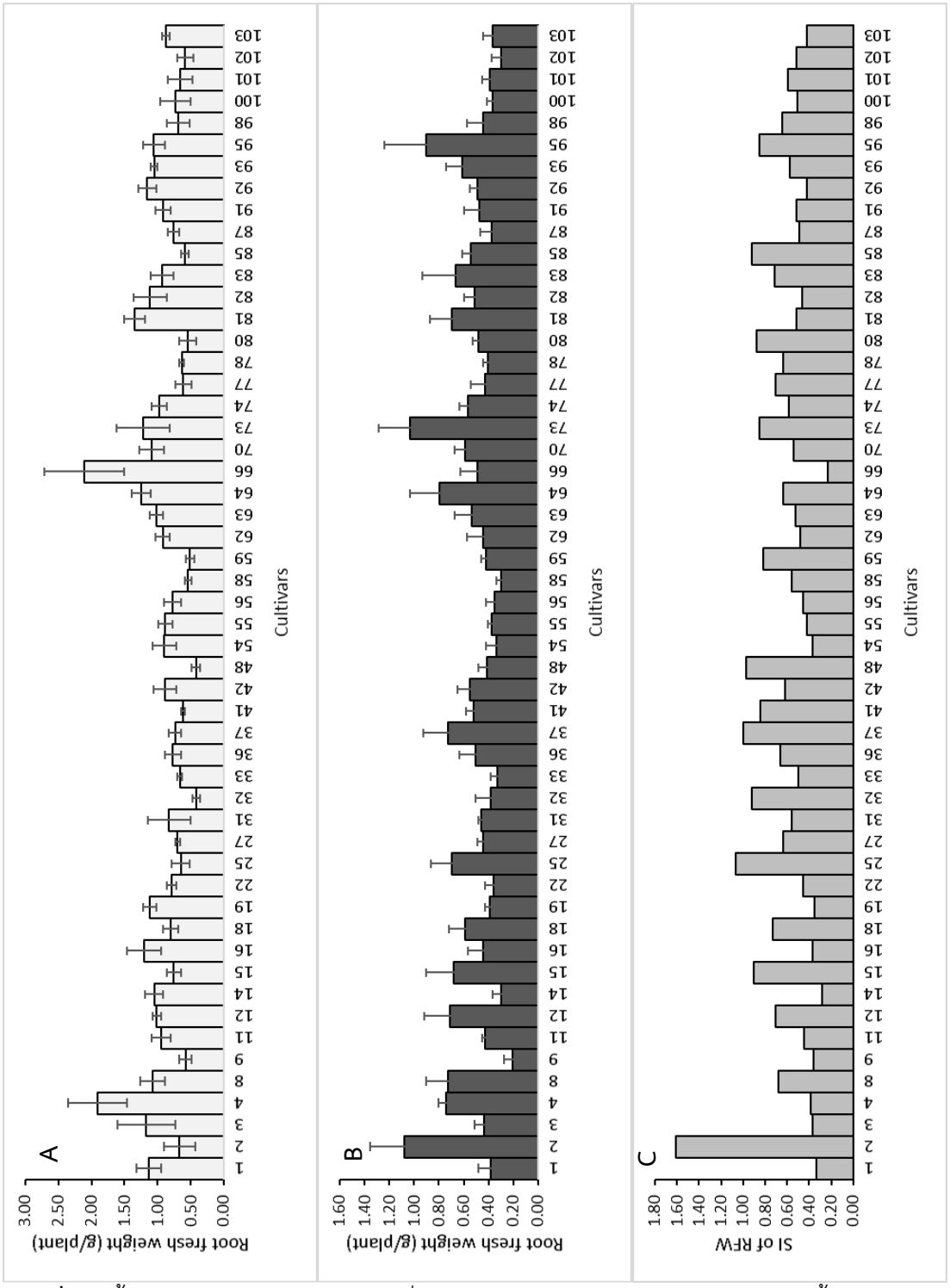
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 13 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดต้นต่อการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันในชุดการทดลองที่1 (ภาพที่ 13A) พบว่า ในภาวะปกติ ต้นกล้าที่ไม่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มมีค่าเริ่มต้นที่แตกต่างในกลุ่มประชากรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักสดต้นในประชากรเท่ากับ 1.3657 กรัม ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วัน 109% และข้าวพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นมากที่สุด คือ ข้าวพันธุ์เจ้าขาว (66) ที่มีน้ำหนักสดต้นเฉลี่ย 2.9486 กรัม ตามด้วยข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นเฉลี่ยเท่ากับ 2.7520 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไข่มดริ้น (32) มีน้ำหนักสดต้นที่น้อยที่สุดในประชากร คือ 0.5648 กรัม สำหรับค่าน้ำหนักสดต้นที่ได้รับความเครียดจากภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน (ภาพที่ 13B) พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นในกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้นในประชากรข้าวมีค่าเท่ากับ 0.9960 กรัม ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน ประมาณ 50% โดยที่ข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) มีค่าน้ำหนักสดต้นที่มากที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 2.3458 กรัม ตามด้วยพันธุ์ประทานบ้านบุ้ง (15) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นรองลงมา คือ 2.0536 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข1 (9) ยังคงมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นที่น้อยที่สุด คือ 0.2640 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่ 13C) พบว่า ค่าโดยรวมของประชากรส่วนใหญ่มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลงต่ำกว่า 1 แต่ทั้งนี้ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่มีดัชนีเสถียรภาพสูงขึ้นต่างจากกลุ่มประชากรได้อย่างเด่นชัด ได้แก่ พันธุ์เขียวหางม้า (2) เหลืองพวงทอง (8) ประทานบ้านบุ้ง (15) อีมุม (25) และหมากน้ำ (93) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.2478 1.6726 1.5295 1.3780 และ 1.2202 ตามลำดับ

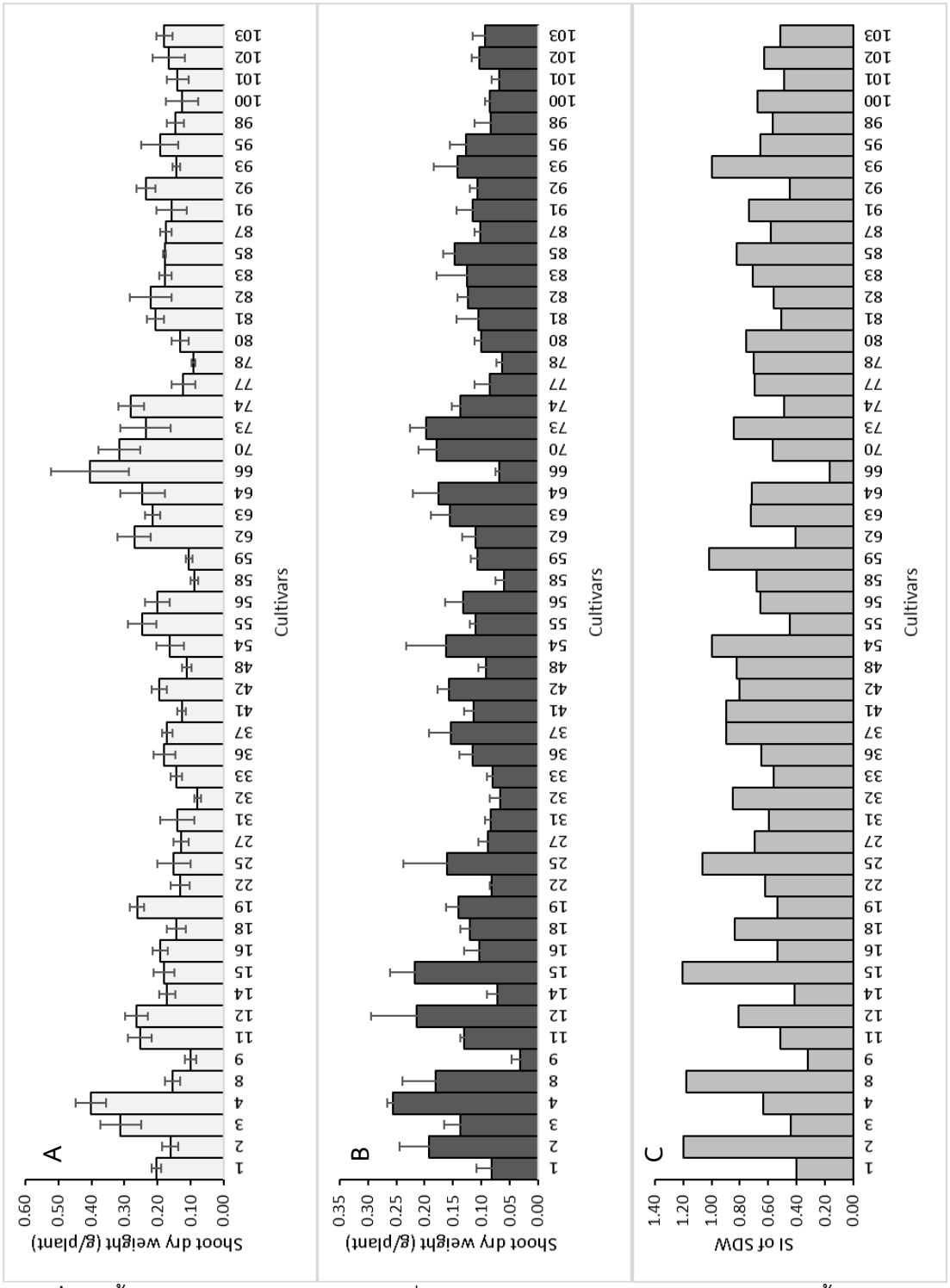
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 14 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดรากที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 20 วัน (ภาพที่ 14A) และภาวะได้รับความเครียดจากความเค็ม 6 วันในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 14B) พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองกลุ่มประชากร สำหรับประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากมีค่าเท่ากับ 0.8926 กรัมโดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วัน ประมาณ 88.59% โดยข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) และเจ้าขาว (66) เป็นข้าวสองพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดรากสูงที่สุดแยกออกจากพันธุ์อื่นในกลุ่มประชากร โดยมีค่าน้ำหนักสดรากเท่ากับ 1.9097 กรัม และ 2.1071 กรัมตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไข่มดริ้น (32) และหางหยี71 (48) มีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.4171 กรัมและ 0.4202 กรัม ตามลำดับ สำหรับกลุ่มต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าโดยภาพรวมของค่าน้ำหนักสดราก มีค่าลดลงจากค่าในภาวะปกติอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 40 % โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของประชากรเท่ากับ 0.3819 ซึ่งข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) และเจ้าขาว (66) มีค่าน้ำหนักสดรากเฉลี่ยมากที่สุดในประชากรคือ 0.4432 กรัมและ 0.5466 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไข่มดริ้น (32) และหางหยี71 (48) มีค่าน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในประชากร เท่ากับ 0.2689 และ 0.2194 กรัมตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดรากแล้ว (ภาพที่ 14C) พบว่า โดยภาพรวมของต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็มมีน้ำหนักสดรากต่ำกว่ากลุ่มต้นกล้าที่ปลูกในภาวะปกติทำให้มีดัชนีเสถียรภาพน้อยกว่า 1 แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้าวบางพันธุ์ที่มีน้ำหนักสดรากสูงขึ้นในภาวะเค็มแม้เวลาจะผ่านไปเป็นระยะเวลา 6 วันแยกออกจากพันธุ์อื่นได้ชัดเจนในกลุ่มประชากร ได้แก่ พันธุ์เขียวหางม้า (2) ซึ่งมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.6120

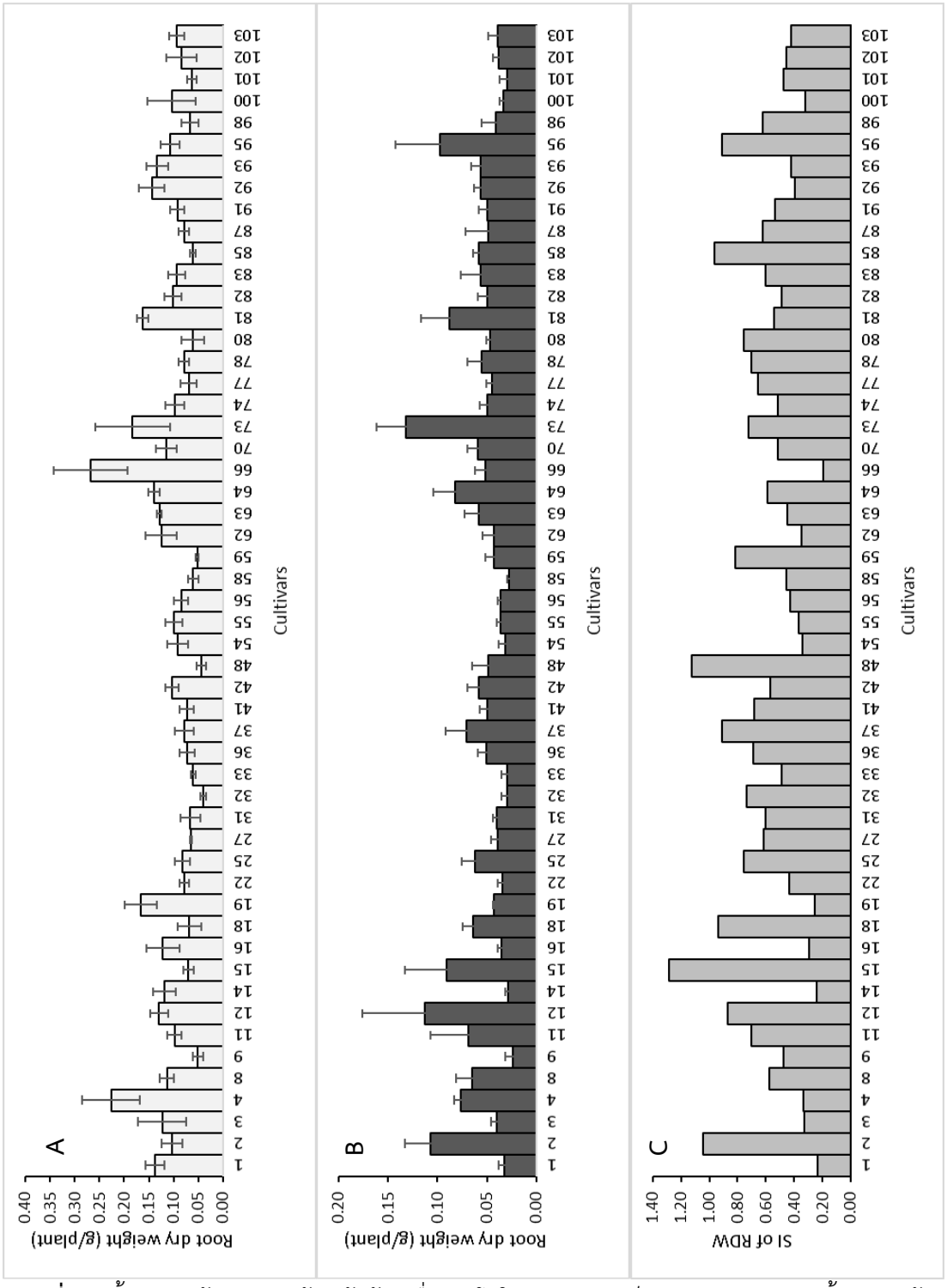
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 15 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

จากผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่ 15A) พบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.1871 กรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วันประมาณ 104% โดยข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) และ เจ้าขาว (66) มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในประชากร คือ 0.4022 กรัม และ 0.4055 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไข่มดริ้น (32) เป็นพันธุ์ข้าวที่มีน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0789 กรัม สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นในประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน (ภาพที่ 15B) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกันโดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.1217 กรัม และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยประชากรข้าวในช่วงเวลาที่ได้รับความเครียดจากความเค็ม 17 วันประมาณ 28.24% ซึ่งพันธุ์หลวงประทาน (4) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดคือ 0.2557 กรัม ในขณะที่พันธุ์ 0.0316 ยังคงเป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0316 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งต้นในทั้งสองภาวะ (ภาพที่ 15C) พบว่า ในภาพรวมแล้ว ข้าวทั้งประชากรมีชีวมวลต้นที่ต่ำกว่าต้นที่อยู่ในภาวะปกติ โดยค่าประชากรส่วนใหญ่มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่น้อยกว่า 1 แต่ก็ยังคงมีข้าวบางพันธุ์ที่ยังรักษาสภาพชีวมวลต้นได้ดีโดยมีค่าสูงมากกว่า 1 เล็กน้อยได้แก่ พันธุ์เขียวหางม้า (2) เหลืองพวงทอง (8) ประทานบ้านบุ้ง (15) อีมุม (25) และขาวกอเดียว (59) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.1954 1.1751 1.2069 1.0663 และ 1.0200 ตามลำดับ

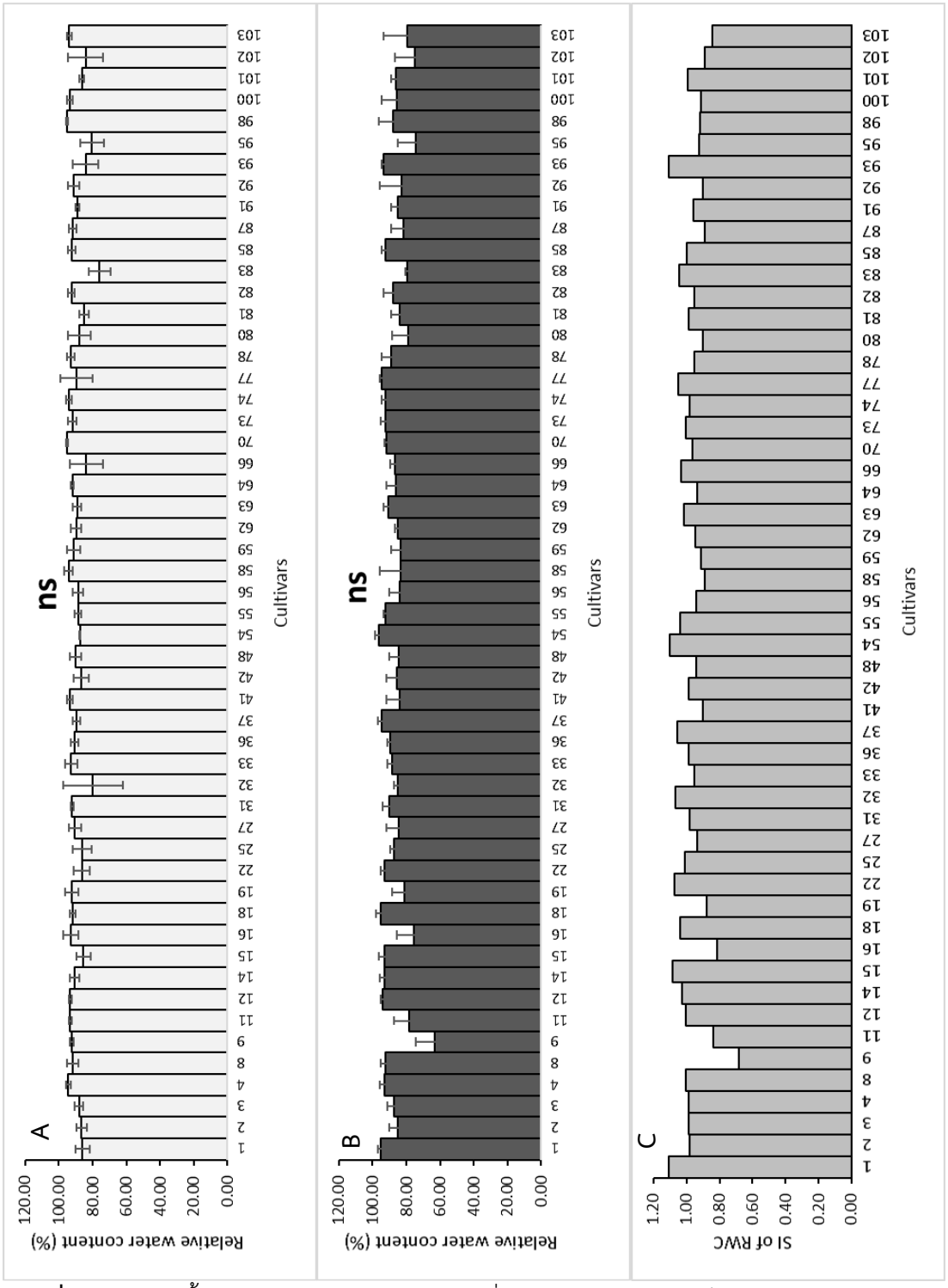
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 16 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่ 16A) และเมื่อได้รับภาวะความเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 16B) พบว่า ข้าวทั้งสองกลุ่มประชากรมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรากของประชากรเท่ากับ 0.1001 กรัม และมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยชีวมวลจากกลุ่มประชากรต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน ประมาณ 66 % โดยมีพันธุ์หลวงประทาน (4) และ พันธุ์เจ้าขาว (66) ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากมากที่สุดแยกชัดเจนออกจากกลุ่มประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2263 กรัม และ 0.2675 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ ข้าวพันธุ์ (32) เป็นข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรากน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0402 กรัม สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 0.0536 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากช่วงเวลาที่แล้วประมาณ 7.2% เท่านั้น ซึ่งข้าวพันธุ์ทองรากไทร (73) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดและแยกออกจากกลุ่มประชากรได้เด่นชัด โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 0.1323 กรัม ในขณะที่พันธุ์กข1 (9) และพวงทอง (14) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุดในประชากรคือ 0.0239 กรัม และ 0.0283 กรัม ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่ 16C) พบว่า ค่าทั้งหมดของกลุ่มประชากรข้าวเริ่มลดลงกว่าค่า 1 และอยู่ในช่วง 0.2 - 0.6 หรือประมาณ 50 % ของการได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 3 วัน จากค่าโดยรวมค่อนข้างชี้ให้เห็นว่าข้าวส่วนใหญ่ในประชากรเริ่มเกิดภาวะเครียดโดยสมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้าวบางพันธุ์ที่สามารถรักษาเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งรากได้ดีที่สุด โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพมากกว่า 1 ได้แก่ พันธุ์เขียวหางม้า (2) ประทานบ้านบุ้ง (15) และ หางหยี71 (48) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.0428 1.2855 และ 1.1216 ตามลำดับ

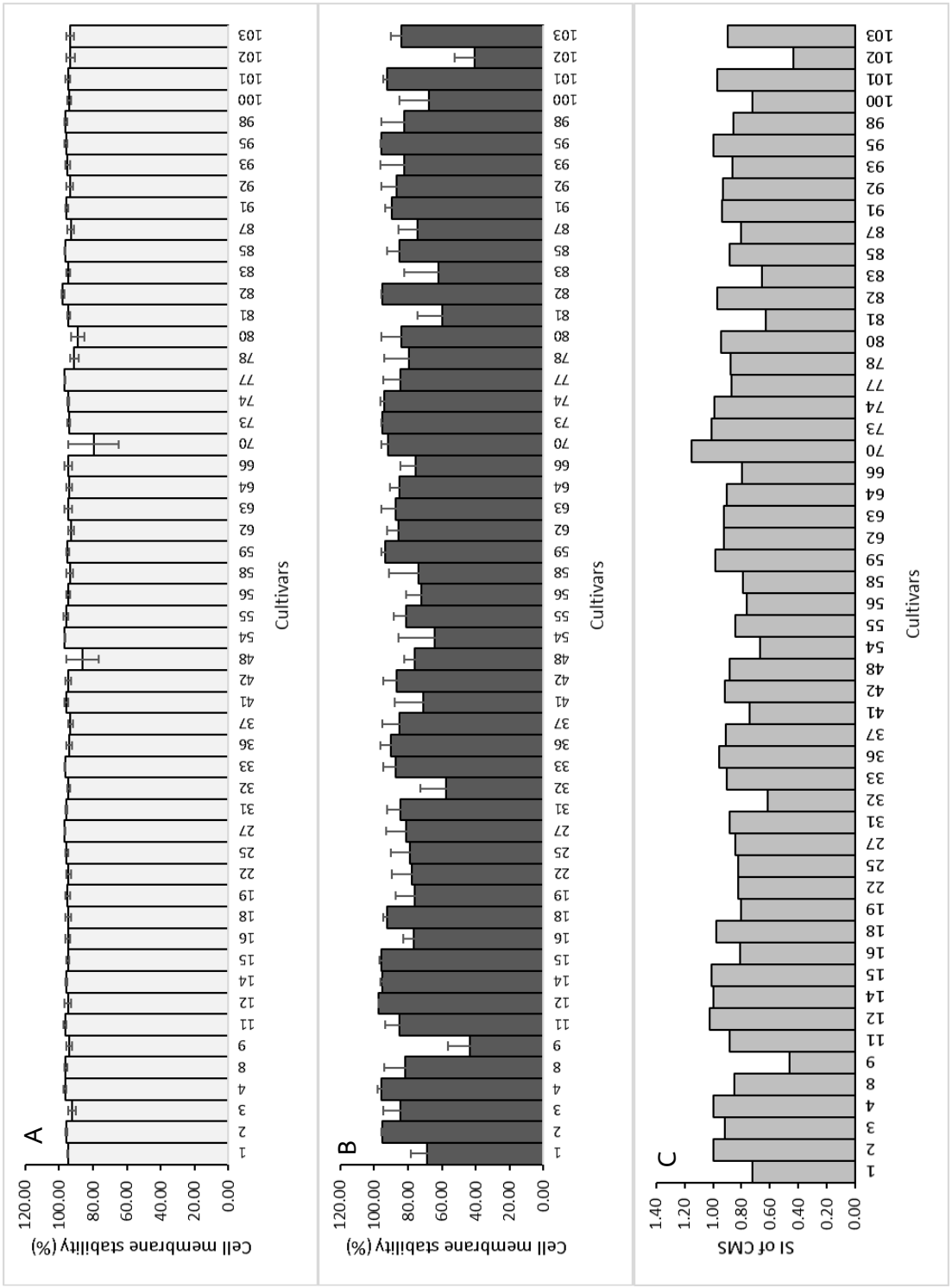
Chulalongkorn University



ภาพที่ 17 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

จากผลการศึกษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่ 17A) และเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (ภาพที่ 17B) ในชุดการทดลองที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยในทั้งสองกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกลุ่มประชากรแรก มีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 89.66% โดยจะพบว่า ค่าในกลุ่มประชากรมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ 80% – 100% สำหรับในประชากรที่สอง พบว่ามีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเท่ากับ 86.70% ซึ่งลดลงเพียงเล็กน้อยจากค่าเฉลี่ยประชากรที่เติบโตในภาวะปกติ แต่ทั้งนี้ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่มีการตอบสนองต่อการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบค่อนข้างชัดเจน แยกเด่นชัดออกจากพันธุ์อื่นในประชากร ได้แก่ พันธุ์กข1 (9) และ ดอสามเดือน (16) ที่มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพียงแค่ 63.13% และ 75.69% เท่านั้น และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว (ภาพที่ 17C) พบว่าค่าโดยรวมในประชากร สามารถรักษาเสถียรภาพได้ค่อนข้างดี เปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม โดยค่าส่วนใหญ่ในประชากรมีค่าใกล้เคียง 1 โดยมีเพียงข้าวพันธุ์ กข1 เท่านั้นที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยกว่า 0.8

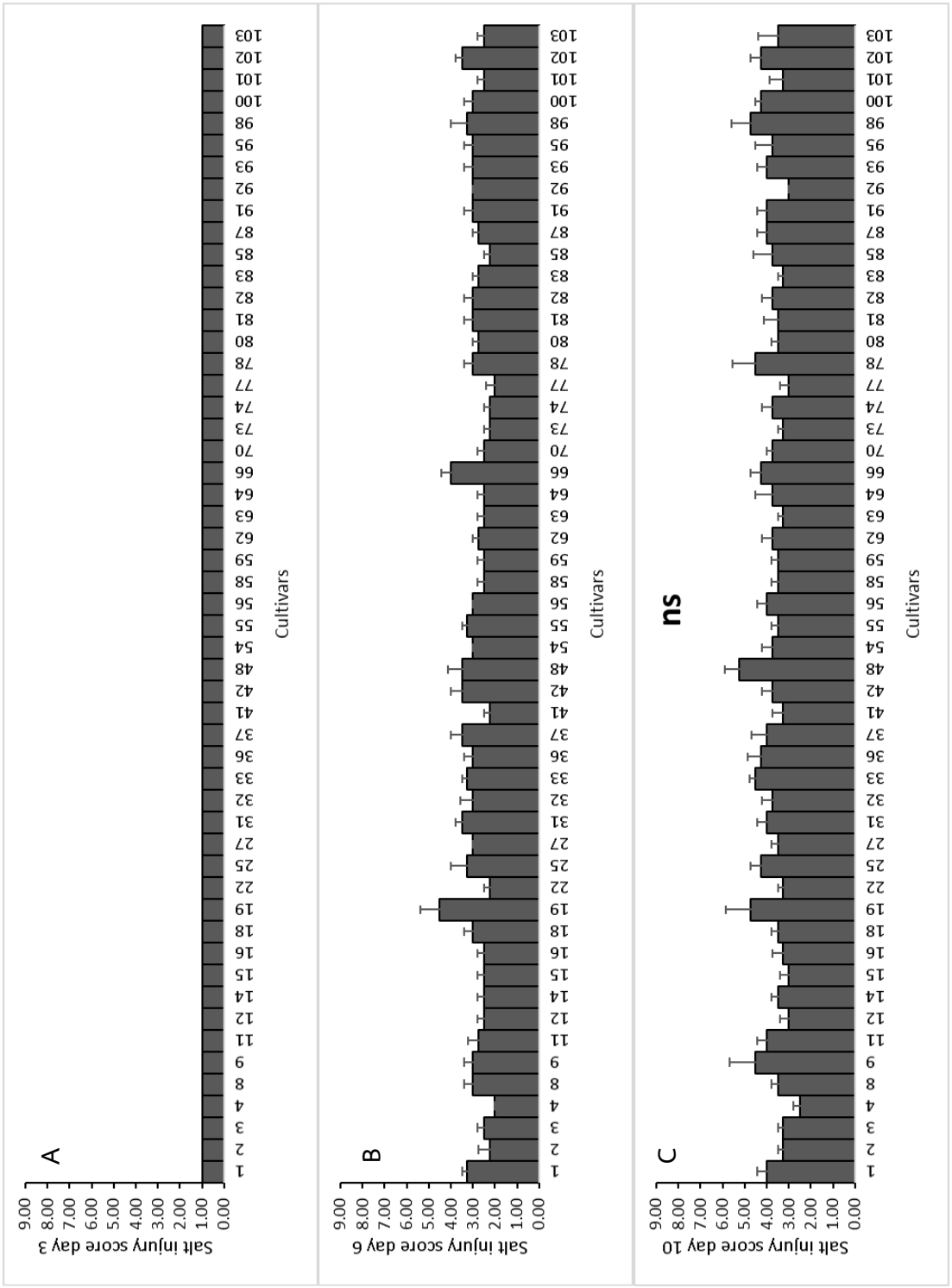
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 18 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 1

จากผลการศึกษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติ (ภาพที่ 18A) และภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน (ภาพที่ 18B) ในชุดการทดลองที่ 1 พบว่าข้าวที่โตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม มีค่าเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งสองกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติถึงแม้จะมีค่าเฉลี่ยของประชากรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าโดยรวมแล้วมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 89% - 98% โดยมีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของกลุ่มประชากรเท่ากับ 94.34% สำหรับผลการศึกษาในภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ค่าโดยรวมของประชากรมีค่าลดลงจากภาวะเริ่มต้นหรือภาวะปกติ ประมาณ 15% โดยที่ข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) และ มันวัว (12) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์มากที่สุดคือ 96.04% และ 97.33% ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ IR29 (102) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์น้อยที่สุดในประชากรคือ 47.88% สำหรับในประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 6 วัน มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 81.32% และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่ 18C) พบว่า รูปแบบการเจริญมีความแตกต่างกันในกลุ่มประชากรโดยภาพรวมนั้น ข้าวในประชากรหลังจากได้รับภาวะเครียดจากความเค็มไปเป็นระยะเวลา 6 วัน มีค่าดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของประชากรเท่ากับ 0.8600

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



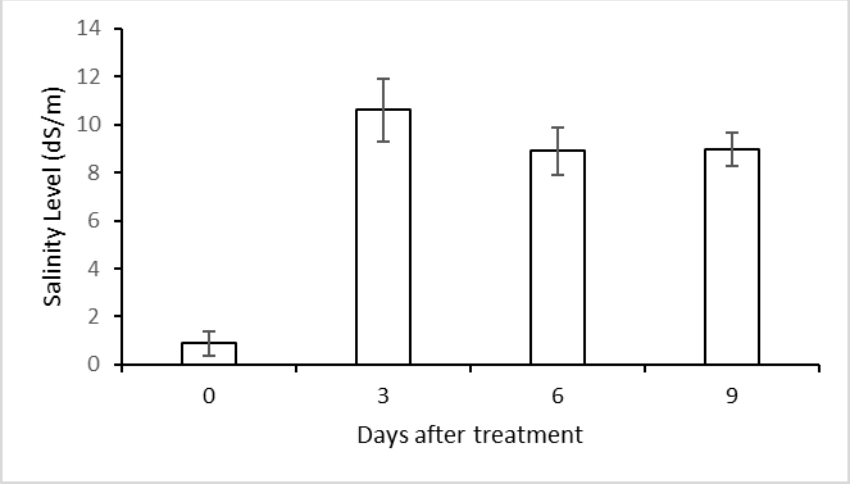
ภาพที่ 19 ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (A) 6 วัน (B) และ 10 วัน (C) ในชุดการทดลองที่ 1

ผลการศึกษาค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 1 ของกล้าข้าวอายุ 14 วันเมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 3, 6 และ 10 วัน (ภาพที่ 19A - ภาพที่19C) พบว่าเมื่อประชากรที่ต้นกล้าข้าวที่ได้รับภาวะความเครียดจากความเค็มไปได้ 3 วัน ค่าเฉลี่ยประชากรของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มยังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 1 ซึ่งโดยภาพรวมนั้น ข้าวยังไม่แสดงอาการเครียดจากภาวะเค็ม และเมื่อพิจารณาที่ประชากรข้าวที่ได้รับภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน ค่าเฉลี่ยค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มในประชากรเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 2.86 ซึ่งค่าเฉลี่ยค่าคะแนนในประชากรโดยภาพรวมนั้น มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่างค่าคะแนน 2-3 โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียหายต่ำที่สุดในประชากร คือ ข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) และชัยนาท1 (77) โดยมีค่าเฉลี่ยค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มเท่ากันคือ 2 สำหรับข้าวพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียหายสูงที่สุดในกลุ่มประชากรคือ พันธุ์ขาวแก้ว (19) โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มเท่ากับ 4.5 สำหรับกลุ่มข้าวที่ได้รับภาวะความเครียดเค็มผ่านไป 10 วัน ค่าในกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 3.73 โดยภาพรวมของต้นกล้าข้าวในภาวะเค็ม 10 วันนั้น มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มมีค่าอยู่ในช่วง 3.00 – 5.00 โดยข้าวทั้งประชากรเริ่มได้รับภาวะเครียดจนกระทั่งข้าวตอบสนองคล้ายคลึงกันจึงทำให้ค่าคะแนนความเสียหายไม่แตกต่างกันมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 ผลการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 2

สำหรับการปลูกเพื่อเก็บค่าการตอบสนองทางสรีวิทยาในชุดการทดลองที่ 2 ดำเนินการทดลองที่โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 7 อาคารอัญมณี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในระหว่างเดือน มี.ค. - เม.ย. 2556 โดยทำการศึกษาในข้าวจำนวน 54 พันธุ์ ดังรายชื่อในตารางที่ 3 โดยมีข้าวขาวดอกมะลิ KDML105 เป็นพันธุ์มาตรฐานทนทานเค็มระดับปานกลาง เป็นตัวเปรียบเทียบ เมื่อปลูกกล้าข้าวอายุประมาณ 2 สัปดาห์ทำการให้ภาวะเค็มโดยการเติมสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 115 mM ปริมาตร 10 ลิตร ลงในภาชนะปลูกซึ่งจะทำให้ดินมีความเค็มระดับ 9-10 dS/m ตั้งแต่วันที่ 3 หลังจากได้รับภาวะเค็ม เก็บค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ และ ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มในวันที่ 0 3 6 และ 9 หลังได้รับภาวะเค็ม จากนั้นในวันที่ 10 ย้ายต้นกล้าข้าวปลูกในดินปกติชุดดินพิมาย ปลูกเลี้ยงเพื่อรอเก็บผลผลิต แต่จากผลการทดลอง ไม่สามารถเก็บผลผลิตได้ เนื่องจากช่วงระยะเวลาที่ปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูงมาก ทำให้ข้าวทั้งชุดการทดลองไม่สามารถออกรวงและผสมติดเมล็ดเพื่อให้ผลผลิตได้ จึงทำให้ในชุดการทดลองนี้มีแต่เฉพาะค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาในระยะต้นกล้าเท่านั้นซึ่งผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาในพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะแสดงในภาพที่ 24 - 43



ภาพที่ 19 ระดับความเค็มของดินขณะที่ทำการทดลองศึกษาการตอบสนองต่อความเค็ม โดยให้สารละลาย NaCl กับดินเป็นเวลา 0 - 9 วัน

ตารางที่ 3 พันธุ์ข้าวชุดที่ 2 ที่ทำการศึกษาลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวในระยะต้นกล้าที่มีต่อภาวะเค็ม

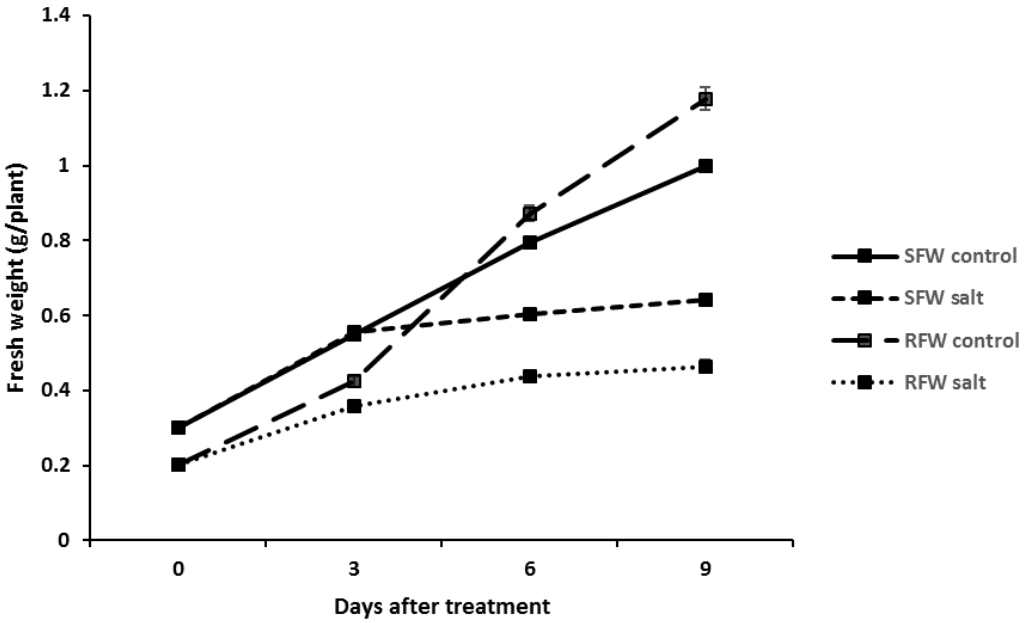
หมายเลขในการทดลอง	GS No.	ชื่อพันธุ์
5	5583	หางนาค
13	14685	เหลืองตายัง
17	23266	ปลาซิวดำ
20	12616	เหลืองงาม
23	607	เหนียวขาว
24	5635	สามสี
26	12159	ป้องแอ้ว
28	12177	รากแห้ง
34	13981	อินแปง
35	13987	สำอางค์
43	21707	หางหมาใน
45	21712	หมากบิด
46	22046	เหลืองดง
49	22834	รวงเดียว
50	22836	เล้าแตก
52	23227	แม่หม้าย
67	5580	ม่วยหิน
72	8100	ไอไท้
75	15127	ดอกไม้
84	22366	สายหยุด
88	22395	ห้ารวง
90	22875	เหนียวมะลิ
96	23189	เกษตรดอ
97	23191	กำผาย
99	23239	อีพวง
106	3116	ซิวแม่จัน
108	23898	ปทุมธานี 1

หมายเลขในการทดลอง	GS No.	ชื่อพันธุ์
111	9064	เกวียนหัก
113	828	ขาวตาแห้ง 17
118	1707	หางยี71
120	1961	ไข่มดริ้น
121	1990	บัวน้อย
123	2006	นางงาม
124	2067	อู่ตะเภา
125	2069	พวงหวาน
126	2073	ใบบัว
127	2089	พวงหางหมู
128	2297	สามรวงหนัก
130	2534	ขาวกอเดียว
131	2601	กข9
136	3091	กข8
137	3093	กข13
139	3230	เจ้าดำ
140	3256	เจ้าแดง
141	3271	ดำด่าง
142	3285	เจ้าดอกขาว
143	3318	เหลืองทอง
144	3321	ก่ำเลี้ยว
145	3637	ทูลฉลอง
146	3638	นางมล
147	3677	ขาวประกวด
206		KDML 105
207		CSSL 11
208		UBN 02123-50R-B-3 (UBN)

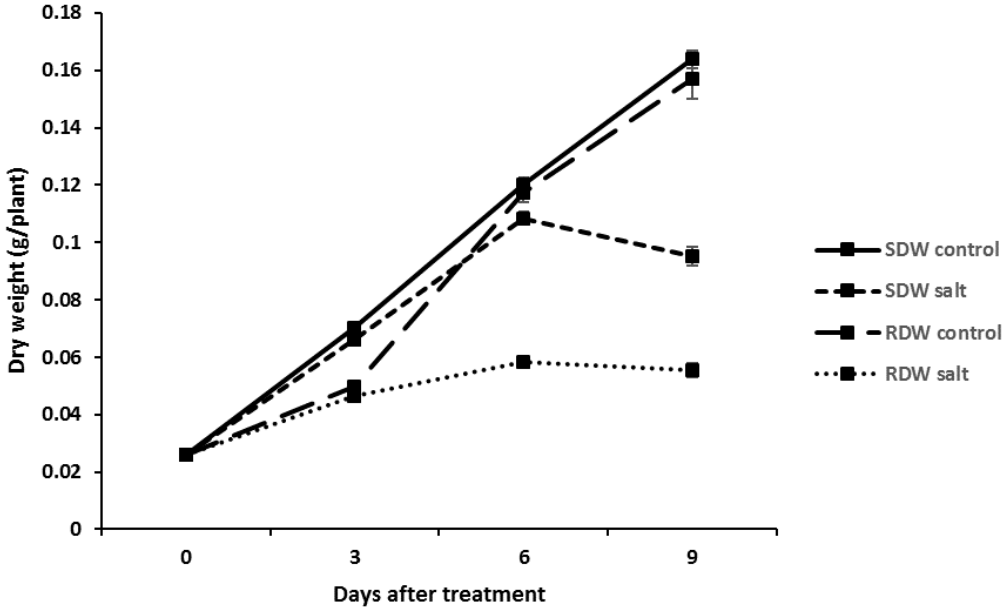
เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ และที่เติบโตในภาวะเครียดในระยะเวลา 3, 6 และ 9 วันในชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 20 – ภาพที่ 23) สำหรับรูปแบบการแสดงออกของ ค่าน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก พบว่า เมื่อข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 3 วัน ค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ประชากรโดยภาพรวม มีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกันมากทั้งในภาวะปกติ และในภาวะที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มแต่เมื่อต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดต่อไปอีกเป็นระยะเวลา 6 และ 9 วันลดลงอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่ง หลังจากที่ต้นกล้าข้าวในประชากร ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 9 วัน ต้นกล้าข้าวมีการสูญเสียน้ำหนักมวลชีวภาพโดยรวมประมาณ 50%

สำหรับแนวโน้มของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (ภาพที่ 22) พบว่า มีรูปแบบการตอบสนองที่คล้ายคลึงกับการตอบสนองในข้าวชุดการทดลองที่ 1 โดยในภาวะปกติ กล้าข้าวในประชากรสามารถรักษาค่าปริมาณดังกล่าวได้ค่อนข้างดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเพียงเล็กน้อยจากระยะเวลาช่วง 3 วันแรกและสามารถคงสภาพปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบได้ค่อนข้างดีตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองและเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ในขณะที่กลุ่มต้นกล้าข้าวที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มค่าดังกล่าวมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่พืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม 3 – 9 วัน

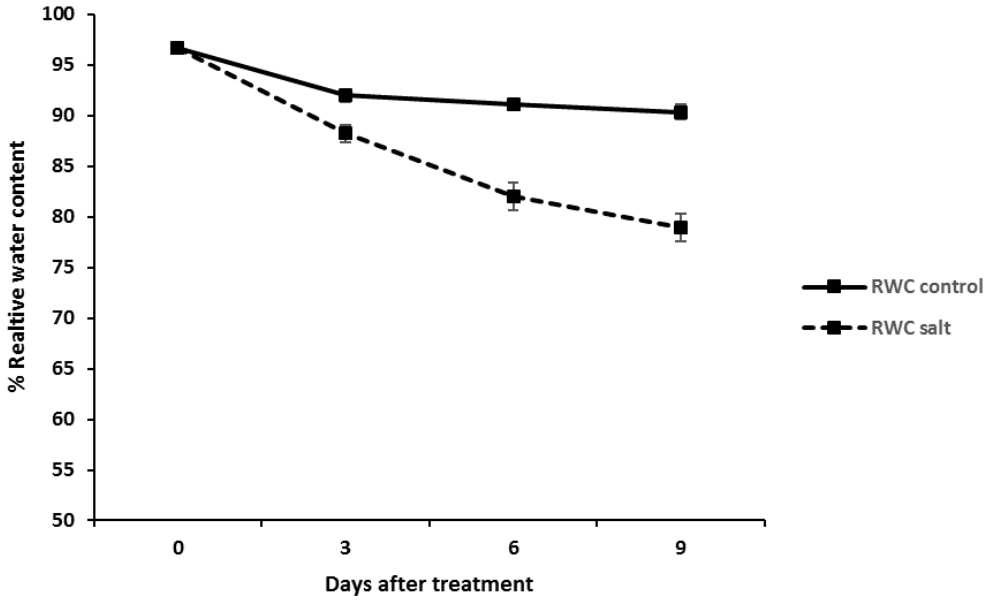
ส่วนค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์พืชในประชากรชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 23) ที่เติบโตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรที่เปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง โดยมีค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 90% - 99% และสำหรับในกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ มีอัตราที่ลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากได้รับความเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วันเท่านั้น โดยมีค่าลดลงประมาณ 17% จากกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในวันที่ 6 และ 9 วันโดยที่อัตราการลดลงของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เกิดขึ้นในอัตราที่สม่ำเสมอ แต่ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ มีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างมากในช่วงสามวันหลังจากได้รับภาวะความเค็ม แต่เมื่อได้รับความเค็มนานขึ้น อัตราการลดลงของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ มีค่าลดลงเช่นกัน



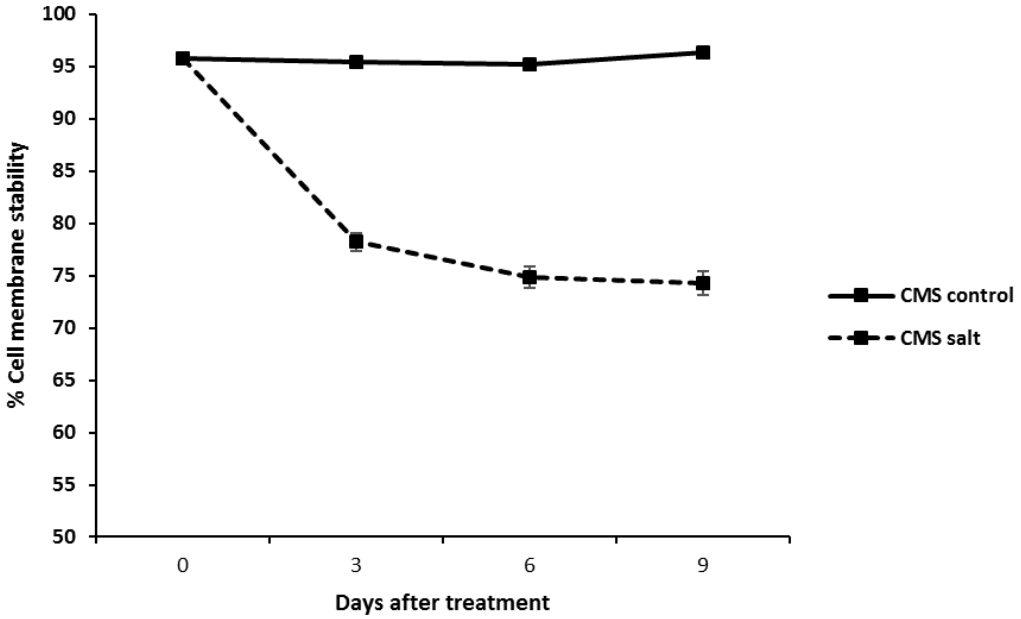
ภาพที่ 20 แนวโน้มของน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2



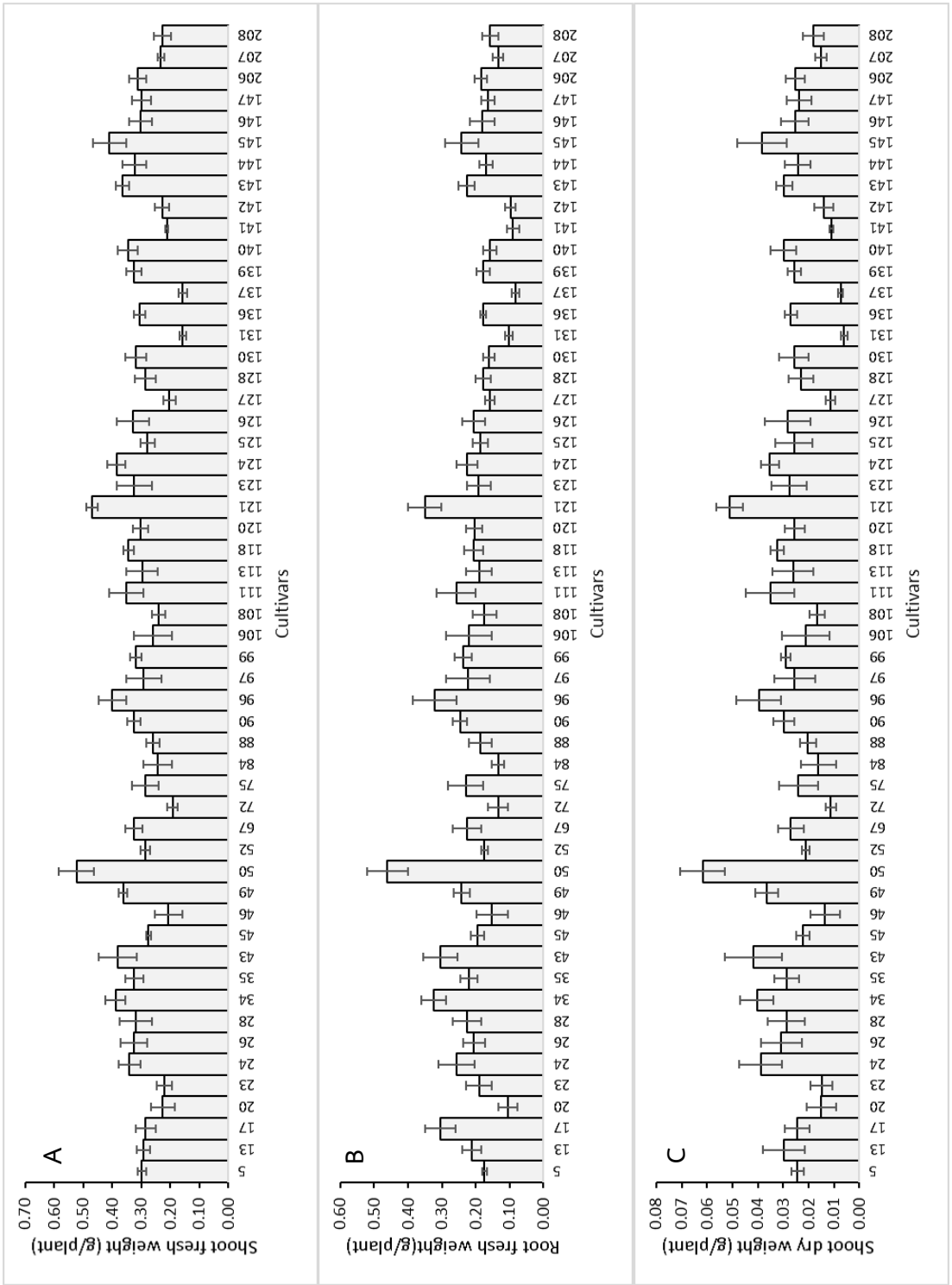
ภาพที่ 21 แนวโน้มของน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2



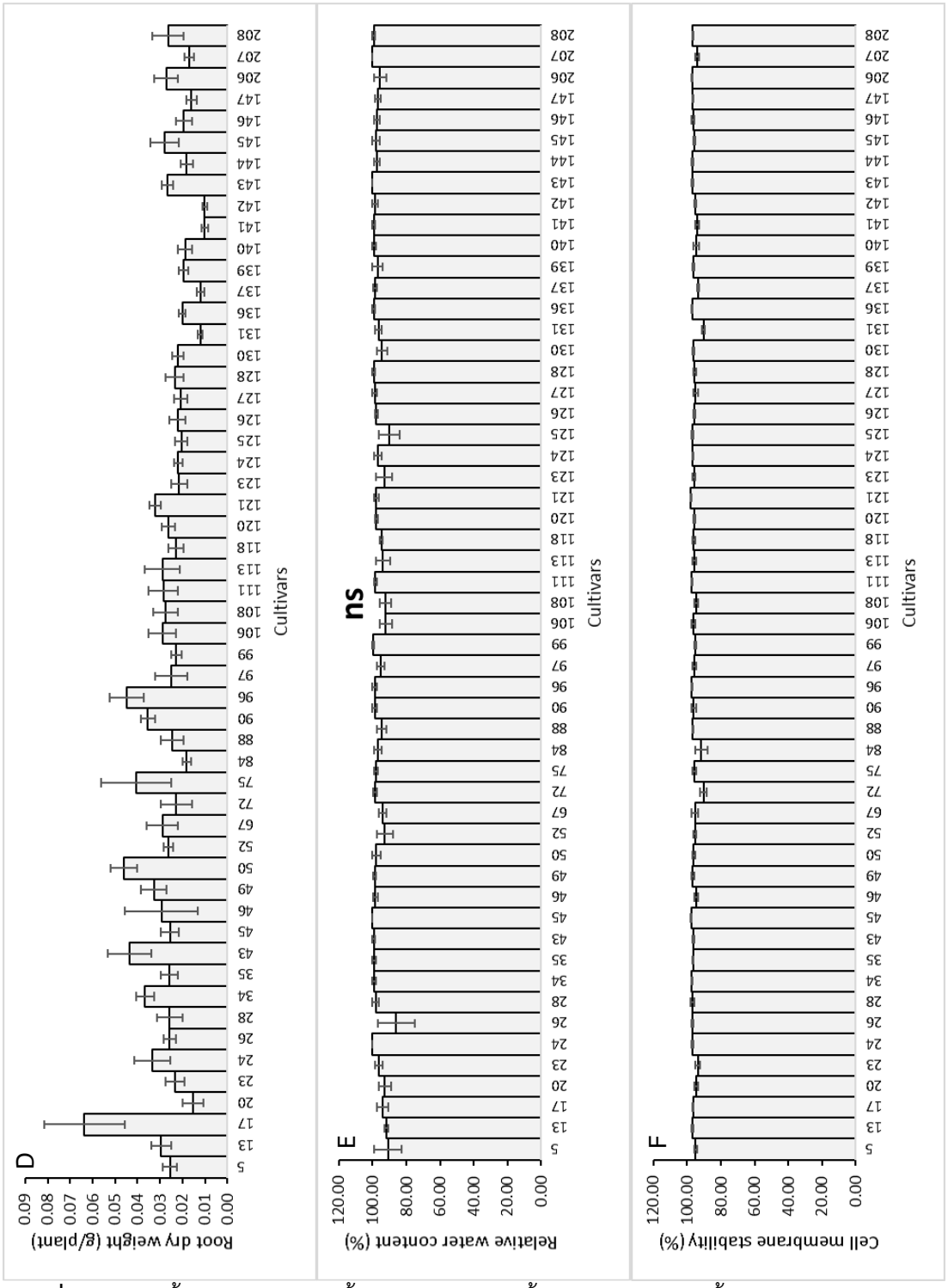
ภาพที่ 22 แนวโน้มของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2



ภาพที่ 23 แนวโน้มของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2



ภาพที่ 24 น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าว เมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 2

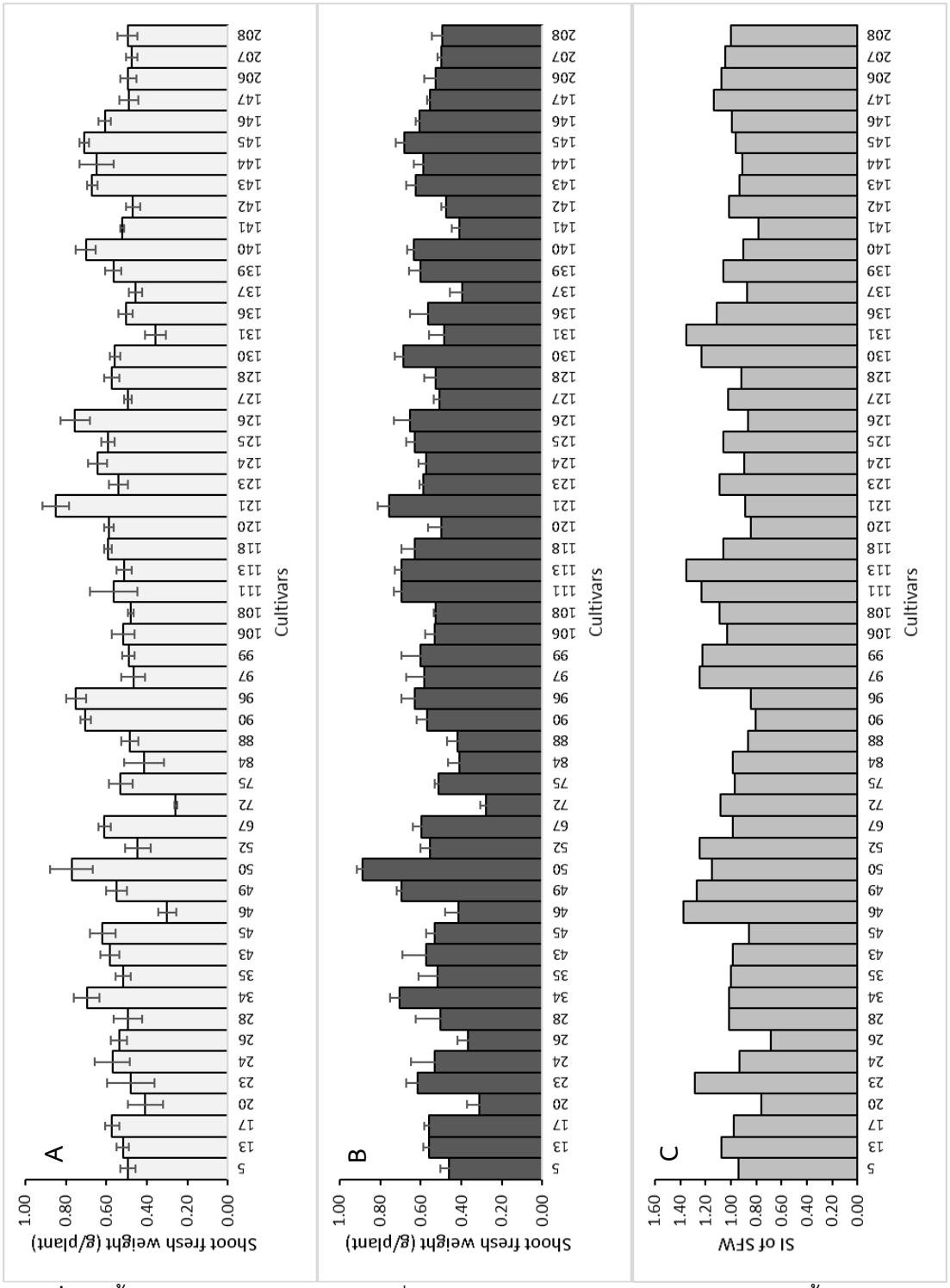


ภาพที่ 24 (ต่อ) น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าว เมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 2

จากผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากของต้นกล้าข้าว ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 24A - ภาพที่ 24F) พบว่าค่าเริ่มต้นทุกค่ามีการตอบสนองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในกลุ่มประชากรข้าวที่ทำการทดสอบ ยกเว้นค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชที่ในกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

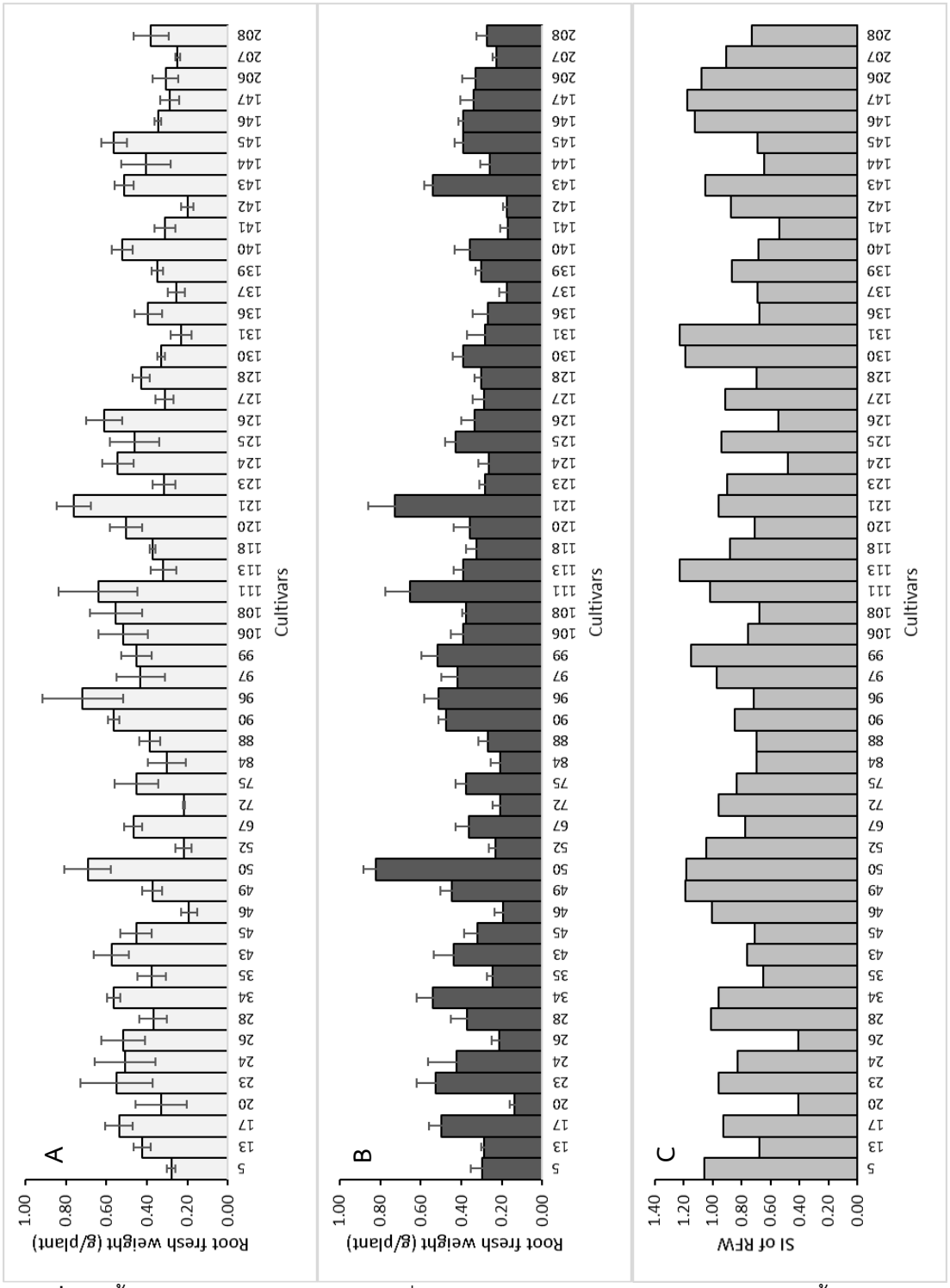
จากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้น (ภาพที่24A) จะพบว่าข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) และบัวน้อย (121) มีค่าน้ำหนักสดต้นที่สูงที่สุดแยกจากทุกพันธุ์ในกลุ่มประชากร คือ 0.5242 กรัม และ 0.4692 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข9 (131) และกข13 (137) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.1581 กรัม และ 0.1573 กรัม ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้นในประชากรมีค่าเท่ากับ 0.3022 กรัม สำหรับค่าน้ำหนักสดราก (ภาพที่24B) และข้าวพันธุ์ UBN02123-50R-B-3 (208) มีค่าน้ำหนักสดรากมากที่สุด คือ 0.1577 กรัมในขณะที่ข้าวพันธุ์ กข8 (136) เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด คือ 0.1769 กรัม โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดรากในกลุ่มประชากรข้าวคือ 0.2027 กรัม ในส่วนค่าน้ำหนักแห้งต้น (ภาพที่24C) มีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.0259 กรัม โดยที่ข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงสุดในประชากร คือ 0.0617 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข9 (131) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นต่ำที่สุดในประชากรคือ 0.0061 กรัม และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่24D) พบว่า มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0260 กรัม โดยมีข้าวพันธุ์ปลาซิวดำ (17) เป็นพันธุ์ข้าวที่ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข9 (131), กข13 (137), ดำด่าง (141) และ เจ้าดอกขาว (142) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0121 0.0119 0.0102 และ 0.0102 ตามลำดับ

สำหรับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชของต้นกล้าข้าว (ภาพที่24E) มีค่าเฉลี่ยในประชากรข้าวคือ 96.67% โดยค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์จะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ 85% – 100 % และในส่วนของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่24F) ถึงแม้ว่าค่าในกลุ่มประชากรจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในภาพรวม เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์จะมีค่าใกล้เคียงกันและมีช่วงระหว่าง 90% – 99% โดยค่าเฉลี่ยของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของประชากรมีค่าเท่ากับ 95.78 %



ภาพที่ 25 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และ ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

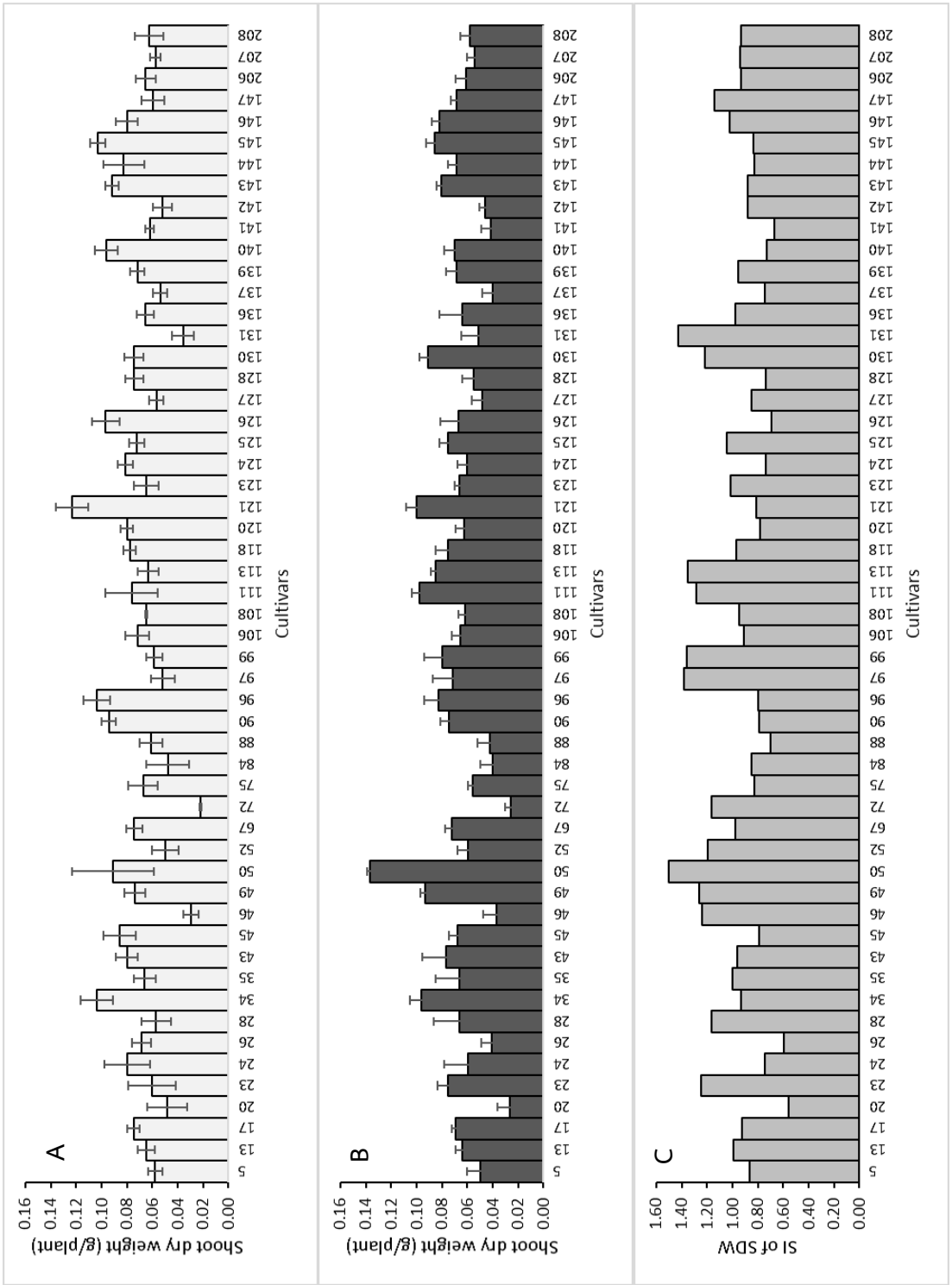
ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดต้นที่เติบโตในภาวะปกติ (ภาพที่25A) และภาวะที่มีการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่25B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่า ในภาวะปกติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นในประชากรมีค่าเริ่มต้นที่แตกต่างในกลุ่มประชากรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักสดต้นในประชากรเท่ากับ 0.5497 กรัม โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นมากที่สุด คือ ข้าวพันธุ์บัวน้อย (121) ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นเฉลี่ย 0.8497 กรัม ตามด้วยข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) ที่มีค่าน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 0.7708 กรัม ซึ่งมีน้ำหนักสดต้นรองลงมาและแยกออกจากพันธุ์อื่นในกลุ่มประชากร ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) มีค่าน้ำหนักสดต้นที่น้อยที่สุดในประชากร คือ 0.2582 กรัม เมื่อต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 2 ได้รับความเครียดจากภาวะความเค็ม พบว่ามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นในกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และรูปแบบการแสดงออก ยังมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันกับในภาวะปกติ โดยค่าน้ำหนักสดในภาพรวมมีการลดลงของน้ำหนักต้นในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันทั้งกลุ่มประชากร โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้นในประชากรข้าวมีค่าเท่ากับ 0.5556 กรัม และข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) มีค่าน้ำหนักสดต้นที่มากที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.8874 กรัม ตามด้วยพันธุ์บัวน้อย (121) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นรองลงมา คือ 0.7564 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) ยังคงเป็นพันธุ์มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นที่น้อยที่สุด คือ 0.2795 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่25C) พบว่า ค่าโดยรวมของประชากรส่วนใหญ่ มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงประมาณค่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ต้นกล้าข้าวได้รับค่าภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วันข้าวในชุดการทดลองที่ 2 ยังสามารถรักษาน้ำหนักสดต้นได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้าวบางพันธุ์ ที่เมื่อได้รับภาวะความเค็ม มีน้ำหนักส่วนต้นที่เพิ่มขึ้น เช่น เหนียวขาว (23) เหลืองดง (46) รวงเดียว (49) เล้าแตก (50) แม่หม้าย (52) กำผาย (97) อีพวง (99) เกวียนหัก (111) ขาวตาแห้ง17 (113), ขาวกอเดียว (130) และ ขาวกอเดียว (131) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.2827 1.3753 1.2668 1.1513 1.2505 1.2497 1.2254 1.2308 1.3512 1.2305 และ 1.3494 ตามลำดับ



ภาพที่ 26 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

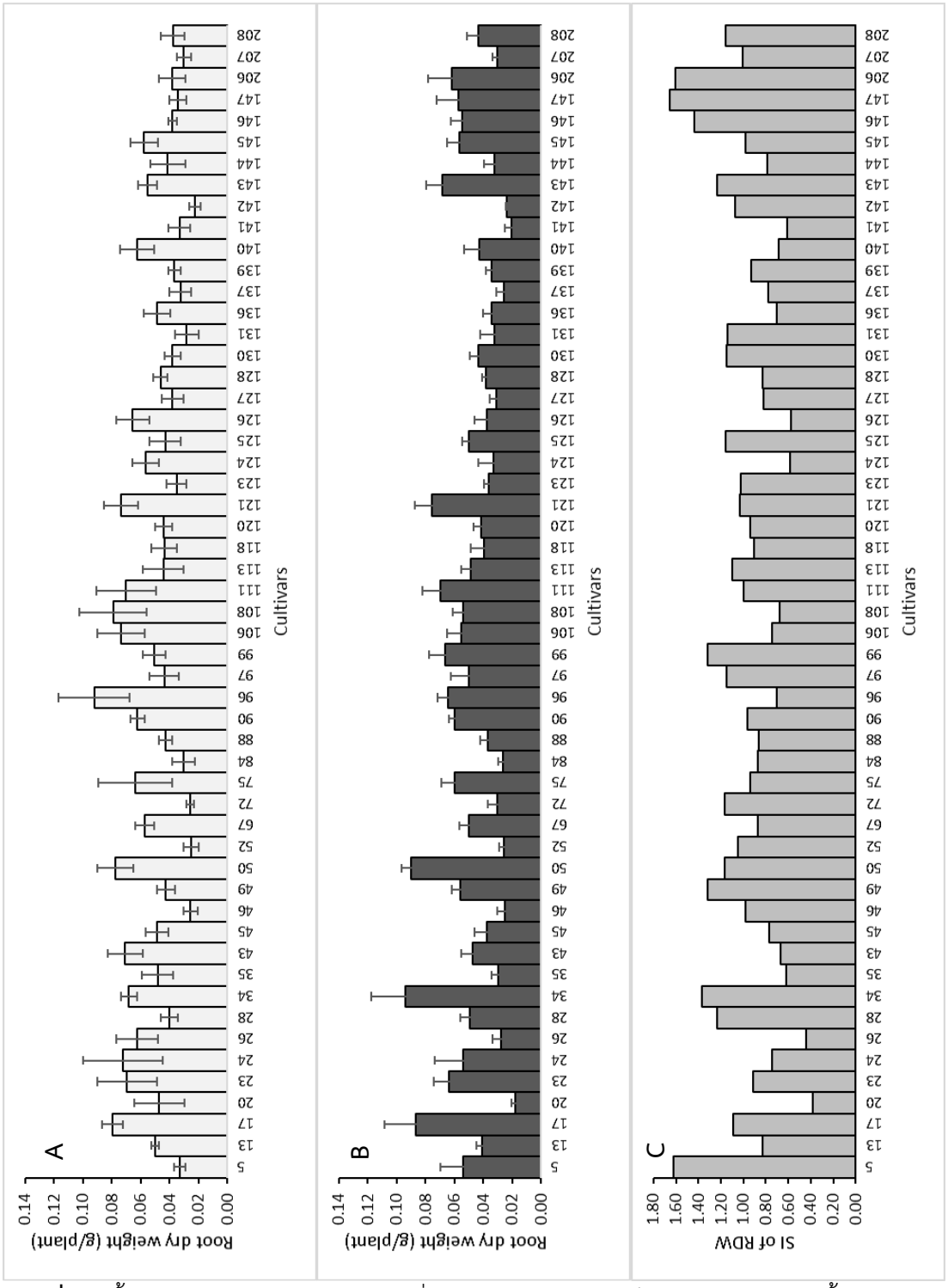
ผลการศึกษาน้ำหนักสดรากเมื่อเติบโตในภาวะปกติและภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่ 26A และ ภาพที่ 26B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่าประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติค่าน้ำหนักสดรากเริ่มต้นในกลุ่มประชากร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.4244 กรัม โดยที่ข้าวพันธุ์บัวน้อย (121) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดรากมากที่สุดคือ 0.7600 กรัม ตามด้วยพันธุ์เกษตรดอ (96) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากรองลงมา คือ 0.7167 กรัม สำหรับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหลืองดง (46) และ เจ้าดอกขาว (142) มีค่าน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.1915 และ 0.1992 กรัม ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากในประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าค่าน้ำหนักสดรากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.3579 กรัม ซึ่งข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) และบัวน้อย (121) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดรากเฉลี่ยสูงที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.8215 กรัม และ 0.7281 กรัม ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด คือ พันธุ์เหลืองงาม (20) โดยมีน้ำหนักสดรากเฉลี่ยเท่ากับ 0.1359 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่26C) พบว่า รูปแบบการเจริญมีความแตกต่างกันในกลุ่มประชากร โดยมีทั้งพันธุ์ข้าวที่มีค่าน้ำหนักลดลง (ค่าน้อยกว่า 1) มากขึ้น (ค่ามากกว่า 1) และ มีความสามารถรักษาสภาพน้ำหนักสดรากได้ใกล้เคียงภาวะปกติ (ค่าประมาณ 1) หลังจากได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 27 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

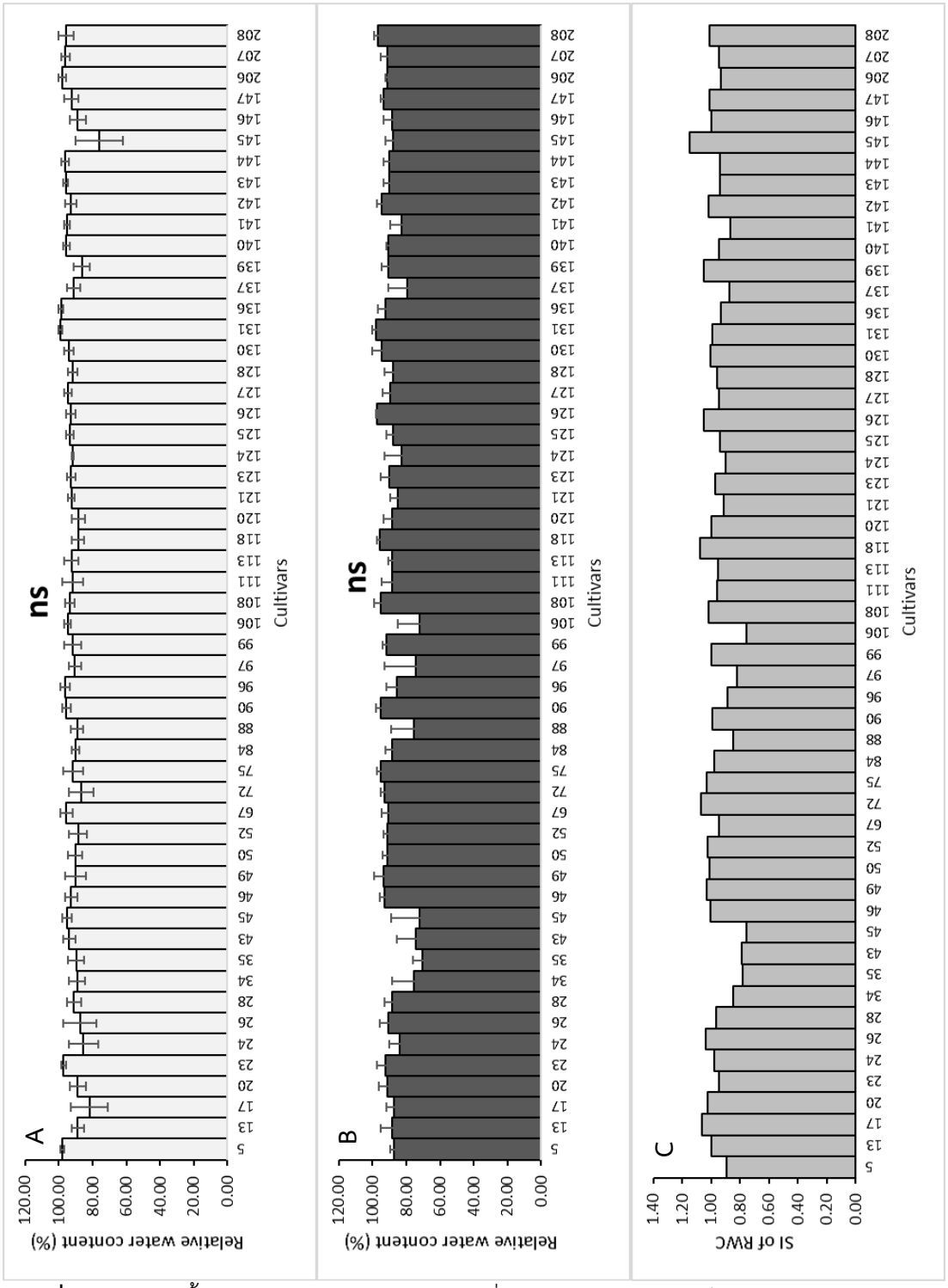
ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งต้นเมื่อเติบโตในภาวะปกติ (ภาพที่ 27A) และภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่27B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นเริ่มต้นในกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0701 กรัม โดยที่ข้าวพันธุ์บัวน้อย (121) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุดคือ 0.1231 กรัม ตามด้วยพันธุ์สำอางค์ (34) และ เกษตรดอ (96) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นรองลงมา คือ 0.1036 กรัมและ 0.1037 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) มีค่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0220 กรัม สำหรับในประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกันกับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0663 กรัม และ ข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นเฉลี่ยสูงที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.1368 กรัม สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุด คือ พันธุ์ไอไท้ (72) โดยมีน้ำหนักแห้งต้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.0256 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่27C) พบว่ารูปแบบการเจริญมีความแตกต่างกันในกลุ่มประชากร โดยมีทั้งพันธุ์ข้าวที่มีค่าน้ำหนักลดลง (ค่าน้อยกว่า 1) มากขึ้น (ค่ามากกว่า 1) และ มีความสามารถรักษาสภาพน้ำหนักสดรากได้ใกล้เคียงภาวะปกติ (ค่าประมาณ 1) เมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม โดยข้าวพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งต้นสูงขึ้นเมื่อได้รับภาวะความเค็มหรือมีค่าดัชนีเสถียรภาพมากกว่า 1 ได้แก่ ข้าวพันธุ์เหนียวขาว (23) รากแห้ง (28) เหลืองดง (46) รวงเดียว (49) เล้าแตก (50) แม่หม้าย (52) ไอไท้ (72) กำผาย (97) อีพวง (99) เกวียนหัก (111) ขาวตาแห้ง17 (113) ขาวกอเดียว (130) และ กข9 (131) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.2464 1.1624 1.2420 1.2654 1.5045 1.2505 1.1614 1.3851 1.3615 1.2854 1.3499 1.2167 และ 1.4302 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหลืองงาม (20) เป็นพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.5572



ภาพที่ 28 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาน้ำหนักแห้งรากเมื่อเติบโตในภาวะปกติ (ภาพที่28A) และภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่28B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่ากล้าข้าวที่โตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม มีค่าน้ำหนักแห้งรากในกลุ่มประชากรที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสองกลุ่มประชากร สำหรับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0497 กรัม โดยที่ข้าวพันธุ์เกษตรดอ (96) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากมากที่สุดคือ 0.0923 กรัม ตามด้วยพันธุ์ปลาซิวดำ (17) และปทุมธานี1 (108) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากรองลงมา คือ 0.07955 กรัมและ 0.07925 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์เจ้าดอกขาว (142) มีค่าน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0222 กรัม สำหรับในประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 3 วัน มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0467 กรัม โดยที่ข้าวพันธุ์อินแปง (34) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยสูงที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.0938 กรัม ตามด้วยพันธุ์เล้าแตก (50) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงรองลงมาโดยมีค่าเท่ากับ 0.0902 กรัม สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ พันธุ์ดำด่าง (141) โดยมีน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยเท่ากับ 0.0203 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่28C) พบว่า รูปแบบการเจริญมีความแตกต่างกันในกลุ่มประชากร โดยมีทั้งพันธุ์ข้าวที่มีน้ำหนักแห้งรากลดลง (ค่าน้อยกว่า 1) สูงขึ้น (ค่ามากกว่า 1) และ สามารถรักษาสภาพน้ำหนักแห้งรากได้ดีใกล้เคียงภาวะปกติ (ค่าประมาณ 1) เมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม โดยข้าวพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นเมื่อได้รับภาวะความเค็มหรือมีค่าดัชนีเสถียรภาพมากกว่า 1 แยกจากพันธุ์อื่นในประชากรอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ พันธุ์หางนาค (5) นางมล (146) ขาวประกวด (147) และ KDML105 (206) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.6248 1.4345 1.6580 และ 1.6045 ตามลำดับ

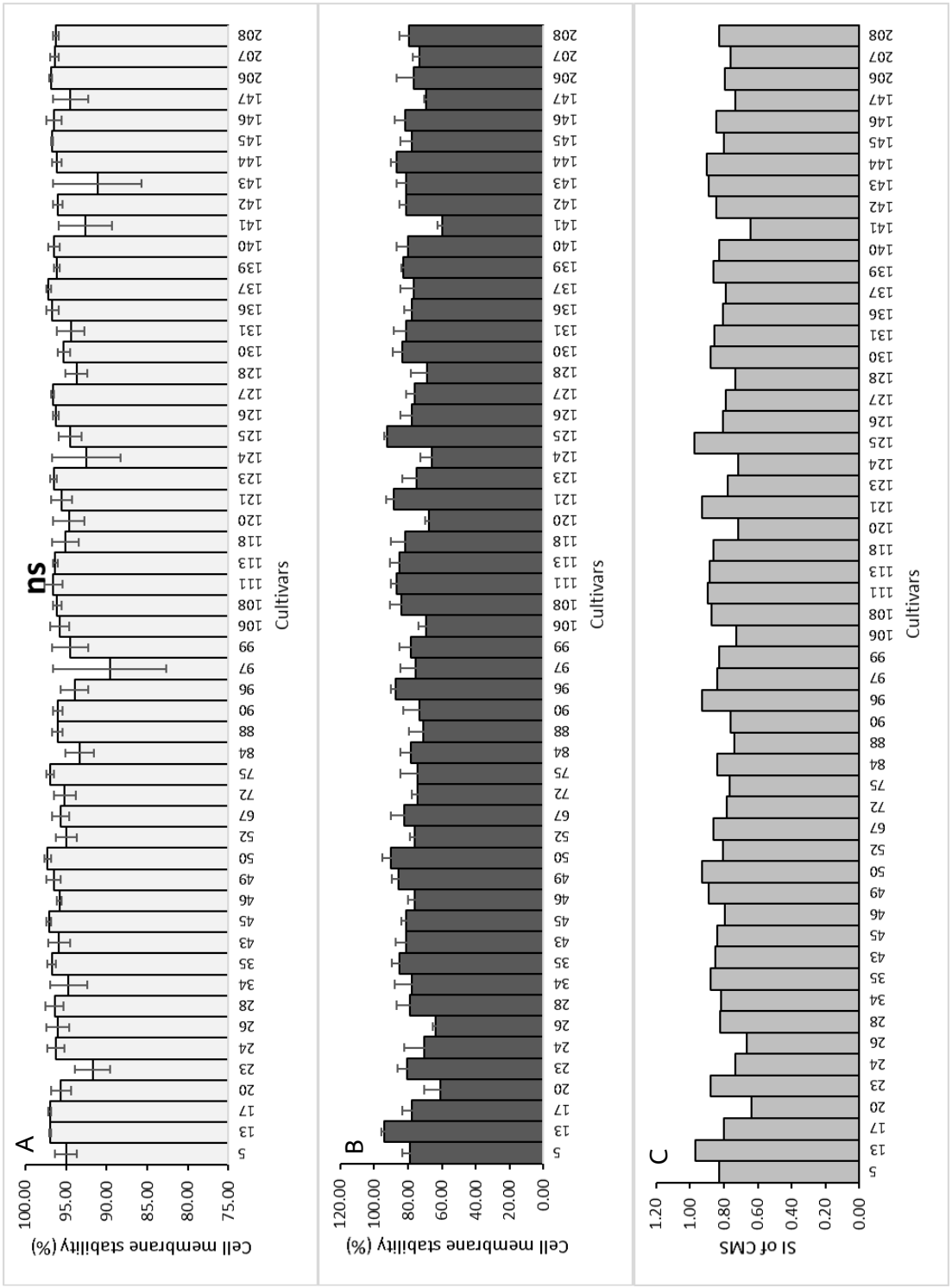
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 29 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเมื่อเติบโตในภาวะปกติ (ภาพที่29A) และภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่29B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่าต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบในทั้งสองกลุ่มประชากร สำหรับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกลุ่มประชากรเท่ากับ 92.02 % ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 86% – 99 % สำหรับในประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 3 วัน มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกลุ่มประชากรเท่ากับ 88.22% โดยที่ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 74%- 99% ซึ่งเมื่อดูในภาพรวมข้าวส่วนใหญ่จะมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบลดลงเล็กน้อยจากภาวะปกติ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่29C) พบว่า ในภาพรวมแล้วปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบส่วนใหญ่ มีค่าใกล้เคียงค่า 1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 2 ได้รับภาวะเค็มผ่านไปสามวัน ต้นกล้าข้าวยังสามารถรักษาปริมาณน้ำไว้ในใบได้ค่อนข้างดี โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.9604

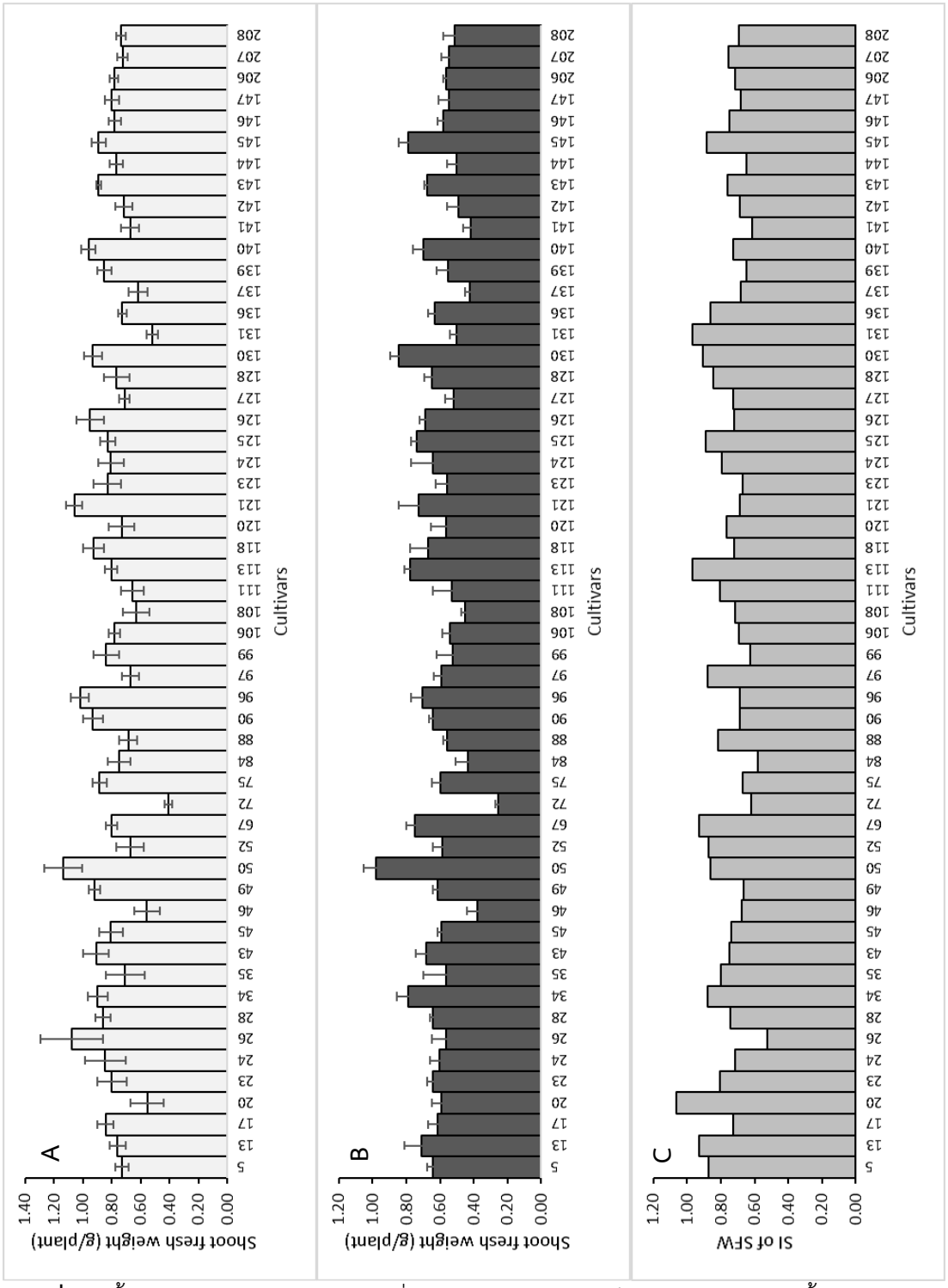
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 30 เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน (A) เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วัน (ภาพที่30A) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่าค่าในประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 95.45% ซึ่งค่าเฉลี่ยในภาพรวมของกลุ่มประชากรมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 90% - 97% สำหรับค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน (ภาพที่ 30B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 78.21 % ซึ่งลดลงจากค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ในประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติประมาณ 17% โดยที่ข้าวพันธุ์เหลืองตายัง (13) และ พวงหวาน (125) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์สูงที่สุดในประชากร โดยมีค่าเท่ากับ 93.92% และ 92.27% ในขณะที่ข้าวพันธุ์ดำด่าง (141) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ต่ำที่สุดในประชากรเท่ากับ 59.61% และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่ 30C) พบว่ารูปแบบการแสดงออกของประชากร ต้นข้าวมีเสถียรภาพของค่าเสถียรภาพลดลงเล็กน้อยเมื่อได้รับภาวะเครียดไปเป็นระยะเวลา 3 วัน และรูปแบบการแสดงออกในค่าดัชนีเสถียรภาพ ยังมีความคล้ายคลึงกับค่าการแสดงออกในภาวะที่ได้รับภาวะเค็มเนื่องจาก ค่าเริ่มต้นในภาวะปกติ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าเฉลี่ยประชากรของค่าดัชนีเสถียรภาพมีค่าเท่ากับ 0.8194 และกลุ่มข้าวพันธุ์ที่สามารถรักษาเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้ค่อนข้างดีเมื่อได้รับภาวะเครียดผ่านไปสามวัน โดยมีค่าใกล้เคียง 1 ได้แก่ เหลืองตายัง (13) เล้าแตก(50) เกษตรดอ (96) และ พวงหวาน (125) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.9687 0.9271, 0.9281 และ 0.9771 ตามลำดับ

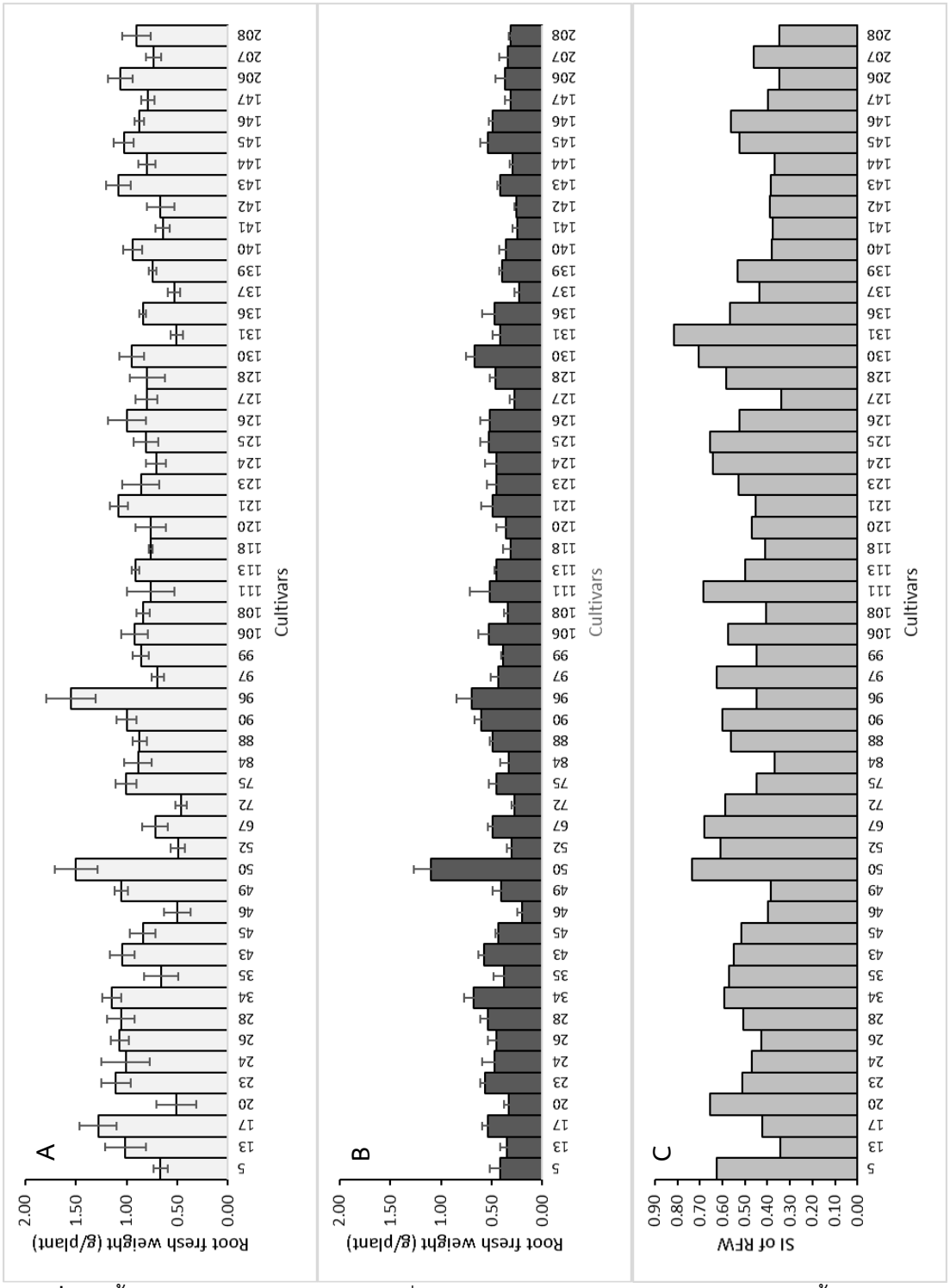
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 31 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดต้นต่อการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันในชุดการทดลองที่2 (ภาพที่31A และ ภาพที่31B) พบว่า ค่าในภาวะปกติและภาวะที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มมีความแตกต่างในกลุ่มประชากรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักสดต้นของประชากรในภาวะปกติเท่ากับ 0.7957 กรัม ซึ่งข้าวพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นมากที่สุดยังคงเป็นข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) โดยมีน้ำหนักสดต้นเฉลี่ย 1.1348 กรัม ตามด้วยข้าวพันธุ์ป้องแอ้ว (26) ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.0773 กรัมซึ่งมีน้ำหนักสดต้นรองลงมาเป็นอันดับสองและแยกออกจากพันธุ์อื่นในกลุ่มประชากร สำหรับข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) ยังคงมีน้ำหนักสดต้นที่น้อยที่สุดในประชากร คือ 0.4085 กรัม สำหรับประชากรข้าวที่ได้รับความเครียดจากภาวะความเค็มค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดในภาพรวมมีการลดน้ำหนักต้นในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันทั้งกลุ่มประชากร โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้นในประชากรข้าวมีค่าเท่ากับ 0.6037 กรัม โดยข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) มีค่าน้ำหนักสดต้นที่มากที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.8874 กรัม ตามด้วยพันธุ์บัวน้อย (121) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นรองลงมา คือ 0.7564 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) ยังคงมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นที่น้อยที่สุด คือ 0.2795 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่31C) พบว่าค่าโดยรวมของประชากรส่วนใหญ่ มีดัชนีเสถียรภาพที่ลดลงทั้งกลุ่มประชากรโดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.7620 แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่ยังคงรักษาเสถียรภาพน้ำหนักสดต้นได้ค่อนข้างดีโดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพใกล้เคียงค่า 1 แยกจากกลุ่มประชากรค่อนข้างชัดเจน ได้แก่ เหลืองงาม (20) ม่วยหิน (67) ขาวตาแห้ง17 (113) และ กข9 (131) โดยมีค่าดัชนีเสียรภาพเท่ากับ 1.0672 0.9324 0.9677 และ 0.9691 ตามลำดับ

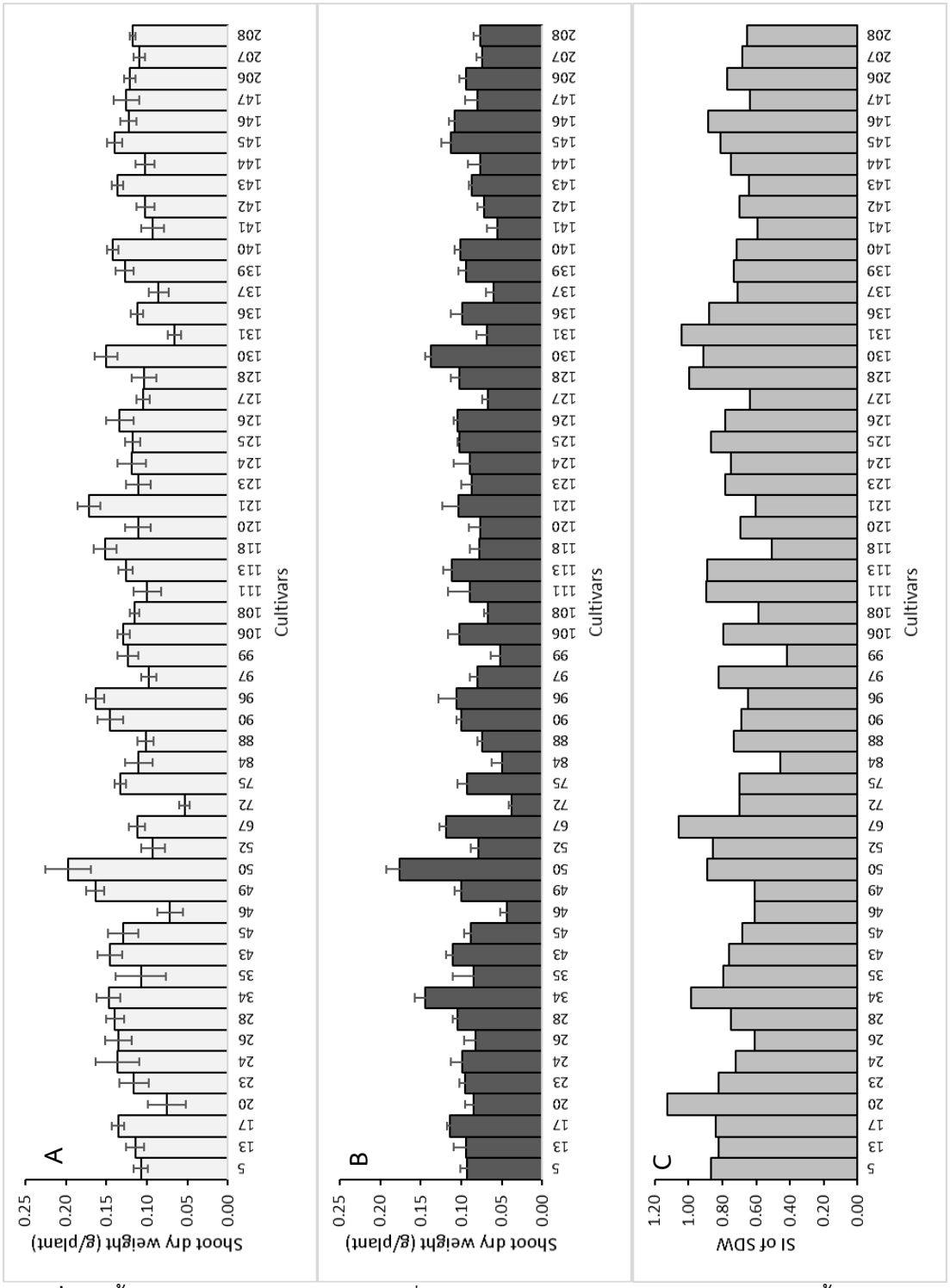
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 32 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดรากทั้งในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็ม (ภาพที่ 32A และภาพที่ 32B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากในทั้งสองภาวะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองกลุ่มประชากร สำหรับประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากมีค่าเท่ากับ 0.8722 กรัม โดยข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) และเกษตรดอ (96) เป็นข้าวสองพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดรากสูงที่สุดแยกออกจากพันธุ์อื่นในกลุ่มประชากร โดยมีค่าน้ำหนักสดรากเท่ากับ 1.4983 กรัม และ 1.5476 กรัมตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) ยังคงมีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.4618 กรัม สำหรับกลุ่มต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะเค็ม พบว่าโดยภาพรวมของค่าน้ำหนักสดราก มีค่าลดลงจากค่าในภาวะปกติอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 50 % โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของประชากรเท่ากับ 0.4390 ซึ่งข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) มีค่าน้ำหนักสดรากเฉลี่ยมากที่สุดในประชากรคือ 1.1041 กรัมในขณะที่ข้าวพันธุ์เหลืองดง (46) มีค่าน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในประชากร เท่ากับ 0.1984 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดราก (ภาพที่32C) พบว่า โดยภาพรวมของต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็ม มีค่าน้ำหนักสดรากลดลงต่ำกว่าต้นในภาวะปกติ โดยข้าวพันธุ์ที่สามารถรักษาสภาพน้ำหนักสดรากได้มากที่สุดในประชากรคือ พันธุ์กข9 (131) ที่มีค่าสูงสุดคือ 0.8148 แยกชัดออกจากพันธุ์อื่นในประชากร

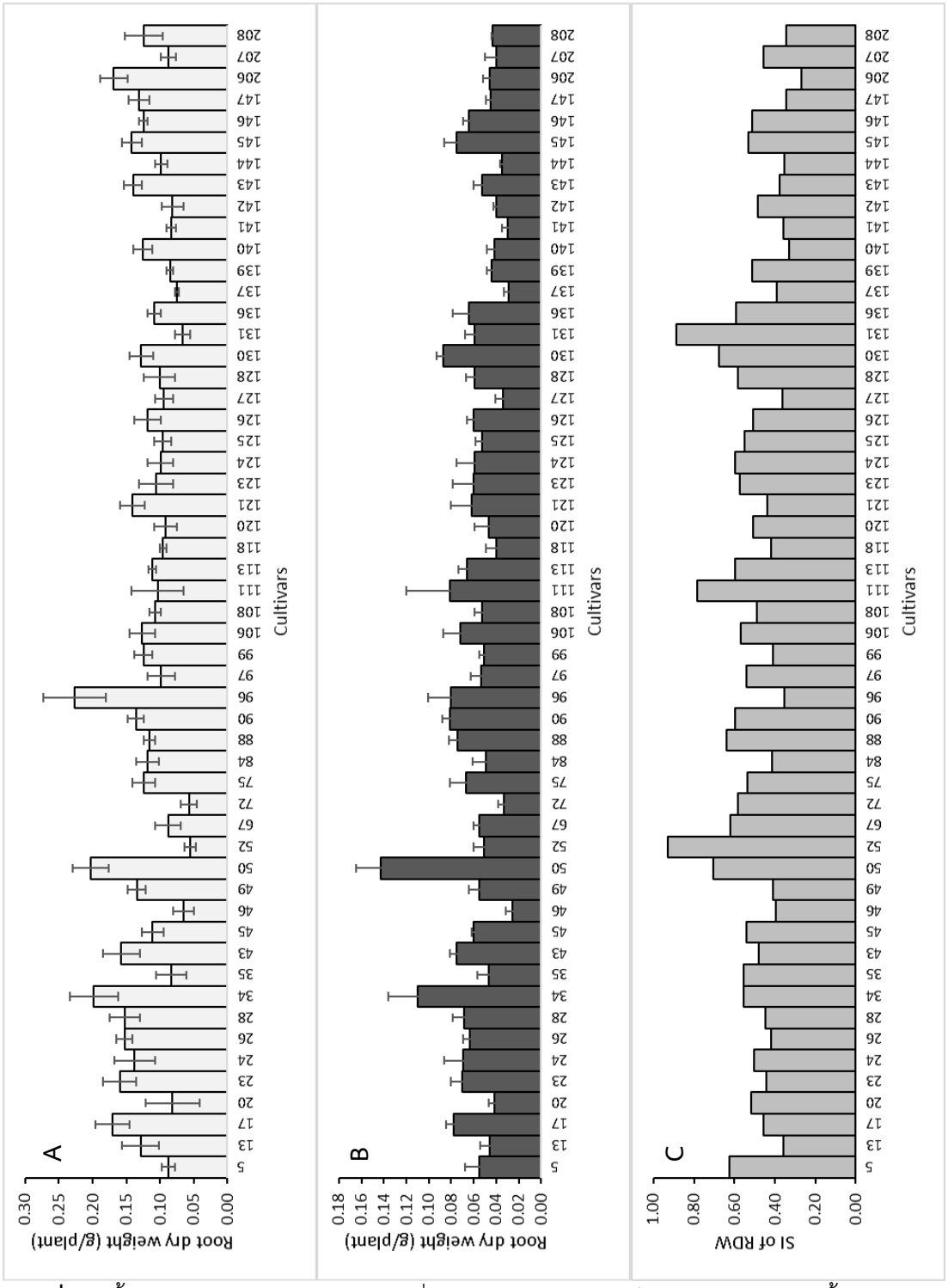
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 33 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

จากผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่33A) และเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (ภาพที่33B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของทั้งสองประชากรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนของค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นในภาวะปกตินั้นค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับ 0.1204 กรัม โดยมีค่าเพิ่มจากค่าเฉลี่ยของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 17 วัน ประมาณ 60% โดยข้าวพันธุ์บัวน้อย (121) มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในประชากร คือ 0.1231 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) เป็นพันธุ์ข้าวที่มีน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0536 กรัม สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นในประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน มีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.0906 กรัม โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยประชากรข้าวในช่วงเวลาที่ได้รับความเครียดจากความเค็ม 17 วัน ประมาณ 36.73% โดยมีข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) ที่ยังคงมีค่าน้ำหนักแห้งต้นค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดคือ 0.1760 กรัม ตามด้วยพันธุ์อินแปง (34) ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นสูงรองลงมา คือ 0.1448 กรัม ในขณะที่พันธุ์ไอไท้ (72) ก็ยังคงเป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0374 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งต้นในทั้งสองภาวะ (ภาพที่33C) พบว่า ในภาพรวมแล้ว ข้าวทั้งประชากรมีชีวมวลต้นที่ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับภาวะปกติ โดยค่าประชากรส่วนใหญ่มีค่าดัชนีเสถียรภาพต่ำกว่า 1 มาก แต่ก็ยังคงมีข้าวบางพันธุ์ที่ยังรักษาสภาพชีวมวลต้นได้ดีโดยมีค่าใกล้เคียง 1 หรือมากกว่า 1 เล็กน้อยเช่น พันธุ์เหลืองงาม (20) อินแปง (34) ม่วยหิน (67) สามรวงหนัก (128) และ กข9 (131) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.1282 0.9837 1.0569 0.9971 และ 1.0416 ตามลำดับ

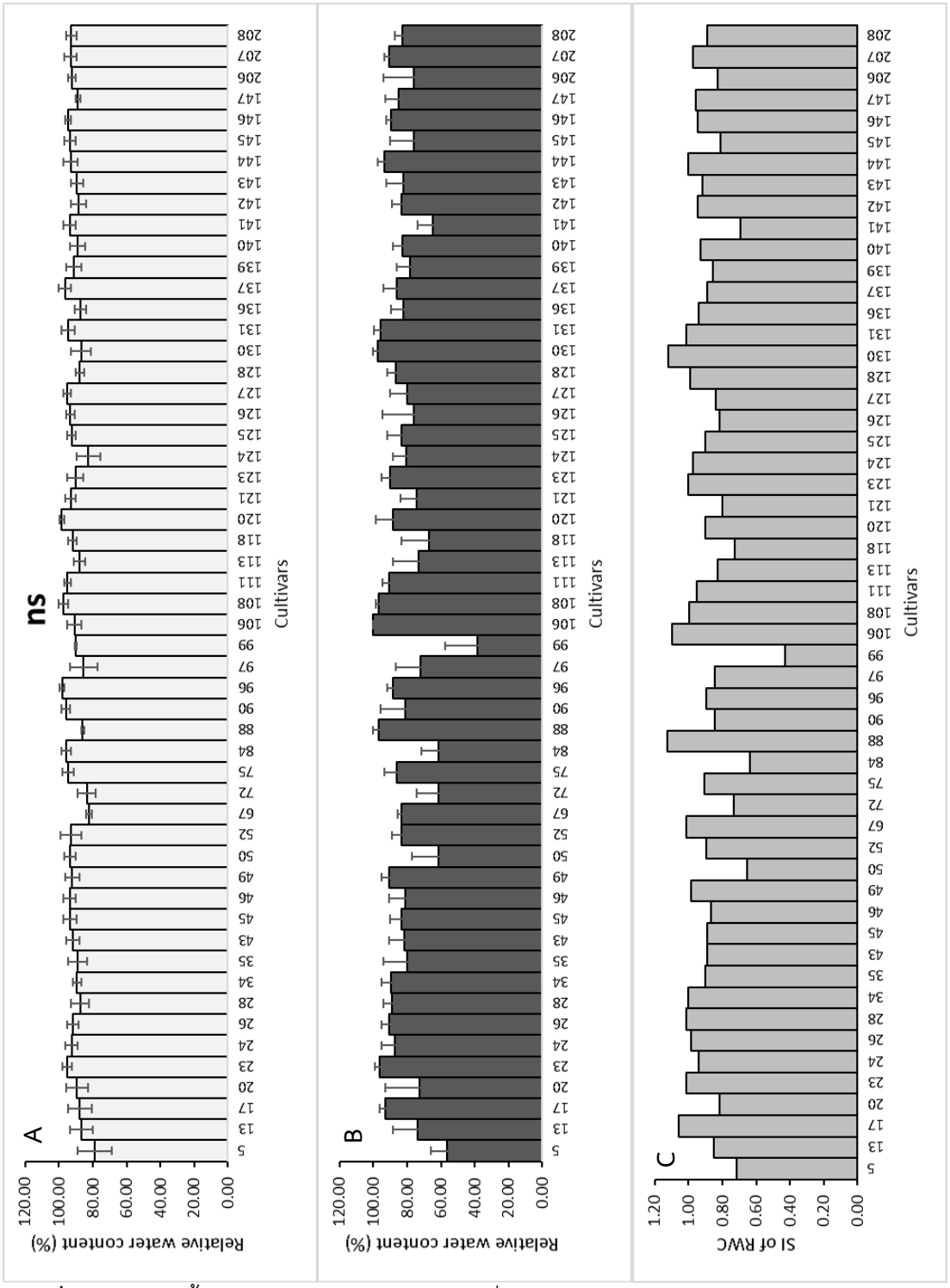
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 34 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

จากผลการศึกษาน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่ 34A) และเมื่อได้รับภาวะความเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน (ภาพที่34B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่า ข้าวทั้งสองกลุ่มประชากรมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรากของประชากรเท่ากับ 0.1173 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยชีวมวลจากกลุ่มประชากรต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะปกติเป็นเวลา 17 วัน ประมาณ 136% ซึ่งข้าวพันธุ์เกษตรดอ (96) และ พันธุ์เล้าแตก (50) มีค่าน้ำหนักแห้งรากมากที่สุดแยกชัดเจนออกจากกลุ่มประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2269 กรัม และ 0.2033 กรัมตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์แม่หม้าย (52) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรากน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0552 กรัม สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 0.0582 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากช่วงเวลาที่แล้วประมาณ 24.79% ซึ่งข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดและแยกออกจากกลุ่มประชากรได้เด่นชัด โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 0.1431 กรัม ในขณะที่พันธุ์เหลืองดง (46) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุดในประชากรคือ 0.0258 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่34C) พบว่า ค่าทั้งหมดของกลุ่มประชากรข้าวเริ่มลดต่ำลงกว่าค่า 1 โดยค่าส่วนใหญ่ในประชากร เริ่มลดลงมาเหลือในช่วง 0.400 - 0.600 หรือประมาณ 50 % จากช่วงเวลาที่แล้วเท่านั้น จากค่านี้สื่อให้เห็นว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากรเริ่มเกิดภาวะเครียดโดยสมบูรณ์ โดยที่ข้าวพันธุ์ที่มีการรักษาเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งรากได้ดีที่สุดโดยมีค่าใกล้เคียง 1 อย่างเห็นได้ชัด เช่น พันธุ์แม่หม้าย (52) และ กข9 (131) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.9280 และ 0.8886 ตามลำดับ

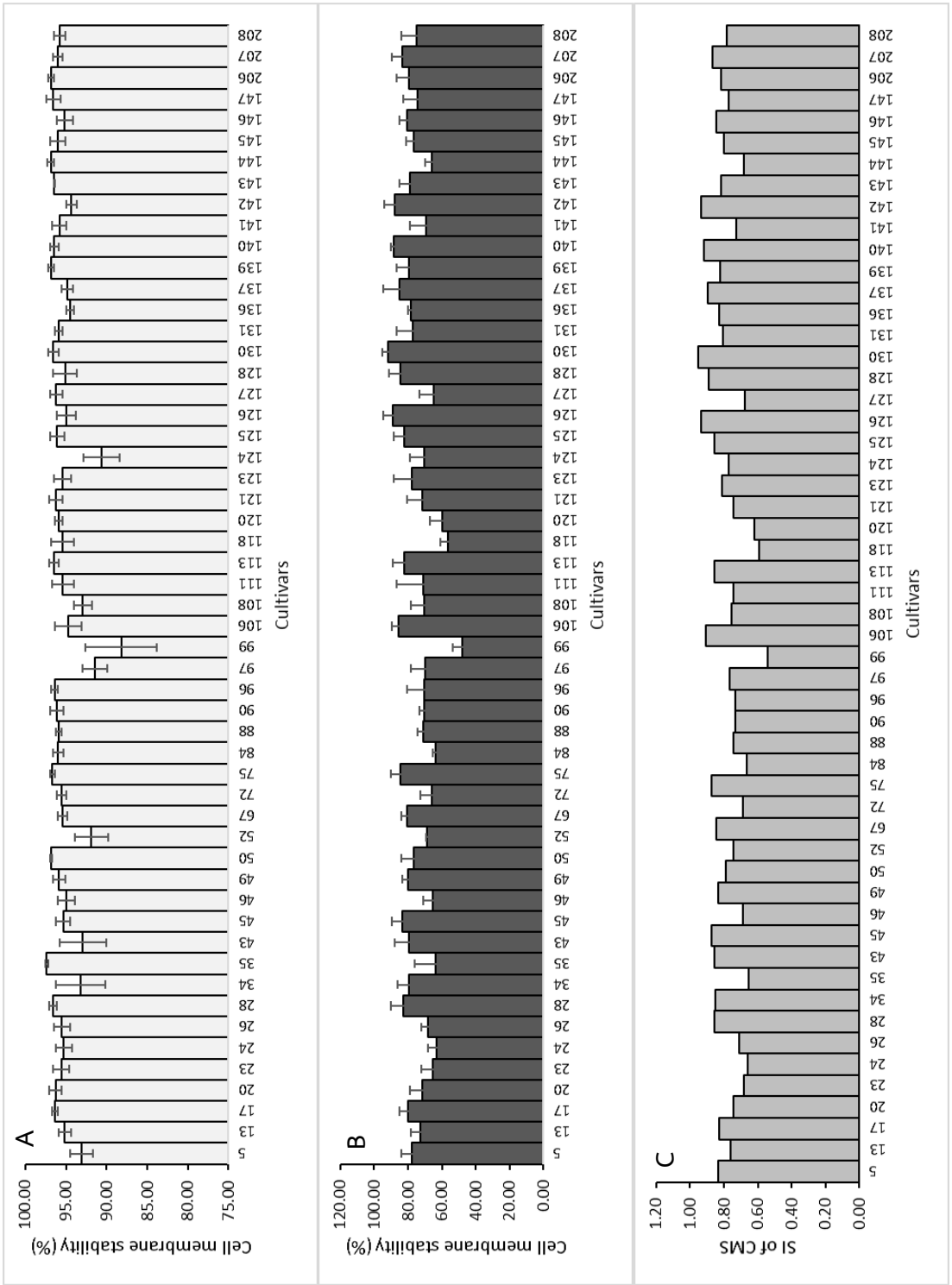
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 35 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่35A) พบว่า ในภาวะปกติ ค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเฉลี่ยของกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับ 91.13% ค่าดังกล่าวใกล้เคียงกันในช่วงประมาณ 80% - 100% ส่วนผลการศึกษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าที่ได้รับภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน (ภาพที่35B) พบว่าโดยภาพรวม ข้าวในกลุ่มประชากรมีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงไปและค่อนข้างมีความแปรผันของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในประชากรค่อนข้างมาก โดยพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบสูงที่สุดคือ พันธุ์ซิวแม่จัน (106) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100% และพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบต่ำที่สุดคือ พันธุ์อีพวง (99) โดยมีค่าเฉลี่ยเพียงแค่ 38.50 % ค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของประชากรมีค่าเท่ากับ 82.01% สำหรับค่าดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว (ภาพที่35C) เนื่องจากค่าเริ่มต้นในประชากรข้าวพันธุ์ที่เติบโตในภาวะปกติ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้ค่าดัชนีเสถียรภาพ มีรูปแบบไม่แตกต่างไปมากนักเมื่อเทียบกับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าวในภาวะเครียดจากความเค็ม และในภาพรวมของประชากรข้าวเริ่มมีการตอบสนองต่อภาวะเค็มที่ลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม โดยข้าวพันธุ์ที่สามารถรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบได้ดีโดยมีค่าใกล้เคียง 1 หรือสูงกว่า 1 เล็กน้อยอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ ข้าวพันธุ์ปลาซิวดำ (17) ห้ารวง (88) ซิวแม่จัน (106) และ ขาวกอเดียว (130) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.0596 1.1246 1.0999 และ 1.1226 ตามลำดับ

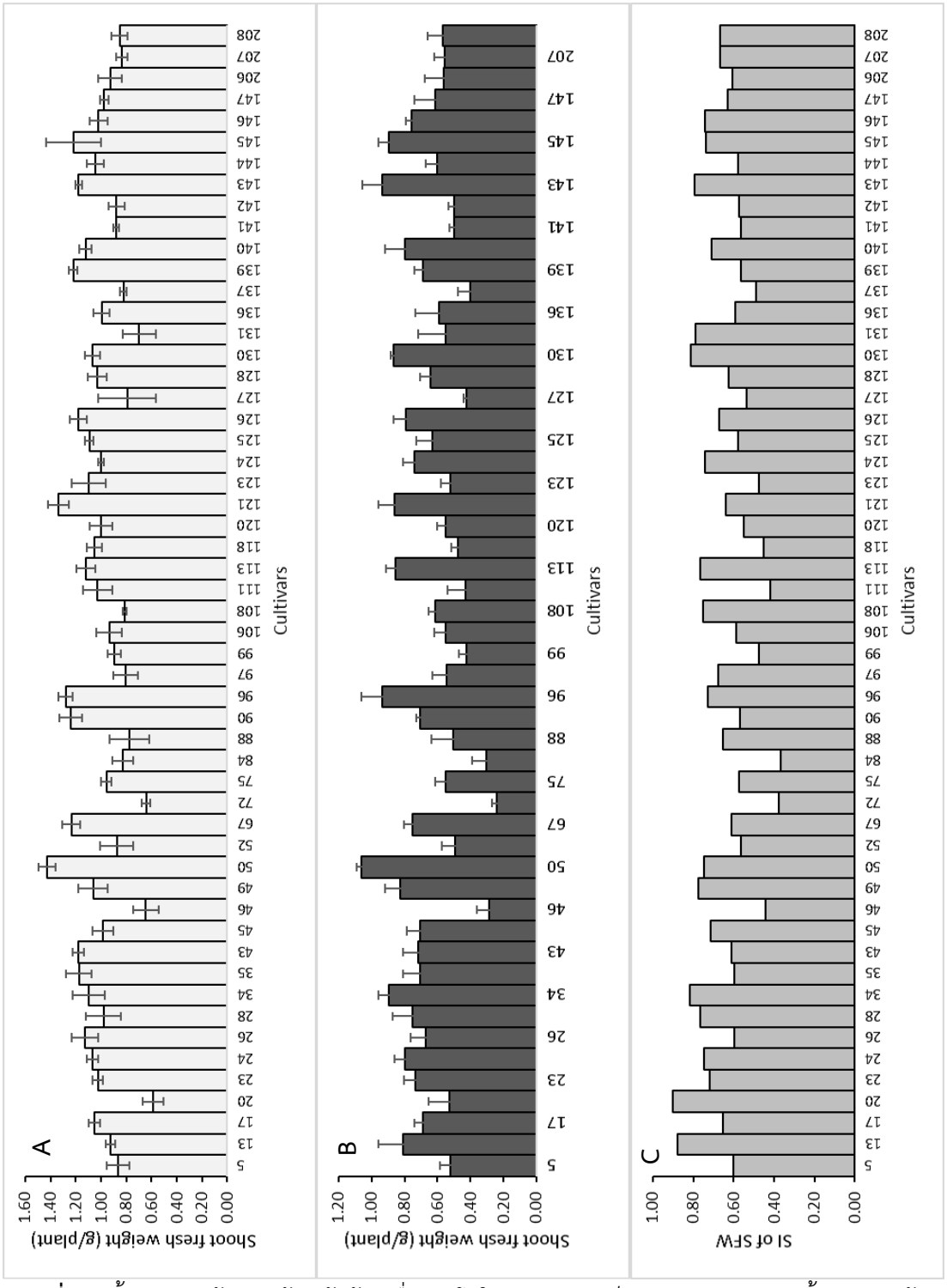
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 36 เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

จากผลการศึกษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 20 วัน (ภาพที่36A) และภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันในชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 36B) พบว่าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม มีค่าเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งสองกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติถึงแม้จะมีค่าเฉลี่ยของประชากรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าโดยรวมแล้วมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 88% - 98% โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์สูงที่สุดแยกออกจากพันธุ์อื่นในกลุ่มประชากรคือ พันธุ์สำอางค์ (35) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 97.37% ในขณะที่พันธุ์อีพวง (99) มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ต่ำที่สุด คือ 88.21% ค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของกลุ่มประชากรเท่ากับ 95.26% สำหรับผลการศึกษาในภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ค่าโดยภาพรวมของประชากรมีค่าลดลงจากภาวะเริ่มต้นหรือภาวะปกติ ประมาณ 20% โดยที่ข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว (130) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์มากที่สุดคือ 92.04% ในขณะที่ข้าวพันธุ์อีพวง (99) มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์น้อยที่สุดในประชากรคือ 47.88% สำหรับในประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 6 วัน มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 74.84% และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่ 36C) พบว่ารูปแบบการเจริญมีความแตกต่างกันในกลุ่มประชากรโดยภาพรวมนั้น ข้าวในประชากรมีเสถียรภาพที่ลดลงพอพอกันทั้งประชากรหลังจากได้รับภาวะเครียดจากความเค็มไปเป็นระยะเวลา 6 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.79

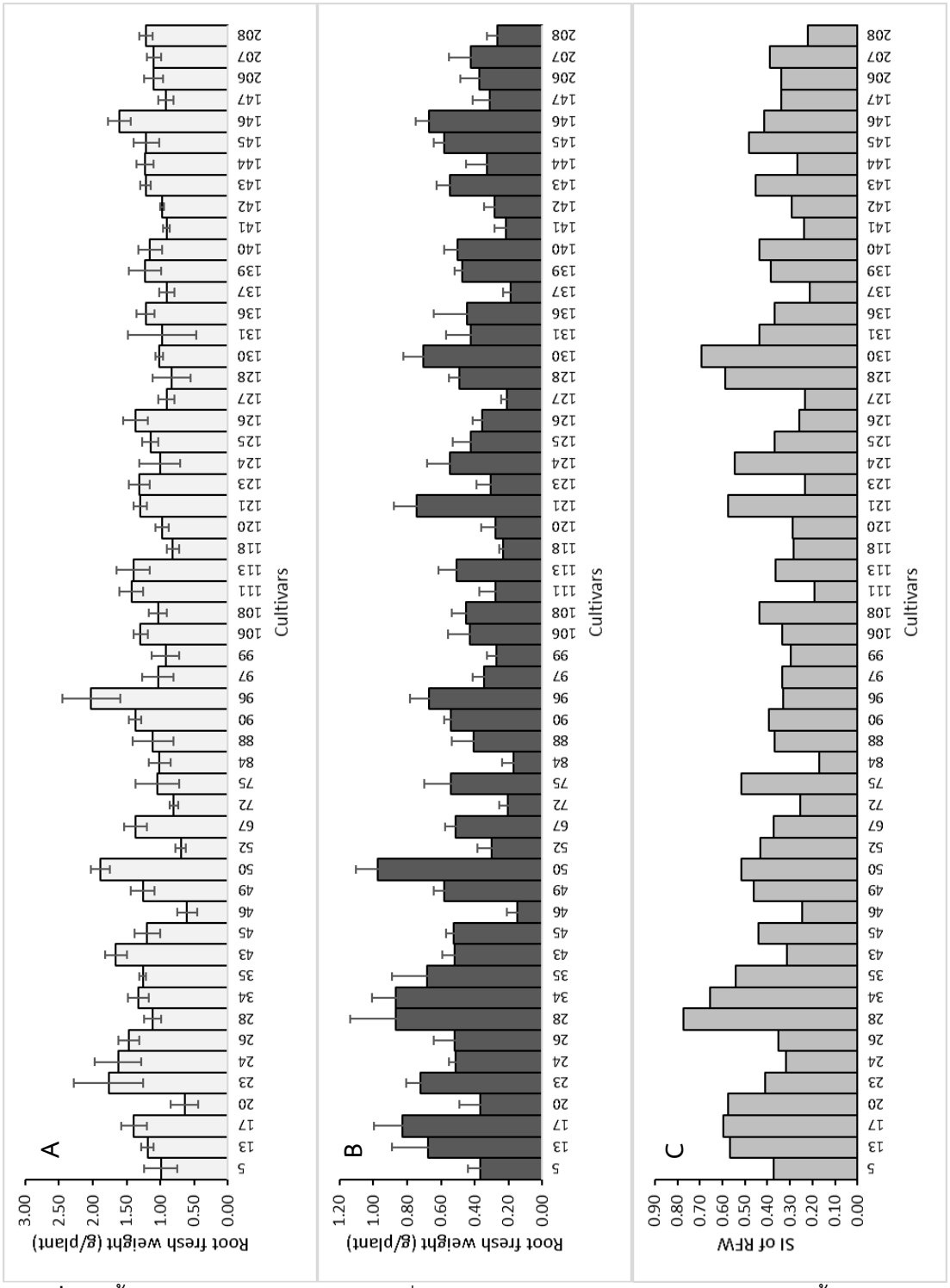
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 37 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (ภาพที่37A) และในภาวะเติบโตในความเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน (ภาพที่37B) ในต้นกล้าข้าวชุดการทดลองที่ 2 ข้าวทั้งสองกลุ่มประชากรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นของประชากรเท่ากับ 0.9988 กรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 25.52% จากกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 20 วัน โดยพันธุ์ข้าวที่มีค่าน้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในกลุ่มประชากรคือ พันธุ์เล้าแตก (50) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นเท่ากับ 1.4270 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ (20) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นเฉลี่ยน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.5884 กรัม สำหรับกลุ่มต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน มีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.6402 กรัม เพิ่มจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน ประมาณ 4% เท่านั้นโดยข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) ยังคงเป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในกลุ่มประชากรเช่นเดียวกับค่าที่โตในภาวะปกติ คือ 1.0639 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) ยังคงเป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดในกลุ่มประชากรเช่นกัน คือ 0.2420 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้น (ภาพที่37C) พบว่า ค่าดังกล่าวของทั้งกลุ่มประชากร เริ่มมีค่าลดลงจากค่าดัชนีเสถียรภาพลดลงจากกลุ่มประชากรที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 6 วันเป็นอย่างมาก โดยไม่มีข้าวพันธุ์ที่รักษาเสถียรภาพของน้ำหนักสดได้ใกล้เคียง 1 โดยค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีเสถียรภาพในประชากรมีค่าเท่ากับ 0.6381 ซึ่งมีค่าลดลงจากค่าดัชนีเสถียรภาพเมื่อพืชได้รับความเครียดจากภาวะเค็มไป 6 วันประมาณ 15%

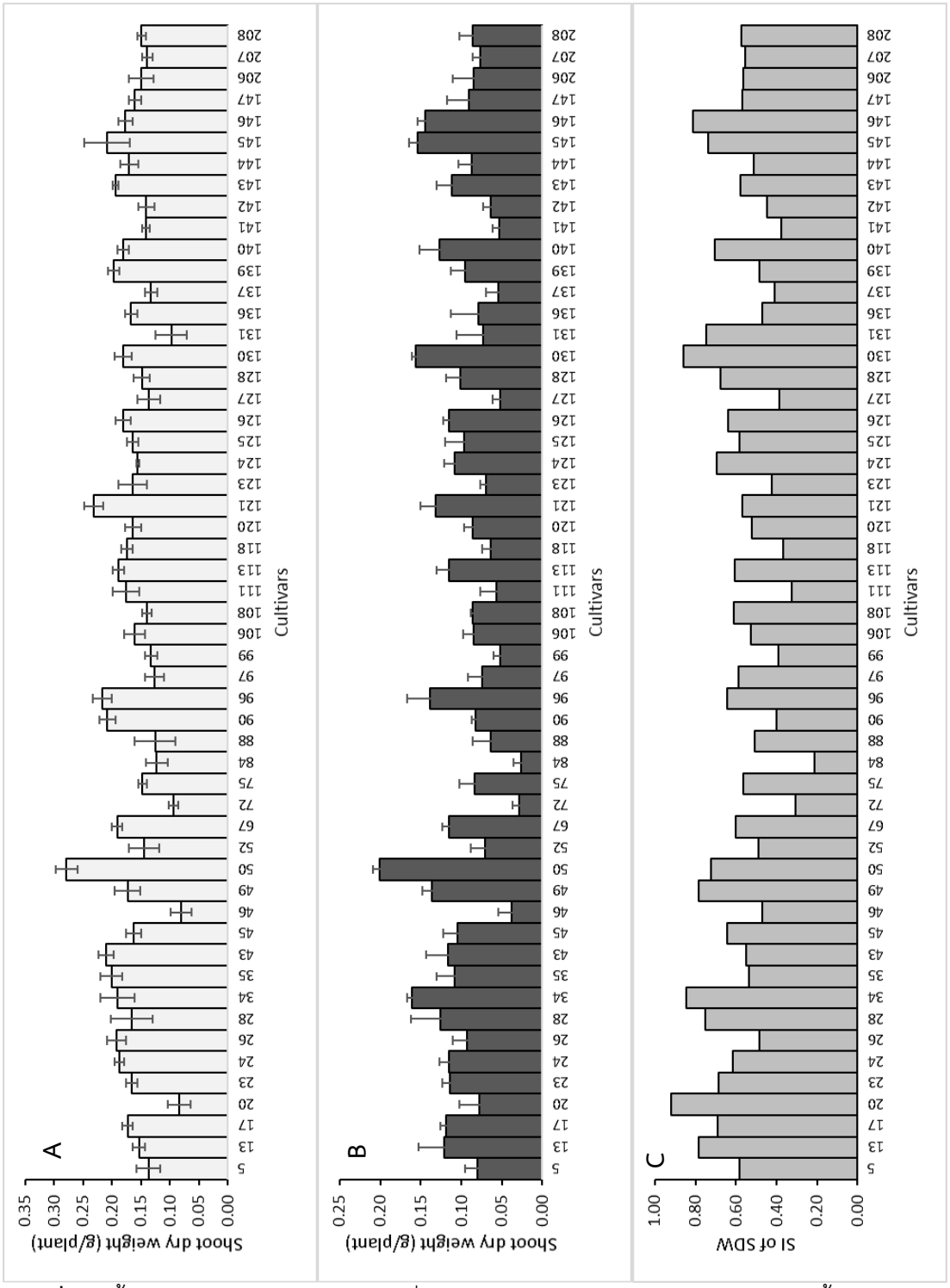
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 38 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (ภาพที่38A) และในภาวะเติบโตในความเครียดเค็มของต้นกล้าข้าวชุดการทดลองที่ 2 เป็นระยะเวลา 9 วัน (ภาพที่ 38B) พบว่าข้าวทั้งสองกลุ่มประชากรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของประชากรเท่ากับ 1.1775 กรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 35% จากกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 20 วัน โดยพันธุ์ข้าวที่มีค่าน้ำหนักสดรากสูงที่สุดในกลุ่มประชากรคือ พันธุ์เกษตรดอ (96) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากเท่ากับ 2.0240 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหลืองดง (46) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดรากเฉลี่ยน้อยที่สุดในประชากรคือ 0.6051 กรัม สำหรับกลุ่มต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน มีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.4645 กรัม เพิ่มจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน ประมาณ 4.5 % เท่านั้นโดยข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงที่สุดในกลุ่มประชากรเช่นเดียวกับค่าที่โตในภาวะปกติ คือ 0.9738 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหลืองดง (46) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.1502 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดราก (ภาพที่38C) พบว่า ค่าดังกล่าวของทั้งกลุ่มประชากร เริ่มมีค่าลดลงจากค่าดัชนีเสถียรภาพในช่วงระยะเวลาที่แล้วอย่างมากเช่นเดียวกับค่าน้ำหนักสดต้น และไม่มีข้าวพันธุ์ที่รักษาเสถียรภาพของน้ำหนักสดได้ใกล้เคียง 1 โดยค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีเสถียรภาพในประชากรมีค่าเท่ากับ 0.3900 ซึ่งมีค่าลดลงจากค่าดัชนีเสถียรภาพเมื่อพืชได้รับความเครียดจากภาวะเค็มไป 6 วันประมาณ 31% โดยที่ข้าวพันธุ์ที่สามารถรักษาเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากได้ดีที่สุดและแยกชัดเจนจากพันธุ์อื่นในกลุ่มประชากรได้แก่ พันธุ์รากแห้ง (28) และ ขาวกอเดียว (130) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.77379 และ 0.69148 ตามลำดับ

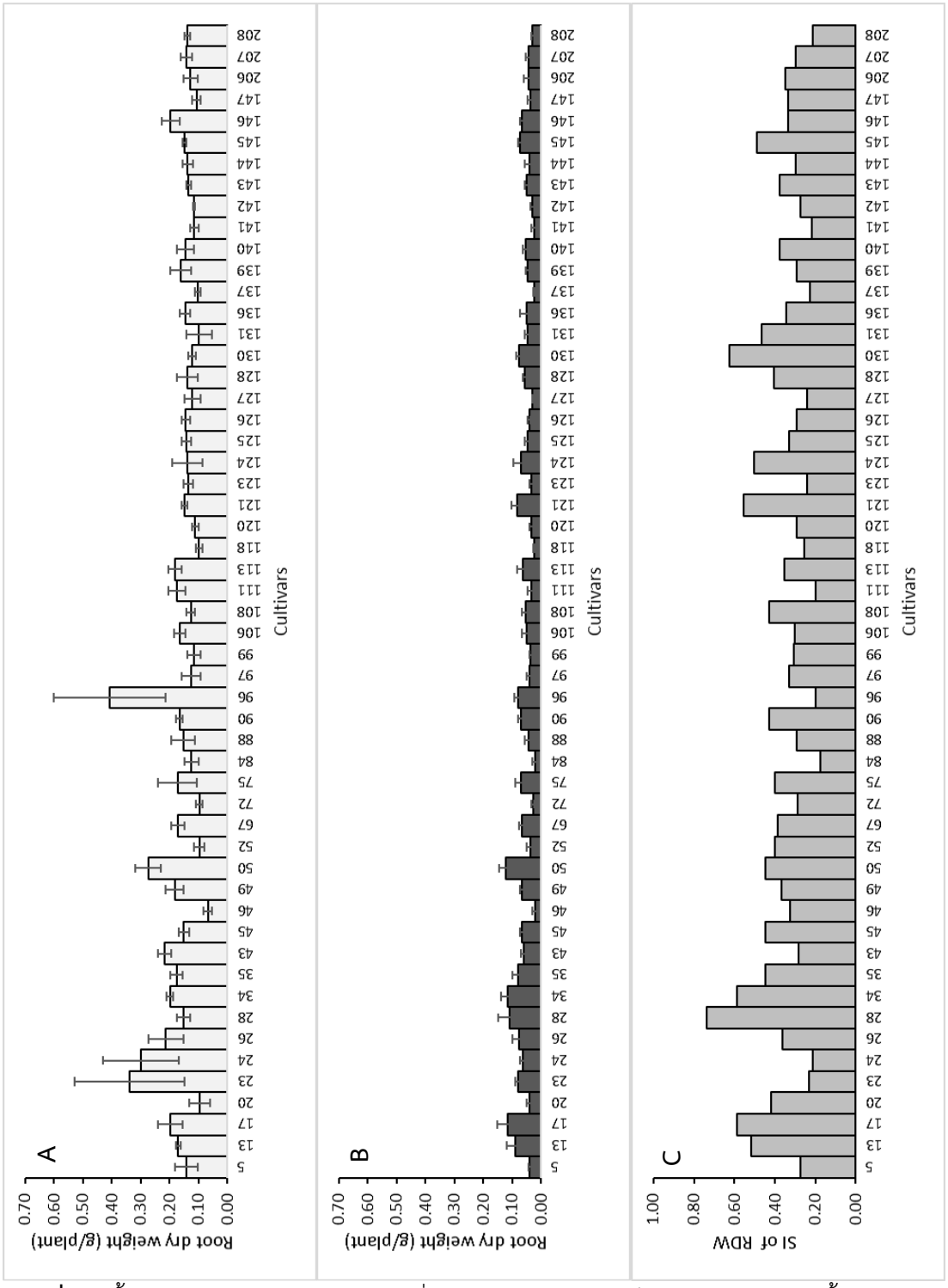
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 39 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

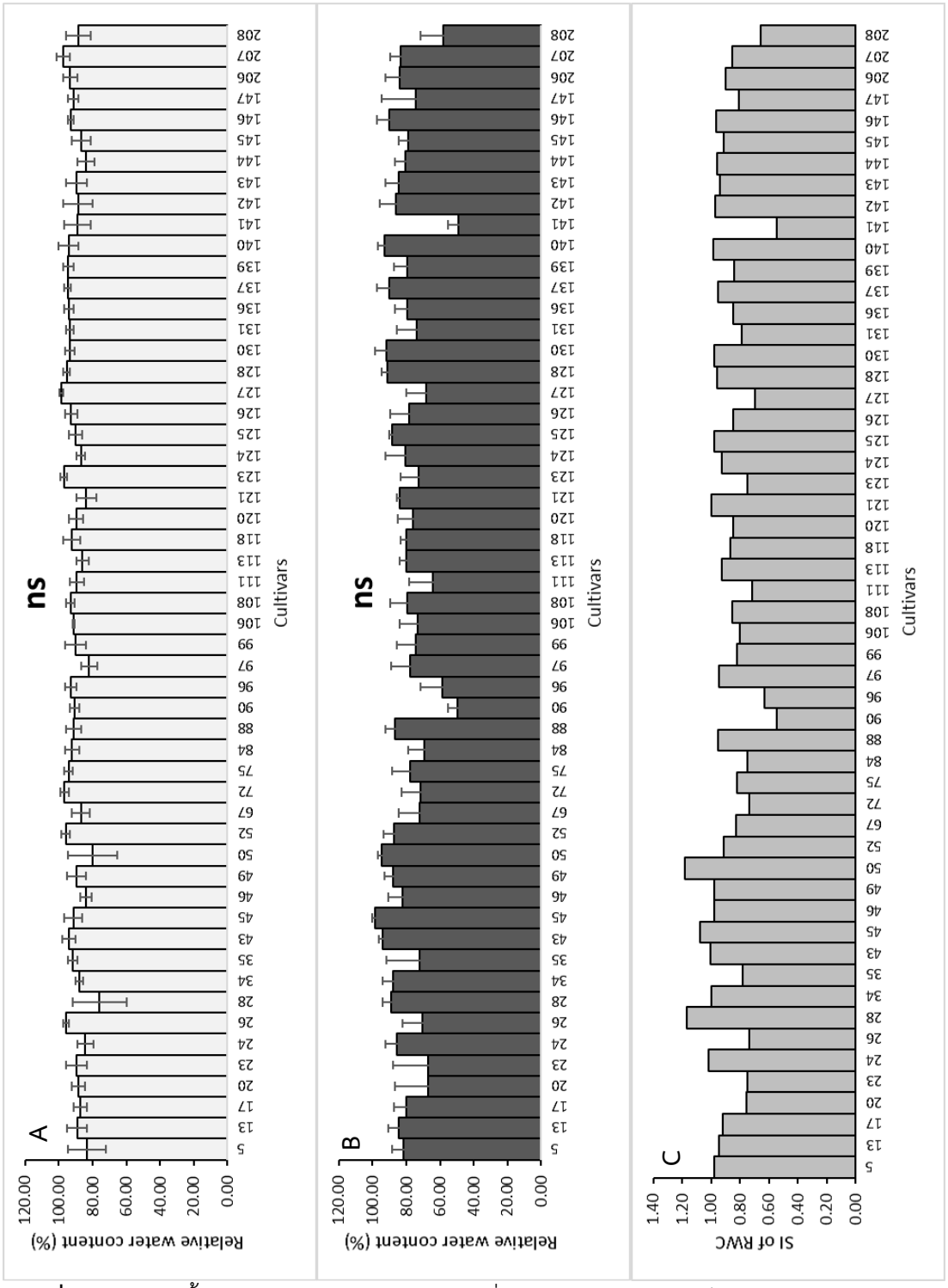
ผลการศึกษาค่าน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (ภาพที่ 39A) และในภาวะเติบโตในความเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน (ภาพที่ 39B) ในต้นกล้าข้าวชุดการทดลองที่ 2 พบว่าข้าวทั้งสองกลุ่มประชากรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของประชากรเท่ากับ 0.1639 กรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 33% จากกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 20 วัน โดยพันธุ์ข้าวที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในกลุ่มประชากรคือ พันธุ์เล้าแตก (50) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นเท่ากับ 0.2791 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหลืองดง (46) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นเฉลี่ยน้อยที่สุดในประชากรคือ 0.0812 กรัม สำหรับกลุ่มต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน มีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.0952 กรัม เพิ่มจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน ประมาณ 5% เท่านั้นโดยข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) ยังคงเป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในกลุ่มประชากรเช่นเดียวกับค่าที่โตในภาวะปกติ คือ 0.2013 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์สายหยุด (84) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.0262 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 39C) พบว่า ค่าดังกล่าวของทั้งกลุ่มประชากร เริ่มมีค่าลดลงจากค่าดัชนีเสถียรภาพในช่วงระยะเวลา 3 วันที่แล้วอย่างมากและไม่มีข้าวพันธุ์ที่รักษาเสถียรภาพของน้ำหนักสดได้ใกล้เคียง 1 โดยค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีเสถียรภาพในประชากรมีค่าเท่ากับ 0.5755 ซึ่งมีค่าลดลงจากค่าดัชนีเสถียรภาพเมื่อพืชได้รับความเครียดจากภาวะเค็มไป 6 วันประมาณ 10.87% โดยพันธุ์ที่ค่อนข้างรักษาเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นได้ค่อนข้างสูงแยกออกมาชัดเจนจากกลุ่มประชากร ได้แก่ ข้าวพันธุ์เหลืองงาม (20) ขาวกอเดียว (130) และ นางมล (146) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.9202 0.8593 และ 0.8112 ตามลำดับ

Chulalongkorn University



ภาพที่ 40 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

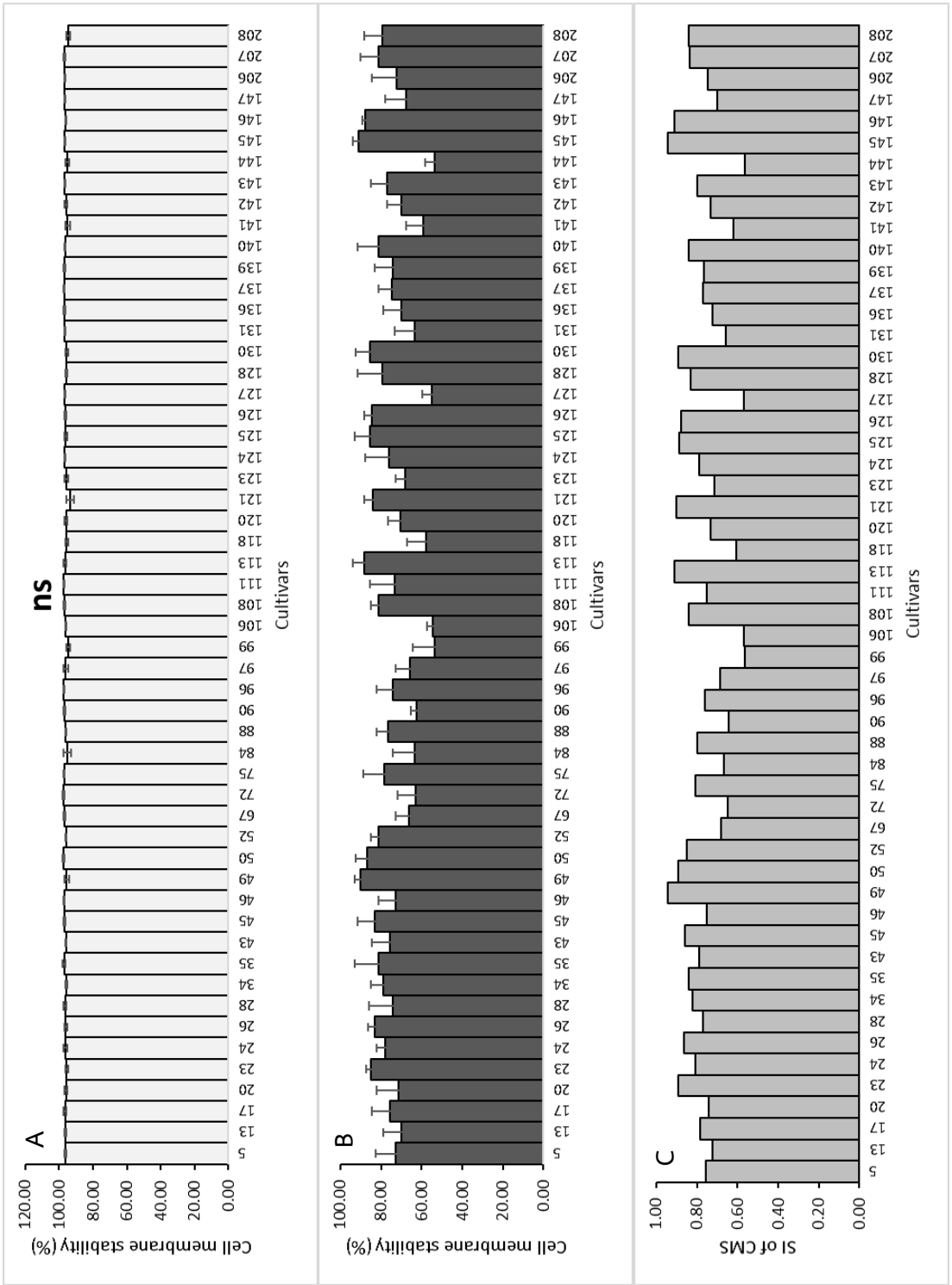
ผลการศึกษาค่าน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (ภาพที่40A) และเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (ภาพที่ 40B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของทั้งสองประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกลุ่มประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.1572 กรัม โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าน้ำหนักประชากรกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ 20 วัน ประมาณ 34% ซึ่งข้าวพันธุ์เกษตรดอ (96) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยชีวมวลรากสูงที่สุดแยกจากพันธุ์อื่นในประชากร คือ 0.4071 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ เหลืองงาม (20) เหลืองดง (46) แม่หม้าย (52) ไอไท้ (72) หางยี 71 (118) กข9 (131) และ กข13 (137) เป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดในประชากรโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0971 0.0683 0.0974 0.0975 0.0991 0.0985 และ 0.1032 กรัมตามลำดับ สำหรับประชากรต้นกล้าข้าวที่ได้รับภาวะความเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของประชากรเท่ากับ 0.0556 กรัม ซึ่งมีค่าลดลงประมาณ 4.50 % จากค่าเฉลี่ยประชากรข้าวที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน โดยภาพรวมของค่าน้ำหนักแห้งรากนั้น มีค่าลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งรากที่เติบโตในภาวะปกติ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้น มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 0.0200 - 0.1500 กรัมเท่านั้น โดยพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในประชากร คือ พันธุ์เล้าแตก (50) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 0.1233 กรัม ในขณะที่พันธุ์สายหยุด (84) เป็นพันธุ์ที่ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0220 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพ (ภาพที่40C) พบว่า ค่าเฉลี่ยประชากรของค่าดัชนีเสถียรภาพลดลงอย่างมากถึง 29 % เมื่อเทียบกับค่าดัชนีเสถียรภาพเฉลี่ยของประชากรข้าวเมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน โดยค่าเฉลี่ยประชากรของดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งรากมีค่าเท่ากับ 0.36 โดยพันธุ์ข้าวที่มีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพได้ค่อนข้างดีดีในกลุ่มประชากรอย่างเห็นได้ชัด คือพันธุ์รากแห้ง (28) และ ขาวกอเดียว (130) โดยมีค่าเท่ากับ 0.7357 และ 0.6250 ตามลำดับ



ภาพที่ 41 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 23 วัน (ภาพที่ 41A) และภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน (ภาพที่41B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่าทั้งต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบในทั้งสองกลุ่มประชากร สำหรับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกลุ่มประชากรเท่ากับ 90.36 % ซึ่งค่าดังกล่าว ยังคงมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 86.00% – 99.00% สำหรับในประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกลุ่มประชากรเท่ากับ 78.93 % โดยที่ค่าเฉลี่ยประชากรของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 74% - 99%ซึ่งลดลงจากค่าเฉลี่ยของปริมานน้ำสัมพัทธ์ในใบของประชากรข้าวที่ได้รับภาวะความเค็ม 6 วัน อยู่ประมาณ 12% แต่อย่างไรก็ดียังมีข้าวบางพันธุ์ ได้แก่ เหนียวมะลิ (90) และ ดำด่าง (141) ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบค่อนข้างต่ำและแยกออกมาจากกลุ่มประชากร โดยมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 49.51% และ 48.92% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่41C) พบว่า ในภาพรวมแล้วปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงแต่ก็ยังสามารถรักษาเสถียรภาพโดยมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.80 – 1.00 ยกเว้นข้าวพันธุ์ เหนียวมะลิ (90) และดำด่าง (141) ที่ค่อนข้างมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ค่อนข้างต่ำแยกจากพันธุ์อื่นในประชากรอย่างเห็นได้ชัด

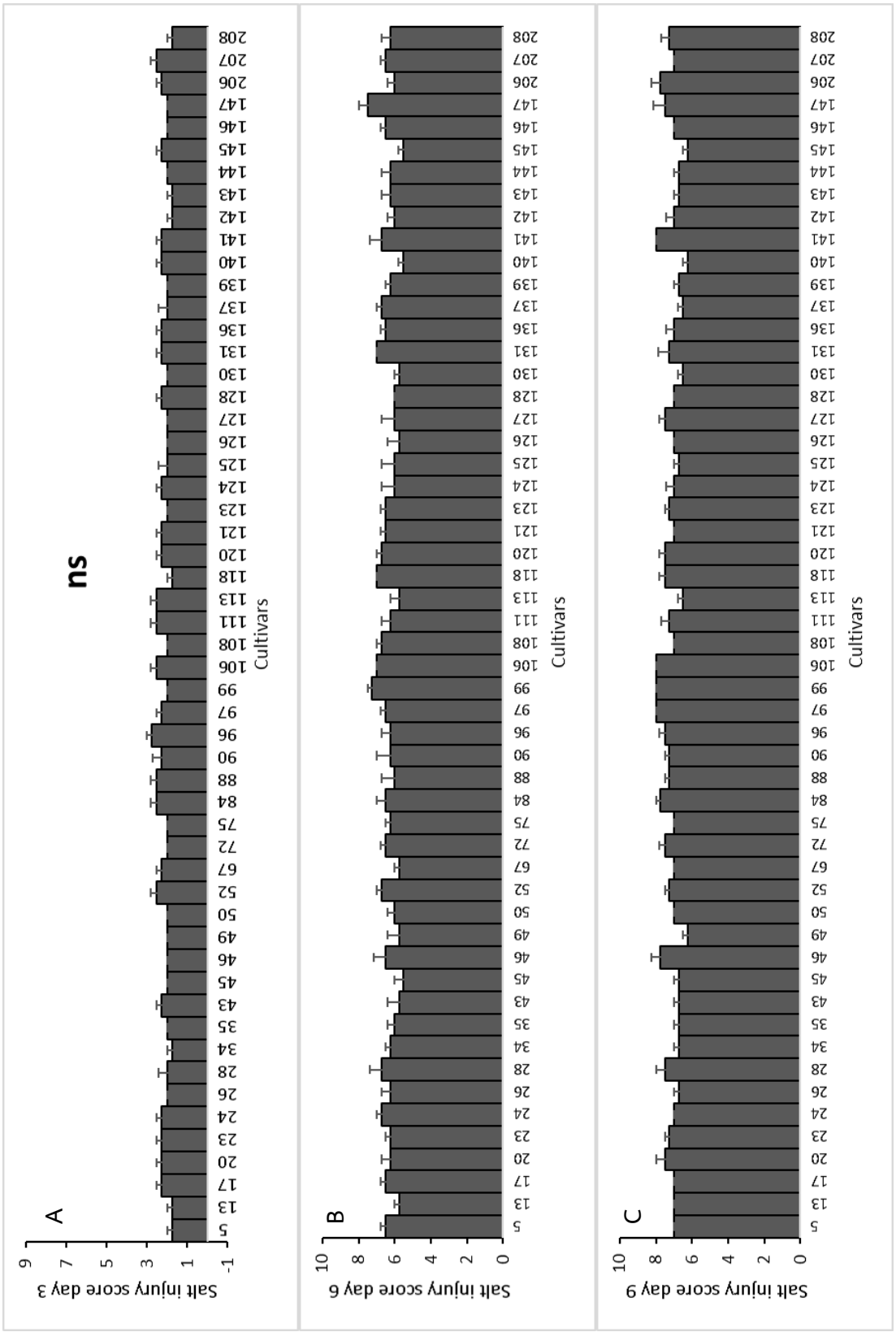
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 42 เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 2

จากผลการศึกษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติ (ภาพที่42A) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ไม่มีความแต่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มประชากรโดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 96.30 % ในขณะที่กลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน (ภาพที่ 42B) ในชุดการทดลองที่ 2 พบว่า มีค่าเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ในกลุ่มประชากรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 74.24% ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน โดยที่ข้าวพันธุ์ทูลฉลอง (145) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์มากที่สุดคือ 91.13% ในขณะที่ข้าวพันธุ์อีพวง (99) ซิวแม่จัน (106) และ กำเลี้ยว (144) มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์น้อยที่สุดในประชากรคือ 53.36% 54.52% และ 53.80% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองภาวะ (ภาพที่42C) พบว่า เนื่องจากค่าเริ่มต้นของค่าเฉลี่ยในประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติมีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงทำให้รูปแบบการแสดงออกของค่าดัชนีเสถียรภาพ และค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.7713 ซึ่งลดลงจากการตอบสนองเมื่อสามวันที่แล้วไม่มากนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

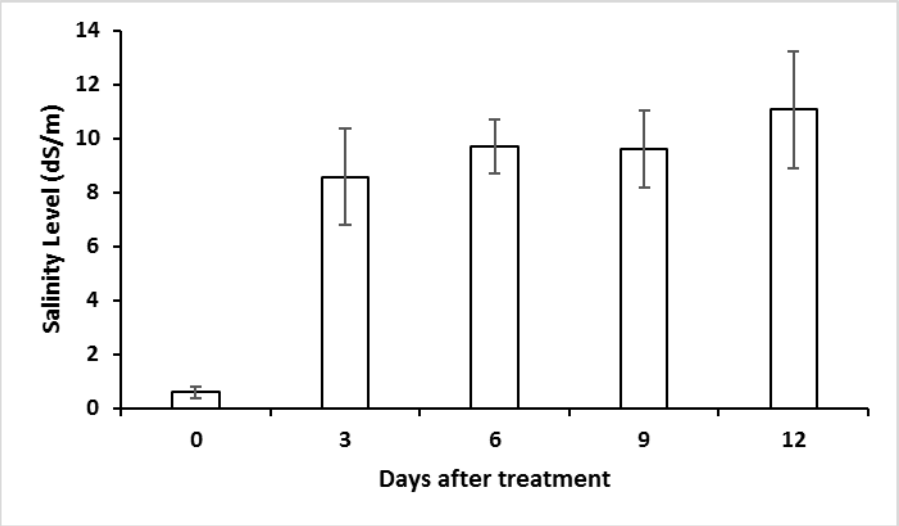


ภาพที่ 43 ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 3 วัน (A) 6 วัน (B) และ 9 วัน (C) ในชุดการทดลองที่ 2

ผลการศึกษาค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 2 ของกล้าข้าวอายุ 14 วันเมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 3 6 และ 9 วัน (ภาพที่ 43A – ภาพที่ 43C) พบว่าขณะประชากรที่ต้นกล้าข้าวที่ได้รับภาวะความเครียดจากความเค็มไปได้ 3 วัน ค่าเฉลี่ยประชากรของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มยังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 2.1296 ซึ่งโดยภาพรวมนั้น ข้าวยังแสดงอาการเริ่มแรกของการได้รับภาวะเครียดจากความเค็มเพียงเล็กน้อย หรือแทบจะไม่แสดงอาการเครียดจากการตอบสนองต่อภาวะเค็ม และเมื่อพิจารณาที่ประชากรข้าวที่ได้รับภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน ค่าเฉลี่ยค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มในประชากรเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 6.3 โดยค่าเฉลี่ยค่าคะแนนในประชากรโดยภาพรวมนั้น มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่างค่าคะแนน 5.0 – 7.0 โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียหายต่ำที่สุดในประชากร คือ ข้าวพันธุ์หมากบิด (45) และเจ้าแดง (140) โดยมีค่าเฉลี่ยค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มเท่ากัน คือ 5.5 สำหรับข้าวพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียหายสูงที่สุดในกลุ่มประชากรคือ พันธุ์ขาวประกวด (147) โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มสูงถึง 7.5 สำหรับกลุ่มข้าวที่ได้รับภาวะความเครียดเค็มผ่านไป 9 วัน ค่าในกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 7.12 โดยภาพรวมของต้นกล้าข้าวในภาวะนี้นั้น มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 7.00 – 8.00 ข้าวบางพันธุ์เริ่มมีคะแนนความเสียหายจากความเครียดเค็มส่งผลให้ต้นตาย (มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มสูงที่สุดเท่ากับ 9 โดยพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียหายต่ำที่สุดในประชากร คือพันธุ์รวงเดียว (49) เจ้าแดง (140) และ ทูลฉลอง (145) โดยมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มเท่ากันคือ 6.25 สำหรับข้าวพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียสูงที่สุดในประชากรคือข้าวพันธุ์ กำผาย (97) อีพวง (99) ชิวแม่จัน (106) และ ดำด่าง (141) โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มเท่ากันคือ 8.0

1.3 ผลการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 3

สำหรับการปลูกเพื่อเก็บค่าการตอบสนองทางสรีวิทยาในชุดการทดลองที่ 3 ดำเนินโรงเรือนปลูกพืชทดลอง ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ในระหว่างวันที่ 1 - 23 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2556 โดยทำการศึกษาในข้าวจำนวน 79 พันธุ์ดังรายชื่อในตาราง 4 โดยมีข้าวพันธุ์ Pokkali และ IR29 เป็นพันธุ์มาตรฐานทนทานเค็มระดับสูง และ พันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อความเค็มเป็นตัวเปรียบเทียบ เมื่อปลูกกล้าข้าวอายุ 2 สัปดาห์ทำการให้ภาวะเค็มโดยการเติมสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 115 mM ปริมาตร 10 ลิตรลงในภาชนะปลูก ซึ่งจะทำให้ดินมีความเค็มระดับ 9-10 dS/m ตั้งแต่วันที่ 3 หลังจากได้รับภาวะเค็ม เก็บค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้น, น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ และค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มในวันที่ 0 6 9 และ 12 หลังได้รับภาวะเค็ม จากนั้นในวันที่ 13 ย้ายต้นกล้าข้าวปลูกในดินปกติ ปลูกเลี้ยงเพื่อรอเก็บซึ่งผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาในพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะแสดงในภาพที่ 45 – ภาพที่ 83



ภาพที่ 44 ระดับความเค็มของดินขณะที่ทำการทดลองศึกษาการตอบสนองต่อความเค็ม โดยให้สารละลาย NaCl กับดินเป็นเวลา 0 - 12 วัน

ตารางที่ 4 พันธุ์ข้าวชุดที่ 3 ที่ใช้ทำการศึกษาลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวในระยะต้นกล้าที่มีต่อภาวะเค็ม

หมายเลขในการทดลอง	GS No.	ชื่อพันธุ์
6	6152	ขาวแก้ว
21	23595	บือซอมี
22	574	พวงทอง
27	12160	ดอกข่า
30	12503	ขาวคด
31	12507	แจกัน
40	19877	ขาวบ้านโภชน์
41	21695	ตาบาน
44	21708	ขี้ตมขาว
48	22783	ขี้ตมพัน
51	22850	แดงนา
53	23233	พวงหางนาค
57	2042	ช่อมะกอก
60	12492	เจ้ารากแห้ง
65	3241	ปลาแข็ง
68	5681	เหลืองประทิว
86	22379	นาขวัญ
98	23232	ขี้ตมกลาง
101		Pokkali
102		IR29
104	7282	ขาวหลวง
105	3151	นางนวล
107	4001	ซิวแม่จัน
109	868	LPT123
110	15101	สังข์หยด
112	63	เหนียวสันป่าตอง
132	2963	พวงเงิน
133	3023	น้ำสะกุย 19
135	3031	บุญมา
148	3770	ขาวเสมอ
150	3808	ขาวตาเจือ
151	3810	ขาวแตงโม
152	3979	เล็กนก
153	3999	กข17
154	4000	กข19
155	4490	ก่ำเฟือง
156	4790	กข10
157	4791	กข21
158	4793	กข25
159	5211	จำปาทอง
160	5533	ขาวหลวง
161	5545	ตาเจือ
162	5551	เหลืองควายล้า
163	5625	ข้าวฮ้าว
164	5678	เศรษฐี
165	6230	ลอยห้ารวง
166	6440	หลวงประทาน
167	6442	คันนา

ตารางที่ 4(ต่อ) พันธุ์ข้าวชุดที่ 3 ที่ใช้ทำการศึกษาลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวในระยะต้นกล้าที่มีต่อภาวะเค็ม

หมายเลขในการทดลอง	GS No.	ชื่อพันธุ์
168	6448	เหลืองเตี้ย
169	6812	เหลืองแก้ว
170	7025	ลายหมาก
171	7125	กข27
172	7285	เหลืองควายล้า
173	7288	ส่ามรวง
174	7293	เหลืองปลากิม
175	7303	เหลืองนวล
177	13201	เกวียนหัก
179	9362	ขาวพวง
180	9742	ช่อปลีขาว
181	9956	ช่อลุง
182	12266	พวงนาค
183	12270	ขาวตาเชื้อ
185	14154	เหลืองใบลด
186	14155	เหลืองใบแจก
187	15833	น้ำสะกุย 19
188	16232	หันตรา 60
189	16235	ชุมแพ 60
190	16240	สุพรรณบุรี 60
192	20712	ชัยนาท 1
193	20864	พลายงามปราจีนบุรี
194	21240	เหนียวดำหลาย

หมายเลขในการทดลอง	GS No.	ชื่อพันธุ์
197	21628	กข12
198	21963	ลูกแดงปัตตานี
199	21964	เฉี้ยงพัทลุง
200	22492	สูน
201	22653	แก่นจันทร์
202	23303	ลูกแดงปัตตานี
204	23406	ข้าวเจ้าปราจีนบุรี 1
205	24533	กข31 (ปทุมธานี 80)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าน้ำหนักสดต้น ค่อนข้างมีรูปแบบที่แตกต่างไม่เหมือนกับชุดการทดลองที่ 1 และ ชุดการทดลองที่ 2 โดยจะพบว่า ในกลุ่มประชากรข้าวที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 และ 9 วัน มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้นที่ค่อนข้างสูงกว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นที่เติบโตในภาวะปกติ แต่หลังจากที่ต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 12 วัน ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากมีค่าเฉลี่ยประชากรที่สูงกว่าประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติเพียงเล็กน้อยหลังจากได้รับภาวะเครียดผ่านไป 6 วัน แต่หลังจากที่ประชากรข้าวได้รับภาวะเครียดต่อเป็นระยะเวลา 9 และ 12 วัน แนวโน้มของน้ำหนักสดราก ลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากที่เติบโตในภาวะปกติตั้งแต่วันที่ 9 ที่ทำการทดลอง โดยเมื่อถึงวันที่ 12 หลังจากได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากมีค่าลดลงจากภาวะปกติประมาณ 59% (ภาพที่ 45)

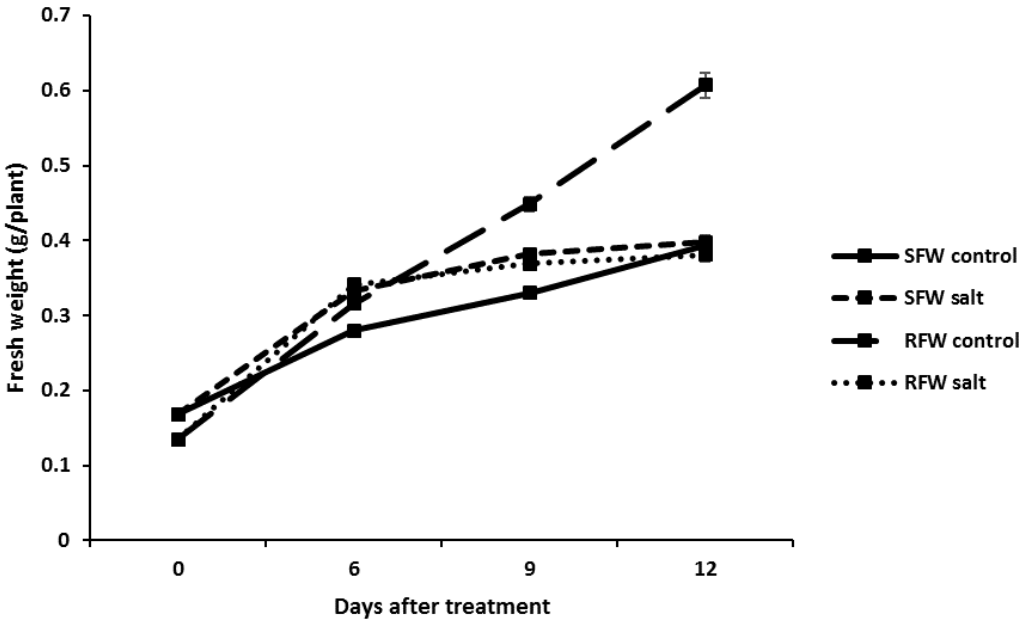
ในส่วนค่าน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่ 46) มีรูปแบบการแสดงออกที่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ 1 และ ชุดการทดลองที่ 2 เช่นกัน โดยที่ค่าน้ำหนักแห้งต้นค่อนข้างสูงกว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นที่เติบโตในภาวะปกติ แต่หลังจากที่ต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 12 วัน ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากมีค่าเฉลี่ยประชากรที่สูงกว่าประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติเพียงเล็กน้อยหลังจากได้รับภาวะเครียดผ่านไป 6 วัน แต่หลังจากที่ประชากรข้าวได้รับภาวะเครียดต่อเป็นระยะเวลา 9 และ 12 วัน แนวโน้มของน้ำหนักสดราก ลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากที่เติบโตในภาวะปกติตั้งแต่วันที่ 9 ที่ทำการทดลอง เช่นเดียวกับค่าน้ำหนักสดราก

สำหรับแนวโน้มของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (ภาพที่ 22) พบว่า มีรูปแบบการตอบสนองที่คล้ายคลึงกับการตอบสนองในข้าวชุดการทดลองที่ 1 และ ชุดการทดลองที่ 2 โดยในภาวะปกติกล้าข้าวในประชากรสามารถรักษาค่าปริมาณดังกล่าวได้ค่อนข้างดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเพียงเล็กน้อยจากระยะเวลาช่วง 3 วันแรกและสามารถคงสภาพปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบได้ค่อนข้างดีตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองและเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ในขณะที่กลุ่มต้นกล้าข้าวที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มค่าดังกล่าวมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่พืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม 6 – 12 วัน

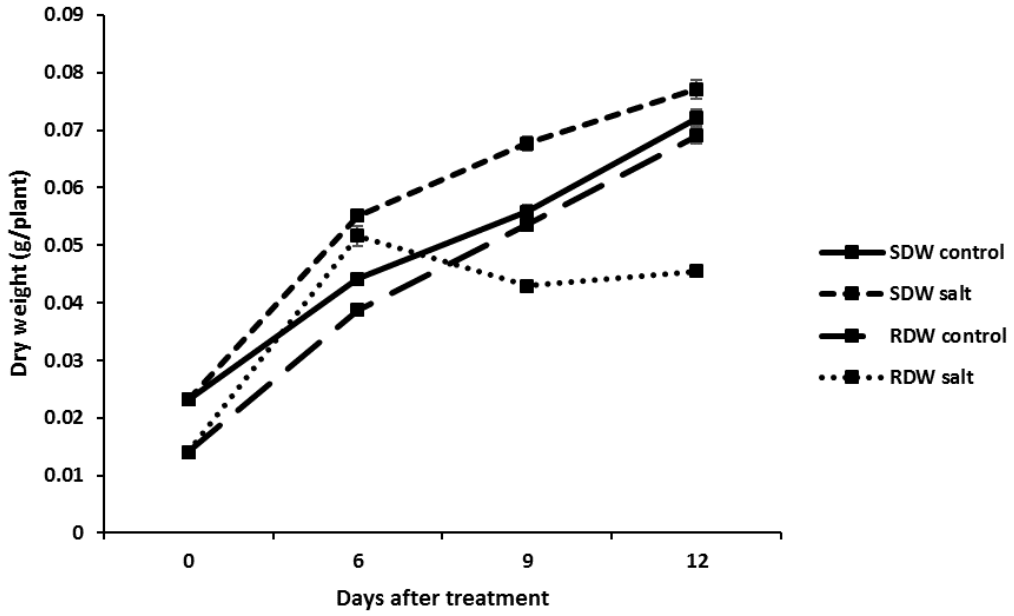
ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์พืชในประชากรชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 48) มีรูปแบบการแสดงออกที่ค่อนข้างคล้ายคลึงกับการตอบสนองของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ในชุดการทดลองที่ 2 โดยการแสดงออกของค่าเฉลี่ยประชากรที่เติบโตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรที่เปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง โดยมีค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 90% - 99% คและสำหรับในกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ มีอัตราที่ลดลงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

หลังจากได้รับความเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 9 และ 12 วัน โดยจะพบว่า เมื่อประชากรต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดไปจนถึงวันที่ 12 ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ลดต่ำลงจากค่าในภาวะปกติไปถึงประมาณ 33%

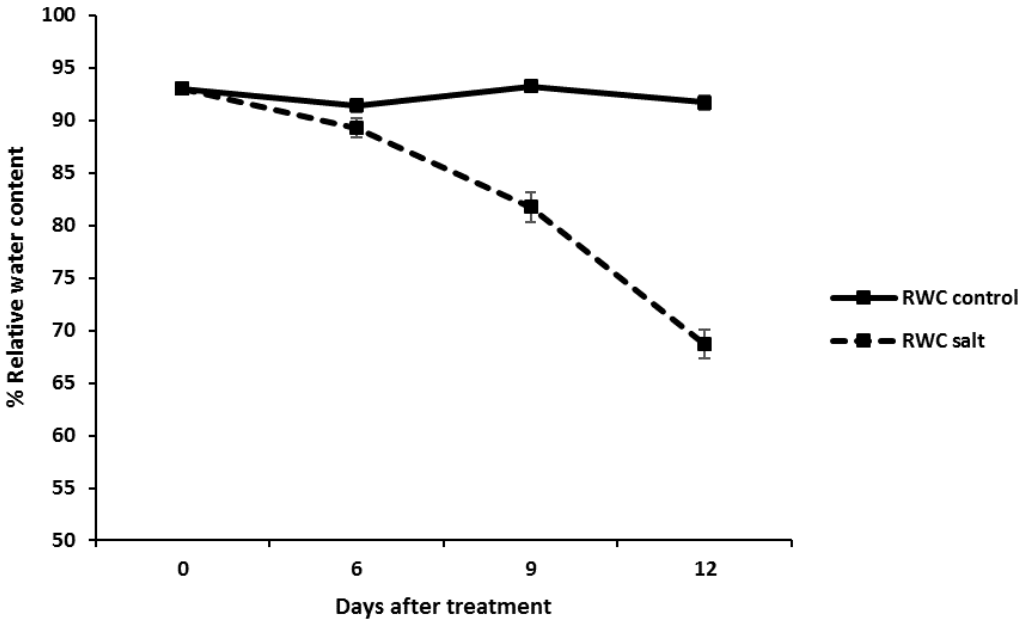
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



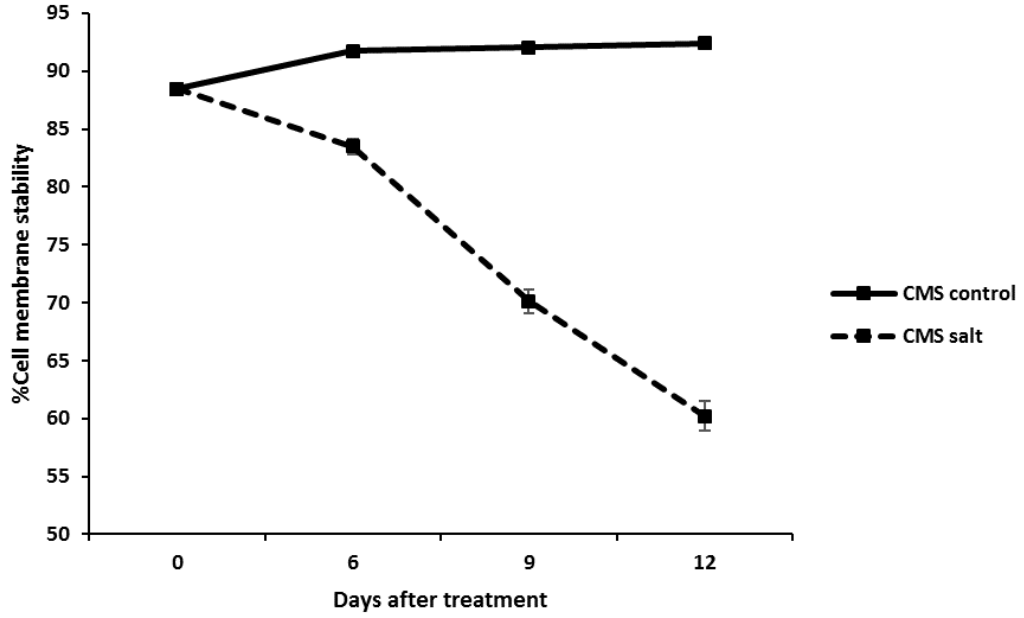
ภาพที่ 45 แนวโน้มของน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3



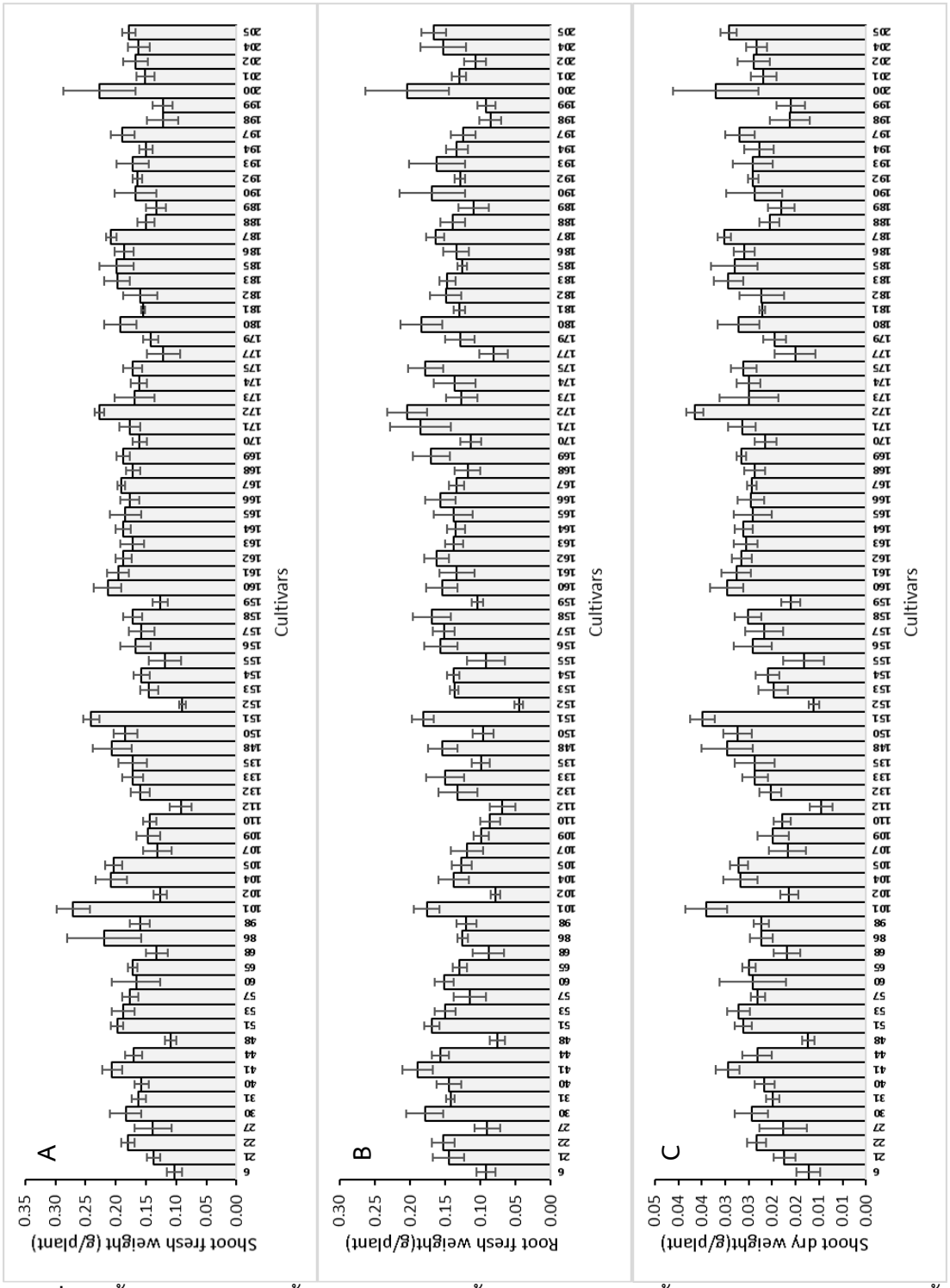
ภาพที่ 46 แนวโน้มของน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3



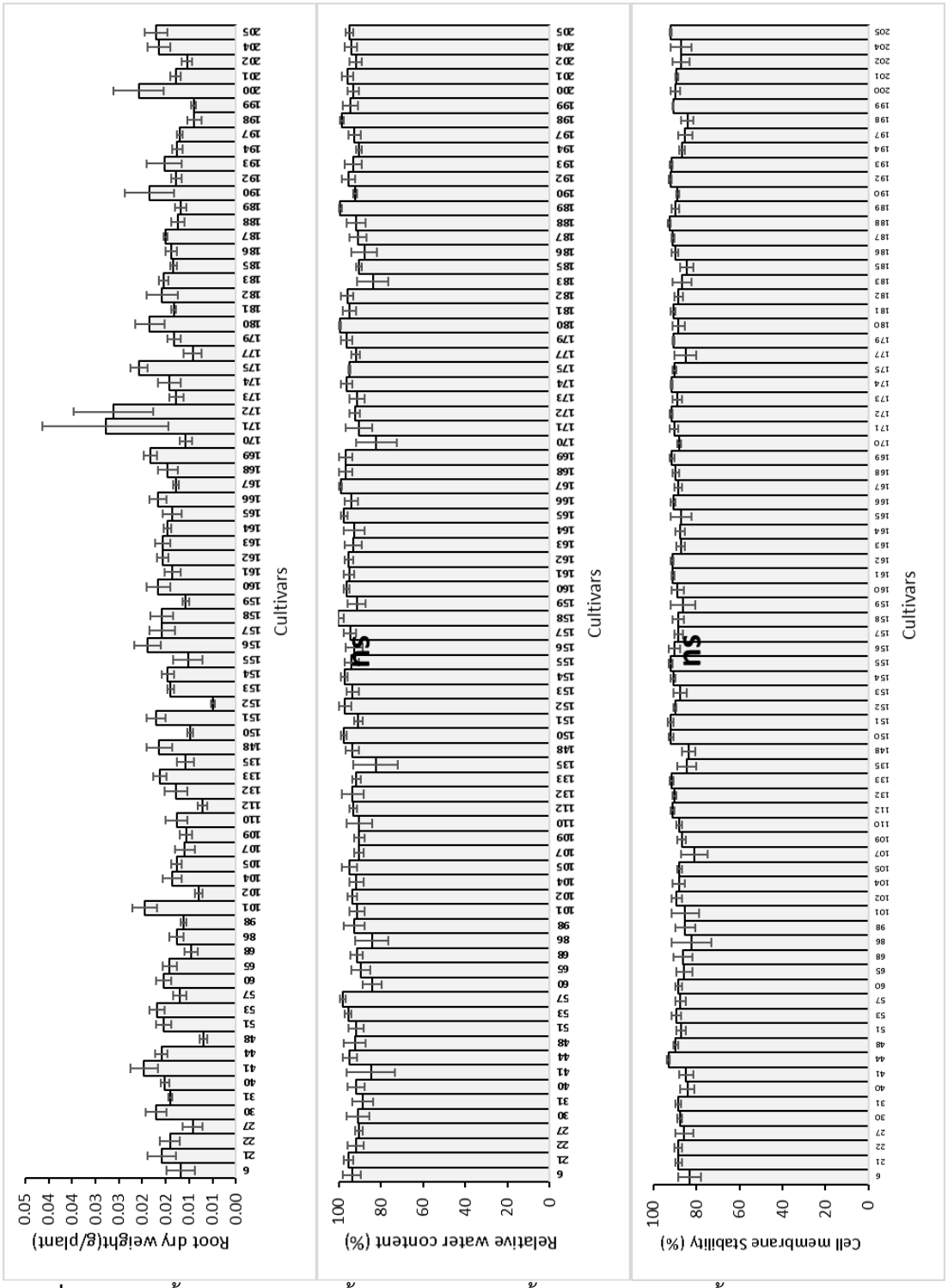
ภาพที่ 47 แนวโน้มของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3



ภาพที่ 48 แนวโน้มของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติและได้รับภาวะความเค็มระดับ 9 dS/m ที่เวลาต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3



ภาพที่ 49 น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 3

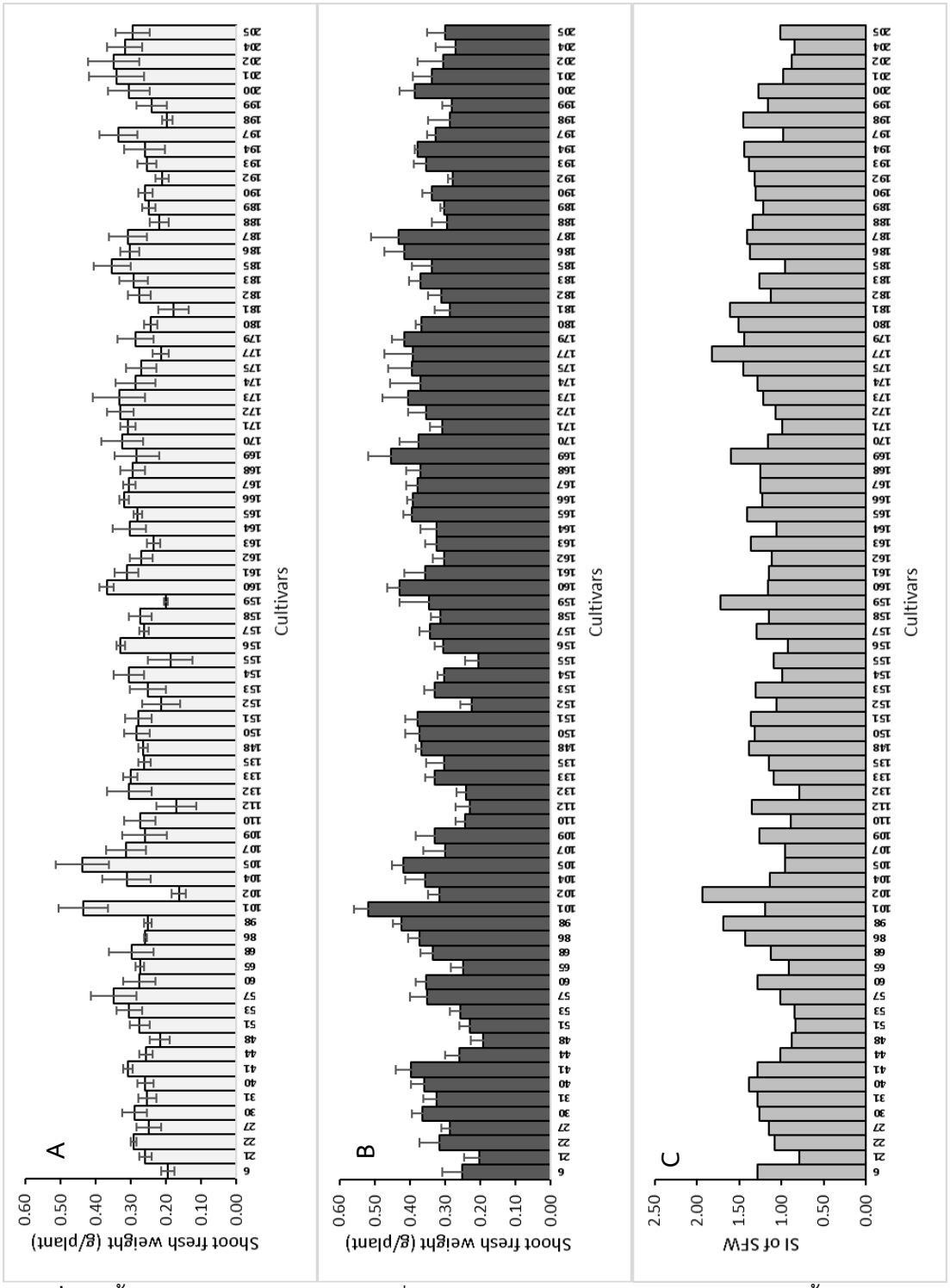


ภาพที่ 49 (ต่อ) น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (E) และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากของต้นกล้าข้าว ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 14 วัน (ก่อนให้ภาวะเครียดจากความเค็ม) ในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 49A – ภาพที่ 49F) พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากของต้นกล้าข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในกลุ่มประชากรข้าวที่ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับค่าเฉลี่ยเริ่มต้นในข้าวชุดการทดลองที่ 1 ละชุดการทดลองที่ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.1684 0.1349 0.0232, และ 0.0141 กรัม ตามลำดับในขณะที่ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของทั้งสองกลุ่มประชากร และมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 93.03% และ 88.47% ตามลำดับ

จากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 49A) จะพบว่าข้าวพันธุ์ Pokkali (101) ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานทนเค็มและเป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในประชากรโดยมีค่าเท่ากับ 0.2711 กรัม ส่วนข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงรองลงมา คือพันธุ์ขาวแตงโม (151) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2406 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์เล็กนก (152) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดในกลุ่มประชากร คือ 0.0897 กรัม สำหรับค่าน้ำหนักสดราก (ภาพที่ 49B) ข้าวพันธุ์เหลืองควายล้า (172) และ สูน (200) มีค่าน้ำหนักสดรากมากที่สุด คือ 0.2041 และ 0.2039 กรัมตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์เล็กนก (152) มีน้ำหนักสดรากเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 0.0453 กรัม สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่ 49C และภาพที่ 49D) รูปแบบของกราฟมีความคล้ายคลึงกับรูปแบบค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นและราก โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุดในประชากรคือ พันธุ์เหลืองควายล้า (172) ซึ่งมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.03655 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุด คือ 0.0096 กรัม และข้าวพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในประชากร คือ พันธุ์กข27 (171) คือ 0.0278 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์เล็กนก (152) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุด คือ 0.0049 กรัมเช่นเดียวกับน้ำหนักสดราก

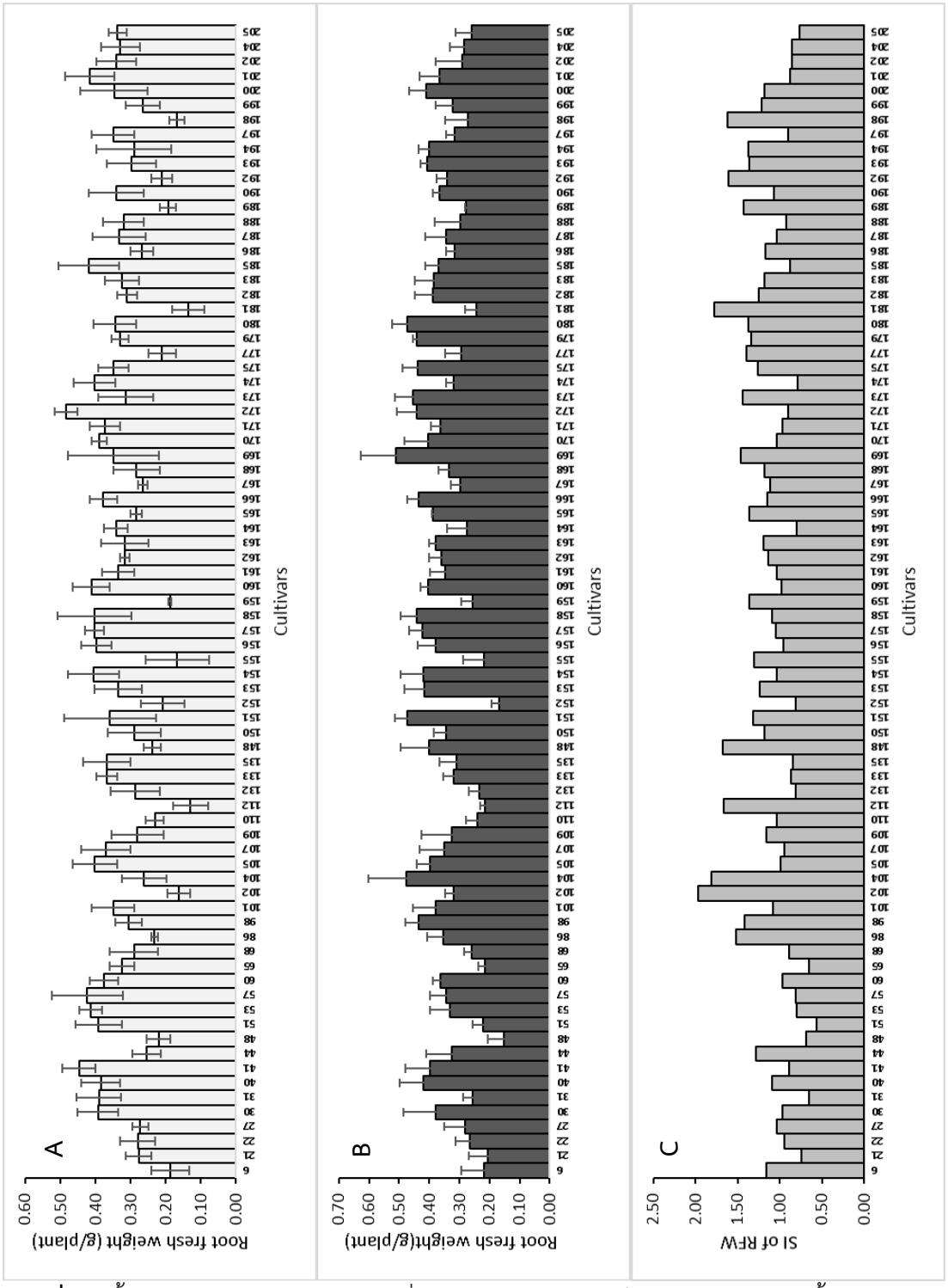
ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชของต้นกล้าข้าว (ภาพที่ 49E) ค่าเฉลี่ยในประชากรข้าว คือ 93.03 % โดยค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์จะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ 80% – 100 % ซึ่งรูปแบบเหมือนกับข้าวในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 และเป็นค่าที่อยู่ในช่วงปกติของข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ และ ในส่วนของค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่ 49F) ในภาพรวมเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์จะมีค่าใกล้เคียงกันและมีช่วงระหว่าง 90% – 99%



ภาพที่ 50 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่ 50A) พบว่า มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.2795 กรัม พันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์นางนวล (105) (0.4385 กรัม) อันดับรองลงมาคือ พันธุ์ Pokkali (101) (0.4351 กรัม) ซึ่งเป็นมาตรฐานทนทานความเค็ม ในขณะที่พันธุ์ IR29 (102) ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อความเค็ม มีค่าน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดในประชากร (0.1630 กรัม) ตามด้วยพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดรองลงมา (0.1707 กรัม) สำหรับผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (ภาพที่ 50B) พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.3333 กรัม โดยข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในประชากร (0.5177) กรัม ตามด้วยพันธุ์เหลืองแก้ว (169) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงเป็นอันดับที่สอง (0.4532 กรัม) ในขณะที่พันธุ์ขี้ตมพัน (48) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นต่ำที่สุดในประชากร (0.19225 กรัม) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 50C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีการตอบสนองต่อความเค็มที่ดีโดยมีการเพิ่มน้ำหนักสดรากได้สูงขึ้นเมื่อข้าวได้รับภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันเช่นเดียวกับข้าวในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ที่เมื่อเริ่มแรกได้รับภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน ข้าวบางส่วนในกลุ่มประชากรมีค่าดัชนีเสถียรภาพใกล้เคียงและหรือมากกว่า 1 โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของประชากรมีค่าเท่ากับ 1.2134 และข้าวพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่สูงขึ้นจากค่า 1 อย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร เช่น IR29 (102) (1.9353) จำปาทอง (159) (1.7256) และ เกวียนหัก (177) (1.8223)

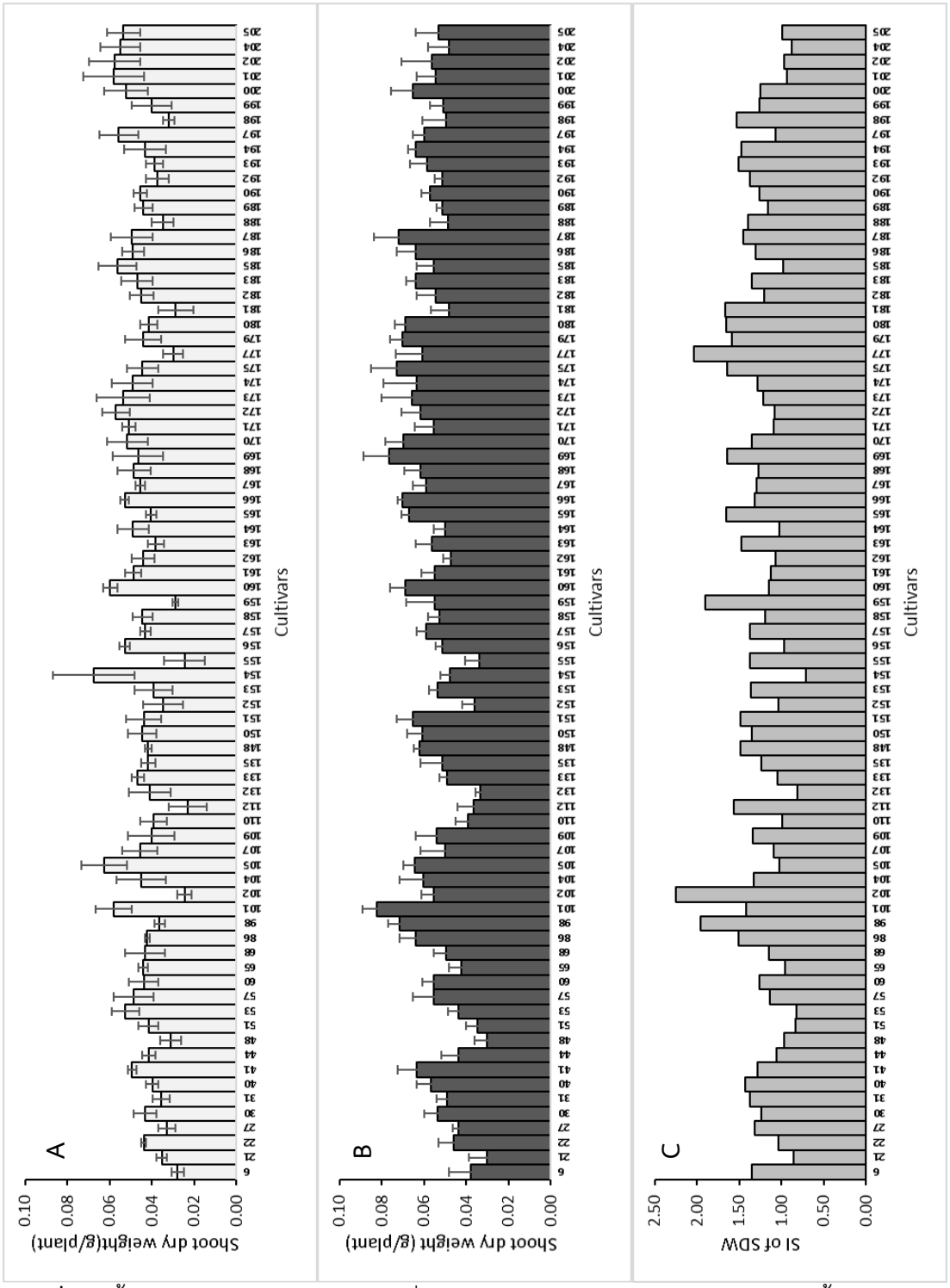
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 51 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

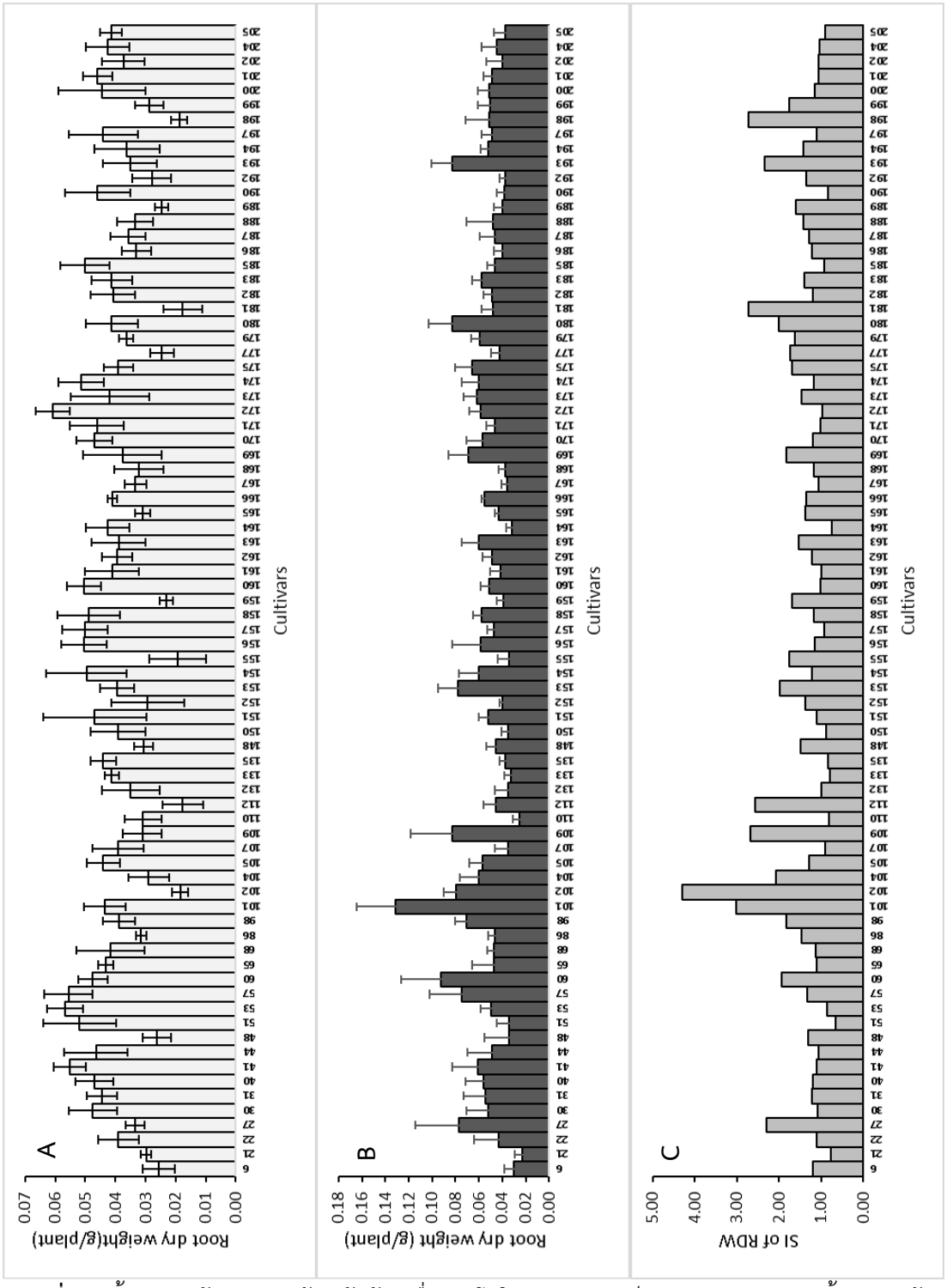
ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน พบว่า (ภาพที่ 51A) มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.3159 กรัม พันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์เหลืองควายล้า (172) (0.4848 กรัม) อันดับรองลงมาคือ พันธุ์ตาบาน (41) (0.4468 กรัม) ในขณะที่พันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) มีค่าน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในประชากร (0.1295 กรัม) สำหรับผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (ภาพที่ 51B) พบว่า มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.3409 กรัม โดยข้าวพันธุ์เหลืองแก้ว (169) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในประชากร (0.5112 กรัม) ตามด้วยพันธุ์ขาวหลวง (104) และ ขาวแตงโม (151) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงรองลงมา (0.4747 และ 0.4733 กรัมตามลำดับ) ในขณะที่พันธุ์ขี้ตมพัน (48) ยังคงเป็นเป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นต่ำที่สุดในประชากร (0.1511กรัม) เช่นเดียวกับน้ำหนักสดต้น และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 51C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีการตอบสนองต่อความเค็มที่ดีโดยมีการเพิ่มน้ำหนักสดต้นได้สูงขึ้นเมื่อข้าวเจอภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันเช่นเดียวกับข้าวในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ที่เมื่อเริ่มแรกได้รับภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 3 วันและรูปแบบนี้ยังคล้ายคลึงกับค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นเมื่อเติบโตในภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันในชุดการทดลองที่ 3 อีกด้วย ข้าวบางส่วนในกลุ่มประชากรมีการตอบสนองสูงขึ้นโดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพใกล้เคียงและหรือมากกว่า 1 โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของประชากรมีค่าเท่ากับ 1.1218 และข้าวพันธุ์ที่มีการตอบสนองสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร เช่น IR29 (102) ขาวหลวง (104) เหนียวสันป่าตอง (112) ขาวเสมอ (148) และ ช่อลุง (181) โดยมีค่า 1.9667 1.8149 1.6680 1.6827 และ 1.7770 ตามลำดับ

Chulalongkorn University



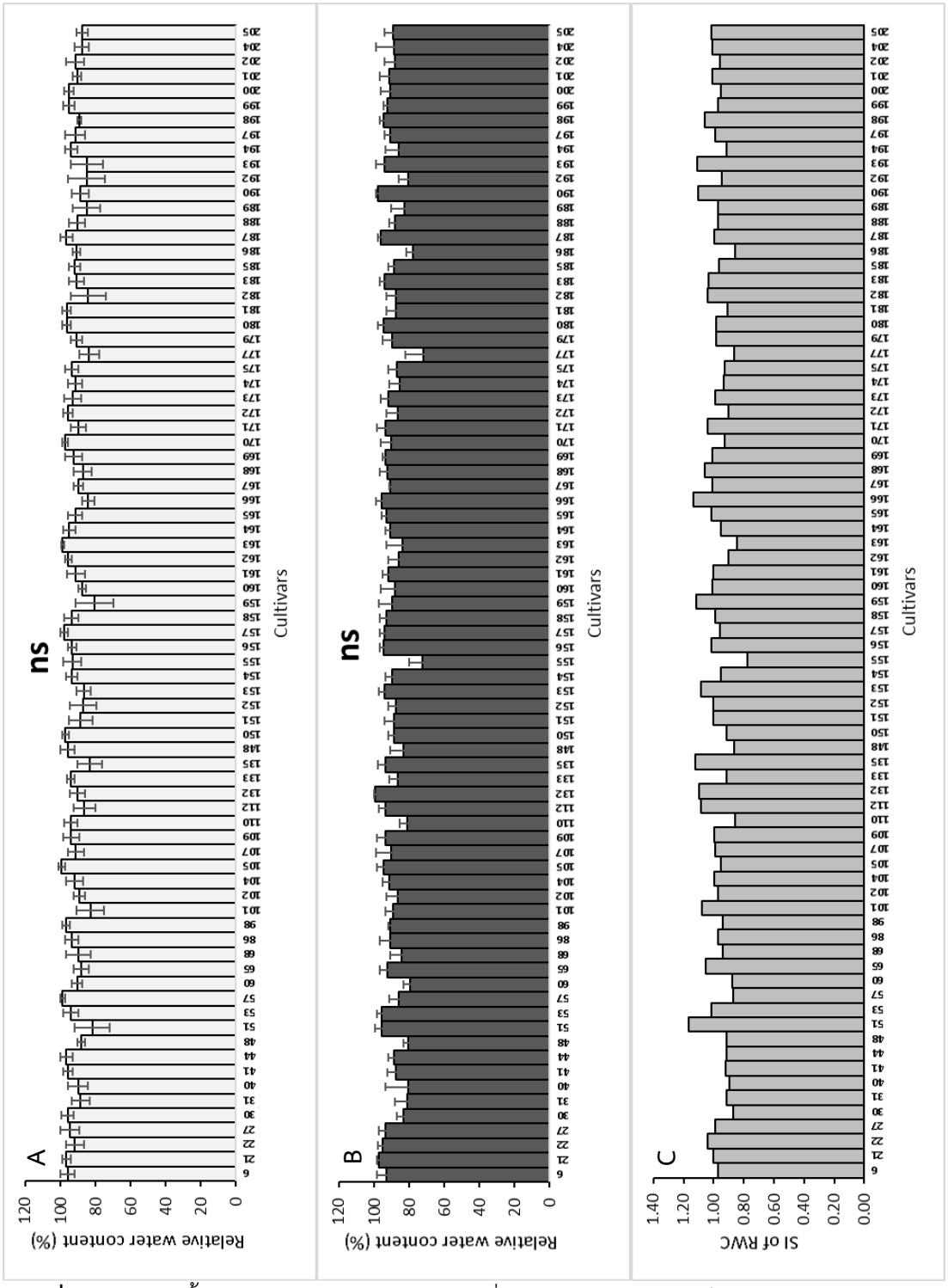
ภาพที่ 52 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่ 52A) พบว่า มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0442 กรัม พันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์กข19 (154) (0.0675 กรัม) อันดับรองลงมาคือ พันธุ์ Pokkali (101) (0.4351 กรัม) ซึ่งเป็นมาตรฐานทนทานความเค็ม ในขณะที่พันธุ์ IR29 (102) ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อความเค็ม มีค่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุดในประชากร (0.1630 กรัม) ตามด้วยพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นน้อยรองลงมา (0.1707 กรัม) สำหรับผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (ภาพที่ 52B) พบว่า มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.0551 กรัม โดยข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในประชากร (0.0824) กรัม ตามด้วยพันธุ์เหลืองแก้ว (169) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นดีรองลงมา (0.0765 กรัม) เช่นเดียวกับค่าน้ำหนักสดต้น ในขณะที่พันธุ์บือซอมี (21) และ ขี้ตมพัน (48) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นต่ำที่สุดในประชากร (0.0304 และ 0.03035 กรัม ตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งต้น (ภาพที่ 52C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีการตอบสนองต่อความเค็มที่ดีโดยมีการเพิ่มน้ำหนักแห้งรากได้สูงขึ้นเมื่อข้าวเจอภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันเช่นเดียวกับข้าวในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ที่เมื่อเริ่มแรกได้รับภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน ข้าวบางส่วนในกลุ่มประชากรมีการตอบสนองสูงขึ้นโดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพใกล้เคียงและหรือมากกว่า 1 โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของประชากรมีค่าเท่ากับ 1.2787 และข้าวพันธุ์ที่มีการตอบสนองสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ได้แก่ พันธุ์ ขี้ตมกลาง (98) IR29 (102) (159) และ เกวียนหัก (177) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.9616 2.2513 1.8996 และ 2.0350 ตามลำดับ



ภาพที่ 53 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

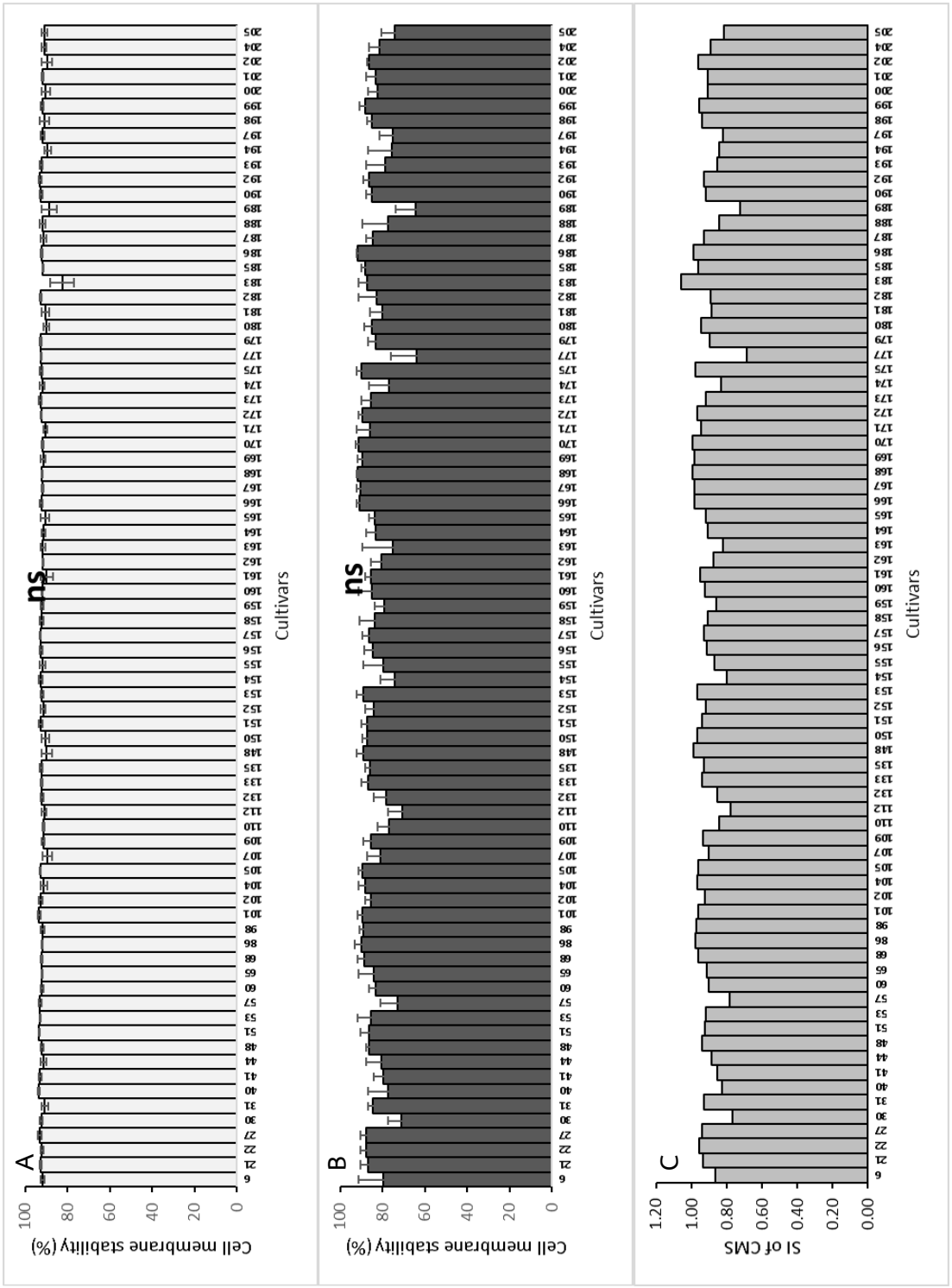
ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่ 53A) พบว่า มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0388 กรัม สำหรับพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์เหลืองควายล้า (172) (0.0609 กรัม) อันดับรองลงมาคือพันธุ์พวงหางนาค (53) (0.0567กรัม) ในขณะที่พันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) และ ช่อลุง (181) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุดในประชากร (0.0177 และ 0.01765 กรัมตามลำดับ) สำหรับผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 (ภาพที่ 53B) พบว่า มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.0516 กรัม โดยข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในประชากร (0.1318 กรัม) ตามด้วยพันธุ์เจ้ารากแห้ง (60) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงรองลงมา (0.0926 กรัม) ในขณะที่พันธุ์บือซอมี (21) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากต่ำที่สุดในประชากร (0.0233 กรัม) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่ 53C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากรมีค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งรากสูงขึ้นจากค่า 1 เช่นเดียวกับข้าวในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ที่เมื่อเริ่มแรกได้รับภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 3 วัน และรูปแบบการแสดงออกยังมีความคล้ายคลึงกับการศึกษาน้ำหนักสดรากที่โตในภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันในชุดการทดลองที่ 3 โดยข้าวบางส่วนในกลุ่มประชากรมีการตอบสนองสูงขึ้นโดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพใกล้เคียงและหรือมากกว่า 1 โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของประชากรมีค่าเท่ากับ 1.4133 และข้าวพันธุ์ที่มีการตอบสนองสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ได้แก่พันธุ์ดอกข่า (27) (2.3072) Pokkali (101) (3.0305) LPT123 (109) (2.6825) เหนียวสันป่าตอง (112) (2.5664) ช่อลุง (181) (2.7351) (193) (2.3542) และ ลูกแดงปัตตานี (198) (2.7221) สำหรับข้าวพันธุ์ IR29 (102) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเสถียรภาพน้ำหนักแห้งรากค่อนข้างสูง (4.2919) แยกจากพันธุ์อื่นในประชากร



ภาพที่ 54 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติ (ภาพที่ 54A) พบว่า ในภาวะปกติค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเฉลี่ยของกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับ 91.43% ค่าดังกล่าวใกล้เคียงกันกันในช่วงประมาณ 80% -100% ส่วนผลการศึกษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าที่ได้รับภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน (ภาพที่ 54B) พบว่ายังไม่มีค่าเฉลี่ยในกลุ่มประชากรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน และโดยภาพรวมข้าวในกลุ่มประชากรมีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ที่ค่อนข้างเล็กน้อยในบางพันธ์เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ ค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของประชากรมีค่าเท่ากับ 89.29 % สำหรับค่าดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว (ภาพที่ 54C) เนื่องจากค่าเริ่มต้นในประชากรข้าวพันธุ์ที่เติบโตในภาวะปกติและในภาวะเครียดจากภาวะเค็มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในภาพรวมค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักเมื่อข้าวได้รับภาวะเครียด จึงทำให้ค่าดัชนีเสถียรภาพในภาพรวม ยังมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 1 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสิ่งแวดล้อมดังกล่าวยังไม่มีผลพอที่จะทำให้ประชากรข้าวเกิดความเครียดเค็มแตกต่างแยกกันอย่างชัดเจน

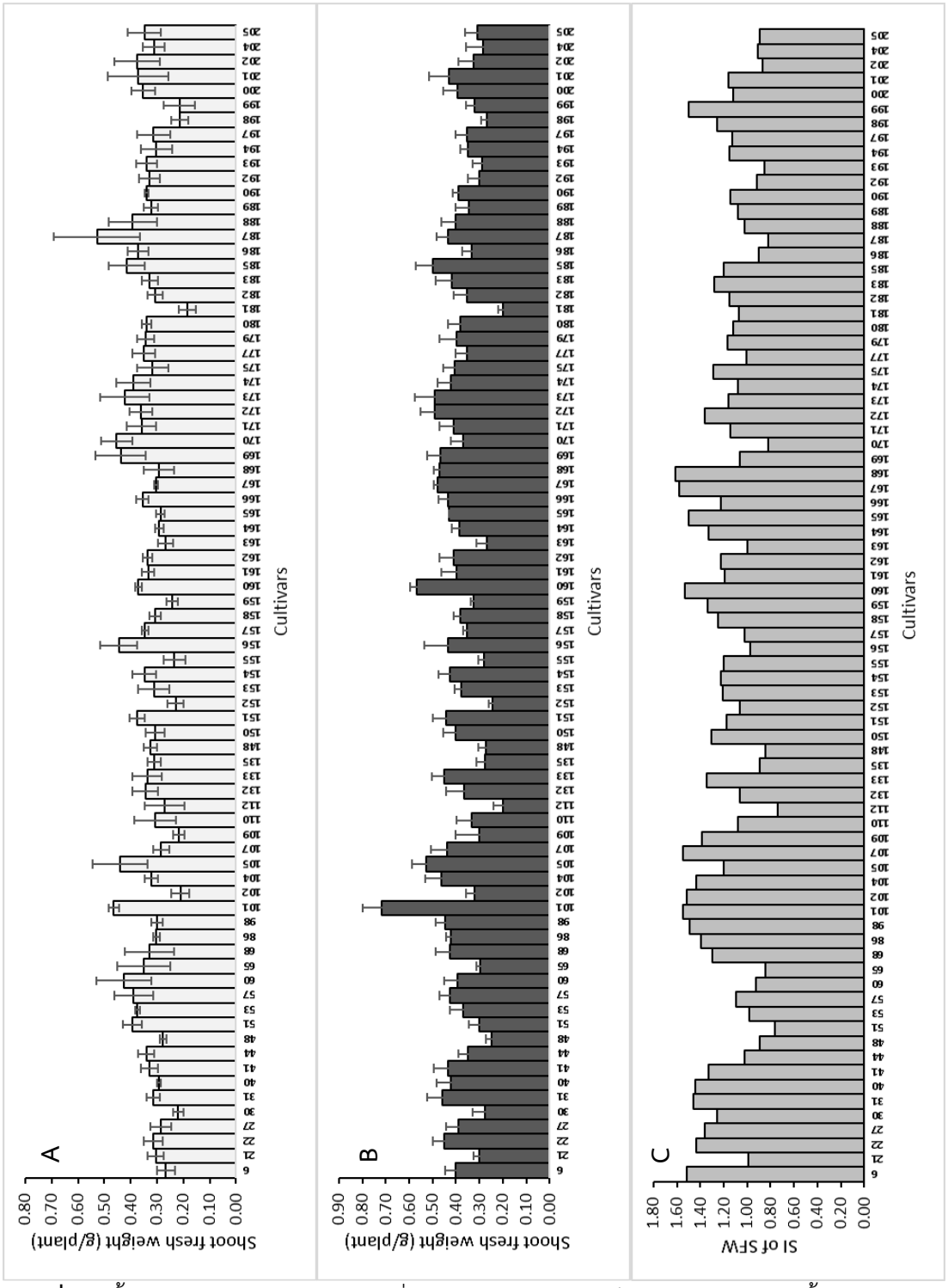
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 55 เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (A) เสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการศึกษาค่าเฉลี่ยเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน (ภาพที่ 55A) และเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (ภาพที่ 55B) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่าทั้งสองภาวะค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรยังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยในภาวะปกตินั้นมีค่าเท่ากับ 91.76% ซึ่งค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 89% - 95% และค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ในภาวะเครียดมีคาเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 83.49 % ซึ่งลดลงเพียงเล็กน้อยจากภาวะปกติ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่ 55C) จึงทำให้ ค่าดัชนีดังกล่าว ลดลงจาก 1 เพียงเล็กน้อย และมีค่าในประชากรใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ในภาวะปกติและภาวะเครียดจากความเค็ม จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสิ่งแวดล้อมดังกล่าวยังไม่มีผลพอที่จะทำให้ประชากรข้าวเกิดความเครียดเค็มแตกต่างแยกกันอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว

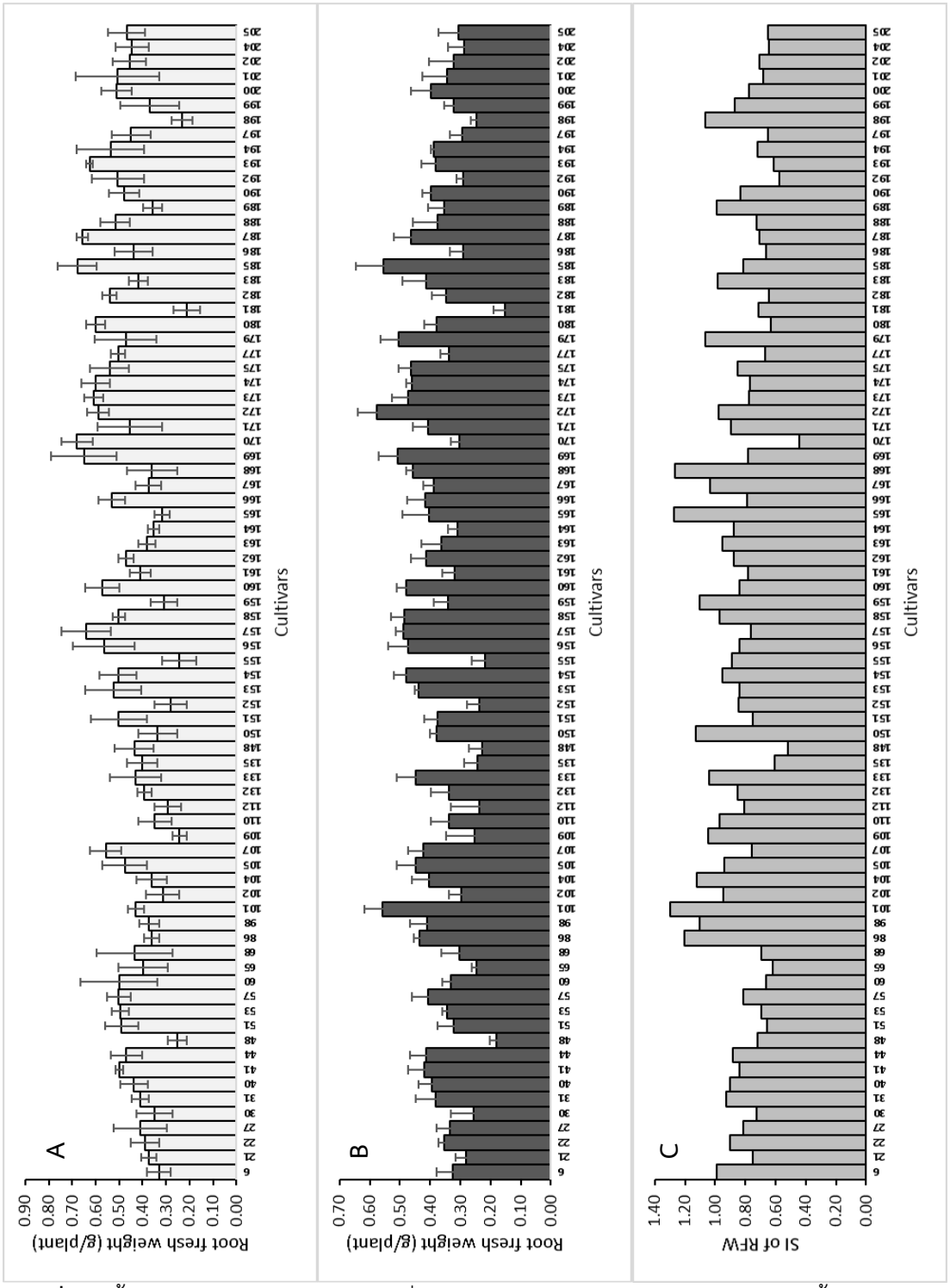
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 56 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (ภาพที่ 56A) และภาวะเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (ภาพที่ 56B) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่า ค่าเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มประชากรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยในกลุ่มประชากรแรกมีค่าเท่ากับ 0.3297 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยในภาวะที่ต้นกล้าข้าวโตในภาวะปกติ 20 วันประมาณ 17.96% ซึ่งข้าวพันธุ์น้ำสะกุย 19 (187) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในประชากรโดยมีค่าเท่ากับ 0.5277 กรัม ตามมาด้วยพันธุ์ Pokkali (101) ซึ่งเป็นมาตรฐานทนเค็มที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.4647 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ช่อลุง (181) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.1846 กรัม สำหรับ ค่าเฉลี่ยในกลุ่มที่สอง มีค่าเท่ากับ 0.3821 กรัม ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยในกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันประมาณ 14.64% โดยมีข้าวพันธุ์ Pokkali (101) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในกลุ่มประชาเท่ากับ 0.7190 กรัม ตามมาด้วยพันธุ์ขาวหลวง (160) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงเป็นอันดับสองโดยมีค่าเท่ากับ 0.5673 กรัม ในขณะที่พันธุ์ช่อลุง (181) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดในประชากร เท่ากับ 0.1983 กรัม เมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของต้นกล้าข้าวที่โตในทั้งสองภาวะ (ภาพที่ 56C) พบว่า ข้าวในประชากร มีการตอบสนองหลายรูปแบบ ทั้งที่มีการเจริญเติบโตสูงขึ้นเมื่อได้รับความเครียด (ค่ามากกว่า1) รักษาเสถียรภาพได้สูง (ค่าประมาณ 1) และตอบสนองต่ำลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพในกลุ่มประชากร มีค่าเท่ากับ 1.1734

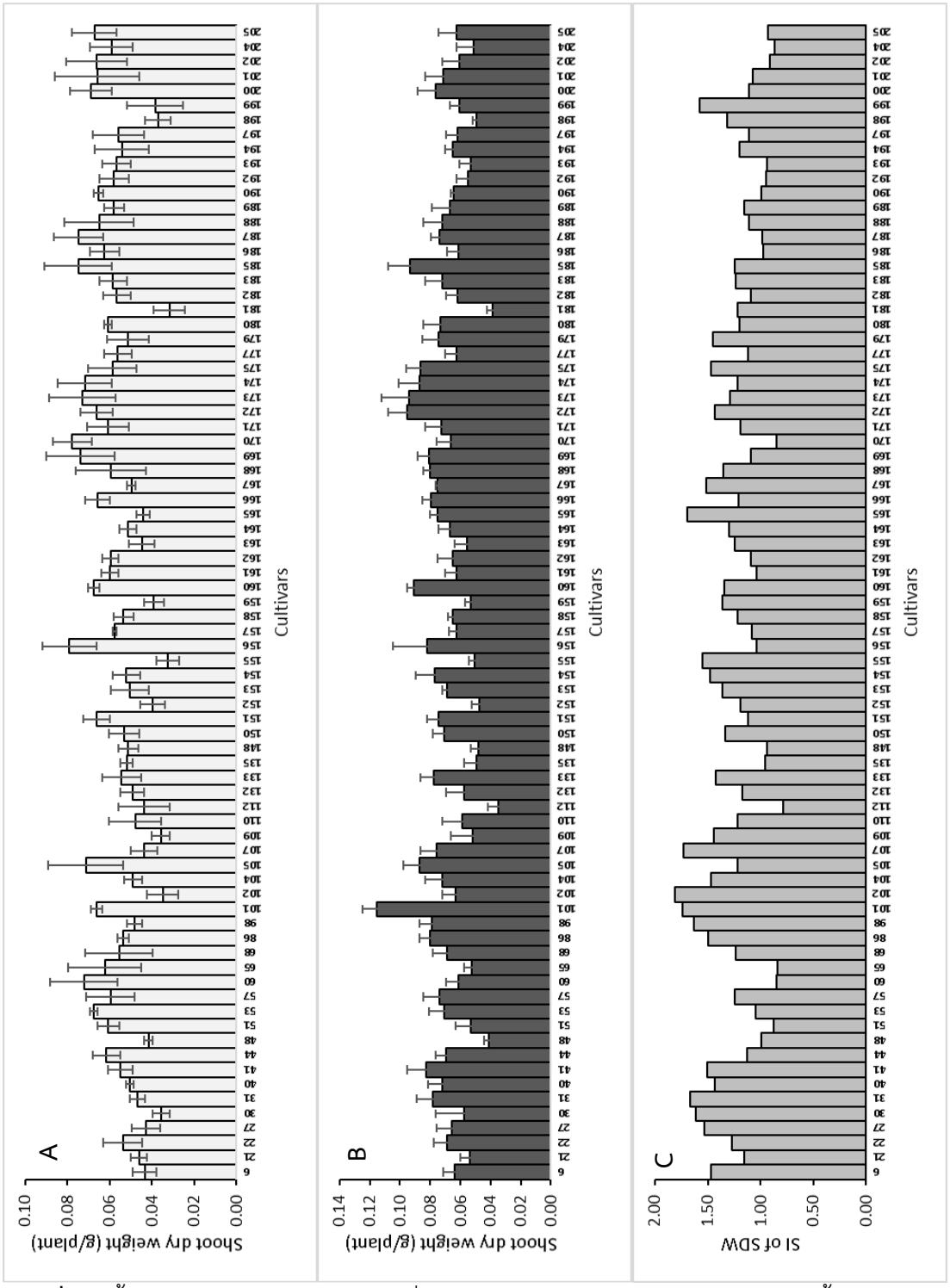
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 57 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาน้ำหนักสดรากต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 23 วัน (ภาพที่ 57A) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.4486 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยประชากรของต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ 20 วัน ประมาณ 42% โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงที่สุดในกลุ่มประชากร คือ พันธุ์ลายหมาก (170) (0.6792 กรัม) และ พันธุ์เหลืองใบลด (185) (0.6784 กรัม) ในขณะที่พันธุ์ช่อลุง (181) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในประชากร (0.2123 กรัม) สำหรับประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็ม 9 วัน (ภาพที่ 57B) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่ามีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของประชากรเท่ากับ 0.3691 กรัม โดยมีค่าเพิ่มจากค่าเฉลี่ยของประชากรของน้ำหนักสดรากที่เติบโตในภาวะเครียดเค็ม 6 วันประมาณ 8.27% โดยมีข้าวพันธุ์เหลืองควายล้า (172) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงที่สุดในประชากร (0.5773 กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ช่อลุง (181) ยังคงเป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดรากน้อยที่สุดในประชากร (0.1510 กรัม) สำหรับค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดราก (ภาพที่ 57C) พบว่า ค่าในประชากรมีรูปแบบการแสดงออกที่หลายหลาย ตั้งแต่กลุ่มข้าวที่มีค่าน้ำหนักสดสูงขึ้นเมื่อได้รับภาวะเครียดเค็ม กลุ่มที่รักษาเสถียรภาพได้ดีเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม และกลุ่มที่มีค่าน้ำหนักสดลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของประชากรมีค่าเท่ากับ 0.8417 ซึ่งลดลงจากค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดรากในกลุ่มประชากรที่ได้รับภาวะความเครียดเค็ม 6 วัน ประมาณ 33 %

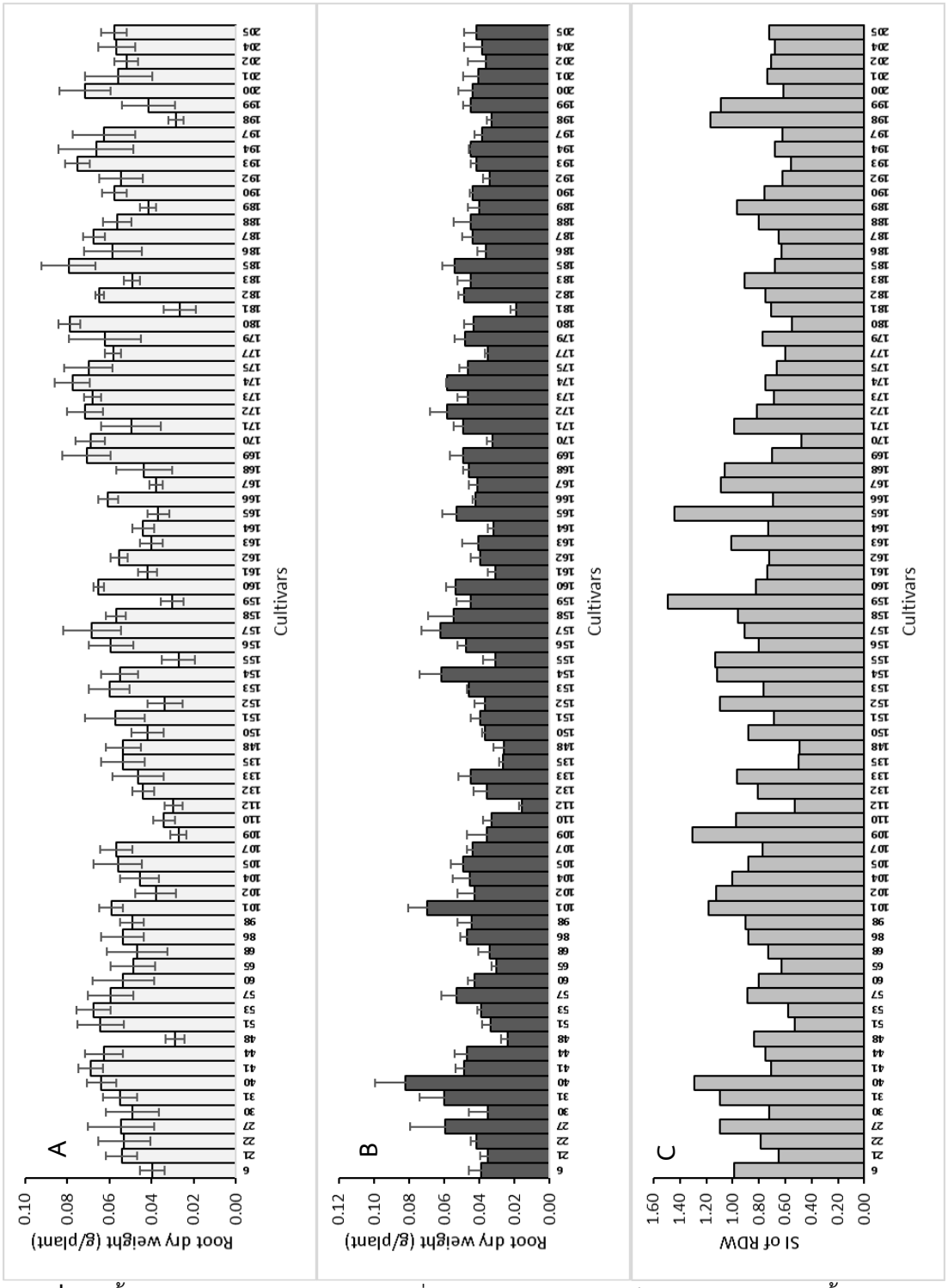
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 58 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (การทดลองชุดควบคุมเมื่อเวลา 9 วันหลังให้ treatment) (ภาพที่ 58A) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0558 กรัม ซึ่งค่าเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 20 วัน ประมาณ 26.24 % โดยข้าวพันธุ์กข10 (156) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในประชากร (0.0791กรัม) และพันธุ์ลายหมาก (170) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงรองลงมา (0.0779 กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ช่อลุง (181) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นน้อยที่สุดในประชากร (0.0318 กรัม) สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นในประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน (ภาพที่ 58B) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับข้าวที่โตในภาวะปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.0677 กรัม ซึ่งมีค่าสูงมากขึ้นจากค่าเฉลี่ยประชากรของข้าวที่โตในภาวะเครียดเค็ม 6 วันในชุดการทดลองที่ 3 ประมาณ 22.82% โดยข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในประชากร (0.1154 กรัม) และพันธุ์เหลืองควายล้า (172) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงรองลงมา ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นต่ำที่สุดในประชากร (0.0346 กรัม) สำหรับดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้น (ภาพที่ 58C) จะพบว่า มีรูปแบบการแสดงออกที่แตกต่างกันในกลุ่มประชากร โดยมีทั้งพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งสูงขึ้น ลดลง และใกล้เคียงจากต้นกล้าข้าวที่โตในภาวะปกติ เช่นเดียวกับการแสดงออกในค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้น โดยค่าเฉลี่ยของประชากรมีค่าเท่ากับ 1.2363

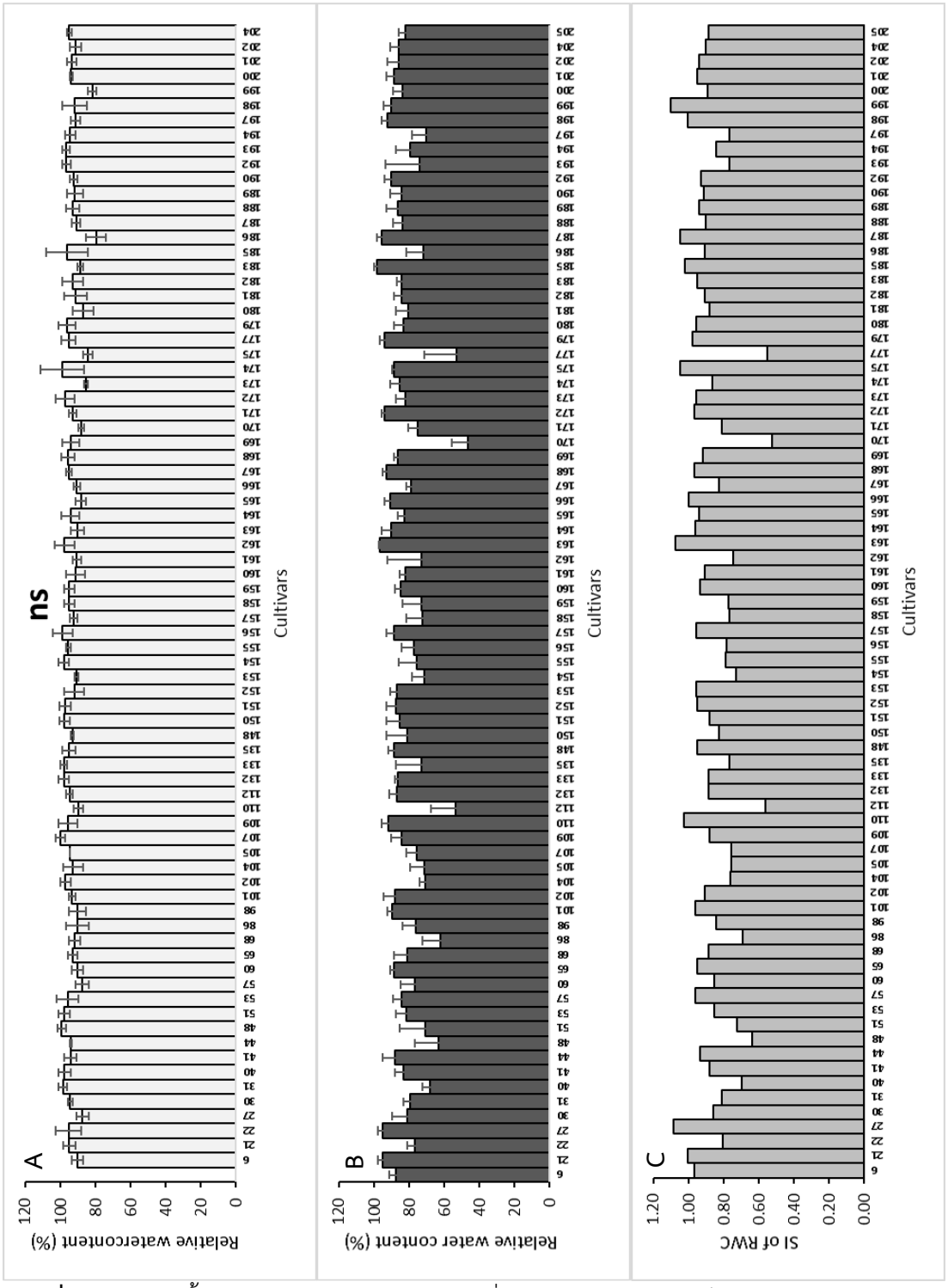
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 59 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (ภาพที่ 59A) และภาวะเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (ภาพที่ 59B) พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มประชากรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยในกลุ่มประชากรแรกมีค่าเท่ากับ 0.0536 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยในภาวะที่ต้นกล้าข้าวโตในภาวะปกติ 20 วัน ประมาณ 38.22% โดยข้าวพันธุ์ช่อปลีขาว (180) และเหลืองใบลด (185) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในประชากรโดยมีค่าเท่ากับ 0.0790 และ 0.079375 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ก่ำเฟือง (155) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดในประชากร คือ 0.0273 กรัม สำหรับ ค่าเฉลี่ยของประชากรในกลุ่มที่สองมีค่าเท่ากับ 0.0429 กรัม ซึ่งมีค่าลดลงจากค่าเฉลี่ยในกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 6 วันประมาณ 20.25% โดยมีข้าวพันธุ์ขาวบ้านโภชณ์ (40) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0822 กรัม ตามด้วยพันธุ์ Pokkali (101) ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงเป็นอันดับสองโดยมีค่าเท่ากับ 0.0700 กรัม ในขณะที่พันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) ยังคงเป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากต่ำที่สุดในประชากร เท่ากับ 0.0156 กรัม เมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของต้นกล้าข้าวที่โตในทั้งสองภาวะ (ภาพที่ 59C) พบว่า ในภาพรวมข้าวในประชากรมีค่าน้ำหนักแห้งรากลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม ทั้งนี้ก็ยังคงมีข้าวบางพันธุ์ที่เมื่อได้รับภาวะเครียดแล้วมีเสถียรภาพสูงกว่าค่า 1 แยกออกไปจากกลุ่มประชากร ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวบ้านโภชณ์ (40) (1.2880) LPT123 (109) (1.3028) จำปาทอง (159) (1.4946) ลอยห้ารวง (165) (1.4443) ลูกแดงปัตตานี (198)(1.1652) และเฉี้ยงพัทลุง (199) (1.0875) โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพในกลุ่มประชากร มีค่าเท่ากับ 0.8299

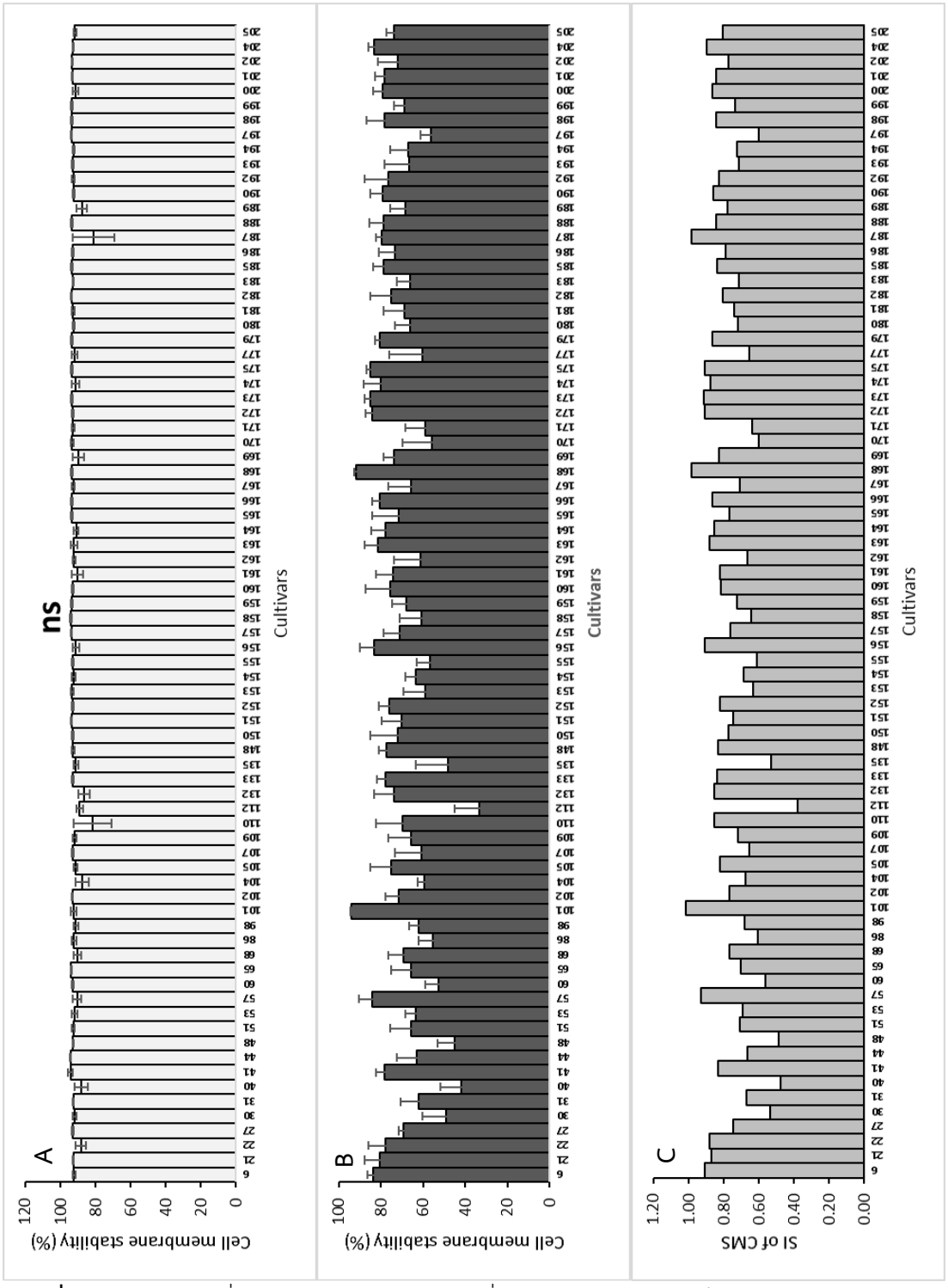
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 60 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการศึกษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 23 วัน (ภาพที่ 60A) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 93.25% และค่าในประชากรนั้นมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 80% - 100% แต่เมื่อกลุ่มประชากรข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน (ภาพที่ 60B) พบว่าโดยภาพรวมมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลงจากค่าภาวะปกติประมาณ 10% และค่าในกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 81.74% โดยข้าวพันธุ์เหลืองใบลด (185) เป็นพันธุ์ที่มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์สูงที่สุดในประชากร (98.28%) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ลายหมาก (170) เป็นพันธุ์ที่มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบต่ำที่สุดในประชากร (46.50%) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพ (ภาพที่ 60C) พบว่ารูปแบบการแสดงออก ไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของประชากรที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเนื่องจากค่าเริ่มต้นในภาวะปกตินั้น มีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าเฉลี่ยประชากรมีค่าเท่ากับ 0.8786

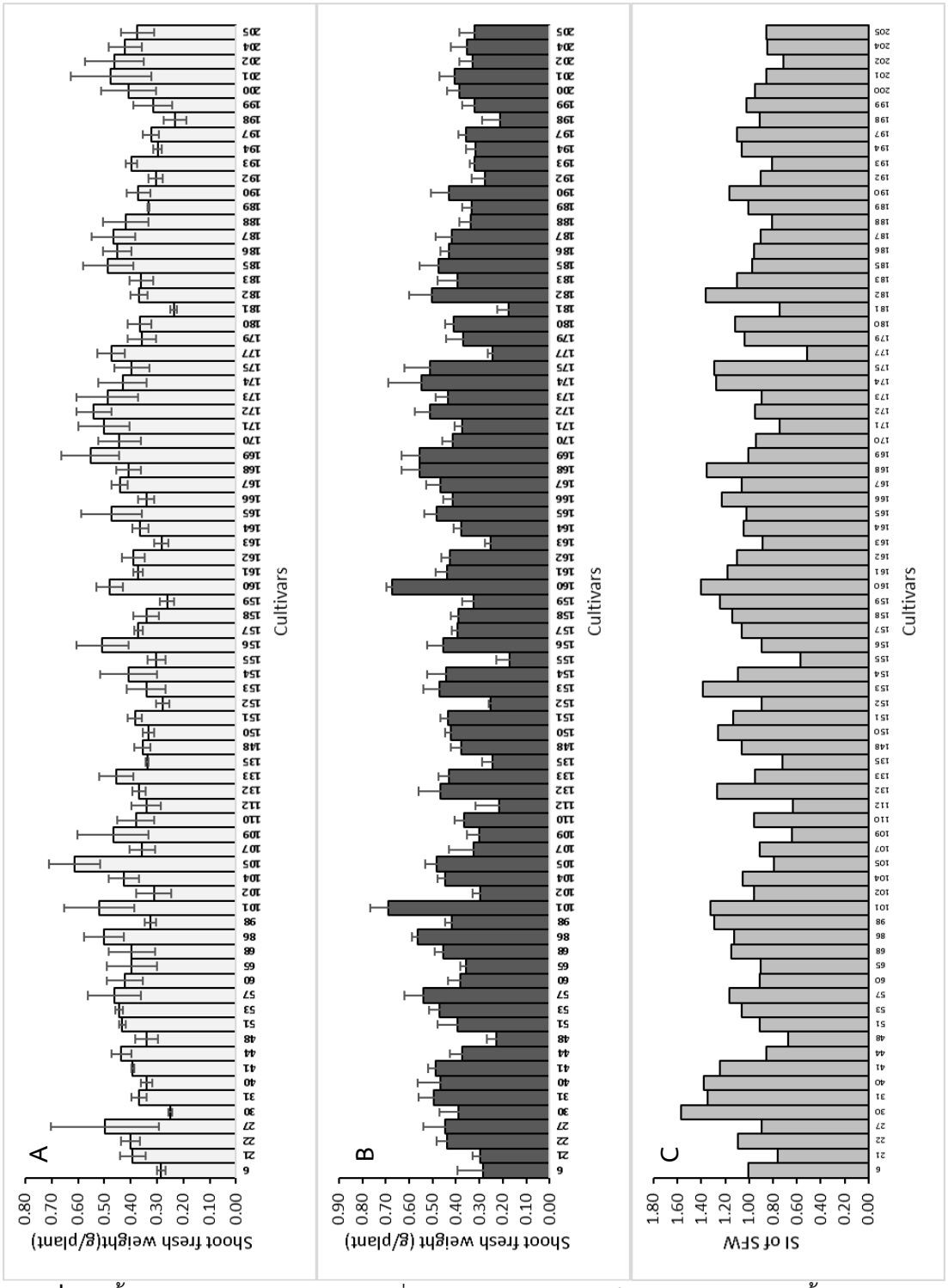
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 61 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (A) เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 9 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้า (C) ในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการศึกษาค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 23 วัน (การทดลองชุดควบคุมเมื่อเวลา 9 วันหลังให้ treatment) (ภาพที่ 61A) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 92.03 % และค่าในประชากรมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 88% - 94% ในขณะที่กลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 9 วัน (ภาพที่ 61B) มีค่าเฉลี่ยในประชากรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 70.15% โดยมีข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์สูงที่สุดในประชากร (94.17%) ตามด้วยพันธุ์เหลืองเตี้ย (168) ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์สูงรองลงมา (91.86%) ในขณะที่พันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ต่ำที่สุดในประชากร (33.64%) และโดยภาพรวมแล้ว ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีอัตราการลดลงประมาณ 22% เมื่อเทียบกับในประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่ 61C) พบว่า ยังคงมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับค่าในภาวะที่ข้าวเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็ม เนื่องจากค่าเริ่มต้นในกลุ่มประชากรที่โตในภาวะปกติ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่เมื่อได้รับภาวะเค็ม มีค่าดัชนีสเถียรภาพสูงจาก 1 เล็กน้อย ได้แก่ Pokkali (101) (1.0183) เหลืองเตี้ย (168) (0.9837) และ น้ำสะกุย 19 (187) (0.9860) ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) มีค่าดัชนีเสียรภาพที่ต่ำที่สุดในประชากร (0.3775)

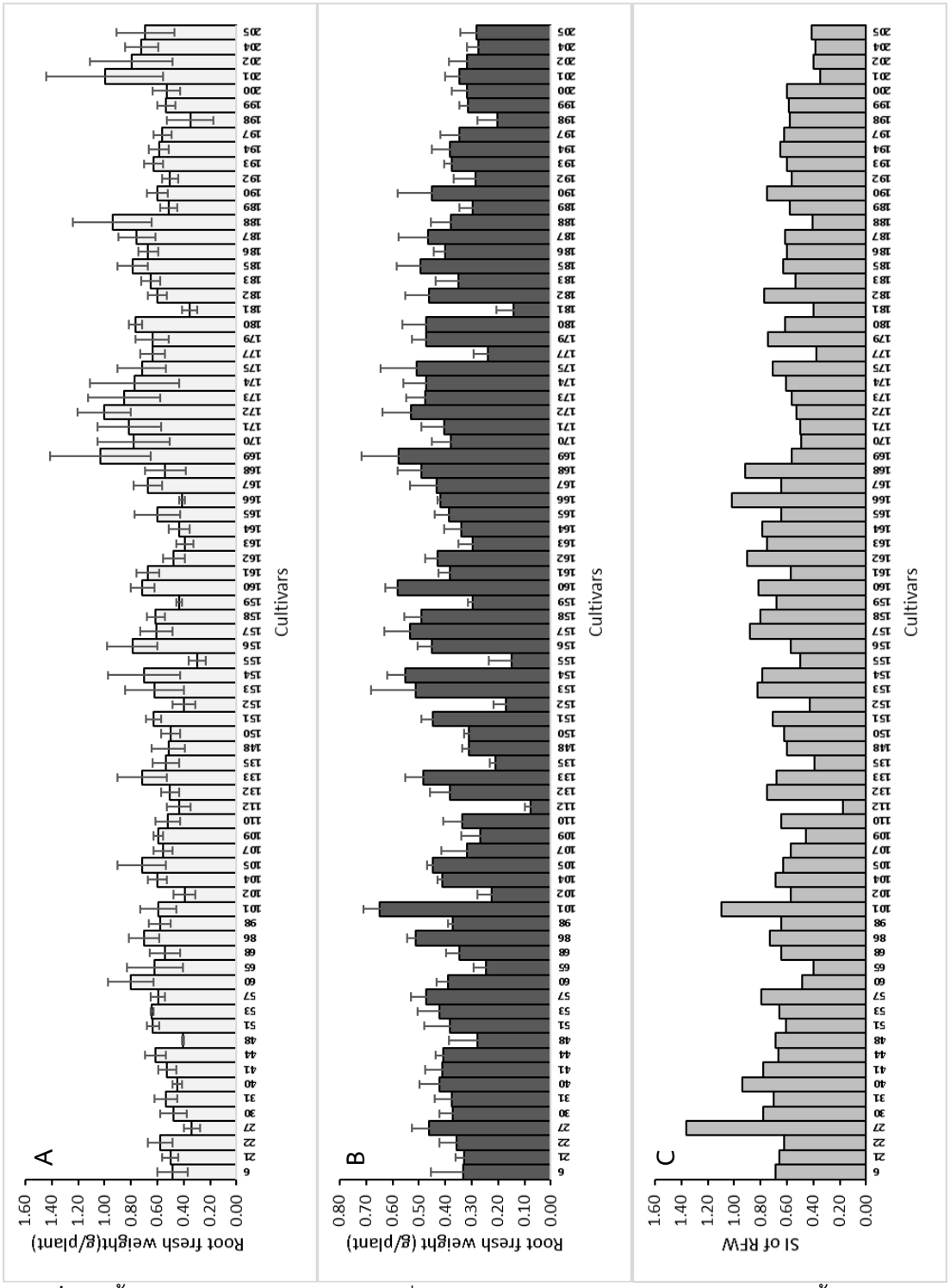
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 62 น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) น้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 26 วัน (ภาพที่ 62A) พบว่าค่าเฉลี่ยในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.3938 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยของประชากรที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 23 วัน ประมาณ 19.44% โดยข้าวพันธุ์นางนวล (105) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุด (0.6127 กรัม) ในขณะที่ ข้าวพันธุ์กข25 (158) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในประชากร (0.2323 กรัม) สำหรับค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน (ภาพที่ 62B) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ โดมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.3980 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 9 วันประมาณ 4.19% โดยข้าวพันธุ์ Pokkali (101)เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในประชากร (0.6874 กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์กำเฟือง (155) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นต่ำที่สุดในประชากร (0.1716 กรัม) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดต้น (ภาพที่ 62C) จะพบว่าข้าวในกลุ่มประชากรมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่สูงขึ้น ลดลงและใกล้เคียงค่า 1 โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของกลุ่มประชากร มีค่าเท่ากับ 1.0173

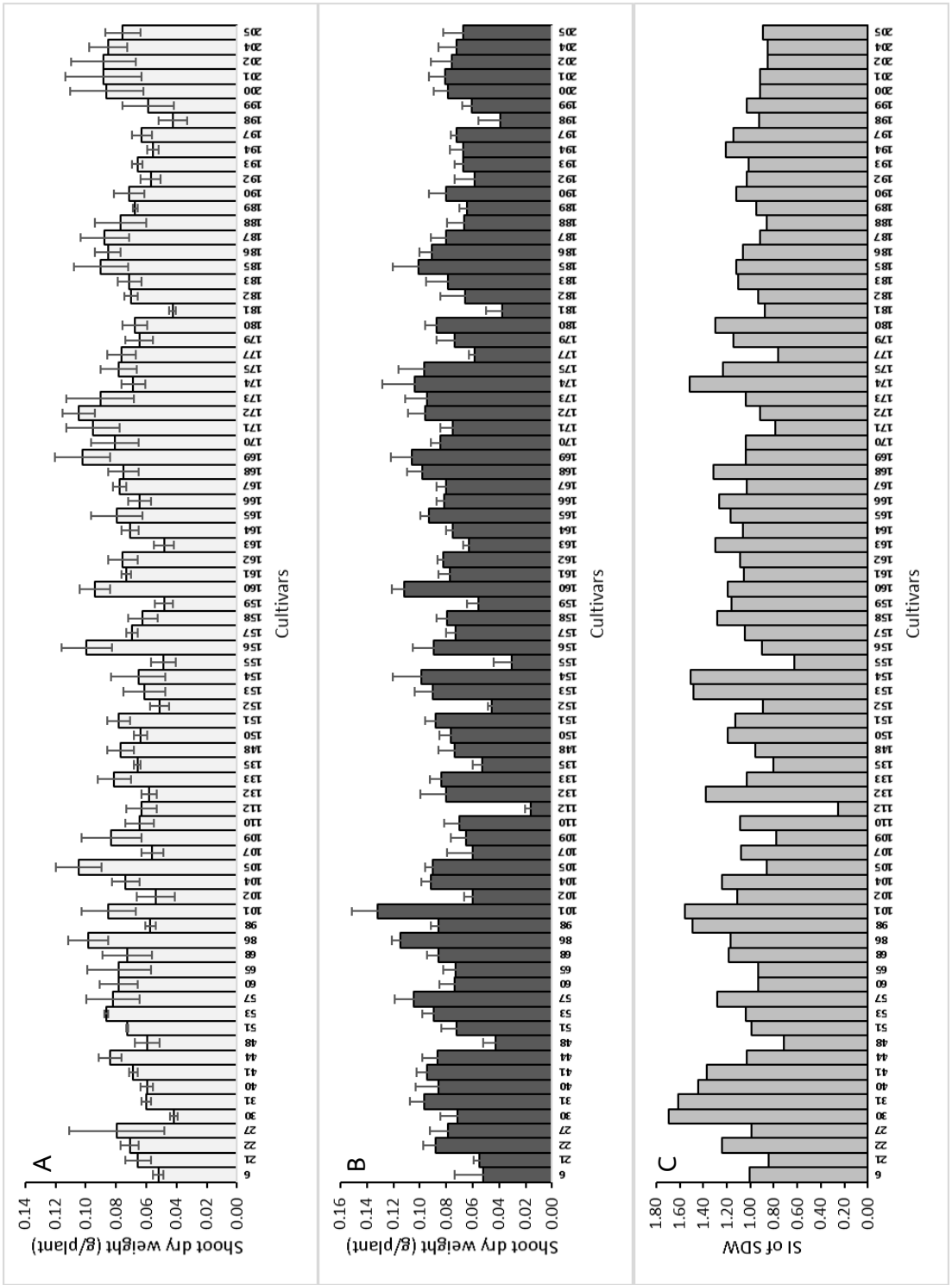
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 63 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 26 วัน (ภาพที่ 63A) พบว่าค่าเฉลี่ยในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.6070 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของประชากรที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 23 วันประมาณ 35.31% โดยข้าวพันธุ์เหลืองแก้ว (169) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุด (1.0289 กรัม) ในขณะที่พันธุ์ก่ำเฟือง (155) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในประชากร (0.2967 กรัม) สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 (ภาพที่ 63B) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.3808 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของกลุ่มประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 9 วันประมาณ 3.20% ซึ่งข้าวพันธุ์เหลืองควายล้า (172) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในประชากร (0.5773กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ช่อลุง (181) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นต่ำที่สุดในประชากร (0.1510 กรัม) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดราก (ภาพที่ 63C) จะพบว่าข้าวในกลุ่มประชากรมีรูปแบบการตอบสนองมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับ 0.6409 แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพสูงกว่าค่า 1 หลังจากได้รับภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 9 วันอย่างเห็นได้ชัดและแยกออกจากพันธุ์อื่นในประชากรได้อย่างชัดเจน ได้แก่ พันธุ์ดอกข่า (27) (1.3637) และ Pokkali (101) (1.0981) ในขณะที่พันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพต่ำที่สุดในประชากร (0.1743)

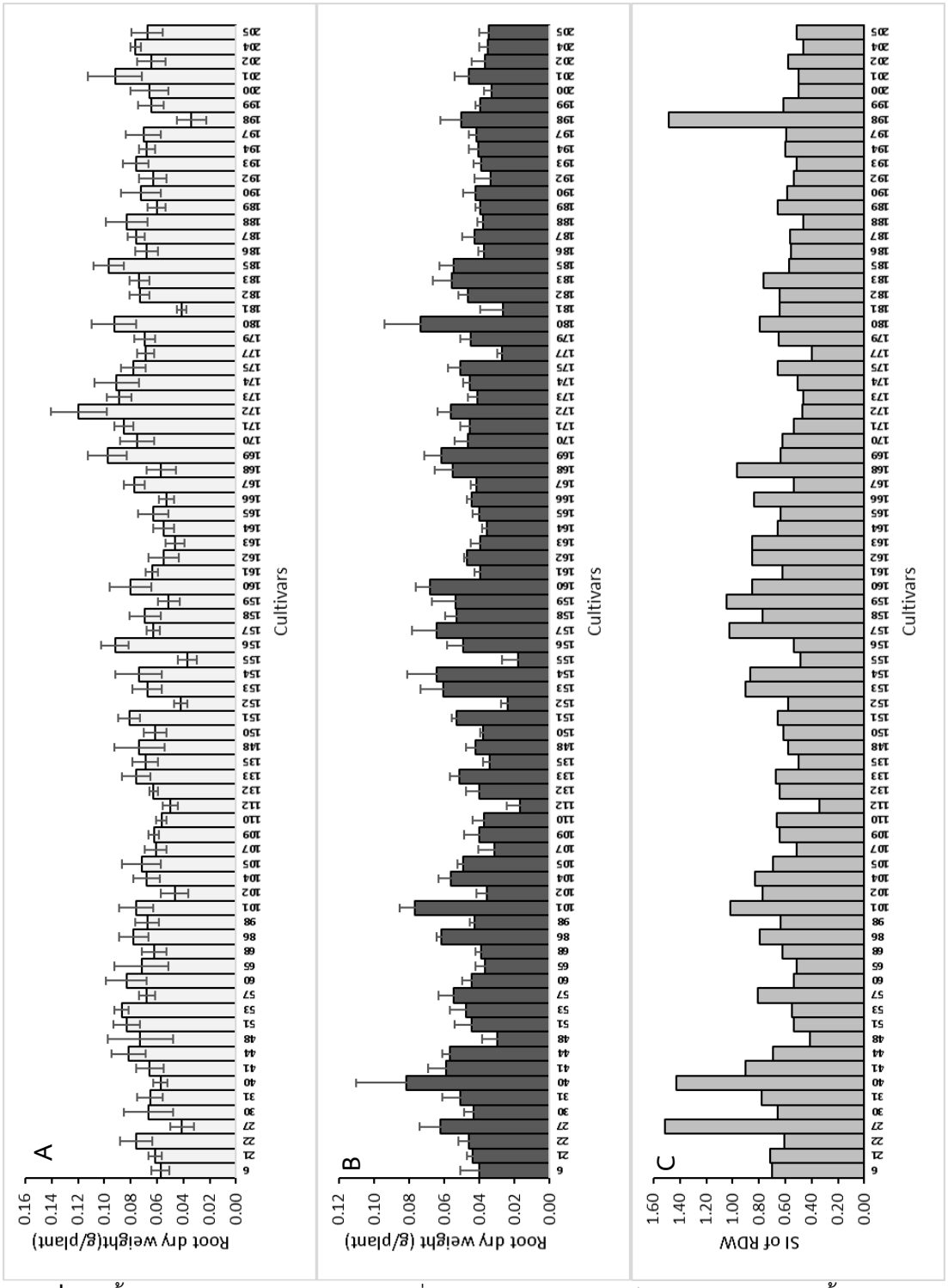
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 64 น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) น้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 26 วัน (ภาพที่ 64A) พบว่า ค่าเฉลี่ยในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0721 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของประชากรที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 23 วัน ประมาณ 29.21% โดยข้าวพันธุ์นางนวล (105) และเหลืองควายล้า (172) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุด (0.104925 กรัม และ 0.104825 กรัม ตามลำดับ) ในขณะที่พันธุ์ขาวคด (30) และ ลูกแดงปัตตานี (198) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในประชากร (0.0420 กรัม และ 0.04225 กรัม ตามลำดับ) สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นของกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน (ภาพที่ 64B) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.0772 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 9 วันประมาณ 1.40 % โดยข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในประชากร (0.1321 กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นต่ำที่สุดในประชากร (0.0162 กรัม) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งต้น (ภาพที่ 64C) จะพบว่าข้าวในกลุ่มประชากรมีทั้งที่มีค่าน้ำหนักแห้งต้นสูงขึ้น, ลดลง และใกล้คียงเดิมจากข้าวที่โตในภาวะปกติโดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของกลุ่มประชากร มีค่าเท่ากับ 1.080 ซึ่งข้าวพันธุ์ขาวคด (30) (1.6976) แจกัน (31) (1.6128) Pokkali (101) (1.5554) กข 17(153) (1.4800), กข19 (154) (1.5101) และเหลืองปลากิม (174) (1.5101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพสูงแยกเด่นชัดจากพันธุ์อื่นในประชากรในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) มีดัชนีเสถียรภาพที่ต่ำที่สุดในประชากร (0.2549)

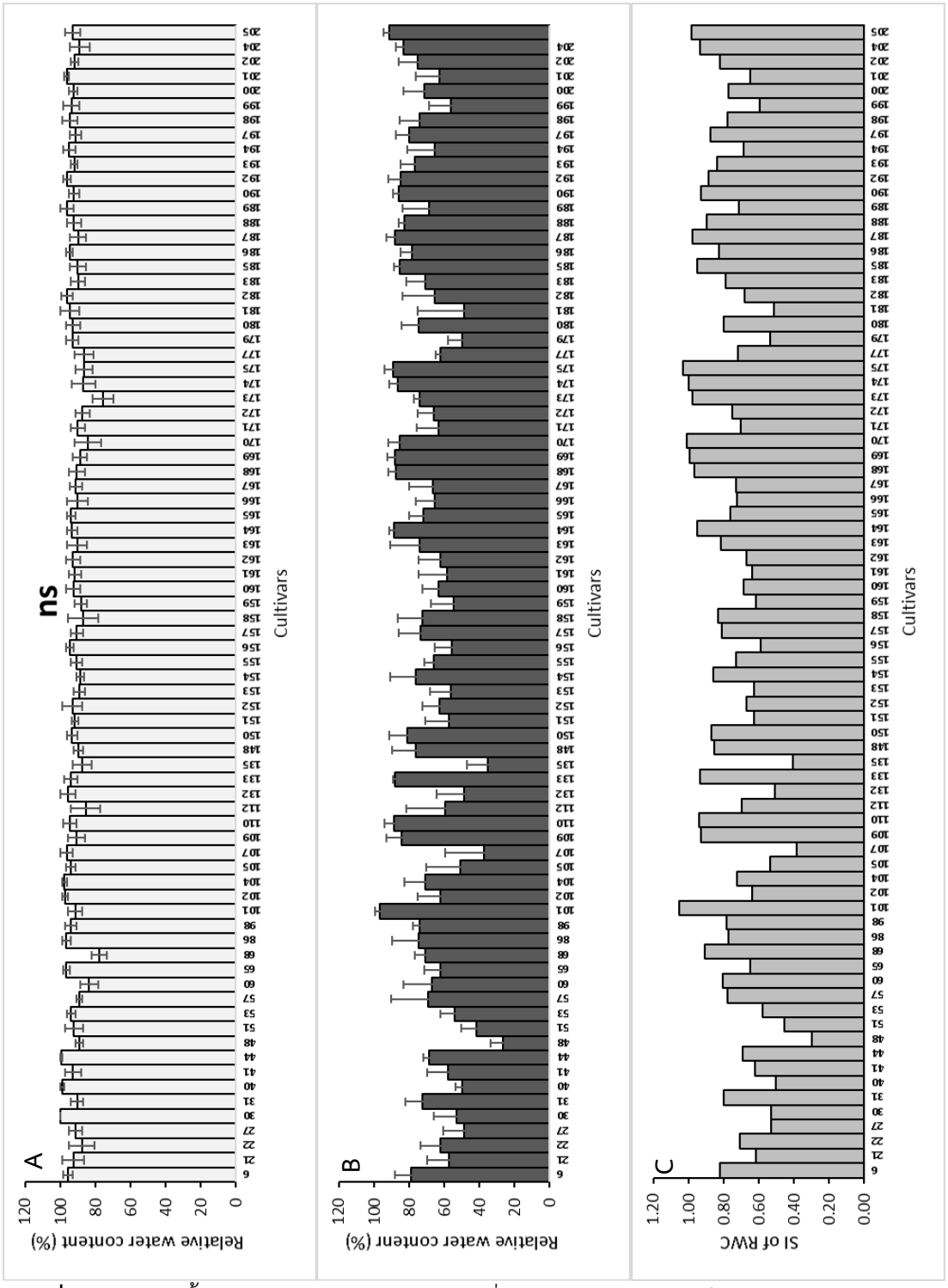
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 65 น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) น้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 26 วัน (ภาพที่ 65A) พบว่าค่าเฉลี่ยในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรเท่ากับ 0.0690 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยของประชากรที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 23 วัน ประมาณ 28.79% โดยข้าวพันธุ์เหลืองควายล้า (172) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นสูงที่สุด (0.1195 กรัม) ในขณะที่พันธุ์ลูกแดงปัตตานี (198) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในประชากร (0.0340 กรัม) สำหรับค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน (ภาพที่ 65B) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับประชากรข้าวที่โตในภาวะปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 0.0455 กรัมซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของกลุ่มประชากรข้าวที่โตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 9 วันประมาณ 6% เท่านั้น ซึ่งข้าวพันธุ์ขาวบ้านโภชณ์ (40) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในประชากร (0.0817 กรัม) ในขณะที่ ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากต่ำที่สุดในประชากร (0.0172 กรัม) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่ 65C) จะพบว่าข้าวในกลุ่มประชากรมีรูปแบบการตอบสนองของค่าน้ำหนักแห้งรากที่ลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็มอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับ 0.6785 แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีข้าวบางพันธุ์ที่มีการตอบสนองของน้ำหนักแห้งรากขึ้นเมื่อได้รับภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 9 วันอย่างเห็นได้ชัดและแยกออกจากพันธุ์อื่นในประชากรได้อย่างชัดเจน ได้แก่ พันธุ์ดอกข่า (27) (1.5131) ขาวบ้านโภชณ์ (40) (1.4237) และ ลูกแดงปัตตานี (198) (1.4813) ในขณะที่พันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพต่ำที่สุดในประชากร (0.3433)

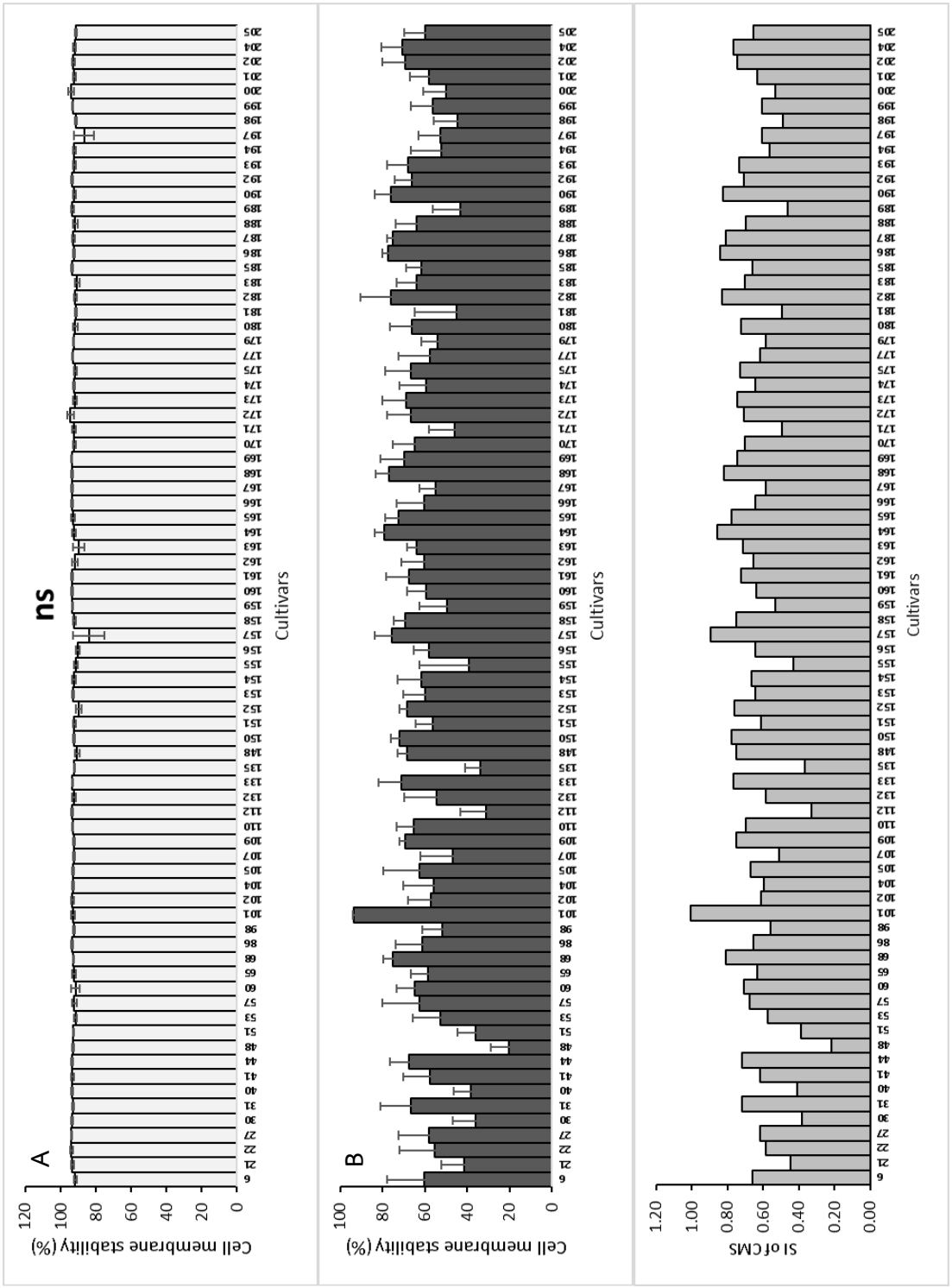
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 66 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการศึกษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 26 วัน (ภาพที่ 66A) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 91.72 % และค่าในประชากรนั้นมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 80% - 100% ซึ่งเป็นค่าในช่วงปกติของข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ เช่นเดียวกับกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 6 และ 9 วัน แต่เมื่อกลุ่มประชากรข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน (ภาพที่ 66B) พบว่าโดยภาพรวมมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลงทั้งประชากรจากค่าภาวะปกติ และค่าในกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 68.67% โดยที่ข้าวพันธุ์ Pokkali (101)เป็นพันธุ์ที่มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์สูงที่สุดในประชากร (96.49%) ตามด้วยพันธุ์กข31 (205) ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบสูงรองลงมา (91.57 %) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขี้ตมพัน (48) เป็นพันธุ์ที่มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบต่ำที่สุดในประชากร (26.73%) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพ (ภาพที่ 66C) พบว่ารูปแบบการแสดงออก ไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของประชากรที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็ม เนื่องจากค่าเริ่มต้นในภาวะปกตินั้น มีค่าไม่แตกต่างกันมาก และในภาพรวมของประชากร ข้าวในประชากร มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ที่ลดลงจากภาวะปกติหรือมีค่าดัชนีเสถียรภาพต่ำกว่า 1 โดยมีพันธุ์แดงนา (51) ซิวแม่จัน (107) และบุญมา (135) ทีมีค่าดัชนีเสถียรภาพค่อนข้างต่ำที่สุดในประชากรอย่างเห็นได้ชัด (0.4551 0.3869 0.4049) ในขณะที่ ข้าวพันธุ์ Pokkali (101) ลายหมาก (170) และกข31 (205) เป็นพันธุ์ที่รักษาเสถียรภาพของปริมาณน้ำได้ค่อนข้างดีเมื่อได้รับภาวะความเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ ตามลำดับ 1.0556 1.0107 และ 0.9843

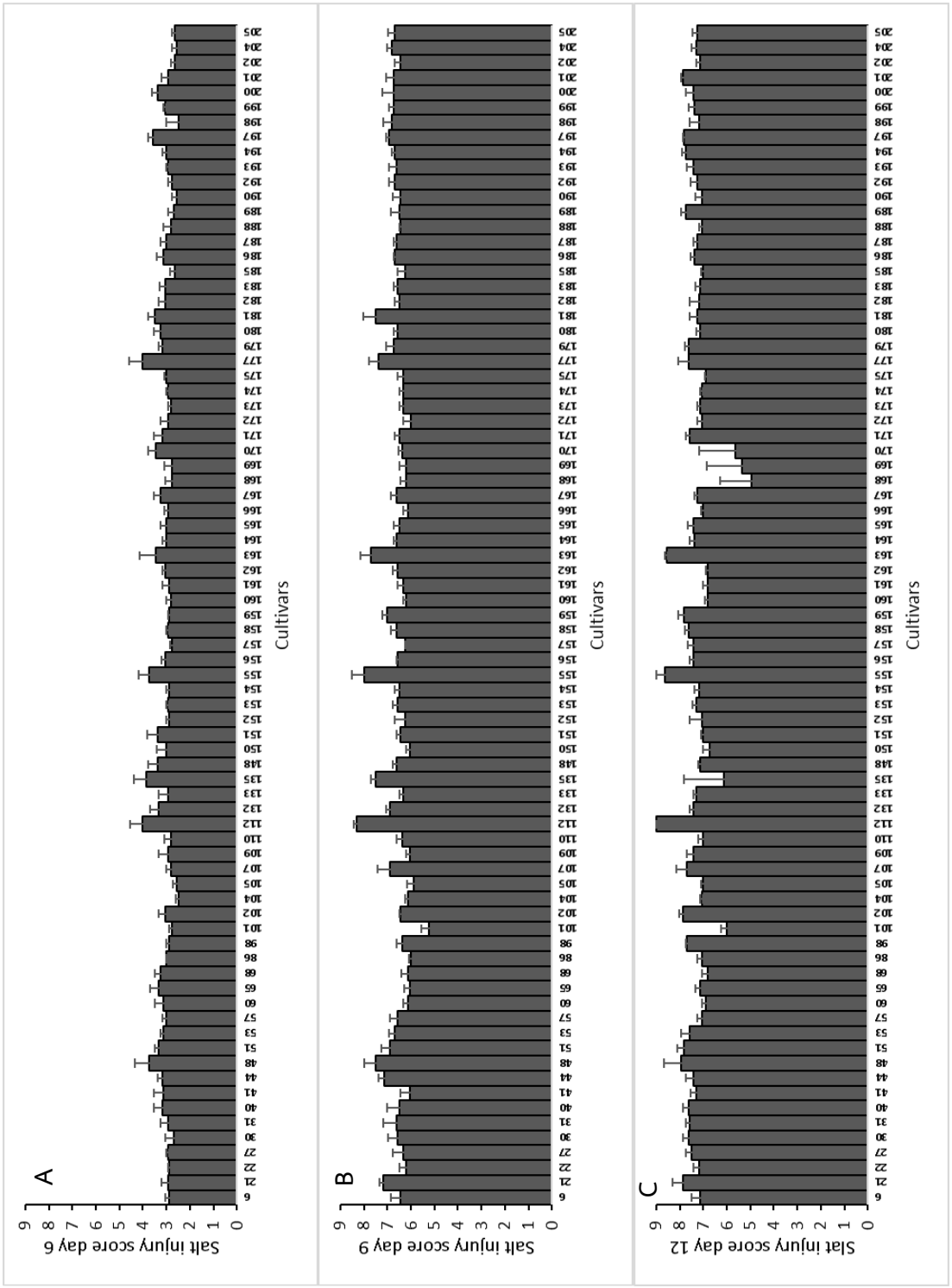
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 67 เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (A) เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าว (C) ในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการศึกษาค่าเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะปกติเป็นเวลา 26 วัน (ภาพที่ 67A) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มประชากรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยในภาวะปกตินั้นมีค่าเท่ากับ 92.37% ซึ่งค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 89% - 95% เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเป็นระยะเวลา 6 และ 9 วัน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของประชากรข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (ภาพที่ 67B) ในชุดการทดลองที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ในภาวะเครียดมี่ค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 60.03% ซึ่งลดลงจากค่าเฉลี่ยในภาวะปกติประมาณ 32% และลดลงจากค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน ประมาณ 10% โดยที่ข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์สูงที่สุด (93.55%) ในขณะที่ ข้าวพันธุ์ขี้ตมพัน (48) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ต่ำที่สุดในประชากร (20.31%) และเมื่อพิจารณาค่า ดัชนีเสถียรภาพของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (ภาพที่ 67C) พบว่า มีรูปแบบการแสดงออกที่ใกล้เคียงกับ ค่าเฉลี่ยในภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม เนื่องจาก ค่าเริ่มต้นในภาวะปกติไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของประชากรเท่ากับ 0.6493 และค่าดัชนีเสถียรภาพโดยภาพรวม พบว่า ข้าวในประชากรเกือบทั้งหมด มีค่าดัชนีเสถียรภาพลดลงทั้งกลุ่มประชากรอย่างเห็นได้ชัด โดยข้าวพันธุ์ Pokkali (101) ยังคงเป็นพันธุ์ทีรักษาเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้สูงที่สุดในกลุ่มประชากร (1.0072) ในขณะที่พันธุ์ขี้ตมพัน (48) (0.2179) เหนียวสันป่าตอง (112) (0.3321) และ บุญมา (135) (0.3681) เป็นพันธุ์ที่มีค่าดัชนีที่ต่ำที่สุดเด่นชัดแยกออกจากพันธุ์อื่นในกลุ่มประชากร

Chulalongkorn University



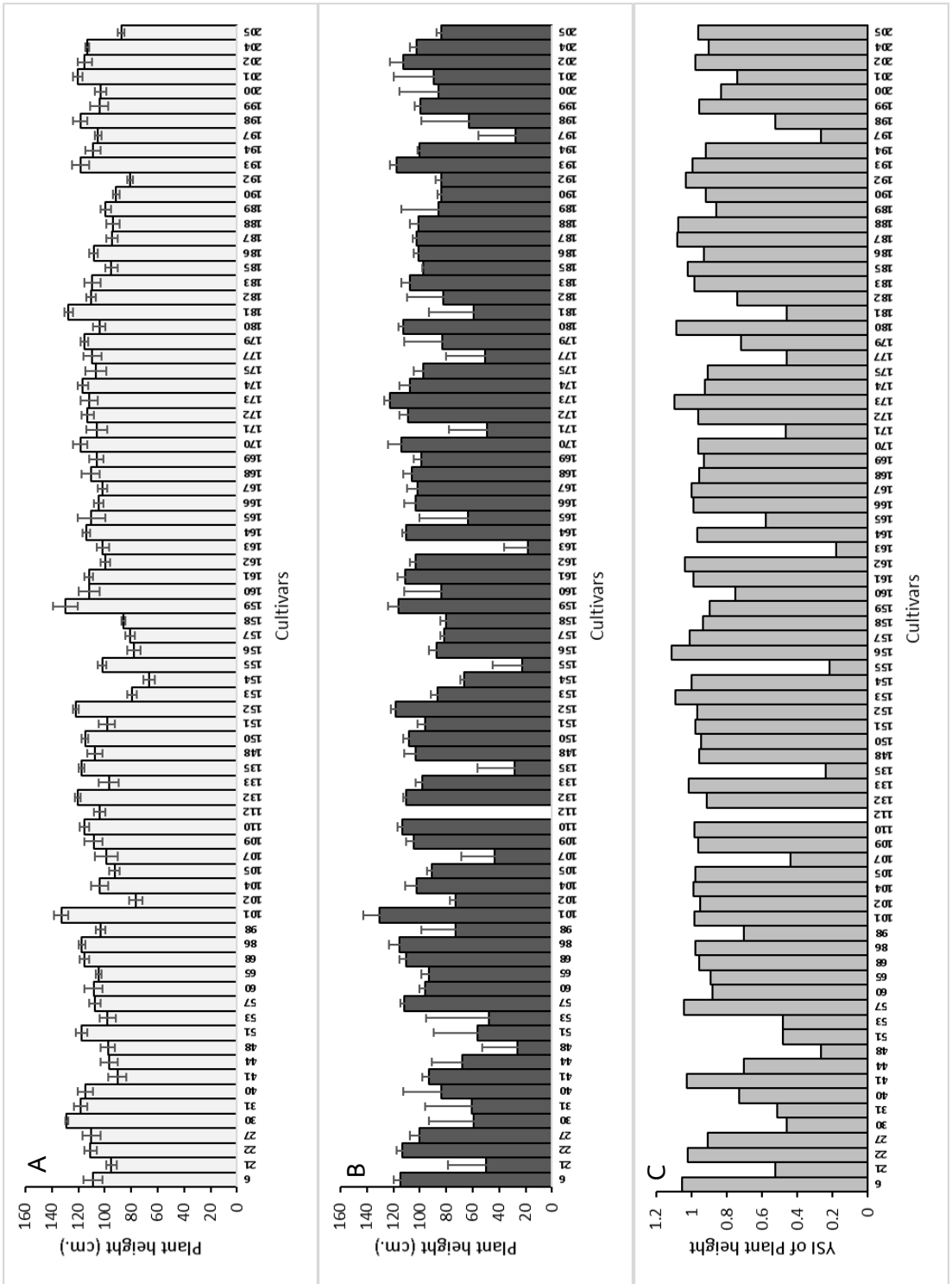
ภาพที่ 68 ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของต้นกล้าข้าวเมื่อเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 6 วัน (A) 9 วัน (B) และ 12 วัน (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม Salt Injury Score (SIS) ในของต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 3 ของกล้าข้าวอายุ 14 วันเมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6, 9 และ 12 วัน (ภาพที่ 68A - ภาพที่ 68C) พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกช่วงเวลาที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม สำหรับค่าเฉลี่ยของคะแนนความเสียหายจากภาวะเครียดจากความเค็มเมื่อเติบโตในภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 วัน มีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 3.04 โดยภาพรวมแล้ว ค่าคะแนนความเสียหายจากภาวะเครียดจากความเค็มค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกันในประชากรซึ่งอยู่ที่ประมาณ 3.00 โดยที่ข้าวพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มต่ำที่สุดคือ ข้าวพันธุ์ขาวหลวง (104) และ ลูกแดงปัตตานี (198) โดยมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มเท่ากับ 2.50 ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) และเกวียนหัก (177) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยค่าคะแนนความเสียหายสูงที่สุดในประชากรคือ 4.00 สำหรับค่าเฉลี่ยค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มของประชากรข้าวที่เติบโตไปเป็นระยะเวลา 9 พบว่า มีค่าคะแนนความเสียหายที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากประชากรที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 6 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 6.57 และค่าในประชากรใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงระหว่าง 6.00 - 7.00 โดยที่ข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มต่ำที่สุดในประชากร (5.25) ตามด้วยข้าวพันธุ์นางนวล (105) ที่มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มต่ำรองลงมา (5.88) ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มสูงที่สุด (8.3125) ตามด้วยข้าวพันธุ์กำเฟือง (155) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มสูงรองลงมา (5.00) และสำหรับประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 12 วันพบว่า มีค่าเฉลี่ยในประชากรโดยรวมที่ค่อนข้างสูงมาก โดยข้าวบางพันธุ์แสดงค่าคะแนนความเสียหายจนถึงระดับ 9 ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนความเสียหายในประชากรมีค่าเท่ากับ 7.26 โดยที่ข้าวพันธุ์เหลืองเตี้ย (168) และ เหลืองแก้ว (169) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มเท่ากับ 4.94 และ 5.38 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มสูงที่สุดในประชากร โดยมีค่าสูงที่สุดคือ 9.00

2.4 ผลการศึกษาลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ในชุดการทดลองที่ 3

สำหรับการศึกษาลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตของพืชหลังจากที่พืชได้รับภาวะความเครียดจากความเค็ม เป็นระยะเวลา 12 วัน ของต้นกล้าข้าวในทั้ง 2 ชุดการทดลอง (ชุดการทดลองควบคุมและกล้าข้าวที่ได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม) ลงในดินปกติ (ชุดดินพิมาย) ในกระถางปลูกขนาด 8 นิ้ว ที่บรรจุดิน 5 กิโลกรัมให้น้ำและปุ๋ยธาตุอาหารตลอดการทดลอง จนกระทั่งข้าวออกรวงเก็บค่าลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการประเมินลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความสูงต้น การแตกกอ (จำนวนกอต่อต้น) จำนวนรวง อัตราส่วนรวงต่อกอ มวลชีวภาพต้น ความยาวรวง จำนวนเมล็ดเต็มต่อรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง จำนวนเมล็ดเต็มทั้งหมดต่อต้น จำนวนเมล็ดลีบทั้งหมดต่อต้น จำนวนเมล็ดรวมทั้งหมด อัตราการผสมติดรวง น้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้น น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ด น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยต่อรวง ผลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 69 - 83

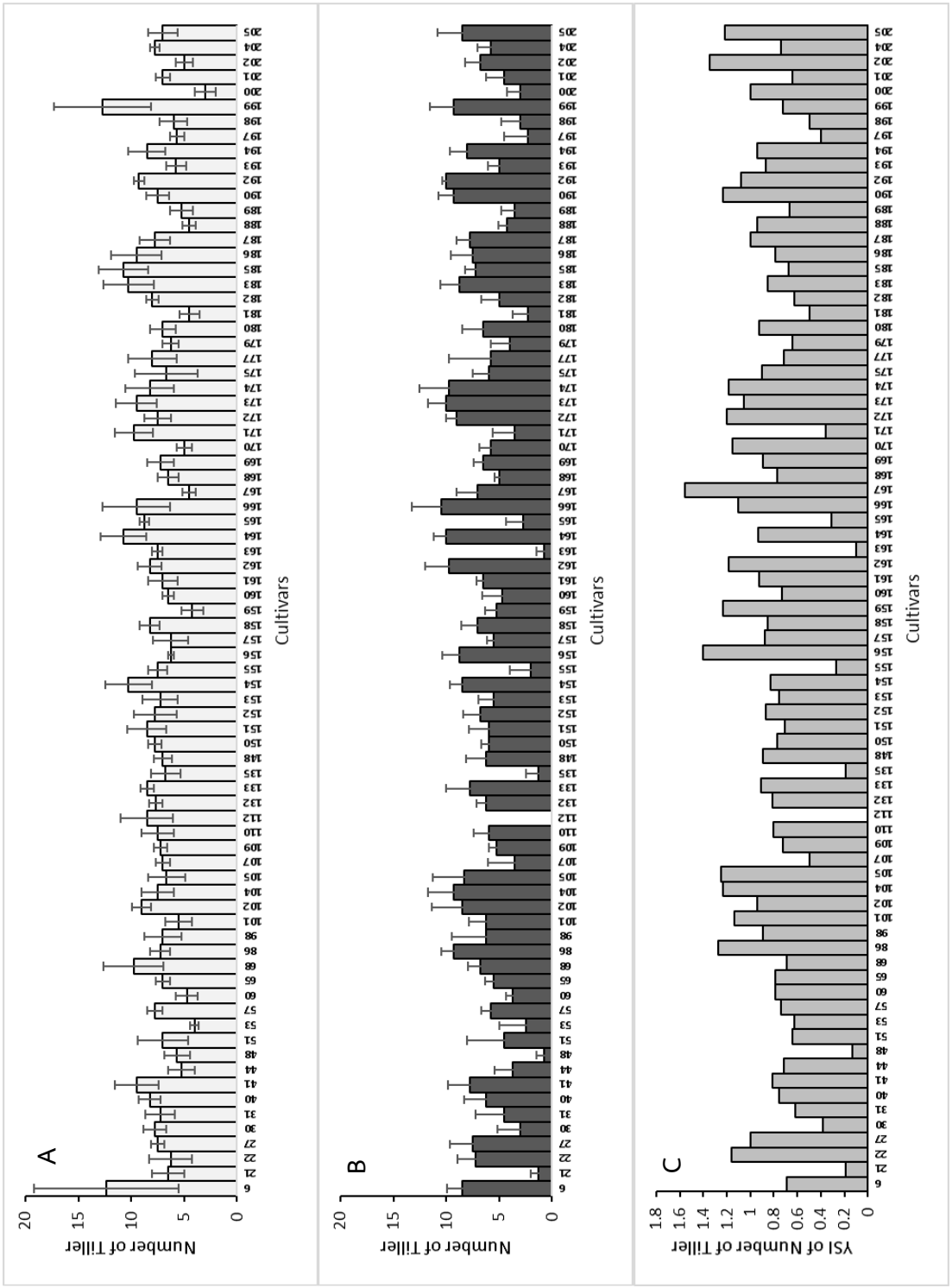
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 69 ความสูงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) ความสูงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของความสูงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการศึกษาความสูงของต้นข้าวเปรียบเทียบระหว่างข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ และ ข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน (ภาพที่ 69A และภาพที่ 69B) พบว่า ข้าวทั้งสองกลุ่มประชากร มีความสูงต้นในระยะออกดอกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับข้าวที่โตในภาวะปกติ มีค่าเฉลี่ยความสูงของประชากรเท่ากับ 105.72 เซนติเมตร โดยที่ข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นสูงที่สุด (132.75 เซนติเมตร) ในขณะที่ ข้าวพันธุ์ 154 เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยส่วนสูงต้นเตี้ยที่สุด (66.50 เซนติเมตร) สำหรับประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็ม 12 วัน มีค่าเฉลี่ยส่วนสูงต้นในประชากรเท่ากับ 86.80 เซนติเมตร โดยที่ข้าวพันธุ์ Pokkali (101) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นสูงที่สุดในประชากร 130.5 ตามด้วยข้าวพันธุ์ส่ามรวง (173) ที่มีค่าความสูงต้นรองลงมา 122.5 ในขณะที่ข้าวพันธุ์ข้าวฮ้าว (163) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด 18.25 (ไม่รวมพันธุ์เหนียวสันป่าตอง(112)) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพ (ภาพที่ 69C) พบว่า ข้าวโดยส่วนมาก มีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของความสูงได้ค่อนข้างปกติ โดยมีค่าดัชนีเสียรภาพประมาณ 1 แต่อย่างไรก็ตาม ข้าวบางพันธุ์มีค่าดัชนีเสียรภาพที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเจอภาวะเครียดต่อความเค็ม 12 วัน โดยส่งผลให้มีความสูงลดลงอย่างเห็นได้ชัดแยกจากประชากร เช่น บือซอมี (21) ขาวคด (30) แจกัน (31) ขี้ตมพัน (48) แดงนา (51) พวงหางนาค (53) เหนียวสันป่าตอง (112) บุญมา (135) ก่ำเฟือง (155) ข้าวฮ้าว (163) และ ลอยห้ารวง (165) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.5237 0.4583 0.5137 0.2688 0.4803 0.4847 0.0000 0.2383 0.2187 0.1798 และ 0.5795 ตามลำดับ

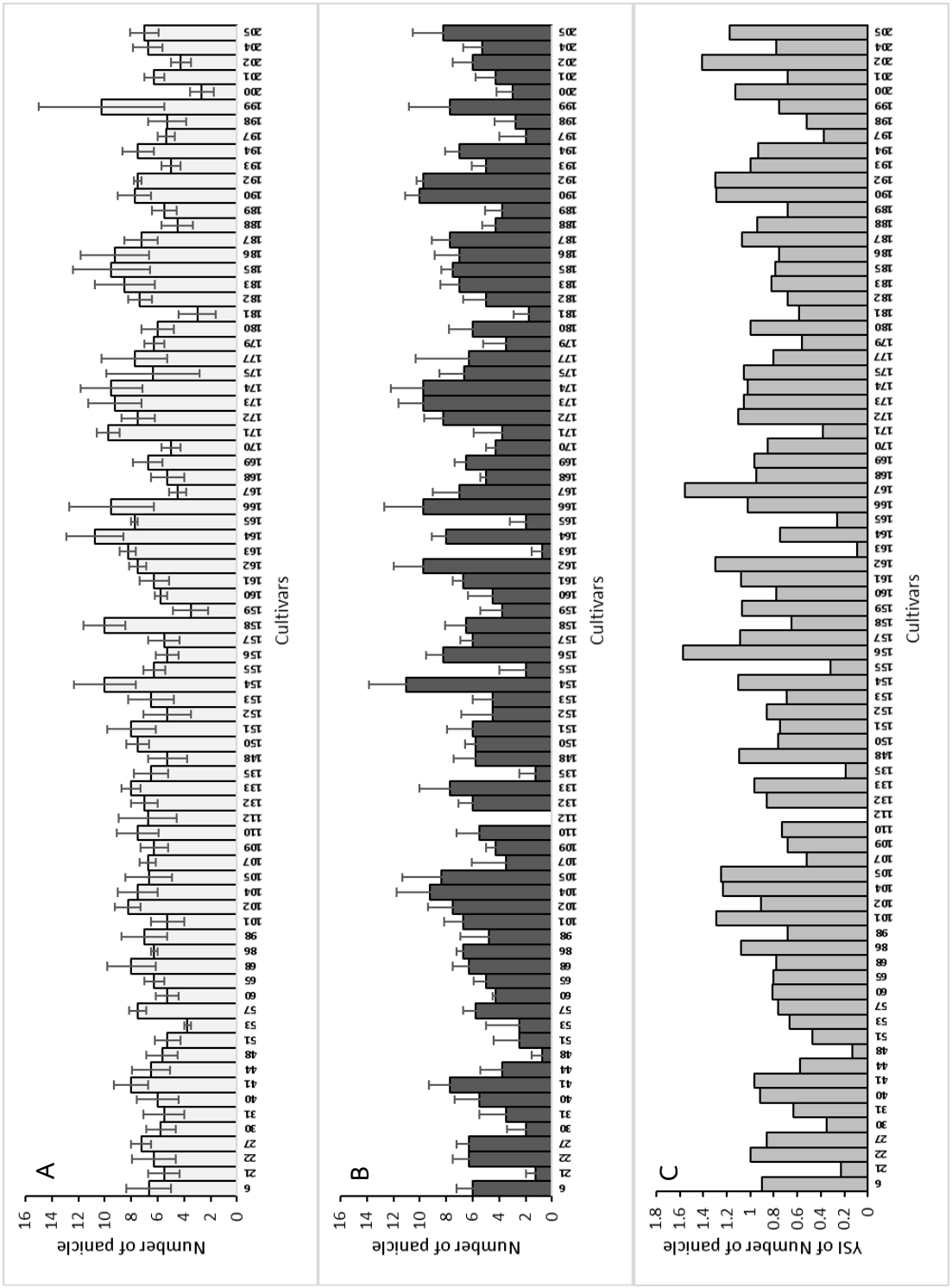
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 70 จำนวนกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วันและ ดัชนีเสถียรภาพของจำนวนกอของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาจำนวนกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 70A) พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนกอในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนกอของประชากรเท่ากับ 7.40 กอ ซึ่งข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอสูงที่สุดคือ พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (199) ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอถึง 12.75 กอ ตามด้วยพันธุ์ขาวแก้ว (6) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอรองลงมา เท่ากับ 12.33 กอ ในขณะที่พันธุ์สูน (200) เป็นพันธุ์ที่มีการแตกกอน้อยที่สุดในประชากร คือ 3 กอเท่านั้น สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 70B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีการแตกกอที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของการแตกกอในประชากรเท่ากับ 5.94 กอ หรือลดลงประมาณ 25% จากภาวะปกติ ซึ่งข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยการแตกกอสูงที่สุดคือพันธุ์หลวงประทาน (166) ที่มีการแตกกอเท่ากับ 10.5 กอ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ เหนียวสันป่าตอง (1120 และข้ตมพัน (48) เป็นสองพันธุ์ที่มีการแตกกอน้อยที่สุดในประชากร เท่ากับ 0 และ 0.75 กอตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 70C) พบว่าข้าวมีค่าดัชเสถียรภาพได้สูงขึ้นลดลง และใกล้เคียงต่า 1 เมื่อได้รับภาวะเค็มในระยะต้นกล้า โดยข้าวพันธุ์ที่มีดัชนีเสถียรภาพสูงขึ้นเมื่อได้รับภาวะเค็ม 12 วันแยกชัดเจนจากพันธุ์อื่นในประชากร ได้แก่ นาขวัญ (86) ขาวหลวง (104) นางนวล (105) กข10 (156) จำปาทอง (159) เหลืองควายล้า (162) คันนา (167) ลูกแดงปัตตานี (202) และ กข31 (ปทุมธานี 80) (205) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.2758 1.2333 1.2500 1.400 1.2352 1.1818 1.5556 1.3500 และ 1.2143 ตามลำดับ

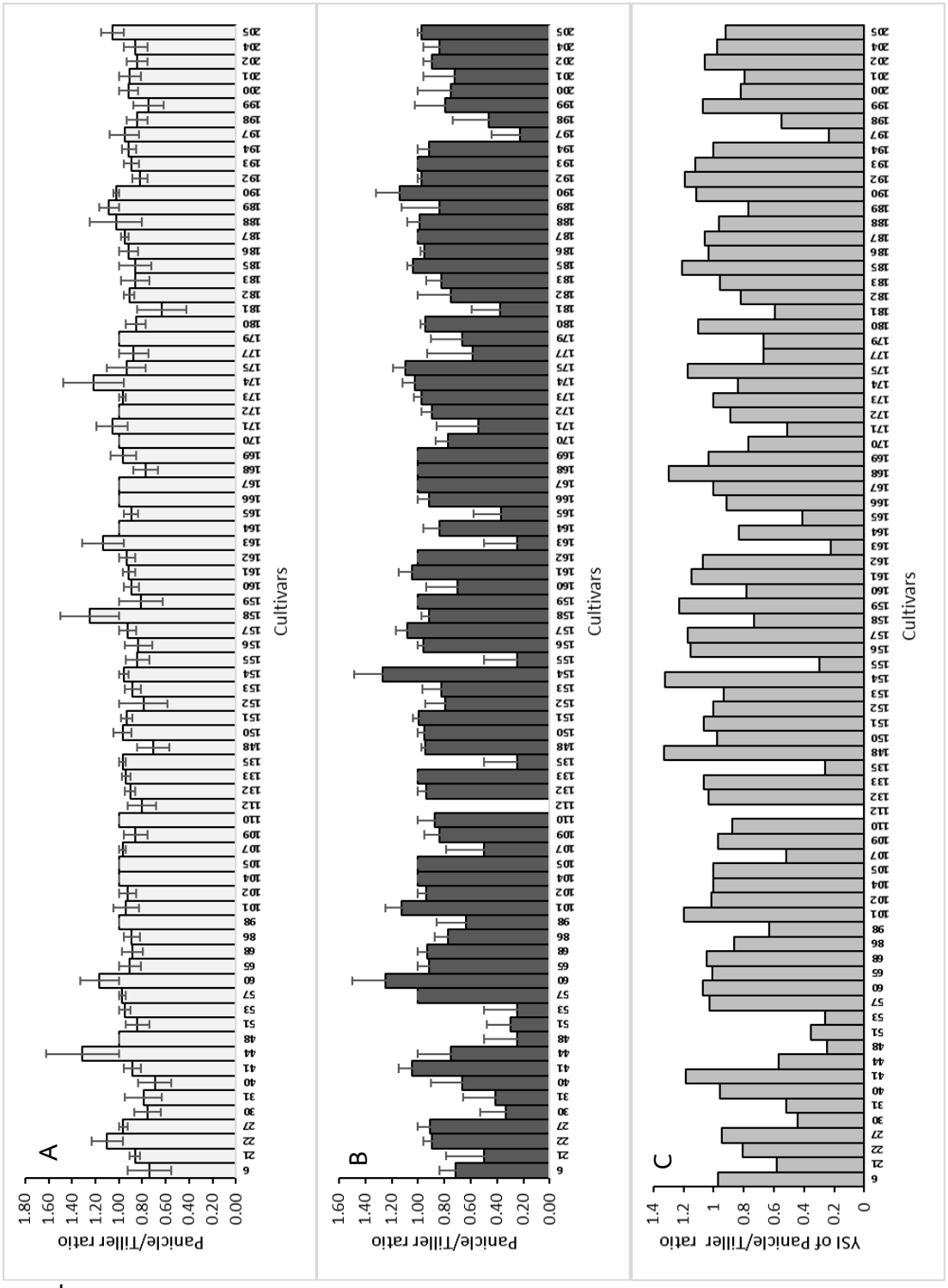
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 71 จำนวนรวงต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนรวงต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนรวงต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาจำนวนรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 71A) พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนกอในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนกอของประชากรเท่ากับ 6.75 รวง โดยที่ข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนกอสูงที่สุดคือ พันธุ์เศรษฐี (164) ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงถึง 10.75 รวง ตามด้วยพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (199) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงรองลงมา เท่ากับ 10.25 รวง ในขณะที่พันธุ์สูน (200) เป็นพันธุ์ที่มีการแตกกอน้อยที่สุดในประชากร คือ 2.67 กอเท่านั้น สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 71B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีการออกรวงที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเช่นเดียวกับค่าการแตกกอและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของการแตกกอในประชากรเท่ากับ 5.53 รวง หรือลดลงประมาณ 22% จากภาวะปกติ โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยการออกรวงสูงที่สุดคือพันธุ์กข19 (154) ที่มีการแตกกอเท่ากับ 11 รวง ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) ขี้ตมพัน (48) และ ข้าวฮ้าว (163) เป็นสองพันธุ์ที่มีการแตกกอน้อยที่สุดในประชากร เท่ากับ 0.00 0.75 และ 0.75 กอตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 71C) พบว่ามีข้าวที่สามารถรักษาเสถียรภาพได้สูงขึ้นและลดลงเมื่อได้รับภาวะเค็มในระยะต้นกล้า โดยข้าวพันธุ์ที่มีดัชนีเสถียรภาพสูงขึ้นเมื่อได้รับภาวะเค็ม 12 วันแยกชัดเจนจากพันธุ์อื่นในประชากร ได้แก่ กข10 (156) และ คันนา (167) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.5714 และ 1.5556 ตามลำดับ

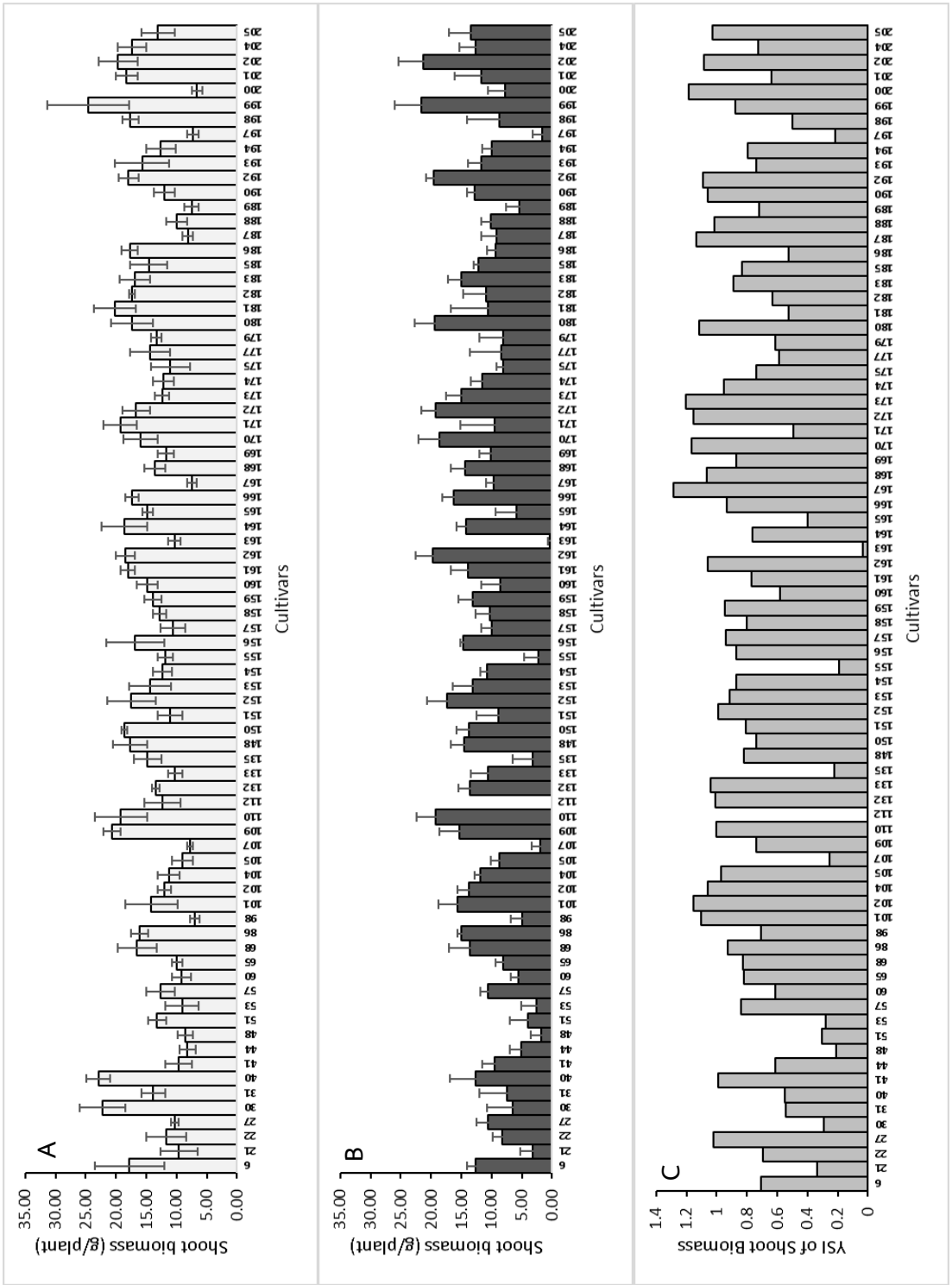
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 72 อัตราส่วนรวงต่อกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) อัตราส่วนรวงต่อกอของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของอัตราส่วนรวงต่อกอของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาอัตราส่วนรวงต่อกอของต้นกล้าข้าวในระยะออกดอกที่เติบโตในภาวะปกติ ในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 72A) พบว่าค่าเฉลี่ยดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในภาพรวมของประชากรข้าว มีค่าอัตราส่วนรวงต่อกอที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าใกล้เคียงค่า 1 ซึ่งสื่อให้เห็นว่าข้าวส่วนใหญ่ที่เติบโตในภาวะปกติเกือบทุกพันธุ์มีการออกรวงเพื่อเตรียมความพร้อมที่จะให้ผลผลิตได้ตามปกติโดยมีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนรวงต่อกอในประชากรเท่ากับ 0.9284 ในขณะที่ประชากรข้าวที่ได้รับภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 72B) มีค่าเฉลี่ยในประชากรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.7955 ซึ่งลดลงจากค่าเฉลี่ยของข้าวในระยะออกดอกที่โตในภาวะปกติประมาณ 16.25% โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยอัตรารวงต่อกอสูงที่สุดคือ พันธุ์กข19 (154) (1.2675) ในขณะที่พันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) และกข12 (197) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนรวงต่อกอต่ำที่สุดในประชากร (0.0000 และ 0.2225) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของอัตราส่วนรวงต่อกอ (ภาพที่ 72C) พบว่ามีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 0.8290 ซึ่งโดยภาพรวมแล้วนั้น ค่าส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ค่าประมาณ 1 หรือ สูงกว่า 1 เพียงเล็กน้อย ข้าวส่วนใหญ่ยังรักษาเสถียรภาพของการออกรวงได้ดีแม้ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ในระยะต้นกล้า แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้าวบางส่วนในประชากร ที่รักษาเสถียรภาพการออกรวงได้ไม่ดีเท่าพันธุ์อื่นในประชากรอย่างเห็นได้ชัด โดยจะพบว่า เมื่อกล้าข้าวได้รับภาวะความเค็ม ส่งผลต่อการออกรวงได้ค่อนข้างน้อยหรือบางพันธุ์ที่ไม่สามารถออกรวงได้เลยแม้จะมีการแตกกอก็ตาม เช่นพันธุ์ขี้ตมพัน (48) แดงนา (51) พวงหางนาค (53) เหนียวสันป่าตอง (112) บุญมา (135) ก่ำเฟือง (155) ข้าวฮ้าว(163) ลอยห้ารวง (165) และ กข12 (197) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.2500 0.3559 0.2632 0.0000 0.2581 0.2966 0.2202 0.4099 และ 0.2333 ตามลำดับ

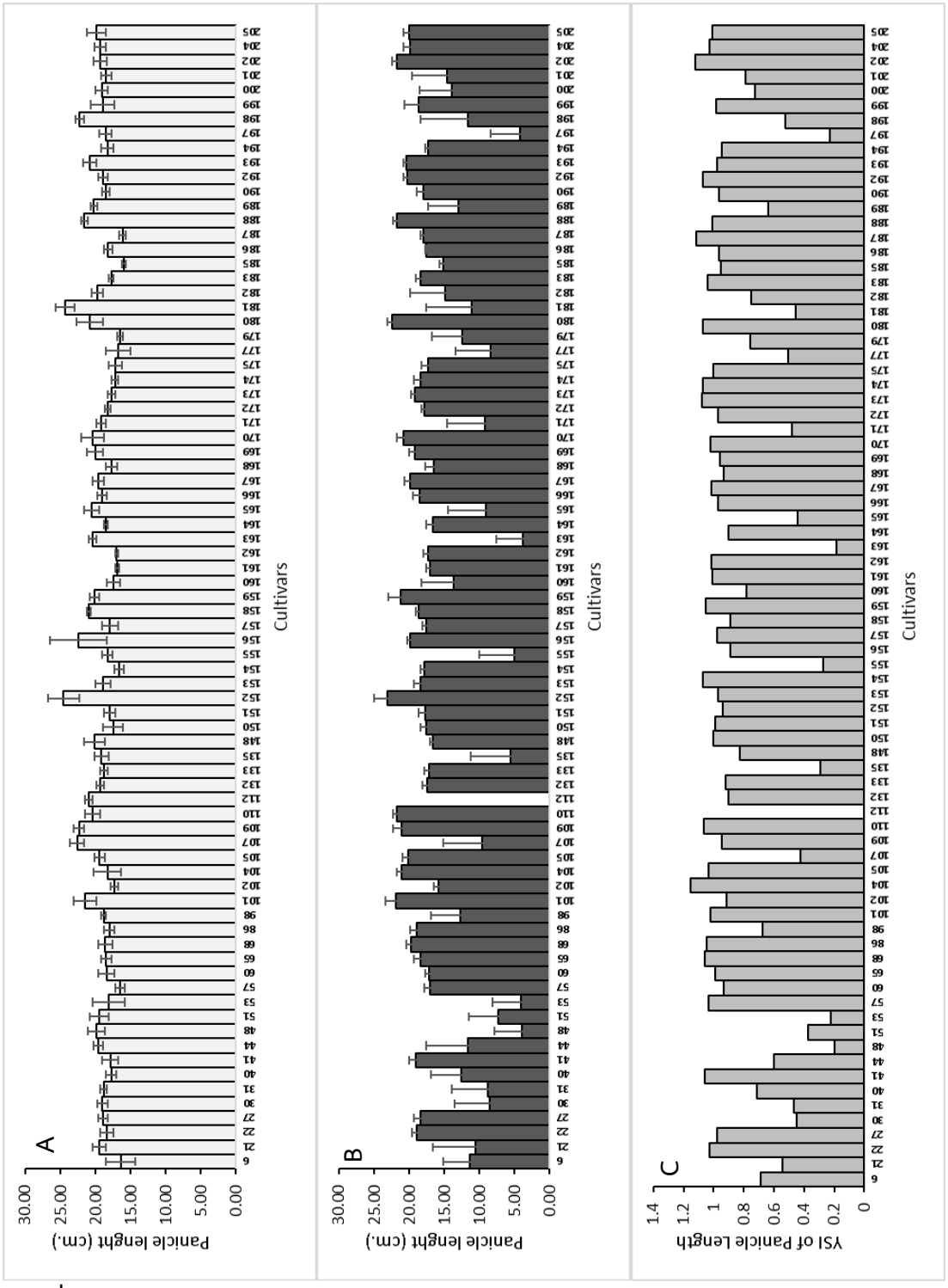
Chulalongkorn University



ภาพที่ 73 มวลชีวภาพต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) มวลชีวภาพต้นต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของมวลชีวภาพต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษามวลชีวภาพส่วนต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 73A) พบว่า ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพส่วนต้นในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพส่วนต้นของประชากรเท่ากับ 14.00 กรัม โดยที่ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (199) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพส่วนต้นสูงที่สุดคือ 24.5975 กรัม ตามด้วยพันธุ์ขาวบ้านโภชน์ (40) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรองลงมา (22.8975 กรัม) ในขณะที่พันธุ์สูน (200) เป็นพันธุ์ที่มีมวลชีวภาพส่วนต้นน้อยที่สุดในประชากร คือ 6.6075 กรัมเท่านั้น สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 73B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีมวลชีวภาพส่วนต้นที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติเช่นเดียวกับค่าการแตกกอโดยค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพส่วนต้นในประชากรเท่ากับ 10.7649 กรัม โดยลดลงประมาณ 56.24% จากภาวะปกติ โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพส่วนต้นที่สุดในประชากรคือพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (199) (21.545 กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) และข้าวฮ้าว (163) เป็นสองพันธุ์ที่มีมวลชีวภาพส่วนต้นน้อยที่สุดในประชากร เท่ากับ 0.000 และ 0.3350 กรัมตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 73C) พบว่า มีข้าวที่สามารถรักษาเสถียรภาพได้สูงขึ้น ลดลง และใกล้เคียงค่า 1 เมื่อได้รับภาวะเค็มในระยะต้นกล้า

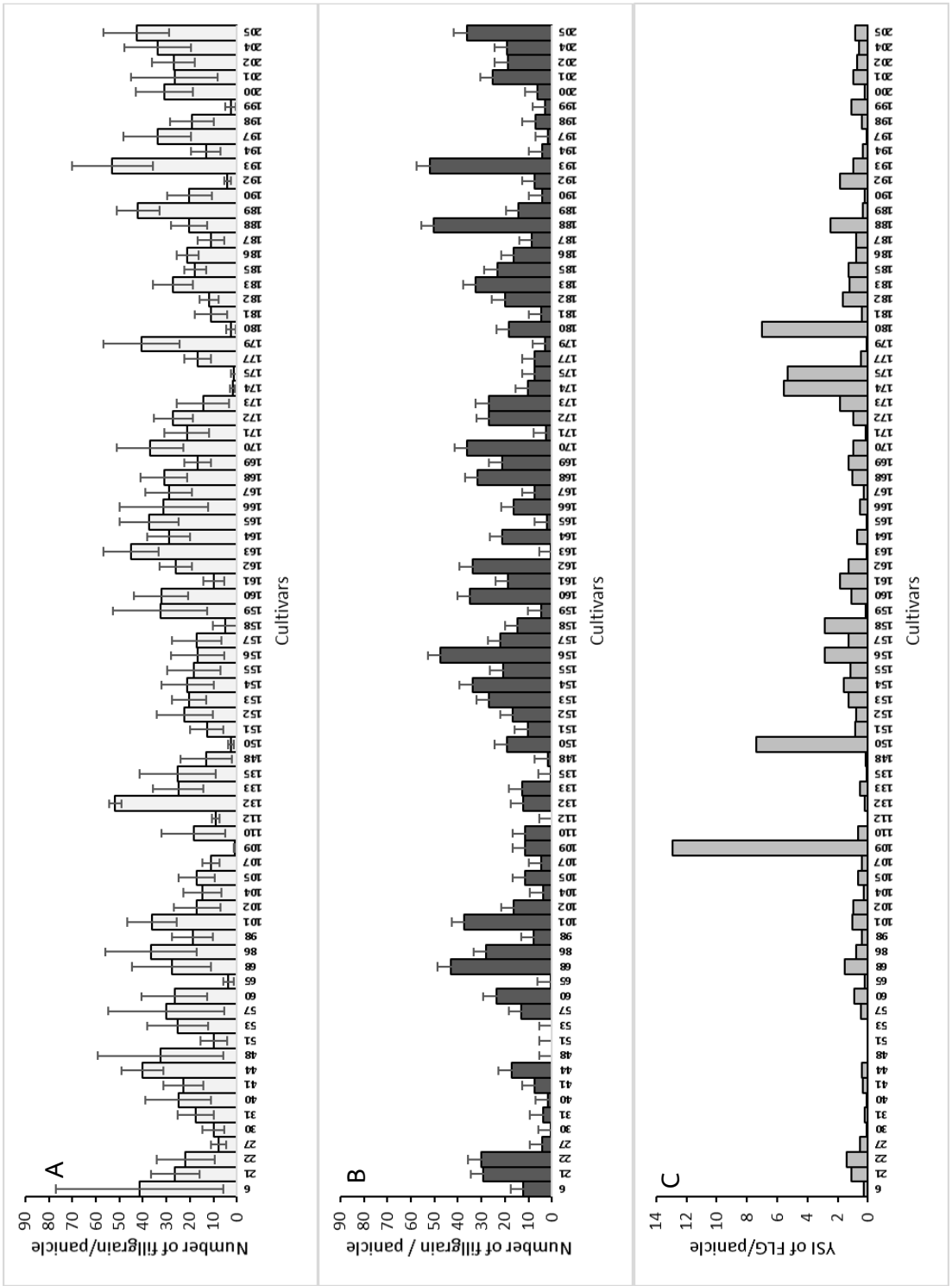
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 74 ความยาวรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) ความยาวรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของความยาวรวงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

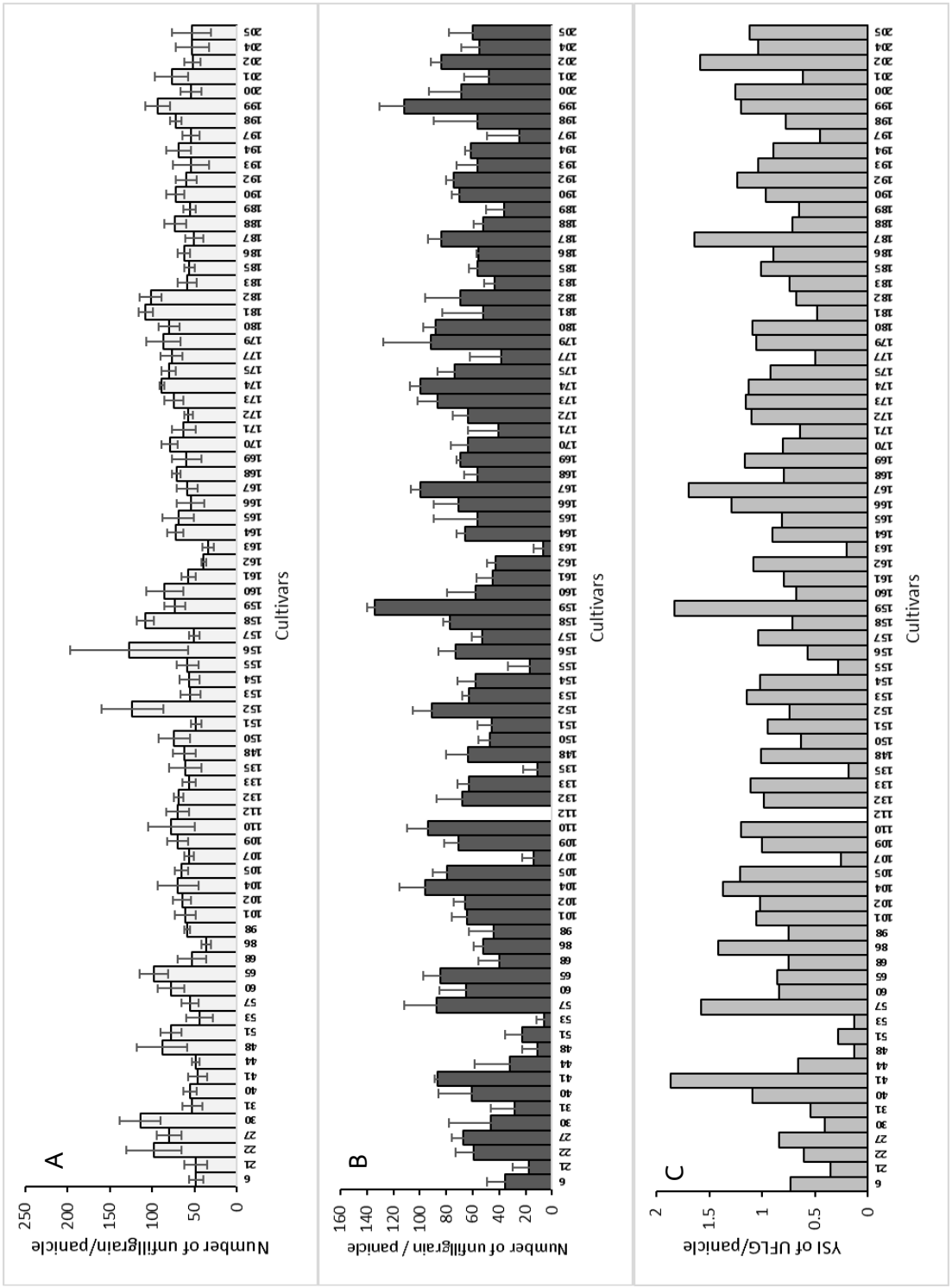
ผลการศึกษาความยาวรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 74A) พบว่า ค่าเฉลี่ยความยาวรวงในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยความยาวรวงของประชากรเท่ากับ 19.06 ซม. โดยที่ข้าวพันธุ์เล็กนก (152) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความยาวรวง ยาวที่สุดคือ 24.59 ซม. ตามด้วยพันธุ์ช่อลุง (181) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงรองลงมา (24.31 ซม.) ในขณะที่พันธุ์เหลืองใบลด (185) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงน้อยที่สุดในประชากร คือ 15.92 ซม.เท่านั้น สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 74B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีความยาวรวงที่ลดลงเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติโดยค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าเฉลี่ยความยาวรวงในประชากรเท่ากับ 15.55 ซม. โดยลดลงจากค่าเฉลี่ยความยาวรวงของประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติประมาณ 16.47% โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงมากที่สุดในประชากรคือพันธุ์เล็กนก (152) (23.12 ซม.) ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) และข้าวฮ้าว (163) เป็นสองพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงน้อยที่สุดในประชากร เท่ากับ 0.000 และ 3.76 ซม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 74C) พบว่ามีข้าวที่สามารถรักษาเสถียรภาพได้สูงขึ้น ลดลง และใกล้เคียงค่า 1 เมื่อได้รับภาวะเค็มในระยะต้นกล้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 75 จำนวนเมล็ดดีเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดดีเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดดีเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

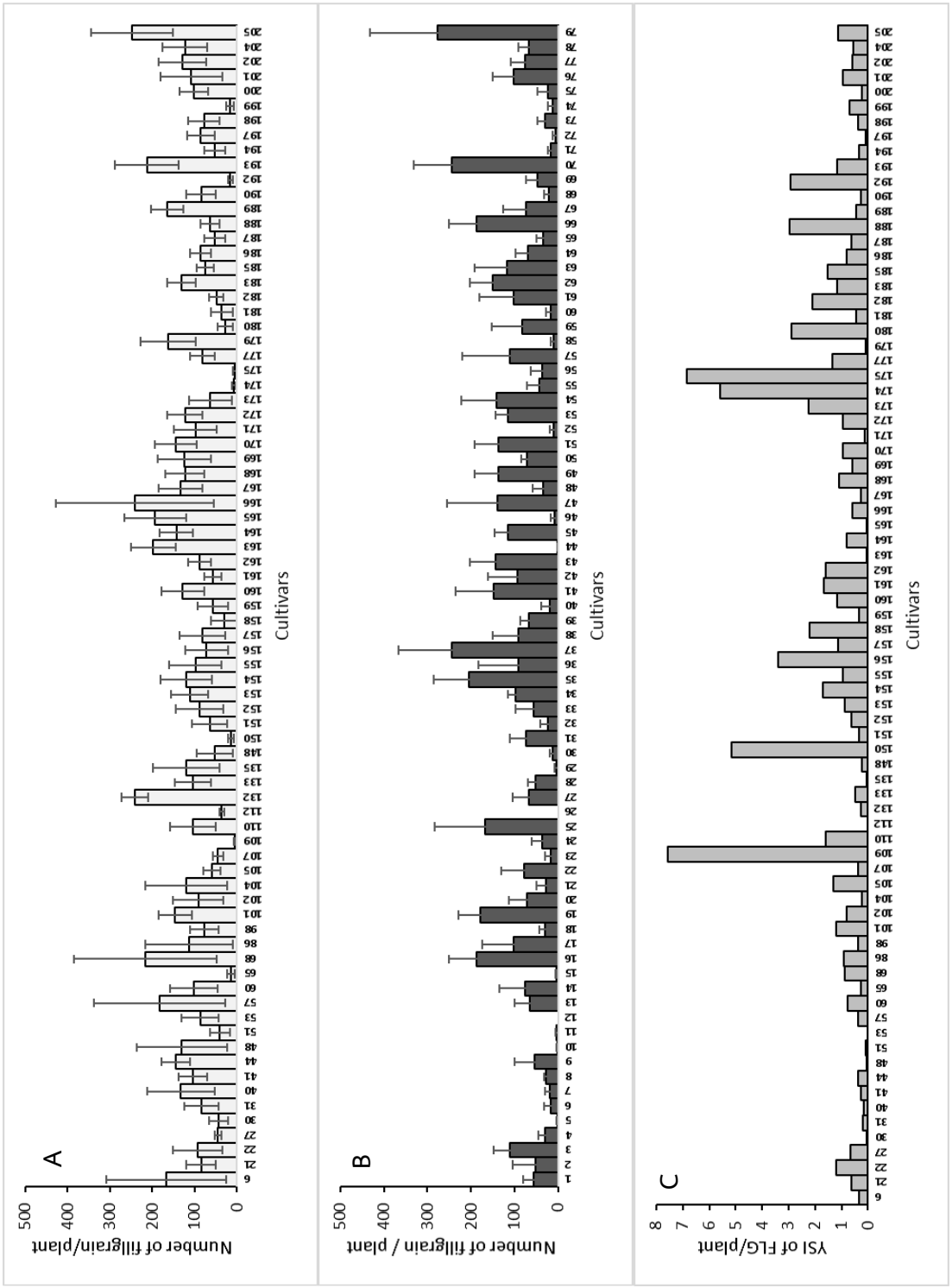
ผลการศึกษาจำนวนเมล็ดดีต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 พบว่า (ภาพที่ 75A) ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีเฉลี่ยต่อรวงในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีต่อรวงของประชากรเท่ากับ 21.92 เมล็ด โดยที่ข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีต่อรวงสูงที่สุดคือพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี (193) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.97 เมล็ด ในขณะที่ข้าวพันธุ์ LPT123 (109) และ เหลืองนวล (175) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเมล็ดดีต่อรวงต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าเท่ากับ 0.875 และ 1.375 เมล็ดตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 75B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดดีต่อรวงในประชากรเท่ากับ 15.72 เมล็ด โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีต่อรวงสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี (193) (52.125 เมล็ด) ตามด้วยพันธุ์หันตรา 60 (188) ที่มีค่าเฉลี่ยสูงรองลงมา (50.125 เมล็ด) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขี้ตมพัน (48) แดงนา (51) พวงหางนาค (53) และ เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงน้อยที่สุดในประชากรเท่ากับ 0 เมล็ด และจากโดยภาพรวมของปริมาณเมล็ดดีต่อรวงของข้าวในประชากร ค่อนข้างมีความแปรผันค่อนข้างมาก นอกจากนี้ ยังมีค่า Standard error ที่ค่อนข้างสูงในบางพันธุ์อันเนื่องมาจากความแปรผันของลักษณะและสิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างมีผลกระทบมากกับลักษณะดังกล่าว และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 75A) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากรมีค่าดัชนีเสถียรภาพลดลงทั้งชุดการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามมีข้าวบางพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก เมื่อผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ได้แก่ พันธุ์ LPT123 (109) ขาวตาเจือ (150) เหลืองปลากิม(174) เหลืองนวล (175) และ ช่อปลีขาว (180) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 12.95 7.41 5.55 5.29 และ 7.00 ตามลำดับ



ภาพที่ 76 จำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

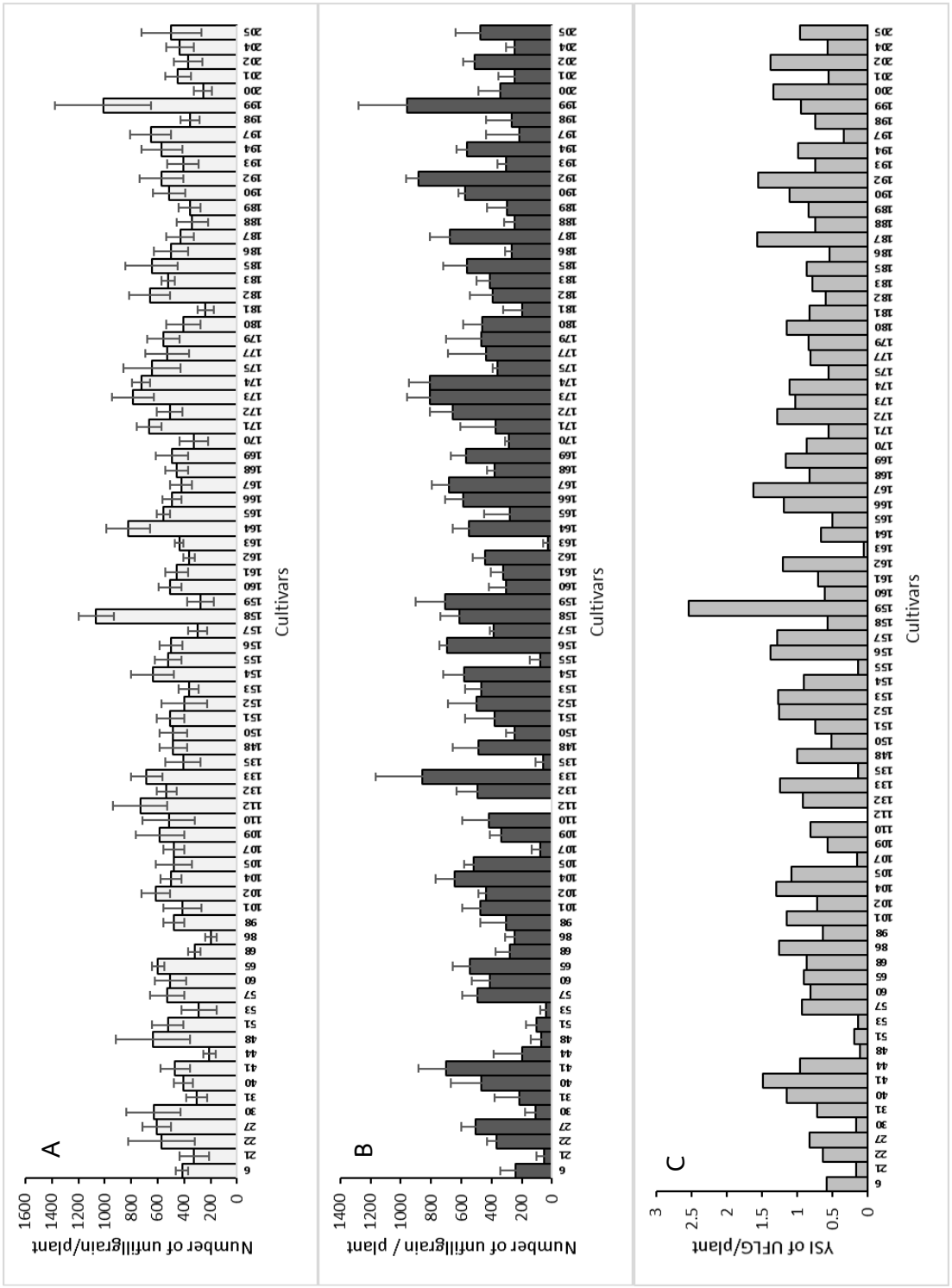
ผลการศึกษาจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 76A) พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีจำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงของประชากรเท่ากับ 67.89 เมล็ด โดยที่ข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงต่ำที่สุดคือนาขวัญ (86) และข้าวฮ้าว (163) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.56 และ 34.625 เมล็ดตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข10 (156) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเมล็ดลีบต่อรวงสูงที่สุดในประชากร (127.50 เมล็ด) สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 76B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงในประชากรเท่ากับ 58.02 เมล็ด โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีต่อรวงต่ำที่สุดในประชากรคือพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) คือ 0 เมล็ดเนื่องจากไม่มีการออกรวงให้ได้ผลผลิตเลย ตามด้วยพันธุ์พวงหางนาค (53) ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำรองลงมา (5.75 เมล็ด) ในขณะที่ข้าวพันธุ์จำปาทอง (159) เป็นพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงสูงที่สุดในประชากรเท่ากับ 134.125 เมล็ด และจากโดยภาพรวมของปริมาณเมล็ดดีต่อรวงของข้าวในประชากร ค่อนข้างมีความแปรผันค่อนข้างมาก นอกจากนี้ ยังมีค่า Standard error ที่ค่อนข้างสูงในบางพันธุ์อันเนื่องมาจากความแปรผันของลักษณะและสิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างมีผลกระทบมากกับลักษณะดังกล่าวเช่นเดียวกับค่าเมล็ดดี และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 76C) พบว่ามีข้าวที่สามารถรักษาเสถียรภาพได้สูงขึ้น ลดลง และค่าใกล้เคียงค่า 1 เมื่อได้รับภาวะเค็มในระยะต้นกล้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



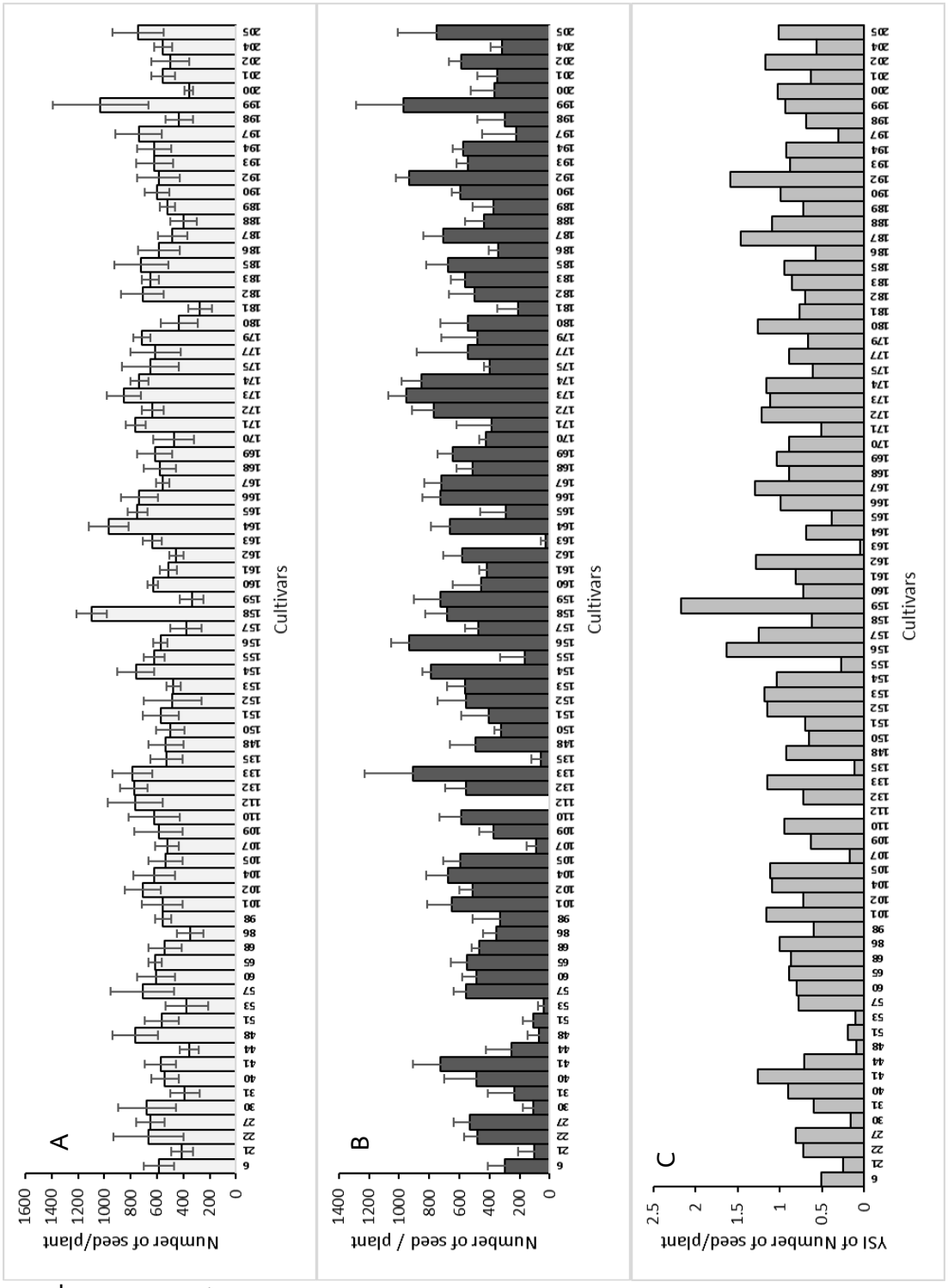
ภาพที่ 77 จำนวนเมล็ดเต็มเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดเต็มเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดเต็มเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาจำนวนเมล็ดเต็มทั้งหมดของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 77A) พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนจำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นของประชากรเท่ากับ 98.17 เมล็ด โดยที่ข้าวพันธุ์กข31 (205) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (247.75 เมล็ด) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปลาแข็ง (65) LPT123 (109) ขาวตาเจือ (150) เหลืองปลากิม (174) และเหลืองนวล (175) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าเท่ากับ 14.75 4.75 14.33 7.50 และ 5.25 เมล็ดตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 77B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีจำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนจำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นในประชากรเท่ากับ 73.08 เมล็ด โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์กข 31 (205) (277 เมล็ด) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวคด (30) ขี้ตมพัน (48) พวงหางนาค (53) เหนียวสันป่าตอง (112) และ ข้าวฮ้าว (163) เป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นน้อยที่สุดในประชากรเท่ากับ 1.50 2.25 0.00 0.00 และ 0.75 เมล็ดตามลำดับ และจากโดยภาพรวมของปริมาณเมล็ดเต็มต่อต้นของข้าวในประชากร ค่อนข้างมีความแปรผันค่อนข้างมากเช่นเดียวกับค่าองค์ประกอบผลผลิตอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังมีค่า Standard error ที่ค่อนข้างสูงในบางพันธุ์อันเนื่องมาจากความแปรผันของลักษณะและสิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างมีผลกระทบมากกับลักษณะดังกล่าวนอกจากนี้ รูปแบบจำนวนของเมล็ดเต็มต่อต้น ค่อนข้างมีความสอดคล้องกับรูปแบบ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 77C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลงทั้งประชากร แต่อย่างไรก็ตาม มีข้าวบางพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก เมื่อผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ได้แก่ พันธุ์ LPT123 (109) ขาวตาเจือ (150) เหลืองปลากิม (174) และ เหลืองนวล (175) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 7.58 5.15 5.60 และ 6.86 ตามลำดับ



ภาพที่ 78 จำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และ ดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

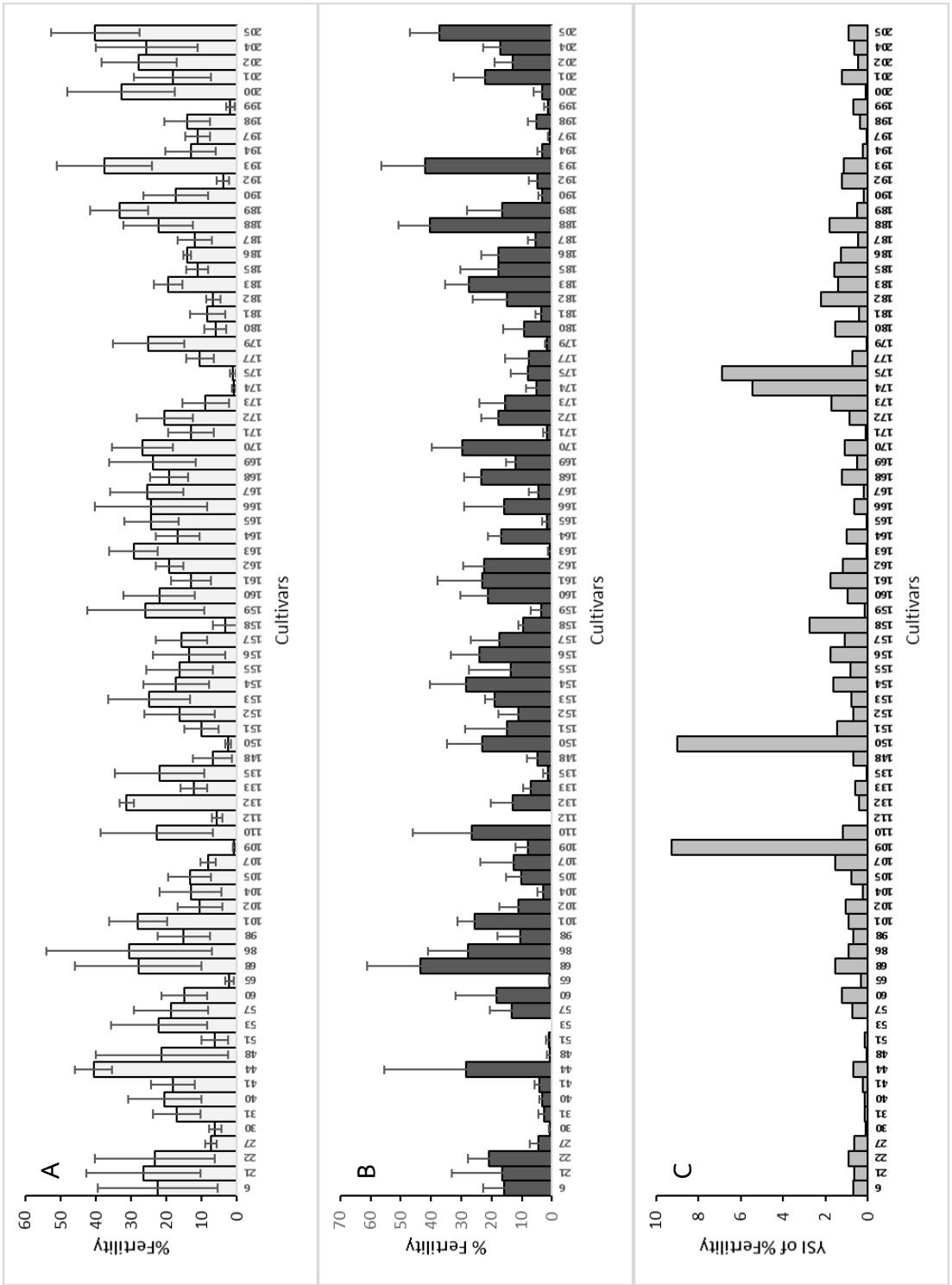
ผลการศึกษาจำนวนเมล็ดลีบทั้งหมดต่อต้นของต้นกล้าข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 78A) พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อรวงในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีจำนวนเมล็ดลีบเฉลี่ยต่อต้นของประชากรเท่ากับ 500.62 เมล็ด โดยที่ข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงต่ำที่สุดคือ กข25 (158) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1063.5 เมล็ด ตามด้วยพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (199) ในขณะที่ข้าวพันธุ์นาขวัญ (86) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเมล็ดลีบต่อต้นสูงที่สุดในประชากร (197.67 เมล็ด) สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 78B) พบว่าโดยภาพรวมแล้วข้าวในประชากรมีจำนวนเมล็ดลีบทั้งหมดต่อต้นที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดลีบต่อต้นในประชากรเท่ากับ 405.60 เมล็ดหรือลดลงประมาณ 23%จากภาวะปกติ โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงต่ำที่สุดในประชากร คือพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (1 12) คือ 0 เมล็ด เนื่องจากไม่มีการออกรวงให้ได้ผลผลิตเลย ตามด้วยพันธุ์ข้าวฮ้าว (163) ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำรองลงมา (28.00 เมล็ด) ในขณะที่ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (199) เป็นพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดลีบต่อต้นสูงที่สุดในประชากรเท่ากับ 956.75 เมล็ด และจากโดยภาพรวมของปริมาณเมล็ดลีบรวมต่อต้นของข้าวในประชากร ค่อนข้างมีความแปรผันค่อนข้างมาก นอกจากนี้ ยังมีค่า Standard error ที่ค่อนข้างสูงในบางพันธุ์อันเนื่องมาจากความแปรผันของลักษณะและสิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างมีผลกระทบมากกับลักษณะดังกล่าวเช่นเดียวกับค่าเมล็ดดี และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 78C) พบว่า พบว่ามีข้าวที่สามารถรักษาเสถียรภาพได้สูงขึ้น ลดลง และค่าใกล้เคียงค่า 1 เมื่อได้รับภาวะเค็มในระยะต้นกล้า สำหรับพันธุ์ 159 เป็นพันุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดลีบที่ค่อนข้างสูงกว่าพันธุ์อื่นเป็นพิเศษ โดยมีค่าสูงถึง 2.5437



ภาพที่ 79 จำนวนเมล็ดรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) จำนวนเมล็ดรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของจำนวนเมล็ดรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

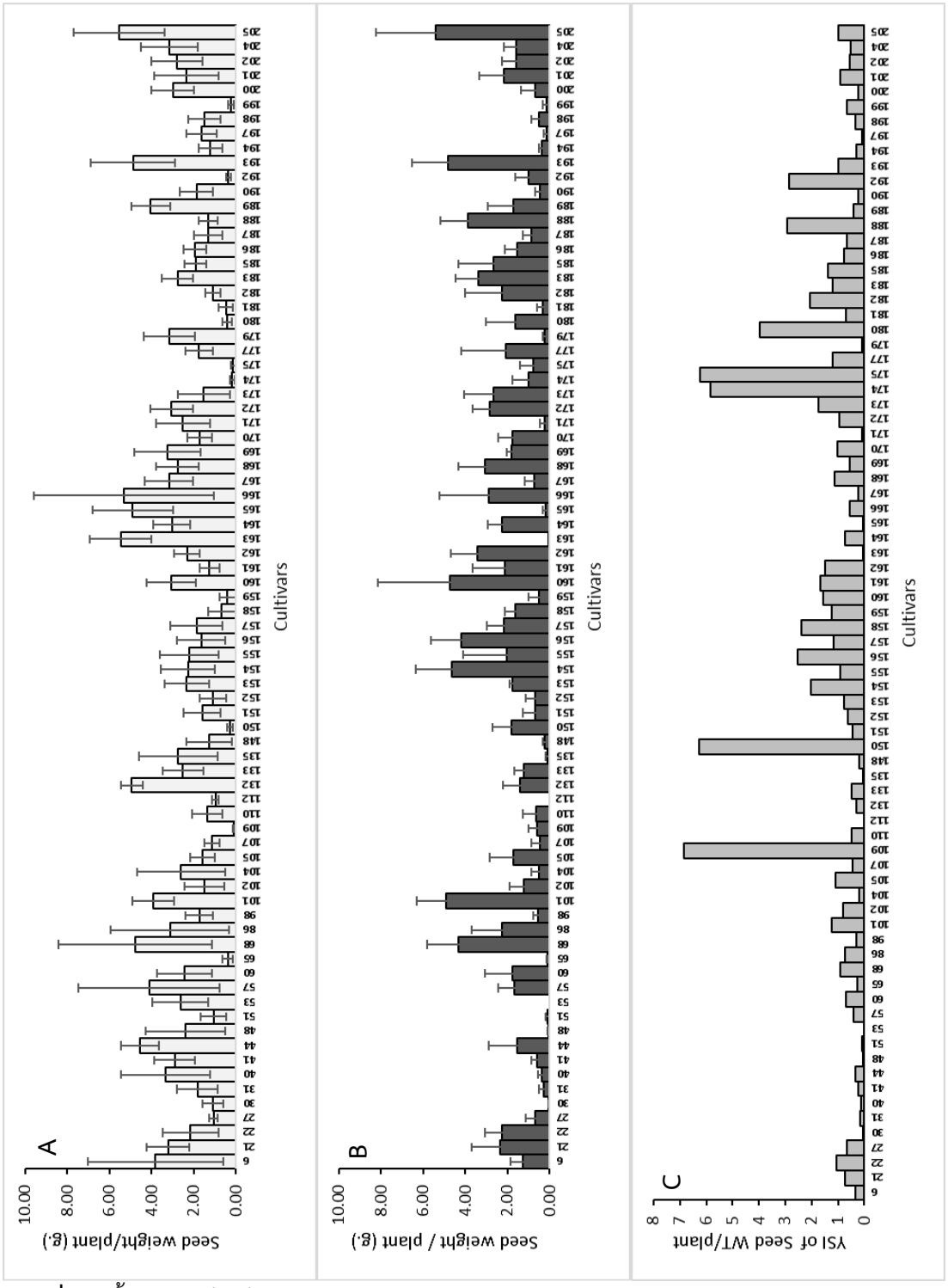
ผลการศึกษาจำนวนเมล็ดรวมทั้งหมดของต้นข้าว (เมล็ดดีและเมล็ดลีบ) ในระยะออกดอก หลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 79A) พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดรวมต่อต้นในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นของประชากรเท่ากับ 599 เมล็ด โดยที่ข้าวพันธุ์กข25 (158) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (1,094 เมล็ด) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ช่อลุง (181) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดรวมต่อต้นต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าเท่ากับ 272.75 เมล็ด สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 79B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีจำนวนเมล็ดรวมต่อต้นที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดรวมต่อต้นในประชากรเท่ากับ 478.69 เมล็ด โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดรวมต่อต้นสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์ เฉี้ยงพัทลุง (199) (969 เมล็ด) ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดรวมต่อต้นน้อยที่สุดในประชากรเท่ากับ 0.00 เมล็ด ตามด้วยพันธุ์ข้าวฮ้าว (163) ที่มีค่าเฉลี่ยเพียงแค่ 28.75 เมล็ดเท่านั้น และจากโดยภาพรวมของปริมาณเมล็ดรวมต่อต้นของข้าวในประชากร ค่อนข้างมีความแปรผันค่อนข้างมากเช่นเดียวกับค่าองค์ประกอบผลผลิตอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 79C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากรมีค่าดัชนีเสถียรภาพลดลงเกือบทั้งประชากร แต่อย่างไรก็ตาม มีข้าวบางพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดรวมเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก เมื่อผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ได้แก่ พันธุ์กข10 (156) และจำปาทอง (159) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.6346 และ 2.1689 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



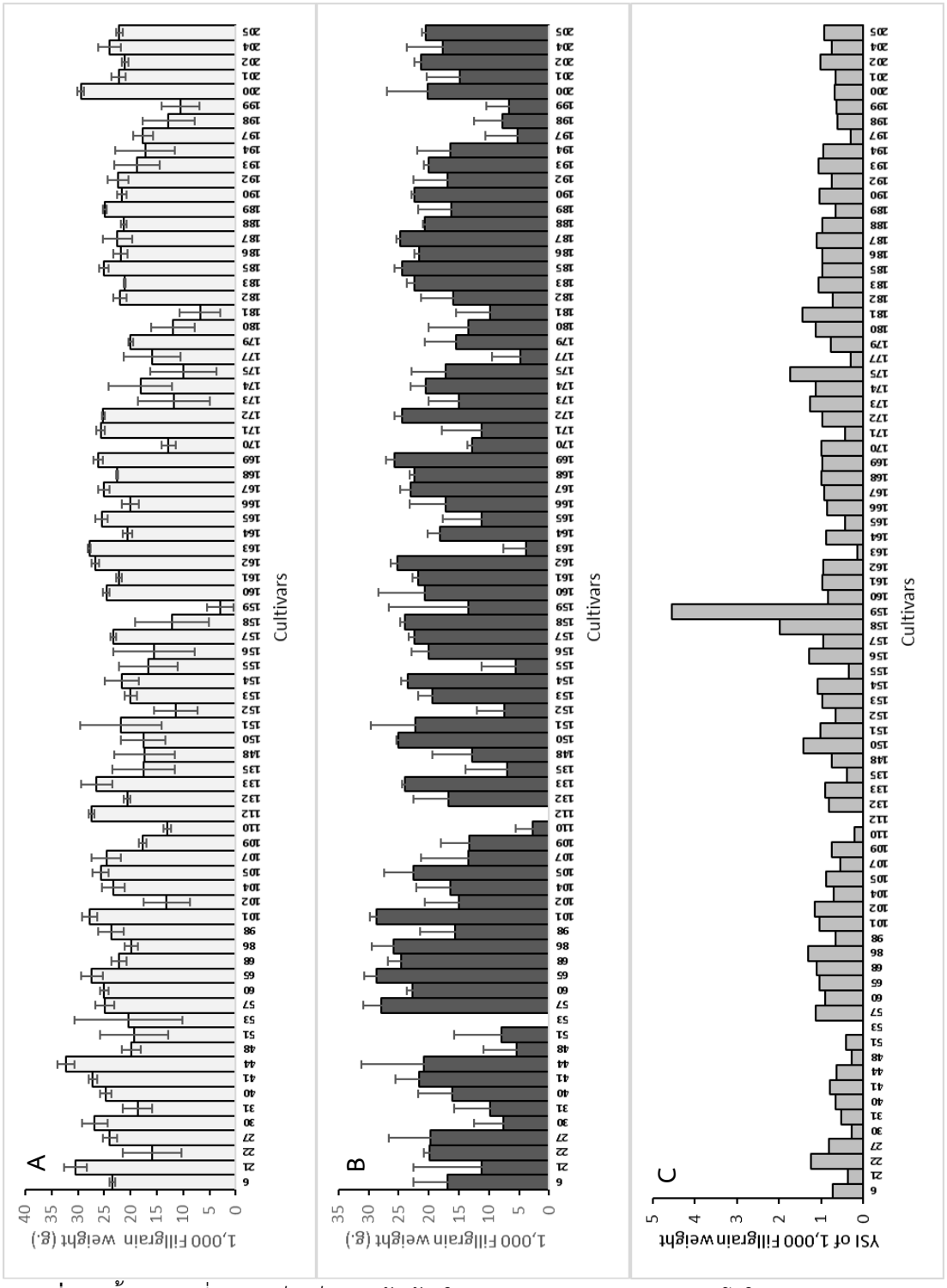
ภาพที่ 80 อัตราการผสมติดเมล็ดของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) อัตราการผสมติดเมล็ดของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของอัตราการผสมติดเมล็ดของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาอัตราการผสมติดเมล็ดของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 80A) พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการผสมติดเมล็ดในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยอัตราการผสมติดเมล็ดของประชากรเท่ากับ 17.11% ซึ่งโดยภาพรวมถือว่าข้าวในประชากรค่อนข้างมีอัตราการผสมติดเมล็ดที่ค่อนข้างต่ำแม้ว่าจะเติบโตในภาวะปกติก็ตาม โดยที่ข้าวพันธุ์ขี้ตมขาว (44) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (40.60%) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ LPT123 (109), เหลืองปลากิม (174) และ เหลืองนวล (175) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าเท่ากับ 0.85% 0.92% และ 1.16% ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 80B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีอัตราการผสมติดเมล็ดที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติโดยข้าวส่วนใหญ่ค่อนข้างมีอัตราการผสมติดเมล็ดที่ค่อนข้างต่ำ และค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราการผสมติดเมล็ดในประชากรเท่ากับ 13.11% เท่านั้น โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยอัตราการผสมติดเมล็ดสูงที่สุดในประชากรคือพันธุ์เหลืองประทิว (68) (43.67%) ในขณะที่ข้าวพันธุ์พวงหางนาค (53) และเหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีอัตราการผสมติดเมล็ดน้อยที่สุดในประชากรเท่ากับ 0.00% และจากโดยภาพรวมของอัตราการผสมติดเมล็ดของข้าวในประชากร ค่อนข้างมีความแปรผันค่อนข้างมากเช่นเดียวกับค่าองค์ประกอบผลผลิตอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 80C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากรมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม มีข้าวบางพันธุ์ที่มีอัตราการผสมติดเมล็ดเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก เมื่อผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ได้แก่ LPT123 (109) ขาวตาเจือ (150) เหลืองปลากิม (174) และ เหลืองนวล (175) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 9.27 9.00 5.45 และ 6.89 ตามลำดับ



ภาพที่ 81 น้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) น้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

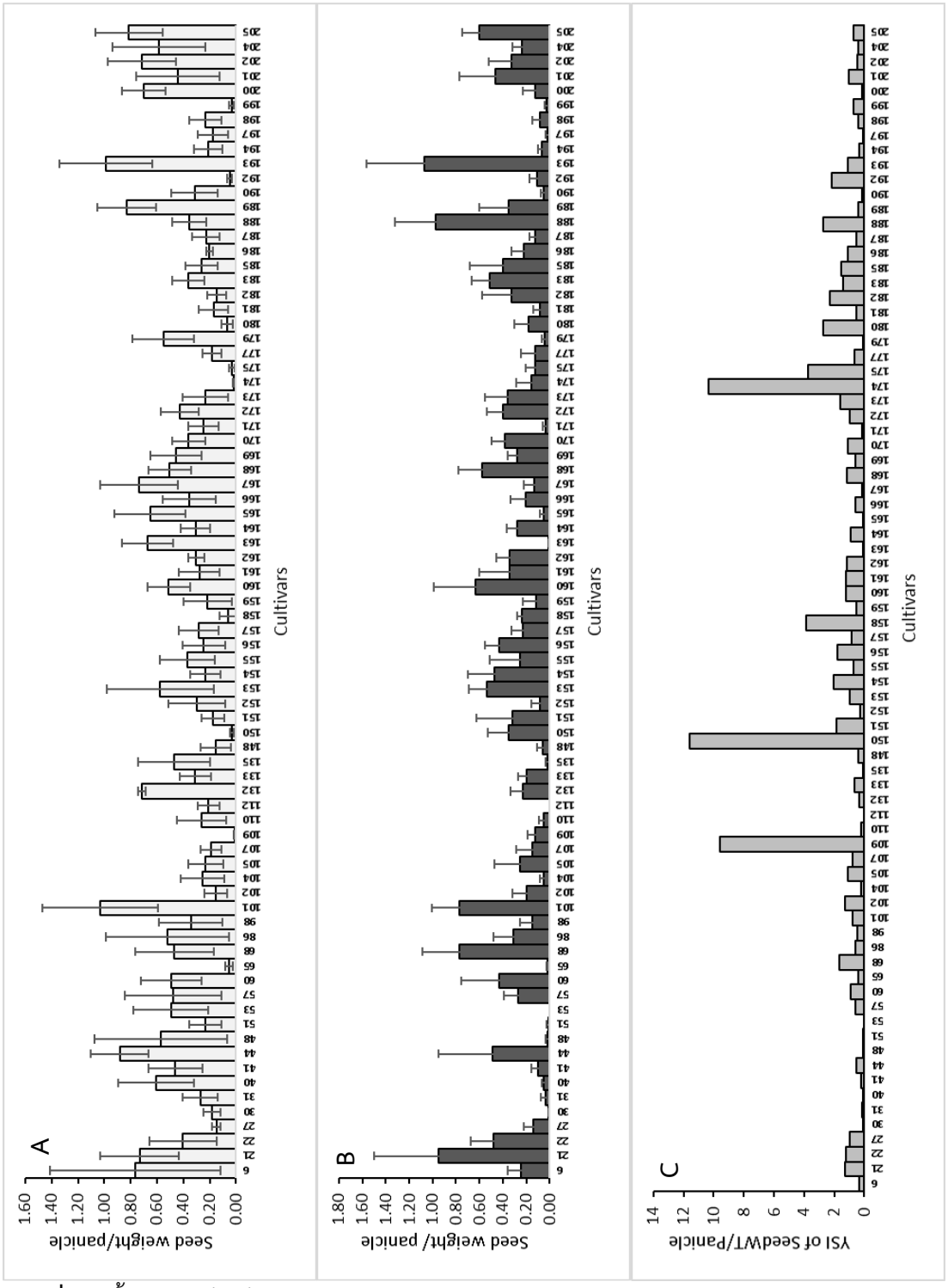
ผลการศึกษาน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมทั้งหมดของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 81A) พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดเต็มต่อต้นของประชากรเท่ากับ 2.2453 กรัม โดยมีข้าวพันธุ์กข31 (205) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมเท่ากับ 5.5455 กรัม ตามด้วยพันธุ์ข้าวฮ้าว (163) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นอันดับสองเท่ากับ 5.4671 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ LPT123 (109) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าเท่ากับ 0.08665 กรัม สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 81B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีน้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้นที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นในประชากรเท่ากับ 1.5714 กรัม โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้นสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์กข31 (205) (5.4112 กรัม) ตามด้วยพันธุ์ Pokkali (101) ที่มีค่าเฉลี่ยสูงรองลงมา (4.9163 กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวคด (30) ขี้ตมพัน (48) แดงนา (51) พวงหางนาค (53) ปลาแข็ง (65) เหนียวสันป่าตอง (112) บุญมา (135) ข้าวฮ้าว (163) กข12 (197) และ เฉี้ยงพัทลุง (199) เป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นน้อยที่สุดในประชากรเท่ากับ 0.0281 0.0492 0.1027 0.0000 0.0989 0.0000 0.0972 0.0113 0.1378 และ 0.1623 ตามลำดับ และจากโดยภาพรวมของน้ำหนักเมล็ดเต็มรวมต่อต้นของข้าวในประชากร ค่อนข้างมีความแปรผันค่อนข้างมากเช่นเดียวกับค่าองค์ประกอบผลผลิตอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 81C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลง แต่อย่างไรก็ดี มีข้าวบางพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดรวมเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก เมื่อผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ได้แก่ พันธุ์ LPT123 (109) ขาวตาเจือ (150) เหลืองปลากิม (174) เหลืองนวล (175) ช่อปลีขาว (180) หันตรา 60 (188) และ ชัยนาท1(192) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 6.8410 6.2702 5.8559 6.2232 3.9563 2.9095 และ 2.8396 ตามลำดับ



ภาพที่ 82 น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ดเต็มของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) น้ำหนักหนึ่งพันเมล็ดเต็มของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักหนึ่งพันเมล็ดเต็มของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

ผลการศึกษาน้ำหนักหนึ่งพันเมล็ดของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 82A) พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักพันเมล็ดในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักพันเมล็ดของประชากรเท่ากับ 20.7298 กรัม โดยมีข้าวพันธุ์ขี้ตมขาว (44) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดรวมเท่ากับ 32.2705 กรัม ตามด้วยพันธุ์บือซอมี (21) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นอันดับสอง เท่ากับ 30.4896 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์จำปาทอง (159) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักพันเมล็ดต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าเท่ากับ 2.9390 กรัมเท่านั้น สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วัน ในระยะต้นกล้า (ภาพที่ 82B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีน้ำหนักพันเมล็ดที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติและค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักพันเมล็ดในประชากรเท่ากับ 16.7657 กรัม โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักพันเมล็ดสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์ช่อมะกอก (57) ปลาแข็ง (65) และ Pokkali (101) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.9480 28.6203 และ 28.6321 กรัมตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์พวงหางนาค (53) และ เหนียวสันป่าตอง (112) เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักพันเมล็ดน้อยที่สุดในประชากรเท่ากับ 0.00 และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 82C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีค่าดัชนีเสถียรภาพใกล้เคียงค่า 1 แต่อย่างไรก็ดี มีข้าวบางพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักพันเมล็ดสูงมาก และบางพันธุ์ไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของน้ำหนักพันเมล็ดข้าวไว้ได้ เช่น พันธุ์จำปาทอง (159) ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพสูงถึง 4.54 แยกออกจากพันธุ์อื่นในประชากรอย่างเด่นชัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 83 น้ำหนักเมล็ดเต็มต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติ (A) น้ำหนักเมล็ดเต็มต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (B) และ ดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักเมล็ดเต็มต่อรวงของต้นข้าวในระยะออกดอก (C) ในชุดการทดลองที่ 3

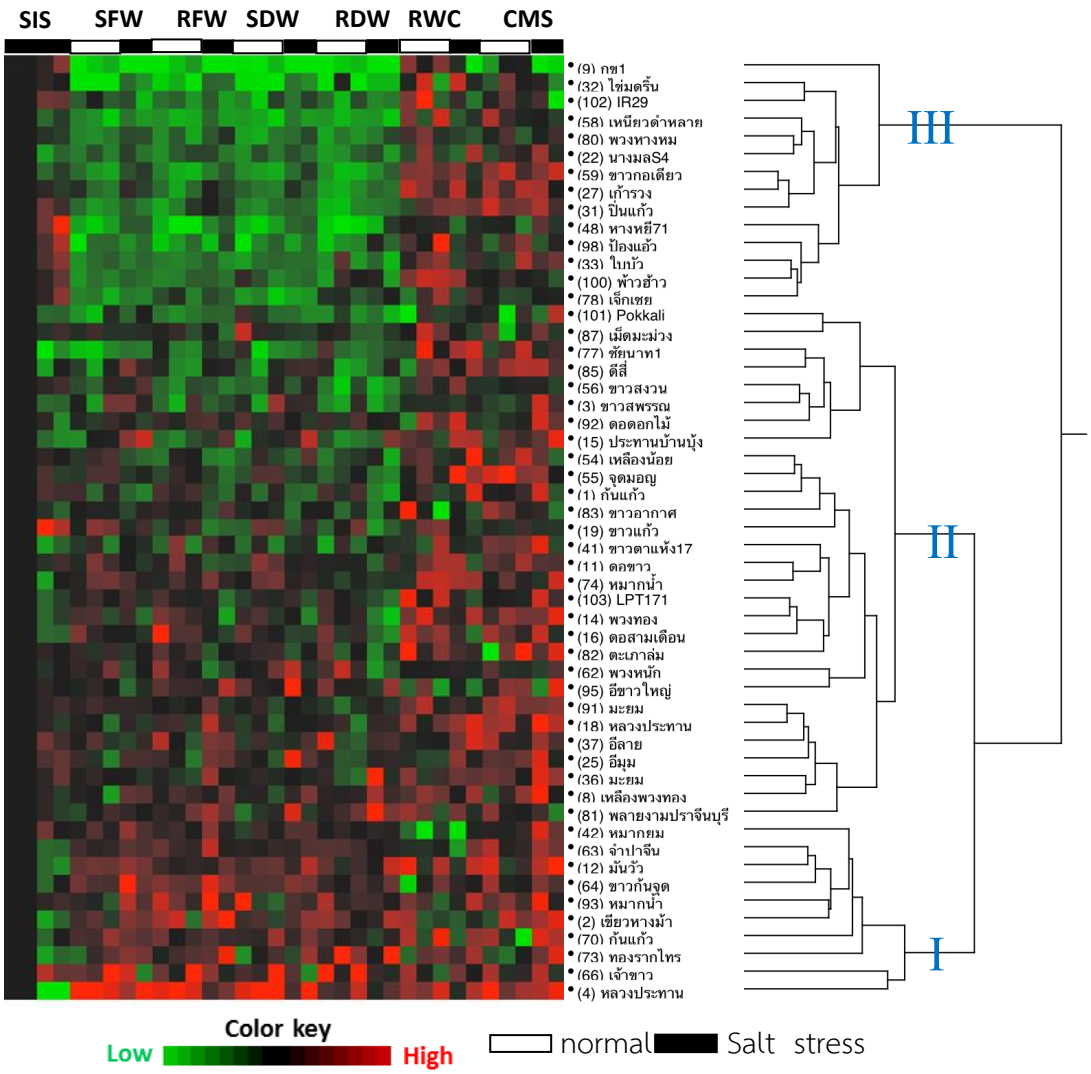
ผลการศึกษาน้ำหนักเมล็ดรวมต่อรวงเฉลี่ยของต้นข้าวในระยะออกดอกหลังจากเติบโตในภาวะปกติในชุดการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 83A) พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดรวมต่อรวงเฉลี่ยในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดเต็มต่อรวงเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 2.2453 กรัม โดยมีข้าวพันธุ์กข31 (205) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในประชากร โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดรวมเท่ากับ 5.5455 กรัม ตามด้วยพันธุ์ข้าวฮ้าว (163) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นอันดับสองเท่ากับ 5.4671 กรัม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ LPT123 (109) เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดรวมต่อรวงเฉลี่ยต่ำที่สุดในประชากร โดยมีค่าเท่ากับ 0.08665 กรัม สำหรับกลุ่มประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า(ภาพที่ 83B) พบว่าโดยภาพรวมแล้ว ข้าวในประชากรมีน้ำหนักเมล็ดรวมต่อรวงเฉลี่ยที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ และค่าในประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้นในประชากรเท่ากับ 1.5714 กรัม โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้นสูงที่สุดในประชากร คือพันธุ์กข31 (205) (5.4112 กรัม) ตามด้วยพันธุ์ Pokkali (101) ที่มีค่าเฉลี่ยสูงรองลงมา (4.9163 กรัม) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวคด (30) ขี้ตมพัน (48) แดงนา (51) พวงหางนาค (53) ปลาแข็ง (65) เหนียวสันป่าตอง (112) บุญมา (135) ข้าวฮ้าว (163) กข12 (197) และ เฉี้ยงพัทลุง (199) เป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้นน้อยที่สุดในประชากรเท่ากับ 0.0281 0.0492 0.1027 0.0000 0.0989 0.0000 0.0972 0.0113 0.1378 และ 0.1623 ตามลำดับ และจากโดยภาพรวมของน้ำหนักเมล็ดรวมต่อรวงเฉลี่ยของข้าวในประชากร ค่อนข้างมีความแปรผันค่อนข้างมากเช่นเดียวกับค่าองค์ประกอบผลผลิตอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพของทั้งสองประชากร (ภาพที่ 83C) พบว่า ข้าวส่วนใหญ่ในประชากร มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม มีข้าวบางพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดรวมเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก เมื่อผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ได้แก่ พันธุ์ LPT123 (109) ขาวตาเจือ (150) เหลืองปลากิม (174) เหลืองนวล (175) ช่อปลีขาว (180) หันตรา 60 (188) และ ชัยนาท 1 (192) โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 6.8410 6.2702 5.8559 6.2232 3.9563 2.9095 และ 2.8396 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลสรุปค่าการวิเคราะห์ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการตอบสนองทางสรีรวิทยาในระยะต้นกล้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างฟีโนไทป์ต่าง ๆ และฐานข้อมูลสนิปส์ในประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย

Phenotype	Crop1	Crop2	Crop3
SFW_D3	*	*	-
RFW_D3	*	*	-
SDW_D3	ns	*	-
RDW_D3	*	*	-
CMS_D3	*	*	-
RWC_D3	ns	ns	-
SIS_D3		ns	-
SFW_D6	*	*	*
RFW_D6	*	*	*
SDW_D6	*	*	*
RDW_D6	*	*	*
CMS_D6	*	*	ns
RWC_D6	ns	*	ns
SIS_D6		*	*
SFW_D9	-	*	*
RFW_D9	-	*	*
SDW_D9	-	*	*
RDW_D9	-	*	*
CMS_D9	-	*	*
RWC_D9	-	ns	*
SIS_D9	-	*	*
SFW_D12	-	-	*
RFW_D12	-	-	*
SDW_D12	-	-	*
RDW_D12	-	-	*

2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA analysis) และการวิเคราะห์การจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย

2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยในชุดการทดลองที่ 1



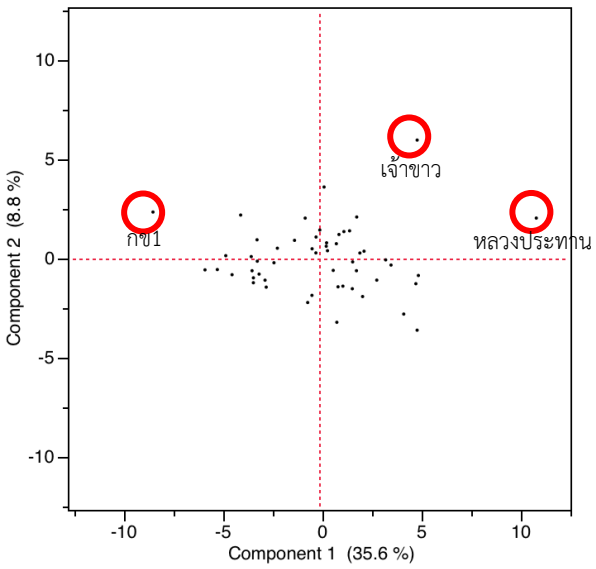
ภาพที่ 84 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการวิเคราะห์กลุ่มโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1

Trait	PC			
	1	**2**	**3**	**4**
	Component score coefficiennt			
SIS0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SIS3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SIS6	0.06579-	0.29375	0.18367	0.35019-
SIS10	0.13486-	0.19591	0.06364	0.34764-
C_SFW_D0	0.25082	0.15810	0.01251	0.08415
C_SFW_D3	0.24173	0.13879	0.02902-	0.03641
C_SFW_D6	0.21351	0.27312	0.21004-	0.03281-
S_SFW_D3	0.24128	0.09750-	0.03255	0.04894-
S_SFW_D6	0.22367	0.20193-	0.14303-	0.04200
C_RFW_D0	0.24338	0.06967	0.11360	0.00056
C_RFW_D3	0.23742	0.00970	0.03073	0.07069
C_RFW_D6	0.22313	0.30250	0.04109-	0.01126-
S_RFW_D3	0.20744	0.15815-	0.25753	0.14420-
S_RFW_D6	0.20459	0.28616-	0.06431	0.13057-
C_SDW_D0	0.18734	0.11406	0.00524	0.08151
C_SDW_D3	0.23779	0.11466	0.08837-	0.12310
C_SDW_D6	0.21891	0.26913	0.19996-	0.01601-
S_SDW_D3	0.18278	0.05993-	0.16890	0.22141-
S_SDW_D6	0.22452	0.21297-	0.08994-	0.03219
C_RDW_D0	0.21567	0.07519	0.16647	0.07308-
C_RDW_D3	0.14002	0.06599-	0.14939-	0.11970-
C_RDW_D6	0.22286	0.28114	0.05882-	0.08369-
S_RDW_D3	0.09767	0.08237-	0.33060	0.18708-
S_RDW_D6	0.19321	0.26683-	0.01556-	0.13422-
C_RWC_D0	0.01941	0.15228	0.25640	0.10706
C_RWC_D3	0.05420-	0.20009	0.05752	0.39755
C_RWC_D6	0.01022	0.00845-	0.28549-	0.19213

ตารางที่ 6 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 1

Trait	PC			
	1	2	3	4
	Component score coefficiennt			
S_RWC_D3	0.00541-	0.12381	0.26682	0.37308
S_RWC_D6	0.10619	0.18981-	0.02181	0.18308
C_CMS_D0	0.11013	0.06877	0.16509	0.04199-
C_CMS_D3	0.00833	0.02705-	0.44512	0.18496
C_CMS_D6	0.02141	0.00622	0.19214	0.31523
Eigenvalues	**11.3893**	**2.8156**	**2.1321**	**1.9978**
% of variance	**35.391**	**8.799**	**6.663**	**6.243**

ตารางที่ 6 (ต่อ) ค่า Eigenvalues, ค่า Factor loading จากแกน PC1, PC2, PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 1



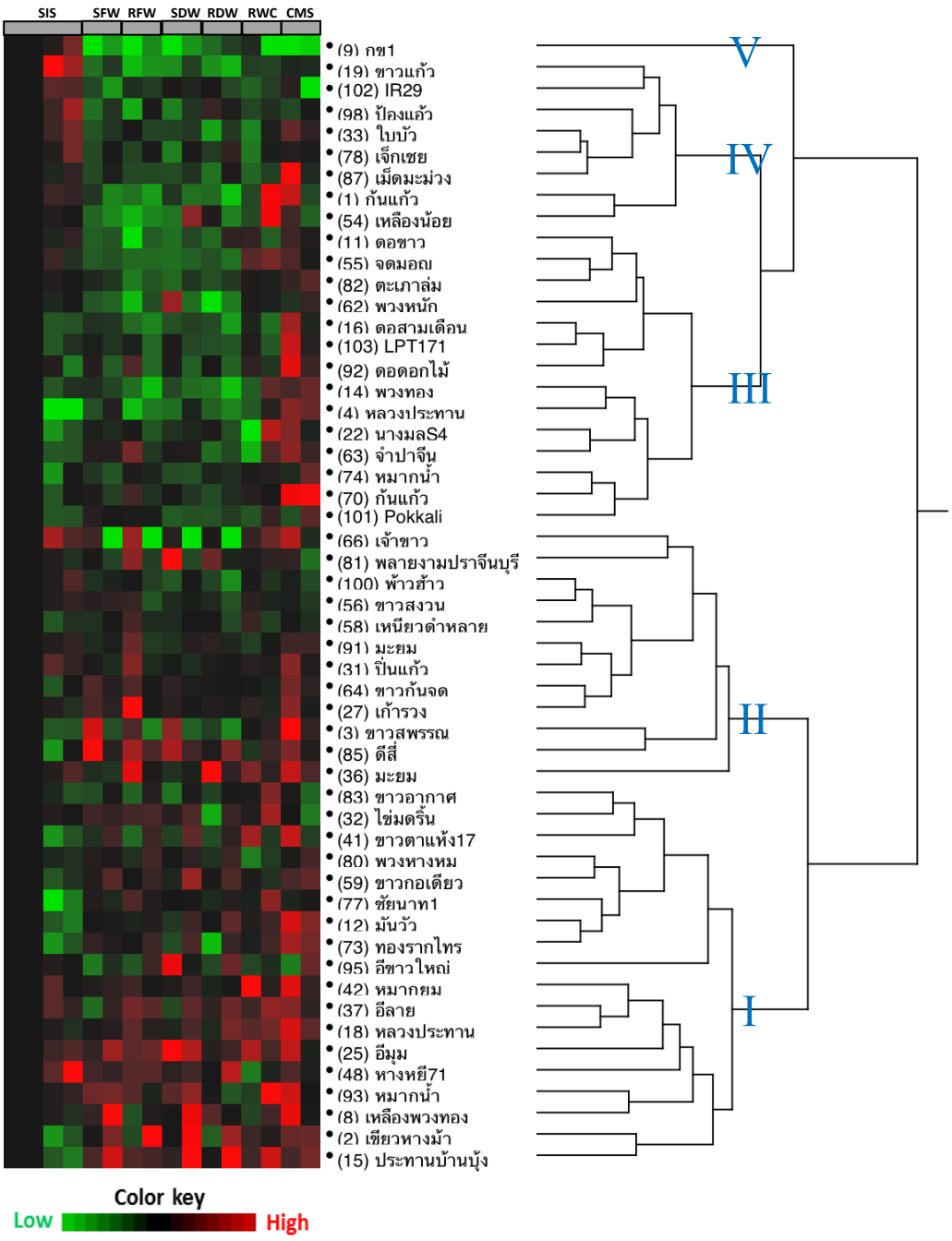
ภาพที่ 85 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยของข้าวจำนวน 53 พันธุ์ในชุดการทดลองที่ 1 (ภาพที่ 85, ตารางที่ 6) โดยใช้ค่าการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 0 3 และ 6 วัน พบว่า ข้าวในประชากรเกือบทั้งหมด มีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกันอยู่ตรงกลางของกราฟยกเว้นข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4), เจ้าขาว และ กข1 (6) เป็นข้าว 3 พันธุ์ที่ค่อนข้างมีการกระจายตัวออกจากกลุ่มประชากร สามารถแยกความแตกต่างประชากรออกได้เป็น 4 กลุ่ม โดยที่กราฟ PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของโมเดลได้ถึง 35.6 %, PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนโมเดลถึง 8.8% และแกน PC3 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 6.7% โดยมีค่า Eigenvalues 11.3893 2.8156 และ 2.1321 ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ได้แก่ สำหรับแกน PC1 ค่า Factor Loading โดยภาพรวมมีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากในการตอบสนองวันที่ 0 3 6 ทั้งในภาวะปกติและภาวะเครียดจากภาวะเค็ม และค่าคะแนนความเสียหายของต้นข้าวที่เติบโตในภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 10 วัน จากผลการวิเคราะห์กลุ่มจะอธิบายโดยใช้แผนภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งจะแสดงระดับการแสดงออกของสีเขียว (ค่าที่แสดงออกในพารามิเตอร์ปริมาณน้อย) จนถึงค่าสีแดงเข้ม (ค่าที่แสดงออกในพารามิเตอร์ปริมาณมาก) โดยเรียงลำดับตั้งแต่พารามิเตอร์ ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม น้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าว และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ ในพารามิเตอร์ของต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติสลับกับภาวะเครียดจากภาวะเค็มควบคู่กับ dendrogram เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความต่าง (disimilarity) เท่ากับ 9.096 (ภาพที่ 84) พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่ม I ประกอบด้วยข้าวจำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่ หลวงประทาน (4) เจ้าขาว (66) ทองรากไทร (73) ก้นแก้ว (70) เขียวหางม้า (2) หมากน้ำ (93) ขาวก้นจุด (64) มันวัว (12) จำปาจีน (63) และหมากยม (42) ข้าวในกลุ่มนี้มีลักษณะร่วมคือ มีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากค่อนข้างมาก ในขณะที่ค่าคะแนนความเสียหายจากภาวะเค็มมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร นอกจากนี้ต้นข้าวยังมีความสามารถรักษาสภาวะปริมาณน้ำสัมพัทธ์และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้ค่อนข้างดีมาก แม้ว่าจะได้รับความเครียดจากภาวะเค็มผ่านไปถึง 6 วันก็ตาม สำหรับข้าวพันธ์ข้าวพันธุ์ 4 หลวงประทาน ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างแยกกระจายตัวไปจากประชากรถูกจัดรวมอยู่ในกลุ่มนี้ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นและราก และน้ำหนักแห้งต้นและราก สูงที่สุดในประชากรและมีค่าคะแนนความเสียหายที่ต่ำที่สุดในประชากร ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่มีการกระจายตัวแยกออกจากกลุ่มค่อนข้างชัดเจน แต่สำหรับพันธุ์เจ้าขาวจะมีการแสดงออกคล้ายคลึงกับพันธุ์หลวงประทานเพียงแต่ค่าคะแนนความเสียหายที่อยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในชุดการทดลอง

กลุ่มที่ II ภายในกลุ่มประกอบด้วยข้าวจำนวน 29 พันธุ์ ได้แก่ พลายงามปราจีนบุรี (81) เหลืองพวงทอง (8) มะยม (36) อีมุม (25) อีลาย (37) หลวงประทาน (18) มะยม (91) อีขาวใหญ่ (95) พวงหนัก (62) ตะเภาล่ม (82) ดอสามเดือน (16) พวงทอง (14) LPT 171 (103) หมากน้ำ (74) ดอขาว (11) ขาวตาแห้ง 17 (41) ขาวแก้ว (19) ก้นแก้ว (1) จุดมอญ (55) เหลืองน้อย (54) ประทานบ้านบุ้ง (15) ดอดอกไม้ (92) ขาวสุพรรณ (3) ขาวสงวน (56) ดีสี่ (85) ชัยนาท1 (77) เม็ดมะม่วง (87) และ Pokkali (101) ซึ่ง Pokkali เป็นพันธุ์มาตรฐานทนทานความเค็มในกลุ่มประชากร ลักษณะร่วมของกลุ่มประชากรคือ ค่าน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและรากไม่สูงมากนักทั้งในภาวะปกติและภาวะที่ต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรแต่ยังมีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์และค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบได้ค่อนข้างดีใกล้เคียงกับพันธุ์ Pokkali

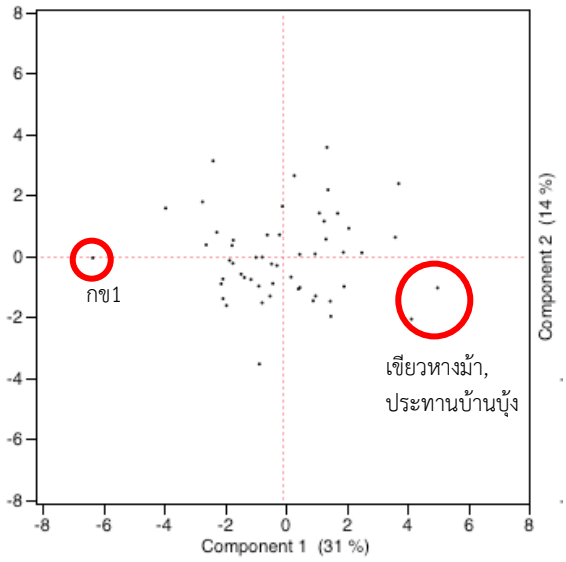
กลุ่มที่ III ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงอยู่ในกลุ่มเดียวกับ IR29 ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อความเค็ม ข้าวในกลุ่มนี้ประกอบด้วยจำนวน 14 พันธุ์ ได้แก่ เจ๊กเชย (78) พ้าวฮ้าว (100) ใบบัว (33) ป้องแอ๊ว (98) หางยี71 (48) ปิ่นแก้ว (31) เก้ารวง (27) ขาวกอเดียว (59) นางมลS4 (22) พวงหางหมู (80) เหนียวดำหลาย (58) IR29 (102) ไข่มดริ้น (32) และ กข1 (9) ข้าวในกลุ่มมีการแสดงออกร่วมโดยที่ค่าการตอบสนองในภาวะปกติและค่าการตอบสนองในภาวะเครียดจากความเค็มทุกค่า มีปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ค่าในกลุ่มนี้จะมีการแสดงออกที่ตรงข้ามกับข้าวในกลุ่มที่ 1 อย่างชัดเจนโดยมีค่าน้ำหนักสดต้นและราก และ น้ำหนักแห้งต้นและราก ที่ค่อนข้างน้อย และมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ค่อนข้างน้อยในสภาวะหลังจากได้รับความเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 3 และ 6 วันเช่นกัน แต่สำหรับในข้าวพันธุ์ กข1 นั้น เป็นพันธุ์ที่ มีค่าทุกค่าที่ค่อนข้างต่ำที่สุดในประชากร สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่ข้าวพันธุ์ กข1(9) เป็นพันธุ์ที่มีแยกออกจากประชากรโดยชัดเจน



ภาพที่ 86 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพจากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1

Trait	PC			
	1	2	3	4
	Component score coefficient			
SIS0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SIS3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SIS6	0.15316-	0.54525	0.13513	0.23255
SIS10	0.16221-	0.48316	0.29484	0.00643-
SI_SFWD3	0.30699	0.09577	0.33749-	0.30830-
SI_SFWD6	0.38315	0.07658-	0.22190	0.13839
SI_RFWD3	0.27153	0.35954	0.27963-	0.17298-
SI_RFWD6	0.36388	0.03266-	0.38062	0.09681-
SI_SDWD3	0.22123	0.23412	0.15895-	0.56071-
SI_SDWD6	0.38137	0.06494-	0.28488	0.24338
SI_RDWD3	0.13658	0.40121	0.03406-	0.13970
SI_RDWD6	0.34126	0.00669-	0.38494	0.13865-
SI_RWCD3	0.16202	0.19087	0.04839	0.17164
SI_RWCD6	0.23066	0.02854	0.29829-	0.35301
SI_CMSD3	0.22499	0.05215	0.37443-	0.47526
SI_CMSD6	0.20849	0.25274-	0.14603-	0.00814
Eigenvalues	**4.3361**	**1.9642**	**1.9092**	**1.1193**
% of variance	**30.972**	**14.030**	**13.637**	**7.995**

ตารางที่ 7 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าดัชนีเสถียรภาพต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 1



ภาพที่ 87 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยของข้าวจำนวน 53 พันธุ์ในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพ (ภาพที่87, ตารางที่ 7) ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม น้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ ของการตอบสนองต่อภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 และ 6 วัน พบว่า ข้าวในประชากรทั้งหมดมีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกันอยู่ตรงกลางของกราฟ เช่นเดียวกับการใช้ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยตรงในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก และสามารถแยกความแตกต่างประชากรออกได้เป็นสองกลุ่ม โดยที่กราฟ PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้ 31.00 % แกน PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนชุดข้อมูลได้ 14.00% และแกน PC3 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้ 13.64% โดยมีค่า Eigenvalues 4.336 1.964 และ 1.909 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามมีข้าวพันธุ์ที่ค่อนข้างมีการกระจายตัวออกจากกลุ่มประชากรค่อนข้างชัดเจน ได้แก่ พันธุ์กข1 (วงกลมสีแดง) และสำหรับแกน PC1 ประกอบด้วย Factor Loading ที่สัมพันธ์กับค่าดัชนีเสถียรภาพของทุก ๆ พารามิเตอร์ใกล้เคียงกันซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 1.3 – 3.8

จากผลการวิเคราะห์กลุ่ม จะอธิบายโดยใช้แผนภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งจะแสดงระดับการแสดงออกของสีเขียว (ค่าที่แสดงออกในพารามิเตอร์น้อย) จนถึงค่าสีแดงเข้ม (ค่าที่แสดงออกในพารามิเตอร์มาก) โดยเรียงลำดับตั้งแต่พารามิเตอร์ SIS, SI_SFW, SI_RFW, SI_SDW, SI_RDW,

SI_RWC และ SI_CMS ควบคู่กับ dendrogram เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความต่าง 5.61 (ภาพที่ 86) พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มที่ดูจะสอดคล้องและสมเหตุสมผลได้ 5 กลุ่ม

กลุ่มที่ I ได้แก่ ประกอบด้วยข้าวจำนวน 18 พันธุ์ ได้แก่ ประทานบ้านบุ้ง (15) เขียวหางม้า (2) เหลืองพวงทอง (8) หมากน้ำ (93) หางยี 71 (48) อีมุม (25) หลวงประทาน (18) อีลาย (37) หมากยม (42) อีขาวใหญ่ (95) ทองรากไทร (73) มันวัว (12) ชัยนาท1 (77) ขาวกอเดียว (59) พวงหางหมู (80) ขาวตาแห้ง17 (41) ไข่มดริ้น (32) และขาวอากาศ (83) จะพบว่า ต้นกล้าข้าวจะมีการแสดงออกร่วมโดยมีการรักษาค่าเสถียรภาพได้ค่อนข้างดีโดยเมื่อประชากรข้าวได้รับภาวะเค็มผ่านไประยะเวลา 3 วัน ค่าดัชนีเสถียรภาพในภาพรวมจะสูงกว่าค่า 1 เล็กน้อย และเมื่อต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากความเค็มต่อเป็นระยะเวลา 3 วัน จะมีค่าดัชนีเสถียรภาพ ที่ลดลงอีกไม่มากนัก

กลุ่มที่ II ประกอบด้วยข้าว 12 พันธุ์ ได้แก่ มะยม (36) ดีสี่ (85) ขาวสุพรรณ (3) เก้ารวง (27) ขาวก้นจุด (64) ปิ่นแก้ว (31) มะยม (91) เหนียวดำหลาย (58) ขาวสงวน (56) พ้าวฮ้าว (100) พลายงามปราจีนบุรี (81) และ เจ้าขาว (66) เมื่อพิจารณาแผนภาพความร้อน (heatmap) ประกอบจะพบข้าวในกลุ่มประชากรนี้ มีลักษณะการแสดงออกร่วมกันโดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ค่อนข้างสูงในทุกทุกพารามิเตอร์หลังจากต้นกล้าได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม 3 วัน และ จะมีค่าดัชนีเสถียรภาพลดลงค่อนข้างมากเมื่อค่าข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 6 วัน

กลุ่มที่ III ประกอบด้วยข้าวจำนวน 14 พันธุ์ ได้แก่ Pokkali (101) (ข้าวมาตรฐานทนทานความเค็ม) ก้นแก้ว (70) หมากน้ำ (74) จำปาจีน (63) นางมลS4 (22) หลวงประทาน (4) พวงทอง (14) ดอดอกไม้ (92) LPT 171 (103) ดอสามเดือน (16) พวงหนัก (62) ตะเภาล่ม (82) จุดมอญ (55) และ ดอขาว (11) พบว่าลักษณะร่วมของการแสดงออกในข้าวประชากรนี้ภาพรวม มีการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยภาพรวมที่ลดลงจากค่า 1 เพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม 3 - 6 วัน

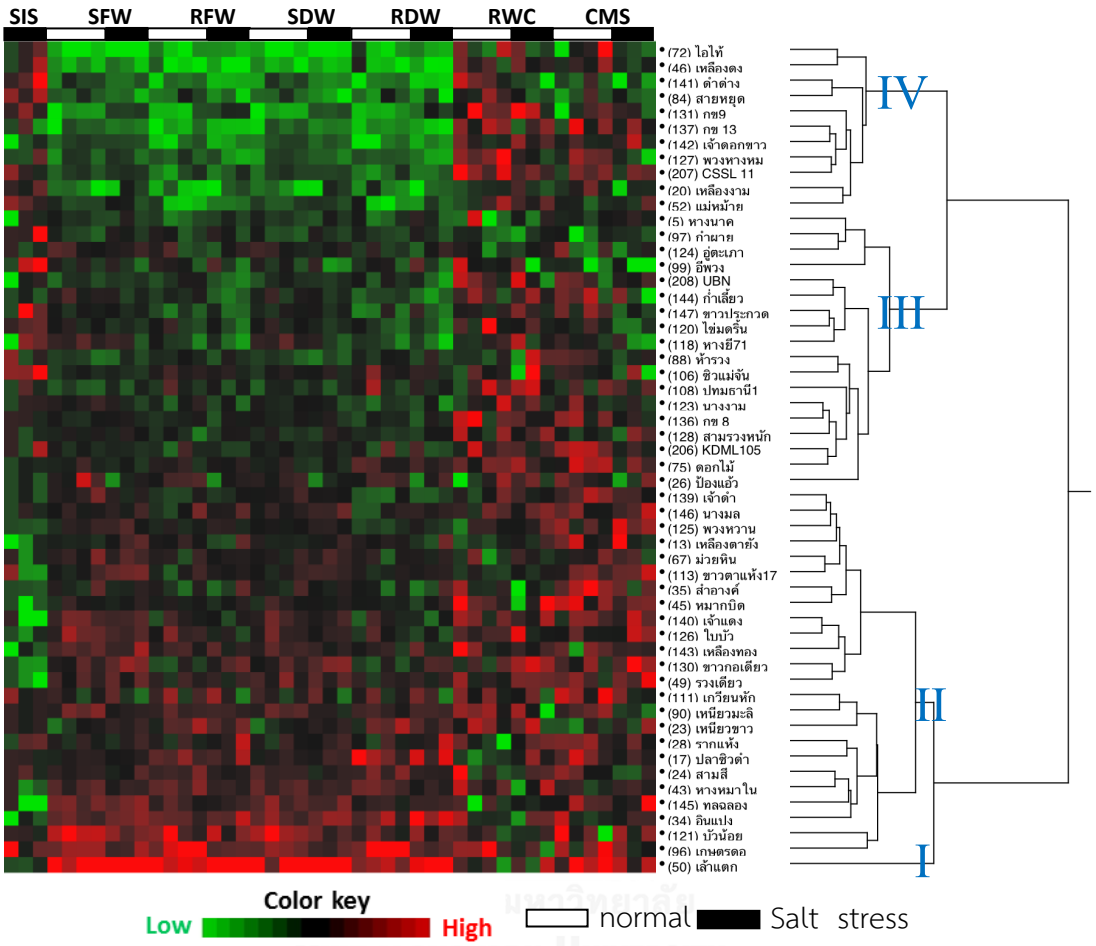
กลุ่มที่ IV ประกอบด้วยข้าวจำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ เหลืองน้อย (54) ก้นแก้ว (1) เม็ดมะม่วง (87) เจ๊กเชย (78) ใบบัว (33) ป้องแอ้ว (98) IR29 (102) และ ขาวแก้ว (19) โดยการแสดงออกของแผนภาพความร้อน (heatmap) ในข้าวกลุ่มนี้เป็นกลุ่มพันธุ์ที่ค่อนข้างอ่อนแอต่อภาวะเค็ม ใกล้เคียงกับ IR 29 โดยจะพบว่า ข้าวเริ่มมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลงอย่างชัดเจนตั้งแต่ 3 วันแรกเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มและ ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็มต่ออีกสามวัน

สำหรับข้าวในกลุ่มที่ V พบว่า ข้าวพันธุ์กข1 (9) เป็นพันธุ์เดียวที่แยกออกจากกลุ่มประชากรอย่างชัดเจนสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยที่ลักษณะการแสดงออกของข้าวพันธุ์กข 1 มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ค่อนข้างต่ำในทุก ๆ ค่า ตั้งแต่ในช่วงสามแรกที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มและลดลงอย่างมากเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 6 วัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักระหว่างการใช้ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาแบบปกติและการใช้ค่าดัชนีเสียรภาพ พบว่า การใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพมาช่วยวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถใช้อธิบายชุดข้อมูลได้แตกต่างกับการใช้ค่าโดยตรง นอกจากนี้ รูปแบบการจัดลำดับของกลุ่มนั้น ยังมีความแตกต่างกัน เช่น ข้าวพันธุ์ Pokkali และ IR29 เมื่อจัดกลุ่มโดยค่าการตอบสนองโดยตรง จะแยกออกจากกันคนละกลุ่ม แต่เมื่อวิเคราะห์การจัดกลุ่มโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพ จะพบว่าทั้ง IR29 และ Pokkali ถูกจัดกลุ่มเข้ามาใกล้กันมากขึ้น สำหรับพันธุ์หลวงประทาน (4) ที่มีค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ค่อนข้างสูงที่สุดในประชากร เมื่อใช้การพิจารณาโดยใช้ดัชนีเสถียรภาพของทุกพารามิเตอร์ จะถูกจัดกลุ่มโดยมีการแสดงออกใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ Pokkali แต่อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์ กข1 ก็ยังเป็นพันธุ์เดียวที่ให้ผลการจัดกลุ่มแยกออกจากพันธุ์อื่น ไม่ว่าจะวิเคราะห์การจัดกลุ่มโดยใช้ค่าโดยตรง หรือ ใช้ค่าดัชนีเสียรภาพในการจัดกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยในชุดการทดลองที่ 2



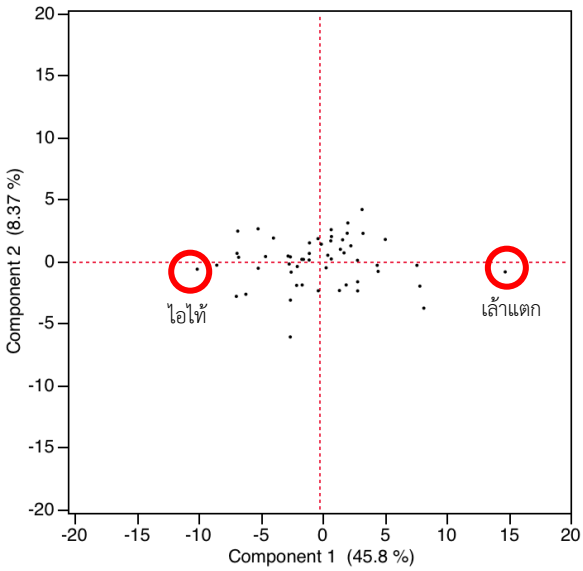
ภาพที่ 88 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2

Trait	PC			
	1	2	3	4
	Component score coefficiennt			
SISD3	0.00913	0.14118-	0.30384	0.00256-
SISD6	0.08414-	0.29084-	0.02775-	0.04182-
SISD9	0.09399-	0.38103-	0.01951	0.08981-
C_SFWD0	0.18930	0.05675-	0.19760-	0.04837
C_SFWD3	0.18254	0.00699-	0.09467-	0.24213
C_SFWD6	0.18475	0.00905-	0.07602-	0.17092
C_SFWD9	0.19004	0.02079	0.04928-	0.20115
S_SFWD3	0.17991	0.01065	0.17525-	0.12506
S_SFWD6	0.18400	0.11109	0.12672-	0.05718-
S_SFWD9	0.19345	0.12752	0.01053-	0.00629
C_RFWD0	0.19338	0.16319-	0.04141-	0.10817-
C_RFWD3	0.17607	0.17427-	0.06267	0.07388
C_RFWD6	0.18832	0.08456-	0.13877	0.02888
C_RFWD9	0.17117	0.05880-	0.23122	0.05606
S_RFWD3	0.17893	0.17004-	0.04764-	0.00566-
S_RFWD6	0.18646	0.03719-	0.08680	0.15774-
S_RFWD9	0.18105	0.09066	0.07315	0.21431-
C_SDWD0	0.19302	0.07597-	0.17095-	0.00155
C_SDWD3	0.18158	0.00827-	0.05950-	0.23951
C_SDWD6	0.19580	0.02101-	0.06975-	0.12003
C_SDWD9	0.19807	0.01061	0.02483-	0.16192
S_SDWD3	0.18905	0.03088-	0.14303-	0.06484
S_SDWD6	0.19327	0.13010	0.00290-	0.12077-
S_SDWD9	0.19479	0.15033	0.01784-	0.07319-

ตารางที่ 8 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 2

Trait	PC			
	1	**2**	**3**	**4**
	Component score coefficiennt			
C_RDWD0	0.14616	0.12036-	0.13629	0.20317-
C_RDWD3	0.16456	0.16761-	0.18875	0.01868-
C_RDWD6	0.17799	0.11844-	0.13900	0.03762-
C_RDWD9	0.14939	0.10327-	0.29086	0.03136-
S_RDWD3	0.16787	0.15631-	0.01454-	0.11866-
S_RDWD6	0.17689	0.05010-	0.09723	0.20951-
S_RDWD9	0.17659	0.05834	0.08657	0.26051-
C_RWCD0	0.01541	0.05288-	0.00315-	0.21374
C_RWCD3	0.02920-	0.01533-	0.05198	0.19402
C_RWCD6	0.01481	0.11299-	0.25672	0.38907
C_RWCD9	0.07348-	0.09659	0.22075	0.25107
S_RWCD3	0.03208-	0.04730	0.03492-	0.21245
S_RWCD6	0.02772	0.17965	0.35400	0.02595
S_RWCD9	0.05671	0.28917	0.19034-	0.16754-
C_CMSD0	0.13468	0.02368	0.11477-	0.04869
C_CMSD3	0.03189	0.22444	0.11707	0.07004
C_CMSD6	0.03466	0.18183	0.25703	0.20592
C_CMSD9	0.00535	0.11885	0.28047	0.14954-
S_CMSD3	0.09639	0.11285	0.10596-	0.09810
S_CMSD6	0.05286	0.36835	0.09491	0.02917-
S_CMSD9	0.11004	0.27818	0.06048	0.04966-
Eigenvalues	**20.5959**	**3.7672**	**2.6635**	**2.3055**
% of variance	**45.769**	**8.371**	**5.919**	**5.123**

ตารางที่ 8(ต่อ) ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 2



ภาพที่ 89 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยของข้าวจำนวน 54 พันธุ์ในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้ค่าการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 0 3 6 และ 9 วัน (ภาพที่ 89 และ ตารางที่ 8) พบว่า ข้าวในประชากรทั้งหมด มีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกันอยู่ตรงกลางของกราฟ และสามารถแยกความแตกต่างประชากรออกได้เป็น 3 กลุ่มโดยมีข้าวพันธุ์เล้าแตกและข้าวพันธุ์ไอไท้ที่มีการกระจายตัวออกจากกลุ่มประชากรค่อนข้างชัดเจนและกระจายตัวอยู่ตรงกันข้ามกันของกราฟที่พล๊อตระหว่าง PC1 และ PC2 ซึ่งแกน PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้ 45.8%, แกน PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนชุดข้อมูลได้ 8.37% และแกน PC3 สามารถอธิบายความแปรปรวนชุดข้อมูลได้ 5.919% โดยมีค่า Eigenvalues 20.60 3.77 และ 2.66 ตามลำดับ ซึ่งแกน PC1 ประกอบด้วย Factor Loading จากค่าพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

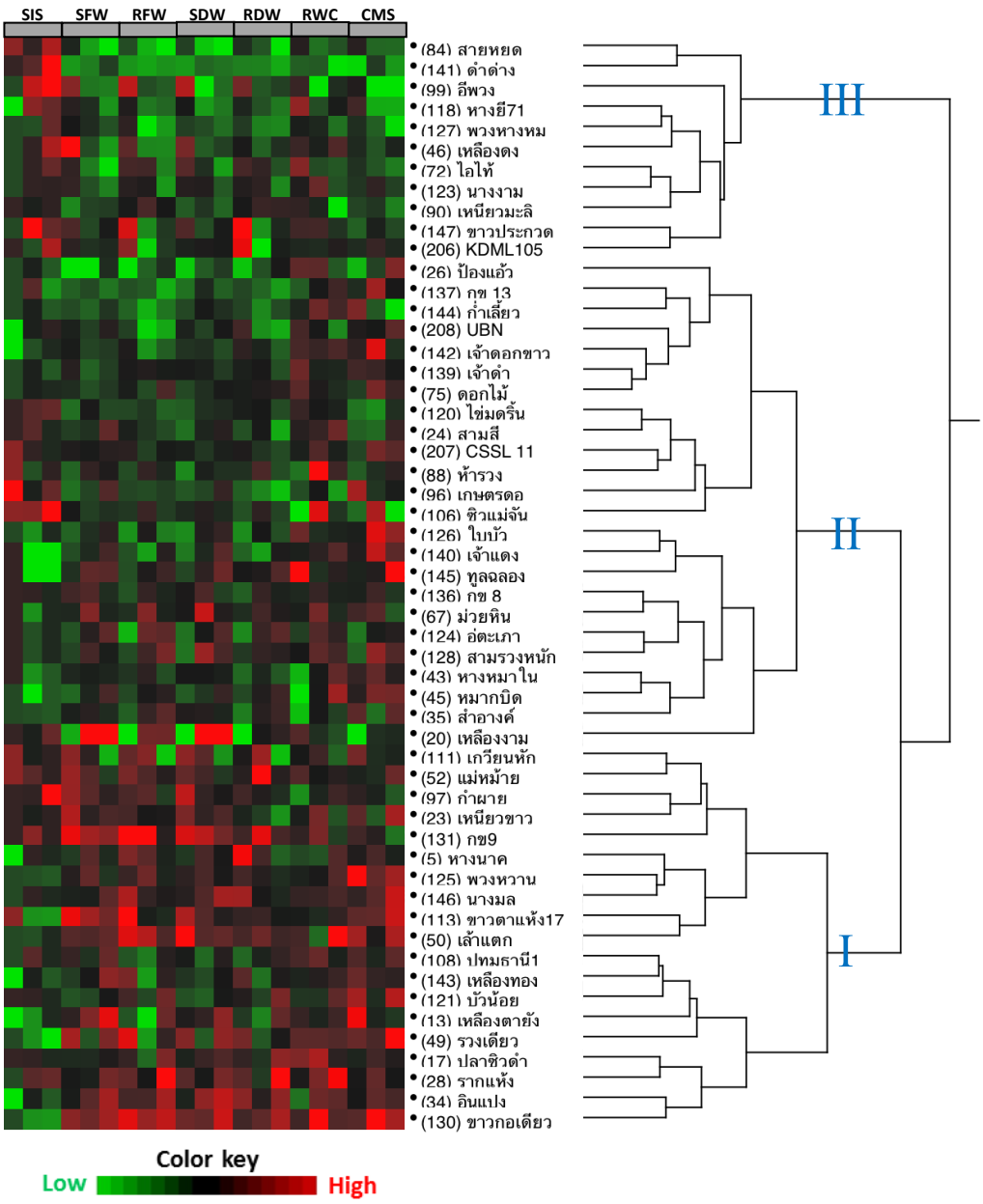
สำหรับผลการวิเคราะห์กลุ่มจะอธิบายด้วยแผนภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งจะแสดงระดับการแสดงออกของสีเขียว (ค่าที่แสดงออกในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ปริมาณน้อย) จนถึงค่าสีแดงเข้ม (ค่าที่แสดงออกในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ปริมาณมาก) โดยเรียงลำดับตั้งแต่พารามิเตอร์ SIS SFW RFW SDW RDW RWC และ CMS ในพารามิเตอร์ของต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติสลับกับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ควบคู่กับ dendrogram เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความต่างเท่ากับ 11.27 (ภาพที่ 88) พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มที่ดูจะสอดคล้องและสมเหตุสมผลได้ 4 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ I ได้แก่ ข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) เป็นข้าวพันธุ์เดียวที่มีค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาทั้งในภาวะปกติ และภาวะที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มสูงที่สุดในประชากรในทุก ๆ พารามิเตอร์ และเกือบทุกช่วงเวลาที่และแยกเด่นชัดออกจากพันธุ์อื่นๆในประชากร ยกเว้นค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม ที่แสดงออกในระดับปานกลาง สอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

กลุ่มที่ II ภายในกลุ่มประกอบด้วยข้าว 24 พันธุ์ ได้แก่ เกษตรดอ (96) บัวน้อย (121) อินแปง (34) ทูลฉลอง (145) หางหมาใน (43) สามสี (24) ปลาซิวดำ (17) รากแห้ง (28) เหนียวขาว (23) เหนียวมะลิ (90) เกวียนหัก (111) รวงเดียว (49) ขาวกอเดียว (130) เหลืองทอง (143) ใบบัว (126) เจ้าแดง (140) หมากบิด (45) สำอางค์ (35) ขาวตาแห้ง 17 (113) ม่วยหิน (67) เหลืองตายัง (13) พวงหวาน (125) นางมล (146) และ เจ้าดำ (139) ลักษณะร่วมของกลุ่มประชากรคือ ค่าน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างสูงมากเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆในประชากร (ยกเว้นพันธุ์เล้าแตก) ทั้งในภาวะปกติ และภาวะที่ต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 6 และ 9 วัน และยังมีค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ทั้งนี้ ข้าวในกลุ่มประชากรยังสามารถรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ค่อนข้างดีใกล้เคียงกันทั้งประชากรเมื่อพืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 3 6 และ 9 วัน

กลุ่มที่ III ข้าวพันธุ์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ป้องแอ้ว (26) ดอกไม้ (75) KDML105 (206) สามรวงหนัก (128) กข8 (136) นางงาม (123) ปทุมธานี1 (108) ชิวแม่จัน (106) ห้ารวง (88) หางยี 71 (118) ไข่มดริ้น (120) ขาวประกวด (147) กำเลี้ยว (144) UBN (208) อีพวง (99) อู่ตะเภา (124) กำผาย (97) และ หางนาค (5) ข้าวในกลุ่มนี้ลักษณะร่วมโดยมีค่าของชีวมวลต้นและราก และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์อยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ยกเว้น ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบที่ค่อนข้างจะแปรผันในข้าวกลุ่มนี้โดยมีข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์หลายระดับ เมื่อข้าวได้ภาวะเครียดจากความเค็ม 3 6 และ 9 วัน

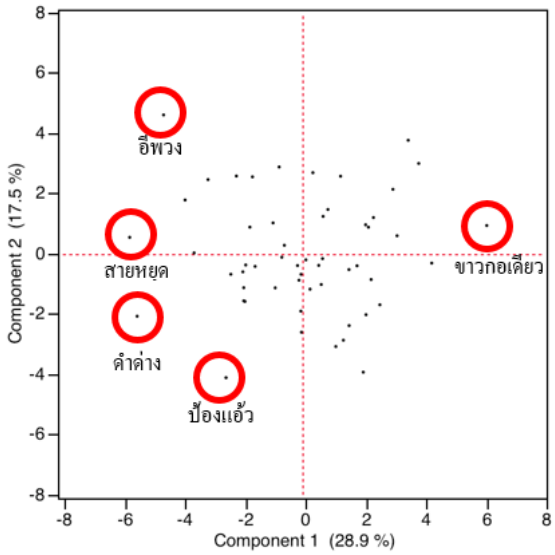
กลุ่มที่ IV ได้แก่ข้าวพันธุ์ แม่หม้าย (52) เหลืองงาม (20) CSSL11 (207) พวงหางหมู (127) เจ้าดอกขาว (142) กข13 (137) กข9 (131) สายหยุด (84) ดำด่าง (141) เหลืองดง (46) และ ไอไท้ (72) ข้าวในกลุ่มนี้มีการแสดงออกที่คล้ายคลึงกันทั้งกลุ่มประชากรค่อนข้างชัดเจนแยกจากกลุ่มอื่นโดยมีค่า น้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น และ น้ำหนักแห้งรากค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร นอกจากนี้ ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ยังมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 3 6 และ 9 ที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม



ภาพที่ 90 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพจากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2

Trait	PC			
	1	2	3	4
	Component score coefficiennt			
SISD3	0.02957-	0.03951-	0.37583	0.13992-
SISD6	0.18244-	0.21999	0.10170	0.43110
SISD9	0.23191-	0.17128	0.22205	0.36111
SI_SFWD3	0.09668	0.43680	0.00252-	0.11540-
SI_SFWD6	0.29394	0.04845	0.26012	0.02096
SI_SFWD9	0.30235	0.14275-	0.07974-	0.21792
SI_RFWD3	0.11912	0.44636	0.12626-	0.00433
SI_RFWD6	0.21945	0.11132	0.42773	0.03888-
SI_RFWD9	0.31496	0.08683-	0.07178-	0.36203
SI_SDWD3	0.11293	0.46481	0.00175	0.05859-
SI_SDWD6	0.29163	0.01472-	0.32591	0.01866-
SI_SDWD9	0.34072	0.11067-	0.07594-	0.22785
SI_RDWD3	0.08063	0.36453	0.21066-	0.12094
SI_RDWD6	0.18252	0.15689	0.41591	0.11353-
SI_RDWD9	0.28631	0.04018-	0.09172-	0.37624
SI_RWCD3	0.00187-	0.09240	0.16823-	0.13421
SI_RWCD6	0.17682	0.14814-	0.09592	0.03519-
SI_RWCD9	0.23937	0.04179	0.23693-	0.02258-
SI_CMSD3	0.13577	0.20944	0.22853-	0.35029-
SI_CMSD6	0.23731	0.11567-	0.04683-	0.21685-
SI_CMSD9	0.25369	0.10450-	0.18767-	0.23680-
Eigenvalues	**20.5959**	**3.7672**	**2.6635**	**2.3055**
% of variance	**45.769**	**8.371**	**5.919**	**5.123**

ตารางที่ 9 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 2



ภาพที่ 91 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยของข้าวจำนวน 54 พันธุ์ในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้ค่าดัชนีเสียรภาพของการตอบสนองในพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 6 และ 9 วัน (ภาพที่ 91 และ ตารางที่ 9) พบว่า กราฟ PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้ 28.9%, PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนชุดข้อมูลได้ 17.5% และแกน PC3 สามารถอธิบายข้อมูลได้ 5.9% โดยมีค่า Eigenvalues เท่ากับ 6.0627 3.6814 และ 2.6635 ตามลำดับ ซึ่งในแกน PC1 ประกอบขึ้นจาก Factor Loading ที่มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าพารามิเตอร์ของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและราก ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ได้จากการตอบสนองผ่านไปเป็นระยะเวลา 6 และ 9 วันเป็นส่วนใหญ่ และรูปแบบการกระจายตัวของข้าวในประชากรเกือบทั้งหมด มีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกันอยู่ตรงกลางของกราฟ แต่อย่างไรก็ดีมีข้าวบางสายพันธุ์ที่ค่อนข้างแยกตัวออกไม่เกาะกลุ่มกับพันธุ์อื่นๆ ในประชากร ได้แก่ อีพวง สายหยุด ดำด่าง ป้องแอ้ว และขาวกอเดียว ซึ่งจะแสดงในวงกลมสีแดงวงกลมสีแดง

ในส่วนการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม จะอธิบายโดยใช้แผนภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งจะแสดงระดับการแสดงออกของสีเขียว (ค่าที่แสดงออกน้อย) จนถึงค่าสีแดงเข้ม (ค่าที่แสดงออกมาก) โดยเรียงลำดับตั้งแต่พารามิเตอร์ SIS, SI_SFW, SI_RFW, SI_SDW, SI_RDW, SI_RWC และ SI_CMS

ควบคู่กับ dendrogram เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความต่าง 8.68 ของ dendogram (ภาพที่ 90) พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มที่ดูจะสอดคล้องและสมเหตุสมผลได้ 4 กลุ่มดังนี้

ข้าวกลุ่ม I ประกอบด้วยข้าวจำนวน 19 พันธุ์ ได้แก่ ขาวกอเดียว (130) อินแปง (34) รากแห้ง (28) ปลาซิวดำ (17) รวงเดียว (49) เหลืองตายัง (13) บัวน้อย (121) เหลืองทอง (143) ปทุมธานี 1 (108) เล้าแตก (50) ขาวตาแห้ง17 (113) นางมล (146) พวงหวาน (125) หางนาค (5) กข9 (131) เหนียวขาว (23) กำผาย (97) แม่หม้าย (52) และ เกวียนหัก (111) โดยข้าวในกลุ่มนี้ มีการแสดงออกที่คล้ายคลึงกันในแง่ของค่าดัชนีเสถียรภาพที่ค่อนข้างสูงขึ้นเล็กน้อยจากค่า 1 ในช่วง 3 วันแรกที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม และเมื่อเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 6 และ 9 วัน มีการลดลงไม่มากนักของค่าดัชนีเสถียรภาพในทุกๆพารามิเตอร์ที่ตอบสนองต่อความเครียดเค็ม และยังสามารถรักษาเสถียรภาพได้ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร และยังมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างต่ำ ในทุกช่วงเวลาที่เก็บค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรอีกด้วย

ข้าวกลุ่ม II ประกอบด้วยข้าวจำนวน 25 พันธุ์ ได้แก่ เหลืองงาม (20) สำอางค์ (35) หมากบิด (45) หางหมาใน (43) สามรวงหนัก (128) อู่ตะเภา (124) ม่วยหิน (67) กข 8 (136) ทูลฉลอง (145) เจ้าแดง (140) ใบบัว (126) ซิวแม่จัน (106) เกษตรดอ (96) ห้ารวง (88) CSSL11 (207) สามสี (24) ไข่มดริ้น (120) ดอกไม้ (75) เจ้าดำ (139) เจ้าดอกขาว (142) UBN (208) ก่ำเลี้ยว (144) กข13 (137) และป้องแอ้ว (26) ลักษณะการแสดงออกร่วมของข้าวในกลุ่มประชากรนี้ ในช่วงสามวันแรกที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม ต้นกล้าข้าวยังสามารถรักษาเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรากได้ค่อนข้างดีและจะค่อยๆมีค่าดัชนีเสถียรภาพลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 และ 9 วัน แต่ยังรักษาเสถียรภาพของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าวและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้ค่อนข้างดีตลอดระยะเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 9 วัน

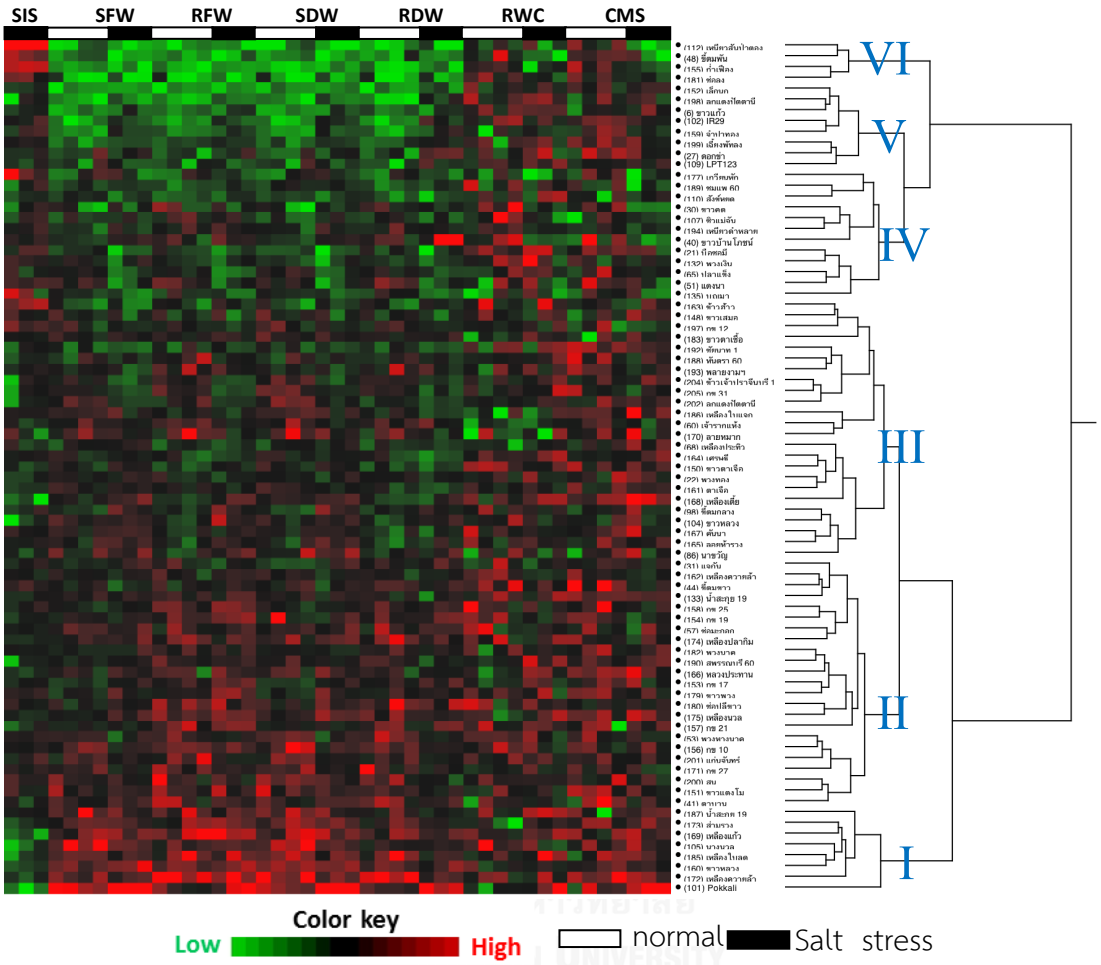
ข้าวกลุ่ม III ประกอบด้วยข้าวจำนวน 11 พันธุ์ ได้แก่ KDML105 (206) ขาวประกวด (147) เหนียวมะลิ (90) นางงาม (123) ไอไท้ (72) เหลืองดง (46) พวงหางหมู (127) หางยี71 (118) อีพวง (99) ดำด่าง (141) และ สายหยุด (84) ข้าวในกลุ่มนี้มีการแสดงออกที่คล้ายคลึงกันคือ ในช่วงสามวันแรกที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ต้นกล้าข้าวยังสามารถรักษาเสถียรภาพของค่าทุกค่าได้ดี แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป จะพบว่า มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกๆพารามิเตอร์ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 และ 9 วัน อีกทั้งยังมีค่าคะแนนความเสียหายจากภาวะเค็มที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ข้าวพันธุ์อีพวงจะถูกจัดกลุ่มอยู่ในข้าวกลุ่ม III แต่เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์องคุประกอบหลักด้วยจะพบว่า ข้าวพันธุ์อีพวง เป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างแยกตัวออกจากกลุ่มประชากรทั้งหมดและ ยังมีลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่แยกจากพันธุ์อื่นโดย

จะมีค่าดัชนีเสถียรภาพของทุกๆพารามิเตอร์ที่สูงผิดปกติเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 3 วัน หลังจากนั้น ค่าดัชนีเสถียรภาพจะลดลงอย่างมากและรวดเร็วเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มต่อไปอีก 6 และ 9 วัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างการจัดกลุ่มระหว่างการใช้ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยตรงและการใช้ค่าดัชนีเสียรภาพในการทดลองในชุดที่ 2 พบว่ามีการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันทั้งสองชุดข้อมูล นอกจากนี้ รูปแบบการจัดลำดับของกลุ่มนั้น ยังมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับในชุดการทดลองที่ 1 เช่นการพิจารณาข้าวพันธุ์ KDML105 และ UBN02123-50R-B-3 ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อความเค็มระดับปานกลาง และพันธุ์มาตรฐานทนเค็มระดับสูง จะพบว่าข้าวทั้งสองตัวนี้ ถูกจัดลำดับไว้ในกลุ่มเดียวกัน แต่เมื่อใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพในการวิเคราะห์กลุ่มจะพบว่า ข้าวทั้งสองพันธุ์นี้ถูกจัดลำดับแยกออกจากกันคนละกลุ่ม โดยที่ข้าวพันธุ์ UBN02123-50R-B-3 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม II เนื่องด้วยคุณสมบัติของการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพที่ดีกว่าตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ KDML105 ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม III

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยในชุดการทดลองที่ 3



ภาพที่ 92 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3

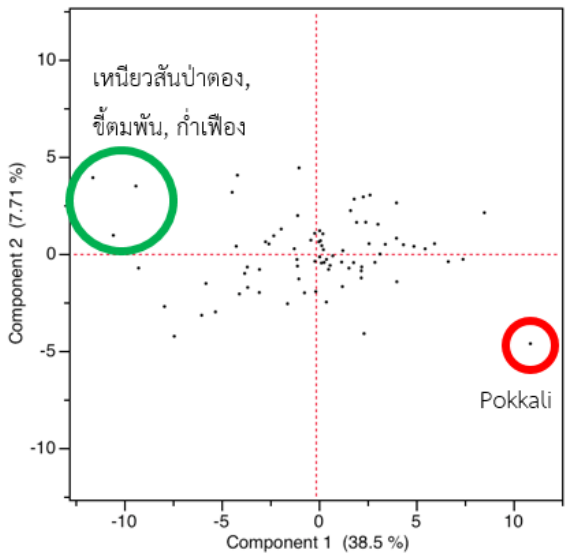
Trait	PC			
	1	2	3	4
	Component score coefficiennt			
SISD6	0.09796-	0.29570	0.06168	0.18012-
SISD9	0.16758-	0.23464	0.02323	0.07645
SISD12	0.12641-	0.13481	0.17928	0.16749
C_SFWD0	0.18203	0.02868	0.01731	0.04562
C_SFWD6	0.18693	0.04573	0.06422-	0.02242-
C_SFWD9	0.18004	0.19379	0.18270-	0.07895-
C_SFWD12	0.16952	0.11220	0.14456-	0.15351-
S_SFWD6	0.16711	0.13148-	0.05352	0.22866-
S_SFWD9	0.19491	0.12088-	0.08379	0.12822-
S_SFWD12	0.20261	0.09837-	0.09702	0.07561-
C_RFWD0	0.16290	0.12042	0.10670	0.27429
C_RFWD6	0.18257	0.17832	0.12818	0.12621
C_RFWD9	0.17471	0.19240	0.03283-	0.03632
C_RFWD12	0.16896	0.17613	0.19469-	0.02443-
S_RFWD6	0.16725	0.02659-	0.17165	0.01096-
S_RFWD9	0.19675	0.06774-	0.12319	0.03418
S_RFWD12	0.20977	0.07078-	0.13469	0.01587
C_SDWD0	0.18384	0.05992	0.03257-	0.14021
C_SDWD6	0.18809	0.08056	0.09842-	0.07980
C_SDWD9	0.18594	0.19473	0.22112-	0.01226-
C_SDWD12	0.17368	0.13572	0.21595-	0.09977-
S_SDWD6	0.16435	0.11777-	0.02342	0.18558-
S_SDWD9	0.20529	0.10182-	0.09012	0.06898-
S_SDWD12	0.21583	0.08304-	0.07365	0.08020-
C_RDWD0	0.15570	0.10161	0.06321	0.27261
C_RDWD6	0.17511	0.19926	0.11982	0.14456
C_RDWD9	0.17785	0.17879	0.06883	0.06440
C_RDWD12	0.17172	0.24147	0.06863-	0.02782

ตารางที่ 10 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 3

Trait	PC			
	1	**2**	**3**	**4**
	Component score coefficiennt			
S_RDWD6	0.10340	0.11169-	0.18953	0.17909-
S_RDWD9	0.15378	0.13239-	0.30730	0.01905
S_RDWD12	0.16043	0.12487-	0.30442	0.01247-
C_RWCD0	0.01365-	0.16329-	0.01629-	0.32583
C_RWCD6	0.03838	0.04095-	0.02133-	0.14318
C_RWCD9	0.01866-	0.15624	0.17523	0.16290
C_RWCD12	0.03855-	0.12072-	0.17855	0.26176
S_RWCD6	0.05607	0.03898-	0.04078-	0.14974
S_RWCD9	0.04711	0.27584-	0.11430-	0.36008
S_RWCD12	0.08927	0.20651-	0.30183-	0.01542
C_CMSD0	0.01410	0.07895	0.20336-	0.25010
C_CMSD6	0.03123	0.03838	0.14659	0.01987-
C_CMSD9	0.00885	0.00256	0.10169	0.03411
C_CMSD12	0.02112	0.02146-	0.03958	0.13686-
S_CMSD6	0.08919	0.12908-	0.10769-	0.10294-
S_CMSD9	0.10339	0.25129-	0.25430-	0.22380
S_CMSD12	0.13267	0.24709-	0.25415-	0.01295-
Eigenvalues	**17.3161**	**3.4710**	**2.5639**	**2.4251**
% of variance	**38.480**	**7.713**	**5.698**	**5.389**

ตารางที่ 10 (ต่อ) ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์โดยตรงในชุดการทดลองที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 93 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยของข้าวจำนวน 79 พันธุ์ในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าโดยตรงการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 0 6 9และ 12 วัน (ภาพที่ 93 และ ตารางที่ 10) พบว่า ข้าวในประชากรทั้งหมด มีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกันอยู่ตรงกลางของกราฟ และสามารถแยกความแตกต่างประชากรออกได้เป็น 3 กลุ่มโดยข้าวพันธุ์ Pokkali (วงกลมสีแดง) เหนียวสันป่าตอง ขี้ตมพัน และก่ำเฟือง (วงกลมสีเขียว) เป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างกระจายตัวออกจากกลุ่มประชากร ซึ่งกราฟ PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้ 38.5 % แกน PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนชุดข้อมูลได้ 7.71% และ แกน PC3 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้ 5.698% โดยมีค่า Eigenvalues 17.3161 3.4710 และ 2.5639 ตามลำดับ สำหรับแกน PC1 เป็นแกนที่ Factor Loading มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่เติบโตในภาวะปกติและภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 9 และ 12 วันและเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์กลุ่มร่วมซึ่งจะอธิบายโดยใช้แผนภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งจะแสดงระดับการแสดงออกของสีเขียว (ค่าที่แสดงออกในพารามิเตอร์น้อย) จนถึงค่าสีแดงเข้ม (ค่าที่แสดงออกในพารามิเตอร์มาก) โดยเรียงลำดับตั้งแต่พารามิเตอร์ SIS SFW RFW SDW RDW RWC และ CMS ในพารามิเตอร์ของต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติสลับกับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ควบคู่กับ dendrogram เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความต่าง 9.48 ของ dendogram (ภาพที่ 92) พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มที่ดูจะสอดคล้องและสมเหตุสมผลได้ 6 กลุ่มดังนี้

กลุ่ม I ประกอบด้วยข้าวจำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ Pokkali (101) เหลืองควายล้า (172) ขาวหลวง (160) เหลืองใบลด (185) นางนวล (105) เหลืองแก้ว (169) ส่ามรวง (173) และน้ำสะกุย 19 (187) ซึ่งข้าวในกลุ่มมีการแสดงออกร่วมที่คล้ายคลึงกันโดย มีค่าน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ทั้งในภาวะปกติและในภาวะที่ต้นกล้าข้าวเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไประยะเวลา 6 9 และ 12 วัน และยังสามารถรักษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีมากตลอดช่วงเวลาที่พืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม อีกทั้งยังมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร

กลุ่ม II ภายในกลุ่มประกอบด้วยข้าว 23 พันธุ์ ได้แก่ ตาบาน (41) ขาวแตงโม (151) สูน (200) กข27 (171) แก่นจันทร์ (201) กข10 (156), พวงหางนาค (53) กข21 (157) เหลืองนวล (175) ช่อปลีขาว (180) ขาวพวง (179) กข17 (153) หลวงประทาน (166) สุพรรณบุรี 60 (190) พวงนาค (182) เหลืองปากิม (174) ช่อมะกอก (57) กข19 (154) กข25 (158) น้ำสะกุย19 (133) ขี้ตมขาว (44) เหลืองควายล้า (162) และ แจกัน (31) ลักษณะร่วมของกลุ่มคือ ค่าน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆในประชากรแต่ยังมีค่าเฉลี่ยโดยรวมที่น้อยกว่า ข้าวในกลุ่ม I ทั้งในภาวะปกติ และภาวะที่ต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 9 และ 12 วัน และยังมีค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ทั้งนี้ ข้าวในกลุ่มปะชากรยังสามารถรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ค่อนข้างดีใกล้เคียงกันทั้งกลุ่มเมื่อพืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 3 6 และ 9 วัน เช่นเดียวกับข้าวในกลุ่ม I

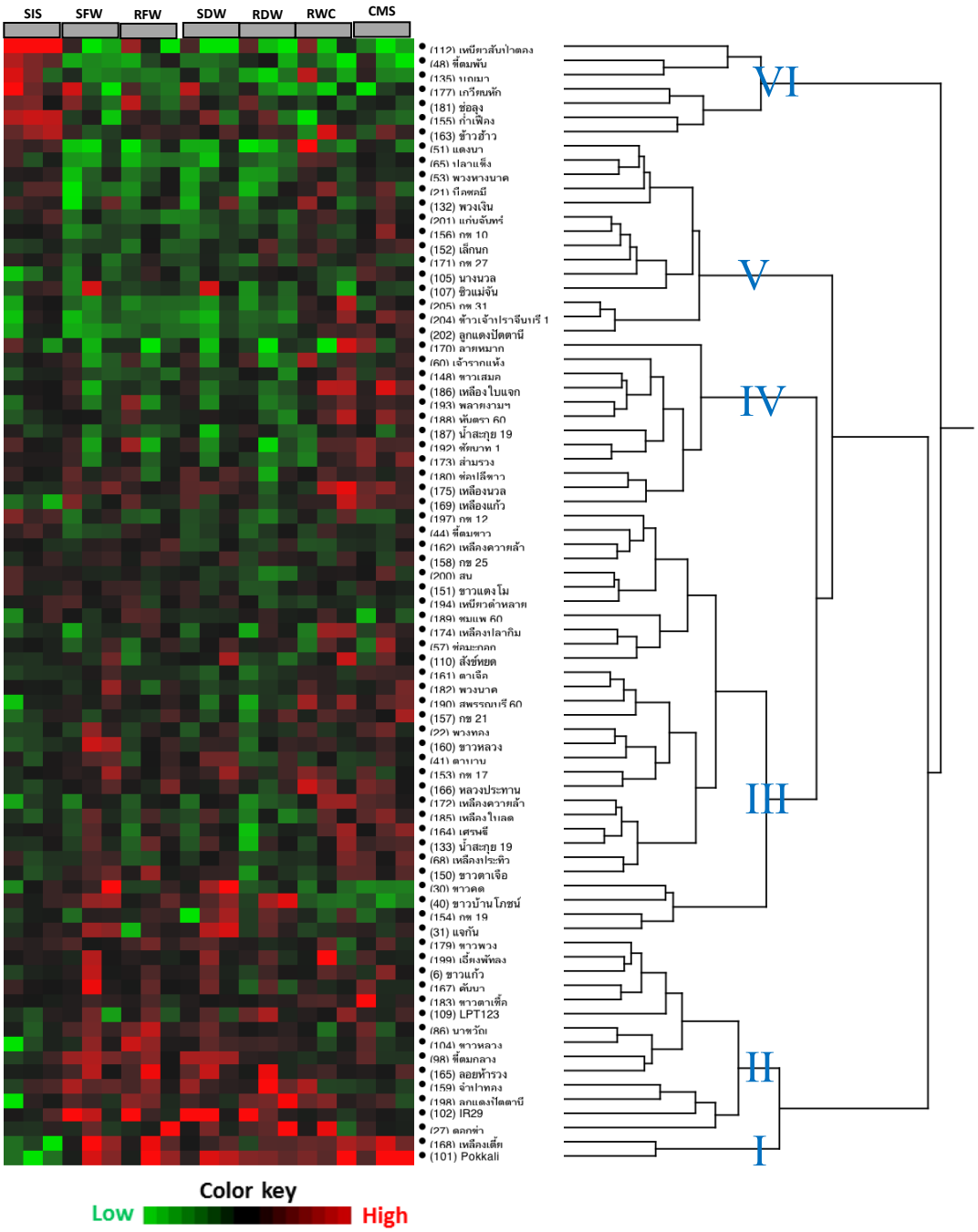
กลุ่ม III ประกอบด้วยข้าวจำนวน 24 พันธุ์ ได้แก่ นาขวัญ (86) ลอยห้ารวง (165) คันนา (167) ขาวหลวง (104) ขี้ตมกลาง (98) เหลืองเตี้ย (168) ตาเจือ (161) พวงทอง (22) ขาวตาเจือ (150) เศรษฐี (164) เหลืองปะทิว (68) ลายหมาก (170) เจ้ารากแห้ง (60) เหลืองใบแจก (186) ลูกแดงปัตตานี (202) กข31 (205) ข้าวเจ้าปราจีน (204) พลายงามปราจีนบุรี (193) หันตรา60 (188) ชัยนาท1 (192) ขาวตาเชื้อ (183) กข12 (197) ขาวเสมอ (148) และ ข้าวฮ้าว (163) โดยลักษณะร่วมของข้าวในกลุ่มนี้ คือ จะมีค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและรากอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร อีกทั้งค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบไม่สูงมากนัก แต่ยังสามารถรักษาค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้ค่อนข้างดีและมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรหลังจากที่พืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 6 9 และ 12 วัน

กลุ่ม IV ประกอบด้วยข้าวจำนวน 12 พันธุ์ ได้แก่ บุญมา (135) แดงนา (51) ปลาแข็ง (65) พวงเงิน (132) บือซอมี (21) ขาวบ้านโภชณ์ (40) เหนียวดำหลาย (194) ซิวแม่จัน (107) ขาวคด (30) สังข์หยด (110) ชุมแพ60 (189) และ เกวียนหัก (177) โดยข้าวในกลุ่มมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในแง่ของการรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ค่อนข้างดีเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไปได้ 6 และ 9 วัน และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านไป 12 วัน ในขณะที่ค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและราก ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ค่อนข้างต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆในประชากรและค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างสูงกว่าพันธุ์อื่นในประชากร

กลุ่ม V ประกอบด้วยข้าวจำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ LPT123 (109) ดอกข่า (27) เฉี้ยงพัทลุง (199) จำปาทอง (159) IR29 (102) ขาวแก้ว (6) ลูกแดงปัตตานี (198) และ เล็กนก (152) ข้าวในกลุ่มนี้ ค่อนข้างมีน้ำหนักสดต้นและรากและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร รวมทั้งค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 6 9 และ 12 วัน

กลุ่มที่ VI ได้แก่ข้าวพันธุ์ ช่อลุง (181), ก่ำเฟือง (155) ขี้ตมพัน (46) และ เหนียวสันป่าตอง (112) มีลักษณะการแสดงออกที่คล้ายคลึงกับข้าวในกลุ่ม V แต่จะเป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยในทุกๆค่าพารามิเตอร์ในทุกๆค่าพารามิเตอร์ต่ำที่สุดในประชากร แยกออกจากพันธุ์อื่นได้ค่อนข้างชัดเจน และยังสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยที่ข้าวพันธุ์ เหนียวสันป่าตอง ขี้ตมพัน และก่ำเฟือง เป็นพันธุ์ที่กระจายตัวออกมาจากกลุ่มประชากรข้าวทั้ง 79 พันธุ์ที่ค่อนข้างชัดเจน

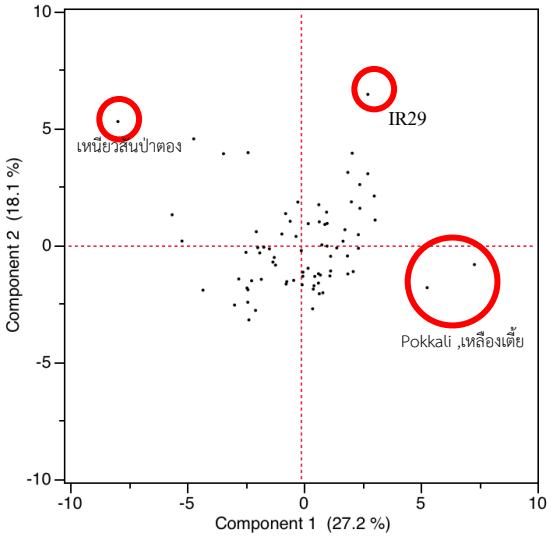
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 94 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3

Trait	PC			
	1	**2**	**3**	**4**
	Component score coefficiennt			
SISD6	0.25282-	0.20767	0.04383-	0.18599-
SISD9	0.28408-	0.22957	0.08999-	0.07671
SISD12	0.16326-	0.23056	0.20944-	0.23697
SI_SFWD6	0.11892	0.35726	0.31324	0.22315-
SI_SFWD9	0.32693	0.12421	0.17466-	0.11774
SI_SFWD12	0.28000	0.06990-	0.15287-	0.44103-
SI_RFWD6	0.07568	0.35136	0.30999	0.02775-
SI_RFWD9	0.28577	0.14242	0.11923-	0.31531
SI_RFWD12	0.27595	0.03341-	0.23153-	0.21880-
SI_SDWD6	0.10685	0.38993	0.29905	0.16764-
SI_SDWD9	0.29537	0.20914	0.19087-	0.15312
SI_SDWD12	0.28732	0.03815-	0.16749-	0.39533-
SI_RDWD6	0.09065	0.34772	0.23895	0.08704
SI_RDWD9	0.24708	0.18554	0.18082-	0.37983
SI_RDWD12	0.26556	0.10506	0.16414-	0.08187-
SI_RWCD6	0.01809	0.08605-	0.02428-	0.00331
SI_RWCD9	0.18559	0.16202-	0.14052	0.26276
SI_RWCD12	0.12950	0.16086-	0.39584	0.03542
SI_CMSD6	0.13606	0.13963-	0.14044	0.02212
SI_CMSD9	0.18176	0.24908-	0.22932	0.24447
SI_CMSD12	0.20417	0.23137-	0.33199	0.01362
Eigenvalues	**5.7199**	**3.7962**	**2.5371**	**1.5384**
% of variance	**27.237**	**18.077**	**12.082**	**7.326**

ตารางที่ 11 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในชุดการทดลองที่ 3



ภาพที่ 95 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยของข้าวจำนวน 79 พันธุ์ในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าดัชนีเสียรภาพของการตอบสนองในพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 6 9 และ 12 วัน (ภาพที่ 95 และ ตารางที่ 11) พบว่า กราฟ PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้ 27.2 %, PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนชุดข้อมูลได้ 18.1% และกราฟ PC3 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้ 12.082% โดยมีค่า Eigenvalues เท่ากับ 5.7199 3.7962 และ 2.5371 ตามลำดับ สำหรับรูปแบบการกระจายตัวของข้าวในประชากรเกือบทั้งหมด มีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มและสามารถแบ่งข้าวออกได้เป็น 4 กลุ่ม โดยข้าวกันที่ค่อนข้างแยกตัวออกไปจากกลุ่มประชากร ได้แก่ Pokkali เหลืองเตี้ย ขี้ตมพัน และ เหนียวสันป่าตอง ซึ่งจะแสดงในวงกลมสีแดง

ค่า Factor Loading ในแกน PC1 มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและราก ที่ตอบสนองต่อภาวะความเค็ม 9 และ 12 วัน และค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ตอบสนองต่อความเค็ม 6 9 และ 12 วันเป็นหลัก จากผลการวิเคราะห์กลุ่ม จะอธิบายโดยใช้แผนภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งจะแสดงระดับการแสดงออกของสีเขียวจนถึงค่าสีแดงเข้มโดยเรียงลำดับตั้งแต่พารามิเตอร์ SIS SI_SFW SI_RFW SI_SDW SI_RDW SI_RWC และ SI_CMS ควบคู่กับ dendrogram เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความต่าง 7.75 ของ dendogram (ภาพที่ 94) พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มที่ดูจะสอดคล้องและสมเหตุสมผลได้ 6 กลุ่มดังนี้

กลุ่ม I ประกอบด้วยข้าวจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ Pokkali (101) และเหลืองเตี้ย (168) ข้าวสองพันธุ์นี้มีลักษณะพิเศษที่แสดงออกจากการทดลองในชุดการทดลอง โดย สามารถรักษาเสถียรภาพได้ค่อนข้างดีมากตลอดที่ต้นกล้าได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มในทุกๆค่าดัชนีเสถียรภาพ แต่ค่าดัชนีของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและราก จะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ผ่านไป 9 วัน อีกทั้ง ยังมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างต่ำที่สุดในทุกๆช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรอีกด้วย

ข้าวกลุ่ม II ประกอบด้วยข้าวจำนวน 14 พันธุ์ ได้แก่ IR29 (102) ดอกข่า (27) ลูกแดงปัตตานี (198) จำปาทอง (159) ลอยห้ารวง (165) ขี้ตมกลาง (98) ขาวหลวง (104) นาขวัญ (86) LPT123 (109) ขาวตาเชื้อ (183) คันนา (167) ขาวแก้ว (6) เฉี้ยงพัทลุง (199) และ ขาวพวง (179) ลักษณะการแสดงออกร่วมของข้าวในกลุ่มประชากรนี้มีลักษณะเด่นร่วมคือ มีค่าคะแนนความเสียหายอยู่ในระดับปานกลางในทุกช่วงเวลาที่พืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นและรากที่ค่อนข้างสูงเมื่อต้นกล้าได้รับภาวะเครียดเค็มผ่านไป 6 วันและหลังจากที่พืชได้รับความเครียดต่อเป็นระยะเวลา 9 และ 12 ค่าดัชนีเสถียรภาพมีการลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักแห้งต้นและรากจะสูงขึ้นจาก 1 เล็กน้อย เมื่อพืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็มผ่านไป 6 วันและจะลดลงอย่างเรื่อยๆเมื่อได้รับความเครียดต่อเป็นระยะเวลา 9 และ 12 วัน สำหรับดัชนีเสถียรภาพของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ ต้นกล้ามีเสถียรภาพลดลงตั้งแต่ 6 วันแรกที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มอย่างต่อเนื่องถึงวันที่ 12

กลุ่ม III ประกอบด้วยข้าวจำนวน 30 พันธุ์ ได้แก่ แจกัน (31) กข19 (154) ขาวบ้านโภชณ์ (40) ขาวคด (30) ขาวตาเจือ (150) เหลืองประทิว (68) น้ำสะกุย 19 (133) เศรษฐี (164) เหลืองใบลด (185) เหลืองควายล้า (172) หลวงประทาน (166) กข17 (153) ตาบาน (41) ขาวหลวง (160) พวงทอง (22), กข21 (157), สุพรรณบุรี60 (190), พวงนาค (182), ตาเจือ (161), เหลืองปลากิม (110) ช่อมะกอก (57) สังข์หยด (174) ชุมแพ60 (189) เหนียวดำหลาย (194) ขาวแตงโม (151) สูน (200) กข25 (158) เหลืองควายล้า (162) ขี้ตมขาว (44) และ กข12 (197) โดยลักษณะเด่นของข้าวในกลุ่มนี้ มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ไม่ต่ำมากนักเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็มผ่านไปทุกช่วงเวลา แต่มีความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้ค่อนข้างดีมากตลอดช่วงที่ทำการทดลอง 6 - 9 วันแรก โดยมีค่าประมาณ 1 หรือ ห่างจากค่า 1 ไม่มากนัก แต่ค่าดัชนีเสถียรภาพจะลดลงต่อเนื่อง เมื่อพืชได้รับภาวะเครียดเค็มผ่านไป 12 วัน

กลุ่มที่ IV ประกอบด้วยข้าวจำนวน 12 พันธุ์ ได้แก่ เหลืองแก้ว (169) เหลืองนวล (175) ช่อปลีขาว (180) สามรวง (173) ชัยนาท1 (192) น้ำสะกุย19 (187) หันตรา60 (188) พลายงาม

ปราจีนบุรี (193) เหลืองใบแจก (186) ขาวเสมอ (148) เจ้ารากแห้ง (60) และ ลายหมาก (170) ลักษณะเด่นของข้าวในกลุ่มนี้คือ ค่าคะแนนความเสียหายจากภาวะเค็มอยู่ในระดับปานกลางตลอดที่ทำการทดลอง แต่เป็นกลุ่มต้นกล้าที่รักษาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นได้ดีมากตลอดระยะเวลาที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม 6 – 12 วัน แต่ในค่าดัชนีของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งราก จะพบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 วัน ค่าดัชนีมีการลดลงจากค่า 1 อย่างรวดเร็วและลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อพืชได้รับภาวะเครียดต่อไปถึง 12 วัน แสดงให้เห็นว่ารากของต้นกล้าข้าวในกลุ่มมีความไวต่อความเค็มระดับสูงอย่างมาก นอกจากนี้ ข้าวในกลุ่มยังรักษาเสถียรภาพของปริมาณน้ำสัมพัทธ์และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้ค่อนข้างดี เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรแม้จะได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 12 วัน

กลุ่มที่ V ประกอบด้วยข้าวจำนวน 14 พันธุ์ ได้แก่ ลูกแดงปัตตานี (202) ข้าวเจ้าปราจีนบุรี (204) กข31 (205) ชิวแม่จัน (107) นางนวล (105) กข27 (171) เล็กนก (152) กข10 (156) แก่นจันทร์ (201) พวงเงิน (132) บือซอมี (21) พวงหางนาค (53) ปลาแข็ง (65) และ แดงนา (51) ลักษณะร่วมของข้าวในกลุ่มนี้จะค่อนข้างมีความคล้ายคลึงกับข้าวในกลุ่ม IV โดยรากของต้นกล้าข้าวในกลุ่มจะค่อนข้างไวต่อการตอบสนองต่อภาวะเครียดเค็มและมีความสามารถรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดต้นได้ค่อนข้างดีตลอดช่วง 12 วันที่ทำการทดลอง ในขณะที่ค่าดัชนีเสถียรภาพของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป 9 – 12 วัน และค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกันหลังจากที่พืชได้รับภาวะเครียดผ่านไป 9 และ 12 วัน

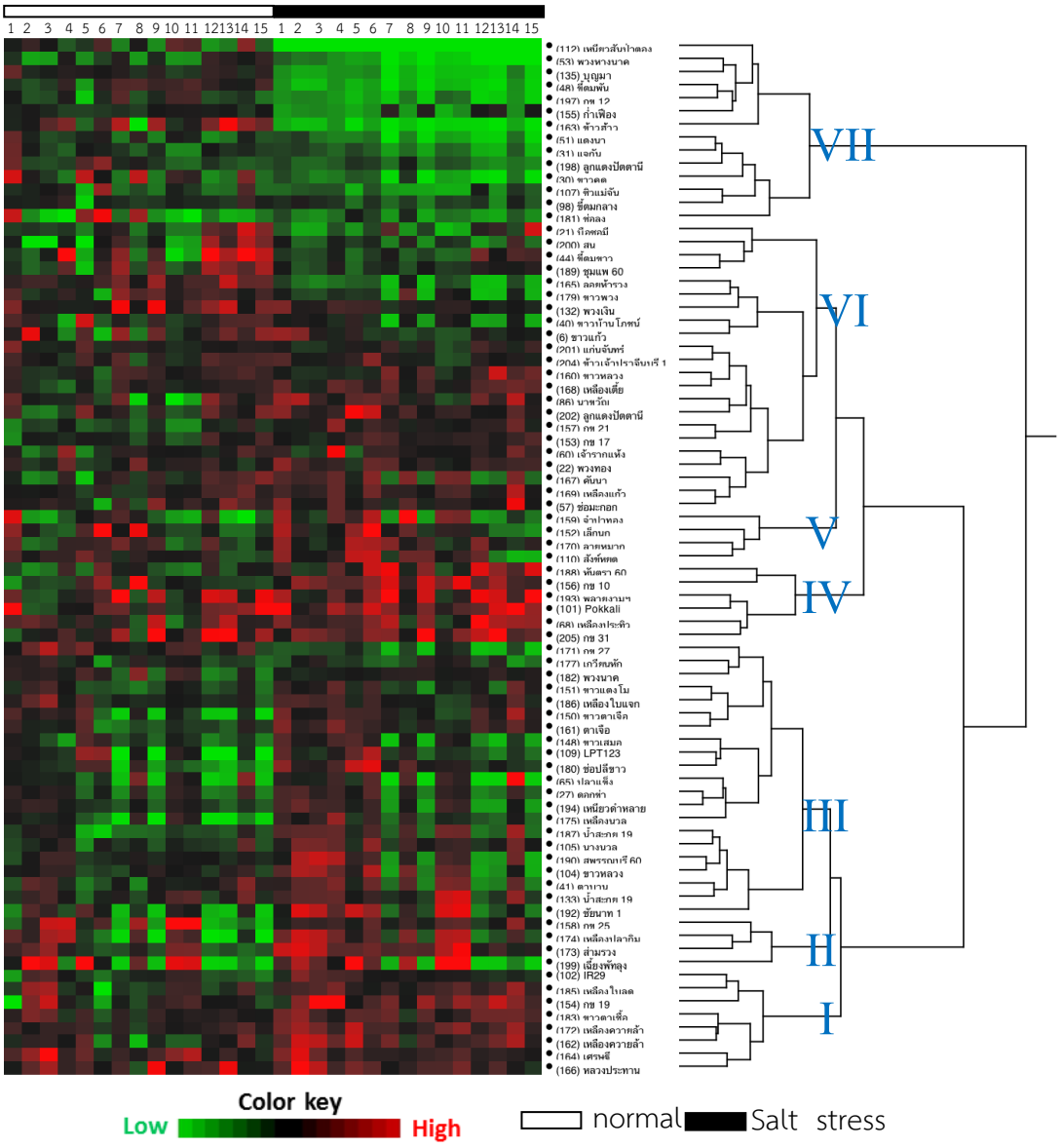
กลุ่มที่ VI ประกอบด้วยข้าวจำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวฮ้าว (163) ก่ำเฟือง (155) ช่อลุง (181) เกวียนหัก (177) บุญมา (135) ขี้ตมพัน (48) และ เหนียวสันป่าตอง (112) ข้าวในกลุ่มเป็นพันธุ์ที่มีค่าดัชนีค่อนข้างต่ำที่สุดในประชากร โดยจะพบว่า ข้าวสามารถรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพได้ค่อนข้างสูงในช่วง 6 วันแรกที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม แต่หลังจากนั้น ค่าเสถียรภาพโดยภาพรวมจะลดลงเรื่องๆเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มต่อไปอีกเป็นระยะเวลา 9 – 12 วัน และนอกจากนี้ ยังมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรอีกด้วย

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างการจัดกลุ่มระหว่างการใช้ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยตรงและการใช้ค่าดัชนีเสียรภาพในการทดลองในชุดที่ 3 พบว่าการใช้ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาทั้งสองแบบสามารถใช้อธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้แตกต่างกัน นอกจากนี้รูปแบบการจัดลำดับของกลุ่มนั้น ยังมีความแตกต่างกันเช่นเดียวกับในชุดการทดลองที่ 1และชุดการทดลองที่ 2 แต่อย่างไรก็ตาม มีข้าวบางพันธุ์ที่รูปแบบการวิเคราะห์การจัดกลุ่มและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่ไปในทิศทางเดียวกันทั้งในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการใช้ค่าโดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพ คือ ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ขี้ตมพัน ช่อลุง และก่ำเฟือง ที่กระจายตัวแยกออกไปจาก

กลุ่ม และถูกจัดในกลุ่มเดียวกัน โดยมีลักษณะร่วมดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ทั้งจากการวิเคราะห์การจัดกลุ่มโดยใช้ค่าโดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

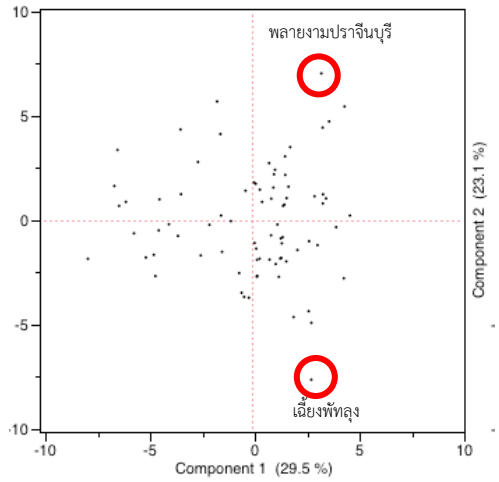
2.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจัดกลุ่มความสามารถในการทนทานความเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย โดยใช้ลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในชุดการทดลองที่ 3



ภาพที่ 96 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้โดยตรงของค่าลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตที่เติบโตในภาวะปกติและที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะ 12 วันในระยะต้นกล้าในชุดการทดลองที่ 3

Trait	PC			
	1	2	3	4
	Component score coefficiennt			
(1) C_Plant height	0.06012-	0.01938	0.23590-	0.07859
_CNumber of (2) Tiller	0.10772	0.14792-	0.29542	0.24941
(3) C_Number of Panicle	0.12954	0.13712-	0.38511	0.17889
(4) C_Panicle/Tiller ratio	0.04263	0.06902	0.23388	0.14683-
(5) C_Shoot Biomass	0.07511	0.08837-	0.16695-	0.34249
(6) C_Panicle Length	0.07893-	0.01943	0.28310-	0.12554
C_Number of FLG/panicle (7)	0.00139	0.31089	0.08681	0.04239-
C_Number of UFLG/panicle (8)	0.00504	0.18229-	0.20106-	0.21256
C_Number of FLG/plant (9)	0.05008	0.28643	0.16769	0.01610
C_Number of UFLG/plant (10)	0.05342	0.23917-	0.27095	0.22542
C_Number of Seed/plant (11)	0.07509	0.13967-	0.34422	0.23993
(12) C_%Fertility	0.02433	0.33923	0.01428	0.10284-
C_Seed WT/plant (13)	0.02744	0.30418	0.21331	0.02964-
(14) C_1000seedsWT	0.02529-	0.16141	0.26331	0.17075-
(15) C_SeedWT/Panicle	0.00514-	0.33031	0.05534	0.10024-
(1) S_Plant height	0.27591	0.00147	0.17026-	0.12474-
_S Number of (2) Tiller	0.28681	0.10553-	0.06664	0.06895-
(3) S_ Number of Panicle	0.29226	0.09232-	0.11149	0.09635-
(4) S_ Panicle/Tiller ratio	0.29676	0.01496-	0.03339-	0.19931-
(5) S_Shoot Biomass	0.25786	0.06364-	0.18001-	0.05532
(6) S_Panicle Length	0.29292	0.02668-	0.18080-	0.12547-
S_ Number of FLG/panicle (7)	0.20948	0.20485	0.10136-	0.25544
S_ Number of UFLG/panicle (8)	0.21517	0.14578-	0.14055-	0.22629-
S_ Number of FLG/plant (9)	0.22746	0.17629	0.04955-	0.28433
S_ Number of UFLG/plant (10)	0.24824	0.16631-	0.04923	0.19355-
S_ Number of Seed/plant (11)	0.29030	0.10441-	0.03163	0.09982-
(12) S_%Fertility	0.19191	0.22949	0.07573-	0.24234
S_Total Seed WT/plant (13)	0.21855	0.20126	0.01027-	0.25228
(14) S_1000seedWT	0.24231	0.06993	0.04325	0.20879-
(15) S_SeedWT/Panicle	0.16120	0.24297	0.06543-	0.19977
Eigenvalues	**8.8526**	**6.9415**	**3.450**	**2.3810**
% of variance	**29.509**	**23.138**	**11.450**	**7.937**

ตารางที่ 12 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าโดยตรงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในชุดการทดลองที่ 3



ภาพที่ 97 แผนภาพรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยบนแกน PC1 และ PC2 โดยใช้โดยใช้ค่าโดยตรงของพารามิเตอร์ลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตที่เติบโตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยของข้าวจำนวน 79 พันธุ์ในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์โดยตรงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษระทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิต จากการตอบสนองของข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ และได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน (ภาพที่ 97 และ ตารางที่ 12) พบว่าข้าวในประชากรทั้งหมด มีการกระจายตัวที่เกาะกลุ่มกันอยู่ตรงกลางของกราฟ และไม่สามารถแยกความแตกต่างประชากรออกได้มากกว่าสองกลุ่ม โดยที่แกน PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของโมเดลได้ 29.5% PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนชุดข้อมูลได้ 23.3% และแกน PC3 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 3.45% โดยมีค่า Eigenvalues 8.8526 6.9415 และ 3.450 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากทั้งสามแกน PC จะพบว่ามีข้าวบางพันธุ์ที่ค่อนข้างกระจายตัวแยกออกจากกลุ่มค่อนข้างมากอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง และพันธุ์พลายงามปราจีนบุรี (วงกลมสีแดง) และสำหรับแกน PC1 ค่าFactor loading มีความสัมพันธ์กับค่าลักษณะทางการเกษตรและค่าองค์ประกอบผลผลิตของต้นกล้าข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดเป็นระยะเวลา 12 วันเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่

สำหรับผลการวิเคราะห์กลุ่มจะอธิบายโดยใช้แผนภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งจะแสดงระดับการแสดงออกของสีเขียว (ค่าที่แสดงออกน้อยในพารามิเตอร์ต่าง ๆ) จนถึงค่าสีแดงเข้ม (ค่าที่แสดงออกมากในพารามิเตอร์ต่าง ๆ) โดยเรียงลำดับตั้งแต่พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในภาวะเติบโตในภาวะปกติและภาวะเครียดจากความเค็ม ได้แก่

ความสูงต้นข้าว จำนวนกอต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น อัตราส่วนรวงต่อกอ มวลชีวภาพส่วนต้น ความยาวรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อต้น จำนวนเมล็ดลีบต่อต้น จำนวนเมล็ดรวมทั้งหมด อัตราการผสมติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้น น้ำหนักพันเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อรวง ควบคู่กับ dendrogram และเมื่อพิจารณาที่ดัชนีความต่าง 8.4616 ของ dendogram (ภาพที่ 96) พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มที่ดูจะสอดคล้องและสมเหตุสมผลได้ 7 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ I ประกอบด้วยข้าวจำนวน 8 พันธุ์ ได้แก่ หลวงประทาน (166) เศรษฐี (164) เหลืองควายล้า (162) เหลืองควายล้า (172) ขาวตาเชื้อ (183) กข19 (154) เหลืองใบลด (185) และ IR29 (102) ลักษณะร่วมของข้าวในกลุ่มนี้คือ เป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างมีค่าต่าง ๆ เกี่ยวกับลักษณะการเกษตร ได้แก่ ค่าการแตกกอค่าการออกรวง และค่ามวลชีวภาพค่อนข้างสูงเมื่อเติบโตในภาวะปกติในขณะที่ค่าที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบผลผลิตมีค่าปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อต้นกล้าข้าวผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน จะพบว่า ค่าที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรและค่าองค์ประกอบผลผลิตโดยภาพรวมมีค่าสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร

กลุ่มที่ II ประกอบด้วยข้าวจำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ เฉี้ยงพัทลุง (199) ส่ามรวง (173) เหลืองปลากิม (174) และ กข25 (158) โดยมีข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่เป็นพันธุ์ที่แยกออกจากกลุ่มประชากร มีค่าการแตกกอ การออกรวง และ อัตราส่วนรวงต่อกอที่ค่อนข้างสูงแต่การออกผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำมากแม้จะเติบโตในภาวะปกติ ในขณะที่ในกลุ่มข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วันค่าการแตกกอ การออกรวง และอัตราส่วนโดยภาพรวมมีค่าสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับภาวะปกติ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบผลผลิตในภาพรวมค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร

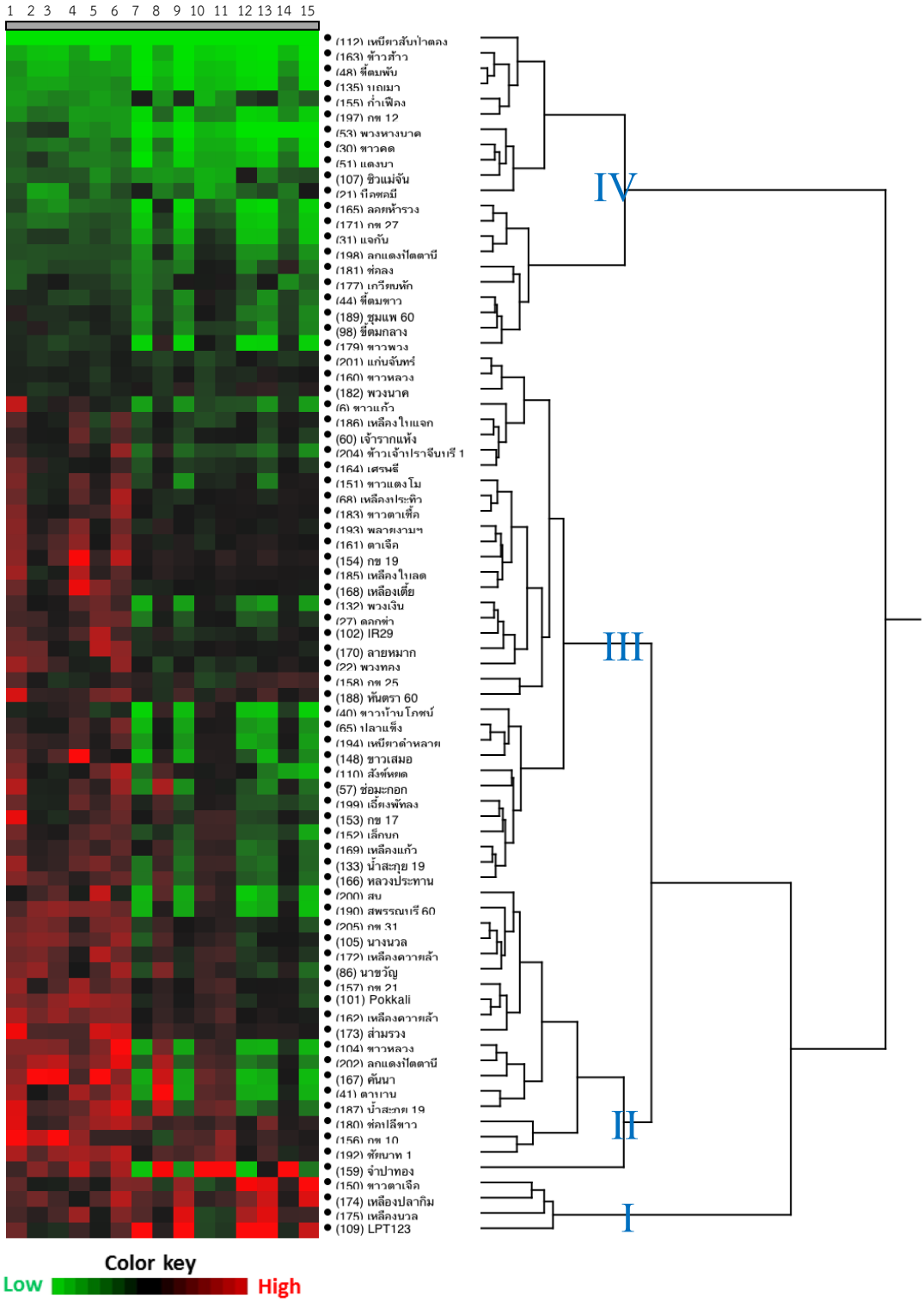
กลุ่มที่ III ประกอบด้วยข้าวจำนวน 21 พันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท 1 (192) น้ำสะกุย19 (133) ตาบาน (41) ขาวหลวง (104) สุพรรณบุรี 60 (190) นางนวล (105) น้ำสะกุย19 (187) เหลืองนวล (175) เหนียวดำหลาย (194) ดอกข่า (27) ปลาแข็ง (65) ช่อปลีขาว (180) LPT123 (109) ขาวเสมอ (148) ตาเจือ (161) เหลืองใบแจก (150) ขาวแตงโม (151) พวงนาค (182) เกวียนหัก (177) และ กข 27 (171) ลักษณะร่วมของข้าวกลุ่มนี้ คือเมื่อข้าวเติบโตในภาวะปกติ ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตร ได้แก่ ความสูงต้น ค่าการแตกกอ ออกรวง อัตราส่วนรวงต่อกอ ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ค่าน้ำหนักเมล็ดดีค่อนข้างต่ำและปริมาณเมล็ดลีบ ค่อนข้างสูง รวมไปถึงค่าองค์ประกอบผลผลิตอื่นๆที่ค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อต้นกล้าข้าวผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มจะให้ค่าที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบผลผลิตได้แก่ ค่าความสูง ค่าการแตกกอ ค่าการออกรวง อัตราส่วนรวงต่อกอ ที่เพิ่มมากขึ้น แต่องค์ประกอบผลผลิตอื่นๆ ยังคงมีค่าโดยรวมค่อนข้างต่ำอยู่ เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร

กลุ่มที่ IV ประกอบด้วยข้าวจำนวน 6 พันธุ์ ได้แก่ กข31 (205) เหลืองประทิว (68) Pokkali (101) พลายงามปราจีนบุรี (193) กข10 (156) และ หันตรา 60 (188) โดยลักษณะเด่นของข้าวในกลุ่มนี้ของกลุ่มข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ พบว่า ค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรโดยภาพรวมอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพืชได้รับภาวะเค็มระดับสูงเป็นระยะเวลา 12 วันในระยะต้นกล้า ค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรและค่าองค์ประกอบของผลผลิตในภาพรวมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร

กลุ่มที่ V ประกอบด้วยข้าวจำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ สังข์หยด (110) ลายหมาก (170) เล็กนก (152) และ จำปาทอง (159) ข้าวสี่พันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่มีค่าความสูงต้นที่ค่อนข้างสูงมาก อยู่ในช่างระหว่าง 120 - 130 ซม. แต่ค่าอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรที่อยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ในขณะที่ ค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะองค์ประกอบผลผลิตมีค่าอยู่ในสัดส่วนที่ค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร และสำหรับกลุ่มข้าวที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วันจะพบว่า ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรและค่าองค์ประกอบผลผลิตที่ไม่สูงมากนัก ยกเว้นค่ามวลชีวภาพต้นและค่าความยาวรวง ที่ค่อนข้างสูงกว่าภาวะปกติและมีค่าสูงกว่าพันุ์อื่นในประชากรที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม

กลุ่มที่ VI ประกอบด้วยข้าวจำนวน 22 พันธุ์ ได้แก่ ช่อมะกอก (57) เหลืองแก้ว (169) คันนา (167) พวงทอง (22) เจ้ารากแห้ง (60) กข17 (153) กข21 (157) ลูกแดงปัตตานี (202) นาขวัญ (86) เหลืองเตี้ย (168) ขาวหลวง (160) ข้าวเจ้าปราจีนบุรี (204) แก่นจันทร์ (201) ขาวแก้ว (6) ขาวบ้านโภชณ์ (40) พวงเงิน (132) ขาวพวง (179) ลอยห้ารวง (165) ชุมแพ60 (189) ขี้ตมขาว (44) สูน (200) และ บือซอมี (21) กลุ่มนี้ มีการแสดงออกที่คล้ายคลึงกับกลุ่ม VII แต่ในภาพรวมมีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงกว่าเล็กน้อย

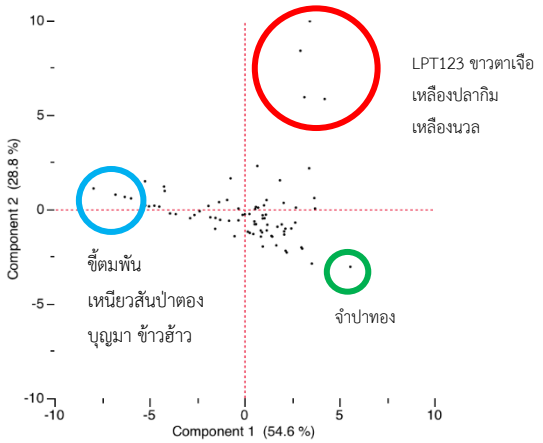
กลุ่ม VII ประกอบด้วยข้าวจำนวน 14 พันธุ์ ได้แก่ ช่อลุง (181) ขี้ตมกลาง (98) ซิวแม่จัน (107) ขาวคด (30) ลูกแดงปัตตานี (198) แจกัน (31) แดงนา (51) ข้าวฮ้าว (163) ก่ำเฟือง (155) กข 12 (197) ขี้ตมพัน (48) บุญมา (135) พวงหางนาค (53) และ เหนียวสันป่าตอง (112) ข้าวในกลุ่มนี้ค่อนข้างมีความไวต่อความเข้นข้นต่อเกลือรัดับสูงเป็นพิเศษ โดยจะพบว่า สำหรับค่าของลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตมีความแปรผันแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ แต่เมื่อต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดระดับสูงเป็นระยะเวลา 12 วัน ค่าดังกล่าวจะลดลงน้อยมาก ซึ่งต้นกล้าบางพันธุ์เช่น เหนียวสันป่าตอง แสดงอาการต้นตายตั้งแต่อยู่ในระยะต้นกล้า สำหรับบางพันธุ์ ถึงแม้จะมีการออกรวงให้ผลผลิต แต่ผลผลิตที่ได้ค่อนข้างน้อยมากเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร



ภาพที่ 98 แผนภาพ dendogram และ heatmap แสดงการจัดกลุ่มโดยใช้โดยตรงของค่าลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตที่เติบโตในภาวะปกติและที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะ 12 วันในระยะต้นกล้าในชุดการทดลองที่ 3

Trait	PC			
	1	**2**	**3**	**4**
	Component score coefficiennt			
YSI_Plant height	0.31804	0.05400-	0.27016-	0.33268-
Y_SINumber of Tiller	0.30255	0.11530-	0.11160-	0.41901
YSI_Number of Panicle	0.30539	0.12024-	0.19087-	0.37958
YSI_Panicle/Tiller ratio	0.30982	0.06306-	0.14577-	0.41800-
YSI_Shoot Biomass	0.31142	0.12185-	0.21622-	0.04839
YSI_Panicle Length	0.32483	0.04330-	0.18396-	0.35239-
YSI_Number of FLG/panicle	0.14607	0.41091	0.02584-	0.04067
YSI_Number of UFLG/panicle	0.27866	0.16868-	0.05918	0.14431-
YSI_Number of FLG/plant	0.17050	0.40226	0.02865-	0.16528
YSI_Number of UFLG/plant	0.28108	0.20773-	0.29565	0.25195
YSI_Number of Seed/plant	0.30567	0.14666-	0.22127	0.24563
YSI_%Fertility	0.13441	0.43124	0.01486-	0.09014-
YSI_Total Seed WT/plant	0.17265	0.40803	0.07386	0.12287
YSI_1000seedWT	0.22102	0.01205-	0.79208	0.26711-
YSI_SeedWT/Panicle	0.13541	0.41504	0.04312	0.01590
Eigenvalues	**8.1933**	**4.3151**	**0.7852**	**0.4719**
% of variance	**54.622**	**28.767**	**5.235**	**3.146**

ตารางที่ 13 ค่า Eigenvalues ค่า Factor loading จากแกน PC1 PC2 PC3 และ PC4 และการกระจายตัวของค่าความแปรปรวนรวมที่สกัดได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่แสดงถึงค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในชุดการทดลองที่ 3



ภาพที่ 99 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและแผนภาพสองมิติโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตที่เติบโตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยของข้าวจำนวน 79 พันธุ์ในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าดัชนีเสียรภาพของลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความสูงต้นข้าว จำนวนกอต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น อัตราส่วนรวงต่อกอ มวลชีวภาพส่วนต้น ความยาวรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อต้น จำนวนเมล็ดลีบต่อต้น จำนวนเมล็ดรวมทั้งหมด อัตราการผสมพันธุ์ติด น้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้น น้ำหนักพันเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อรวง พบว่ากราฟ PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้สูงถึงถึง 54.622% และ แกน PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนชุดข้อมูลได้ 28.8% โดยมีค่า Eigenvalues เท่ากับ 8.1933 และ 4.3151 ตามลำดับ สำหรับแกน PC3 จะไม่นำมาพิจารณาองค์ประกอบหลัก เนื่องจาก %Cumulative ที่ใช้ในการอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลของแกน PC1 และแกน PC2 มีค่ามากกว่า 80% นอกจากนี้รูปแบบการกระจายตัวของข้าวในประชากร สามารถแบ่งกลุ่มประชากรข้าวได้ 4 กลุ่มประชากรได้อย่างชัดเจน ได้แก่ กลุ่มที่ 1 แยกตัวออกไปทางด้านบนของกราฟที่พล๊อตระหว่างแกน PC1และ PC2 (วงกลมสีแดง) ซึ่งประกอบด้วยข้าวจำนวน 4 พันธุ์ (LPT123 ขาวตาเจือ เหลืองปลากิม และ เหลืองนวล) กลุ่มที่ 2 แยกตัวไปทางด้านขวาของกราฟแกน PC1 และ PC2 (วงกลมสีเขียว) ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ จำปาทอง กลุ่มที่ 3 มีการกระจายตัวอยู่ทางด้านซ้ายของกราฟที่พล๊อตด้วยแกน PC1 และ PC2 (วงกลมสีน้ำเงิน) ได้แก่ ขี้ตมพัน, เหนียวสันป่าตอง, บุญมา และ ข้าวฮ้าว และกลุ่มที่ 4 ในพันธุ์อื่นๆในประชากรโดยมีการเกาะกลุ่มกันอยู่ตรงกลางของกราฟ PCA ในทุกๆ แกน

จากผลการวิเคราะห์กลุ่ม จะอธิบายโดยใช้แผนภาพความร้อน (heatmap) ซึ่งจะแสดงระดับการแสดงออกของสีเขียว (ค่าที่แสดงออกน้อยในพารามิเตอร์นั้น ๆ) จนถึงค่าสีแดงเข้ม (ค่าที่แสดงออกมากในพารามิเตอร์นั้น ๆ) โดยเรียงลำดับตั้งแต่พารามิเตอร์ ความสูงต้นข้าว จำนวนกอต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น อัตราส่วนรวงต่อกอ มวลชีวภาพส่วนต้น ความยาวรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อต้น จำนวนเมล็ดลีบต่อต้น จำนวนเมล็ดรวมทั้งหมด อัตราการผสมพันธุ์ติด น้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้น น้ำหนักพันเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อรวง ในภาวะปกติและในภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ควบคู่กับ dendrogram เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความต่าง 7.6229 พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มที่ดูจะสอดคล้องและสมเหตุสมผลได้ 4 กลุ่มดังนี้

กลุ่ม I ประกอบด้วยข้าวจำนวน 4 พันธุ์ได้แก่ LPT123 (109) เหลืองนวล (175) เหลืองปลากิม (174) และ ขาวตาเจือ (150) ซึ่งข้าวในกลุ่มนี้ แยกตัวออกจากกลุ่มประชากรค่อนข้างชัดเจนและสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยจะพบว่า ข้าวในกลุ่มนี้ มีลักษณะพิเศษร่วมกันคือ สามารถรักษาเสถียรภาพของค่าความสูงต้น อัตราการแตกกอ การออกรวง อัตราส่วนรวงต่อกอ มวลชีวภาพส่วนต้น ความยาวรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง มีค่าใกล้เคียงค่า 1 ในขณะเดียวเมื่อข้าวได้รับผลกระทบจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน ดัชนีเสถียรภาพของค่าที่เกี่ยวกับองค์ประกอบผลผลิตได่แก่ จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดต่อต้น อัตราการผสมติดรวง น้ำหนักเมล็ดรวมต่อต้น และน้ำหนักเมล็ดรวมต่อรวง ค่อนข้างสูงอย่างมาก โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพสูงในช่วงค่า 5 - 10

กลุ่ม II ประกอบด้วยข้าวจำนวน 19 พันธุ์ ได้แก่ จำปาทอง (159) ชัยนาท1 (192) กข10 (156) ช่อปลีขาว (180) น้ำสะกุย19 (187) ตาบาน (41) คันนา (167) ลูกแดงปัตตานี (202) ขาวหลวง (104) สามรวง (173) เหลืองควายล้า (162) Pokkali (101) กข21 (157) นาขวัญ (86) เหลืองควายล้า (172) นางนวล (105) กข31 (205) สุพรรณบุรี60 (190) และสูน (200) โดยข้าวในกลุ่มนี้ มีลักษณะร่วมกันอย่างชัดเจน โดยมีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพได้ค่อนข้างดีมากโดยรักษาค่าให้อยู่ในช่วงประมาณ 1 หรือสูงกว่า 1 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ของค่าดัชนีเสถียรภาพความสูงต้น การแตกกอ การออกรวง อัตราส่วนรวงต่อกอ มวลชีวภาพส่วนต้น ความยาวรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง และจำนวนเมล็ดลีบต่อต้น

กลุ่มที่ III ประกอบด้วยข้าวจำนวน 35 พันธุ์ ได้แก่ หลวงประทาน (166) น้ำสะกุย19 (133) เหลืองแก้ว (169) เล็กนก (152) กข17 (153) เฉี้ยงพัทลุง (199) ช่อมะกอก (57) สังข์หยด (110) ขาวเสมอ (148) เหนียวดำหลาย (194) ปลาแข็ง (65) ขาวบ้านโภชณ์ (40) หันตรา 60 (188) กข25 (158) พวงทอง (22) ลายหมาก (170) IR29 (พันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อความเค็ม) (102) ดอกข่า (27) พวงเงิน (132) เหลืองเตี้ย (168) เหลืองใบลด (185) กข19 (154) ตาเจือ (161) พลายงามปราจีนบุรี (193) ขาวตาเชื้อ (183) เหลืองประทิว (68) ขาวแตงโม (151) เศรษฐี (164) ข้าวเจ้าปราจีน (204) เจ้ารากแห้ง (60) เหลืองใบแจก (186) ขาวแก้ว (6) พวงนาค (182) ขาวหลวง (160) และ แก่นจันทร์

(201) ลักษณะการแสดงออกร่วมในข้าวกลุ่มนี้ เป็นกลุ่มที่มีการรักษาค่าดัชนีเสียรภาพของลักษณะทางการเกษตรได้ค่อนข้างดี ได้แก่ ค่าความสูงต้น ค่าการแตกกอ การออกรวง อัตราส่วนรวงต่อกอ มวลชีวภาพส่วนต้น และ ความยาวรวง โดยในภาพรวมมีค่าดัชนีดังกล่าวลดลงกว่ากลุ่มที่ II ประมาณ 10%นอกจากนี้ ค่าดัชนีเสถียรภาพของลักษณะองค์ประกอบของผลผลิตอื่นๆ มีแนวโน้มที่ลดลงกว่าข้าวในกลุ่ม II ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆในประชากร โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพในภาพรวมเกาะกลุ่มอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 - 0.9 แต่อย่างไรก็ตาม ในลักษณะองค์ประกบผลผลิตในข้าวบางพันธุ์ในข้าวกลุ่ม III อาจจะมีค่าที่กระโดดออกไปไม่เกาะกลุ่มกับพันธุ์อื่นในประชากร

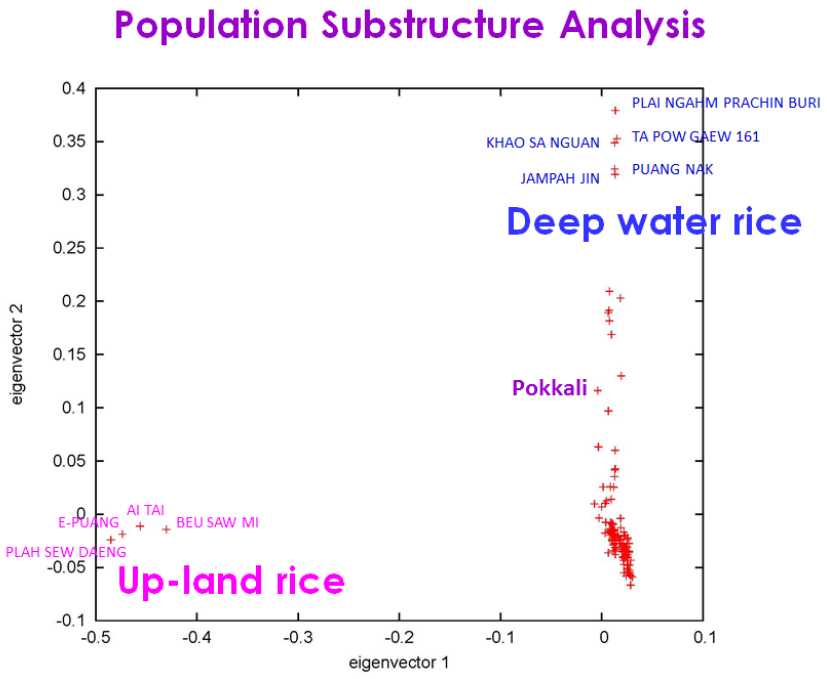
ข้าวกลุ่มที่ IV เป็นกลุ่มสุดท้ายประกอบด้วยข้าวทั้งหมด 21 พันธุ์ ได้แก่ ขาวพวง (179) ขี้ตมกลาง (98) ชุมแพ60 (189) ขี้ตมขาว (44) เกวียนหัก (177) ช่อลุง (181) ลูกแดงปัตตานี (198) แจกัน (31) กข27 (171) ลอยห้ารวง (165) บือซือมี (21) ชิวแม่จัน (107) แดงนา (51) ขาวคด (30) พวงหางนาค (53), กข12 (197), ก่ำเฟือง (155), บุญมา (135), ขี้ตมพัน (48), ข้าวฮ้าว (163) และเหนียวสันป่าตอง (112) ซึ่งเป็นเป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.00 – 0.50 เท่านั้น โดยข้าวในกลุ่มนี้ยังรวมพันธุ์ เหนียวสันป่าตอง ข้าวฮ้าว ขี้ตมพัน และบุญมา ซึ่งเป็น 4 พันธุ์ที่แยกตัวออกจากพันธ์อื่นในประชากรมากที่สุด

สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักระหว่างการใช้ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยตรงและการใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตในการทดลองในชุดที่ 3 พบว่าการใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพมาใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะช่วยอธิบายความแปรปรวนของโมเดลในแกน PC1 ได้สูงมากกว่าการใช้ค่าโดยตรงมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและสำหรับผลการจัดวิเคราะห์กลุ่มเปรียบเทียบระหว่างการใช้ค่าโดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพพบว่า มีความแตกต่างในการจัดกลุ่มทั้งสองรูปแบบ

3. ผลการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนม (Genome-wide association study)

3.1 ผลการศึกษา Population Substructure Analysis

จากกลุ่มประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยและข้าวปรับปรุงพันธุ์ต่าง ๆ ที่รวบรวมได้จากทั่วประเทศไทย จำนวน 174 พันธุ์จะถูกนำมาถอดรหัสหรือจีโนไทป์และสร้างเป็นฐานข้อมูลสนิปส์ทั่วทั้งจีโนม ซึ่งมีทั้งสิ้น 223,800 ตำแหน่ง จากฐานข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างย่อยของประชากร (population substructure analysis) และจากการวิเคราะห์ดังกล่าว จะพบว่าในกลุ่มข้าวที่ศึกษามีโครงสร้างทางพันธุกรรม substructure ที่แยกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้าวไร่ (upland rice) ข้าวขึ้นน้ำ (deep-water rice) และข้าวนาสวน (lowland rice) จากข้อมูลที่ได้ จะเลือกใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Multivariate linear mixed model (MLM) ด้วยโปรแกรม GEMMA ในการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงทั้งจีโนมในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 100 Population substructure ที่พบในจีโนมของข้าวพื้นเมืองไทย เมื่อพิจารณาโดยใช้ eigenvector

3.2 ผลการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะการทนทานความเค็มในข้าวไทย

ในการศึกษาจะแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นสองส่วน เนื่องจากการทำ SNPs calling มีการแยกส่วนของ SNPs ที่อยู่บริเวณของ Promoter และ ส่วนที่เป็น SNPs ที่ไม่ใช่ส่วนของ Promoter และ Indel สำหรับส่วนวิธีการทำ SNPs calling และวิธีการทำศึกษาจะแสดงใน ภาคผนวก ก

จากผลการทดลองในส่วนแรกที่แสดงการศึกษาการตอบสนองของข้าวทั้งสามชุดการทดลอง รวมทั้งหมด 174 พันธุ์ พบว่า ในแต่ละชุดการทดลองนั้น มีความแปรผันกันทั้งทางด้านการตอบสนอง และ ในแต่ละชุดการทดลองนั้นมีระยะเวลาในการเก็บข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกัน สำหรับวิธีการที่นำเอาค่าการตอบสนองในการศึกษาครั้งนี้ คือ จะเลือก timing ที่กลุ่มประชากรพันธุ์ข้าวในแต่ละช่วงเวลาที่ศึกษาค่าการตอบสนองแต่ละพารามิเตอร์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุดในแต่ละช่วงเวลา เพื่อที่จะทำให้การ ศึกษาการเชื่อมโยง สอดคล้องกับหลักความเป็นจริงมากที่สุด โดยการเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำ associate ในครั้งนี้ (ภาพที่ 101) คือ

- ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาในวันที่ 6 หลังจากได้รับภาวะเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1
- ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาในวันที่ 6 หลังจากได้รับภาวะเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 2
- ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาในวันที่ 9 หลังจากได้รับภาวะเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 3

สำหรับข้อมูลการตอบสนองในวันที่ 3 และ 9 จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจาก ชุดข้อมูลการตอบสนองไม่มีความในประชากรไม่มีความแตกต่างเพียงพอที่จะใช้ในการศึกษาความเชื่อมโยงทั้งจีโนมและจำนวนชุดข้อมูลที่น้อยเกินไปกว่าที่จะศึกษาหาความเชื่อมโยงทั้งจีโนม(ภาพที่ 101)

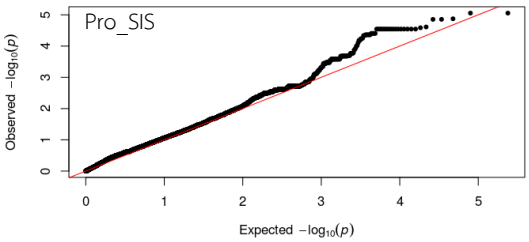
Crop 1	D0	D3	D6	-	-
Crop 2	D0	D3	D6	D9	-
Crop 3	D0	-	D6	D9	D12

ภาพที่ 101 ชุดข้อมูล (กรอบสีเหลือง) ที่จะนำไปใช้ในการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะทนทานความเค็มในประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย

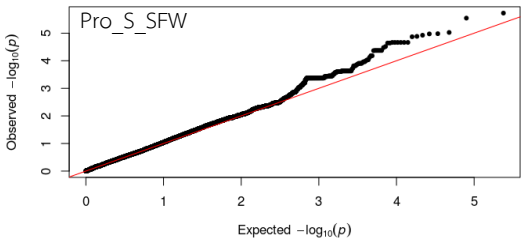
จากข้อมูลการศึกษา Population substructure และ การศึกษาฟีโนไทป์ต่าง ๆ ต่อการศึกษาการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความเค็มจากชุดข้อมูลที่ได้จากการตอบสนองในชุดการทดลองที่ 1 ชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3 จะถูกนำมาวิเคราะห์ความเชื่อมโยงด้วย Gemma tool โดยใช้วิธี Univariate linear mixed model เพื่อทำการสร้าง quartile-quartile plot (qq plot) (ภาพที่ 102 - ภาพที่ 105) สำหรับใช้ในการประเมินว่า ชุดข้อมูลจากฟีโนไทป์หรือพารามิเตอร์ที่สนใจนำมาวิเคราะห์นั้นมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์การเชื่อมโยงหรือไม่ โดยจะพิจารณาจากรูปแบบการกระจายตัวของค่า observed p-value ก่อนว่าว่าค่าโดยส่วนใหญ่มีการกระจายตัวแบบปกติ (uniform distribution) หรือไม่ สำหรับชุดข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการพิจารณาความเชื่อมโยง ค่า observed p-value เกือบทั้งหมดควรจะมีการกระจายแบบ uniform distribution ยกเว้นบางบริเวณของสนิปส์เท่านั้นที่จะมีค่าแยกตัวสูงขึ้น กระจายออกไปจากเส้น uniform distribution ซึ่งจะเป็นตำแหน่งของสนิปส์ที่คาดว่าจะสัมพันธ์กับลักษณะที่ศึกษา ในทางกลับกัน หากมีค่า observed p-value ปริมาณมากที่ไม่เป็นรูปแบบ uniform distribution อาจจะเป็นสาเหตุมาจากเกิด false positive ซึ่งอาจจะทำให้การวิเคราะห์การเชื่อมโยงมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

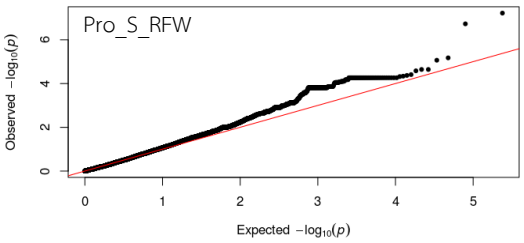
A



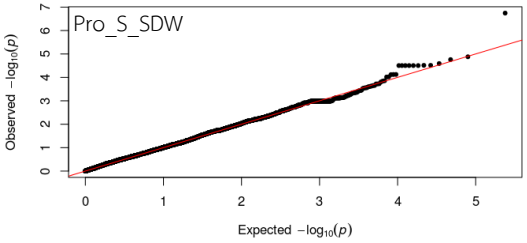
B



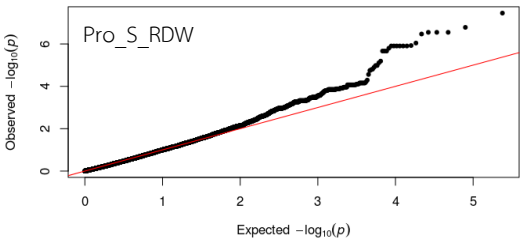
C



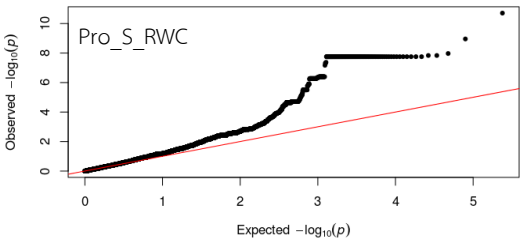
D



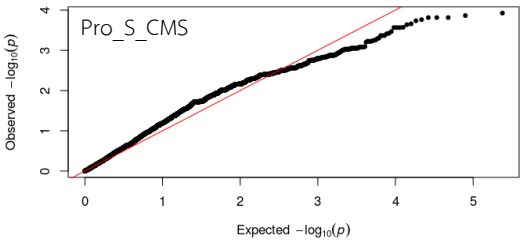
E



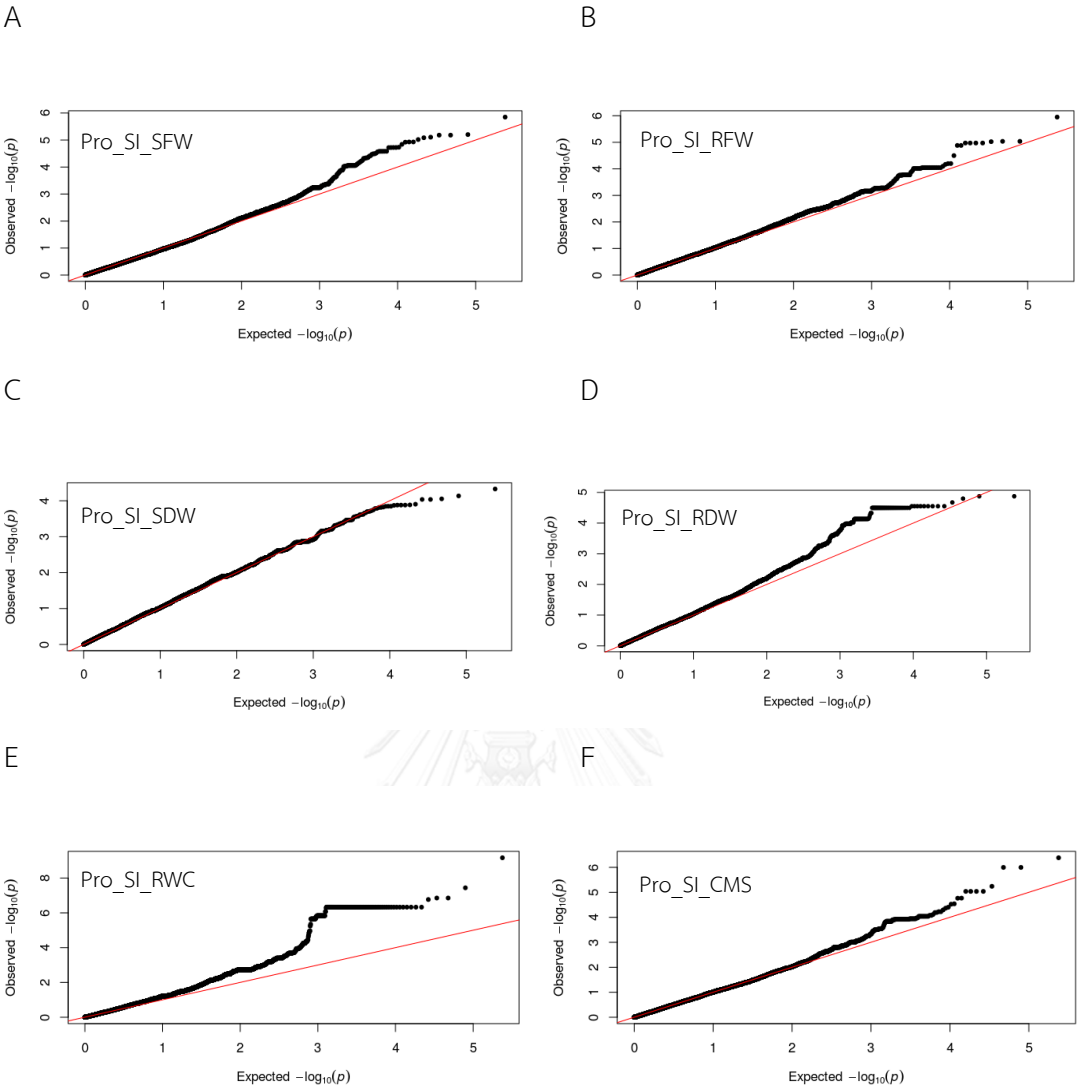
F



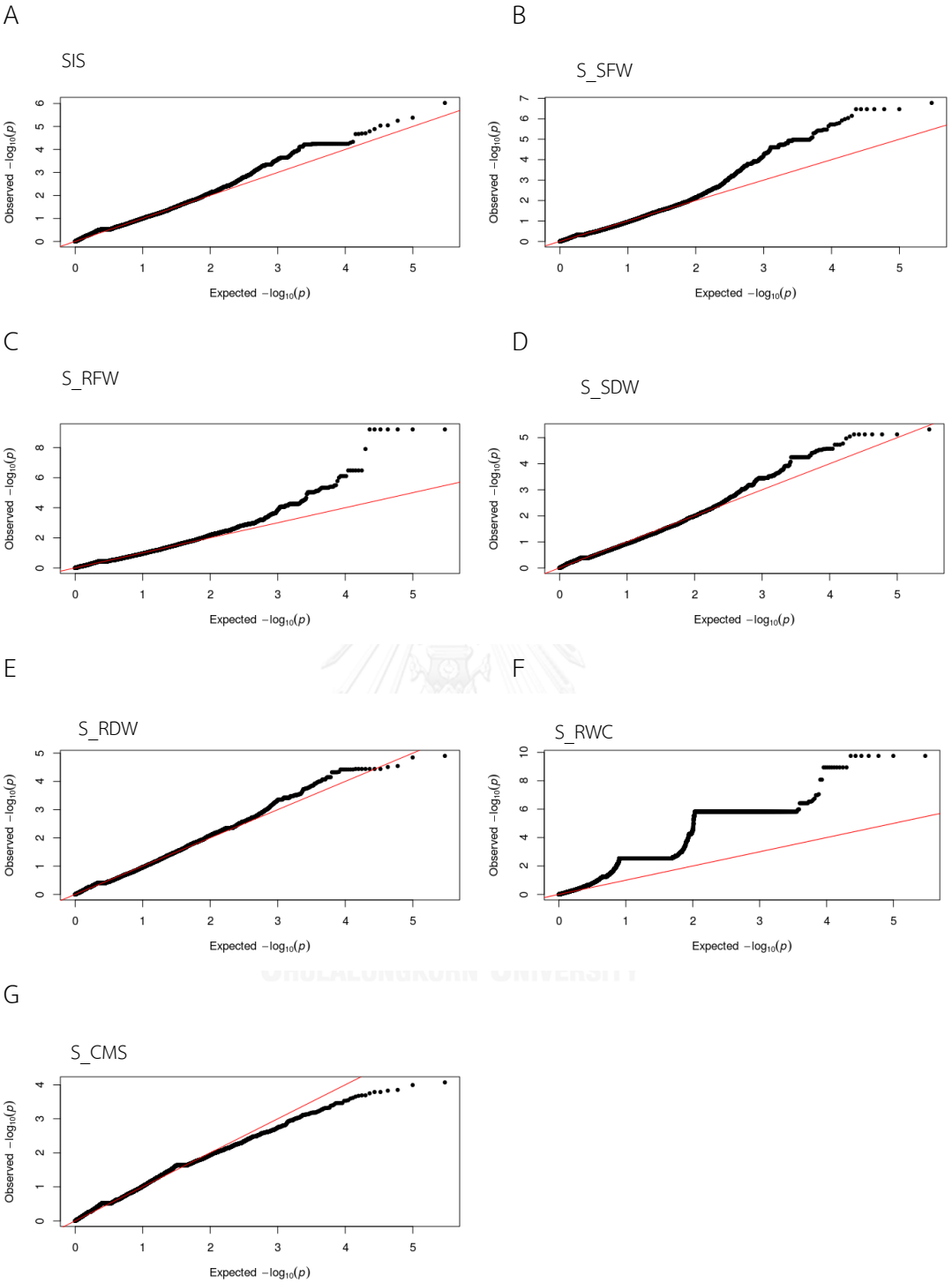
G



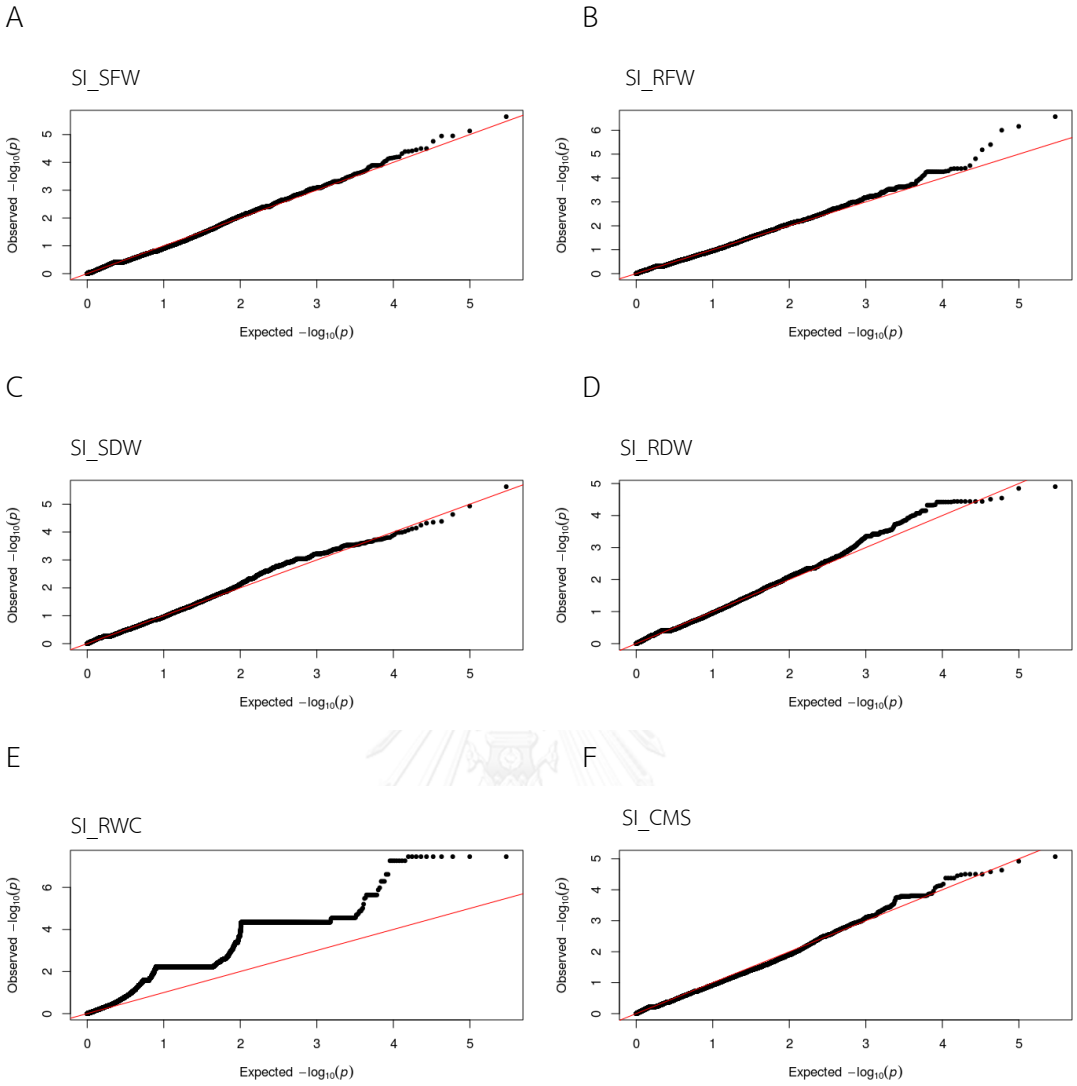
ภาพที่ 102 quantile-quantile plot ของค่าพารามิเตอร์โดยตรงที่เติบโตในภาวะเค็มในส่วนของโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (F) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (G) ในระยะต้นกล้า



ภาพที่ 103 quantile-quantile plot ของค่าพารามิเตอร์ดัชนีเสถียรภาพในส่วนของโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (F) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (G) ในระยะต้นกล้า



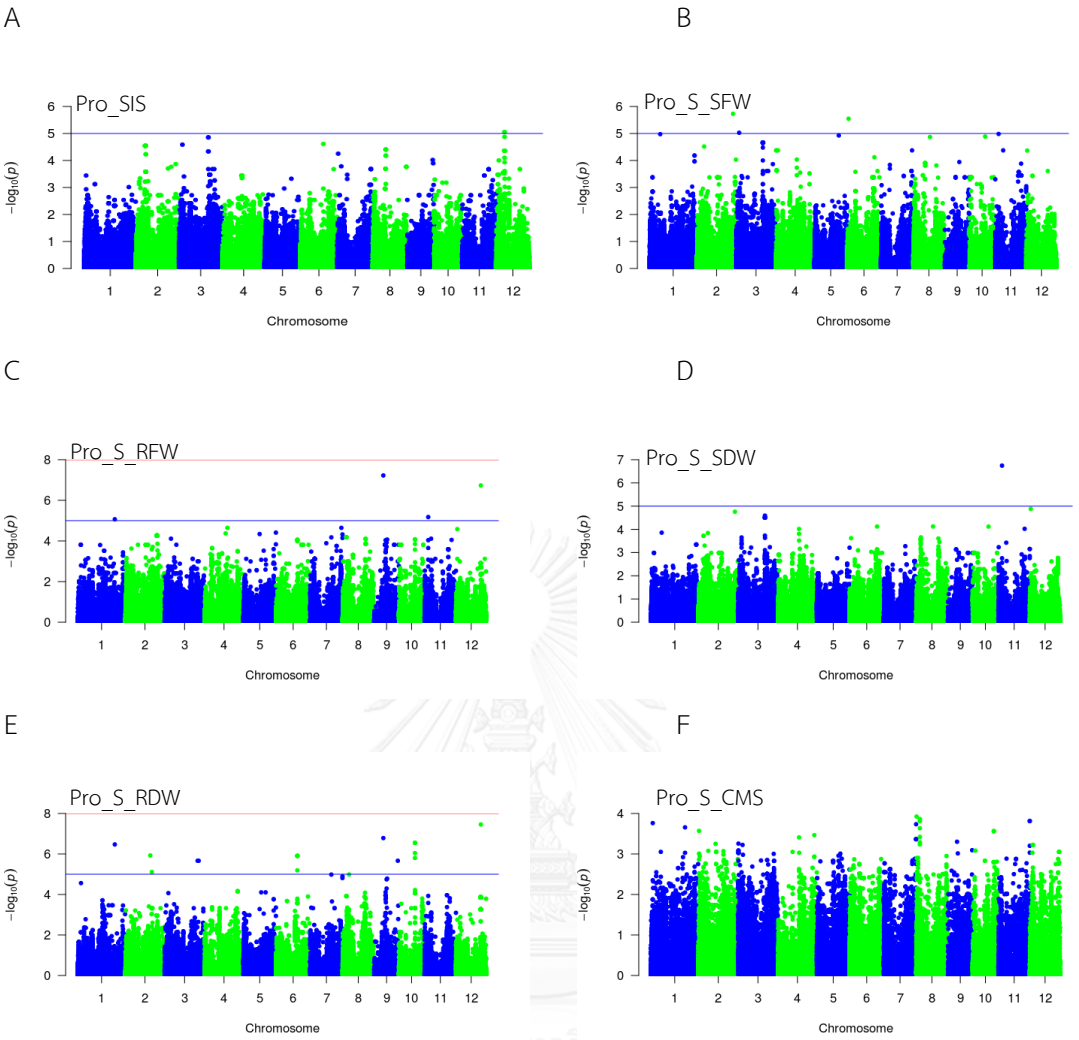
ภาพที่ 104 quantile-quantile plot ของค่าพารามิเตอร์โดยตรงที่เติบโตในภาวะเค็มในส่วนที่นอกเหนือโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (F) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (G) ในระยะต้นกล้า



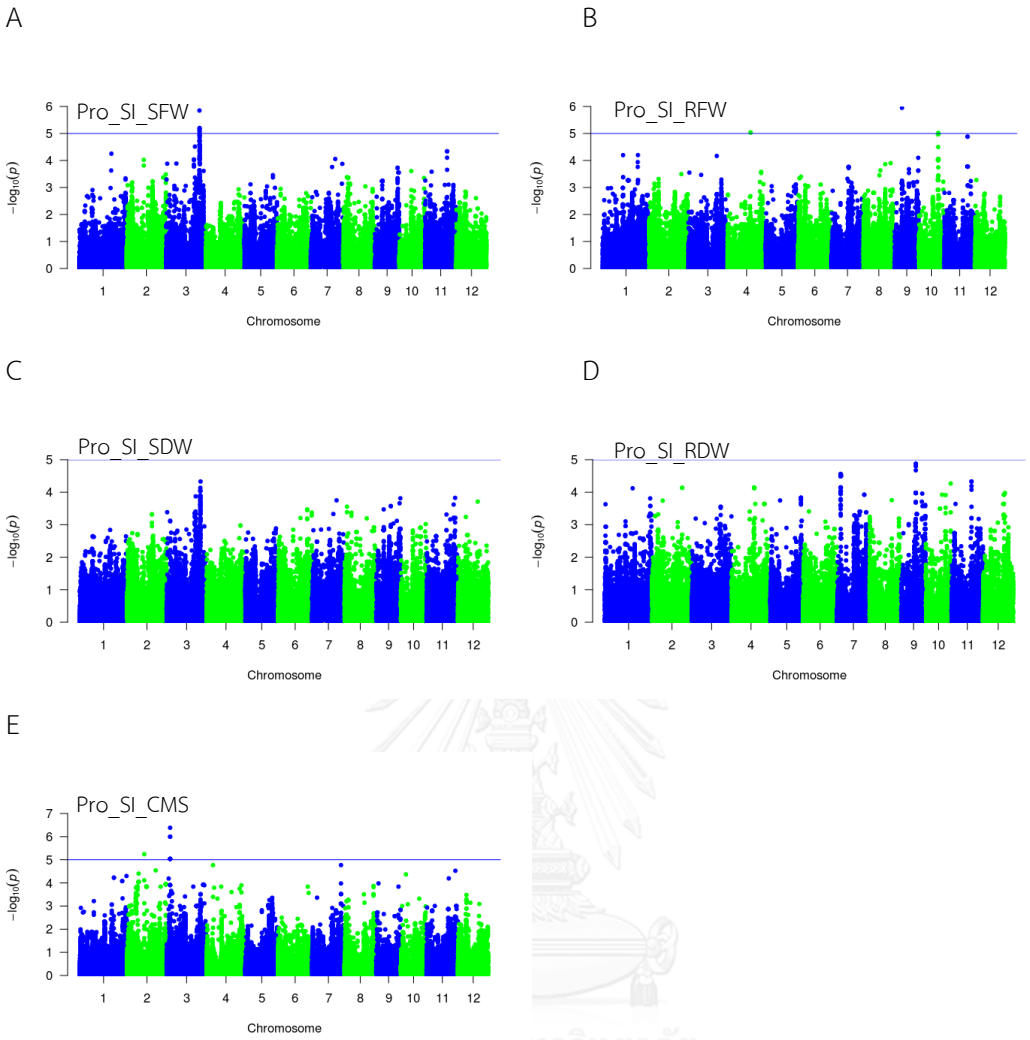
ภาพที่ 105 quantile-quantile plot ของค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่างในส่วนที่นอกเหนือโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (F) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (G) ในระยะต้นกล้า

การศึกษาหา qq plot สำหรับการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมในระยะต้นกล้าโดยศึกษาการเชื่อมโยงกับสนิปส์ในบริเวณโปรโมเตอร์ โดยใช้พารามิเตอร์โดยตรงที่ตอบสนองในภาวะเครียดจากความเค็มและค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม ค่าน้ำหนักสดต้น ค่าน้ำหนักสดราก ค่าน้ำหนักแห้งต้น ค่าน้ำหนักแห้งราก และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ ที่เติบโตในภาวะเครียดจากความเค็ม (ภาพที่ 102 และภาพที่ 103) จะพบว่า ค่าโดยตรงในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม ค่าน้ำหนักสดต้น ค่าน้ำหนักสดราก ค่าน้ำหนักแห้งต้น ค่าน้ำหนักแห้งราก และ ค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดต้น ค่าน้ำหนักสดราก ค่าน้ำหนักแห้งต้น ค่าน้ำหนักแห้งราก และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ จะมีรูปแบบของ qq plot คล้ายคลึงคลึงกัน คือ ตำแหน่งสนิปส์ส่วนมากที่มีค่า observed probability สูงว่า expected probability และอยู่ในแนวของ uniform distribution โดยที่บางตำแหน่งมีค่าไม่อยู่ใน uniform distribution ซึ่งเป็นตำแหน่งที่คาดว่า parameter นั้นจะให้ข้อมูลการเชื่อมโยงที่ดี ในขณะที่ค่าโดยตรงของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีรูปแบบของตำแหน่งสนิปส์ส่วนมากที่มีค่า observed probability สูงว่า expected probability เช่นเดียวกับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีตำแหน่งของสนิปส์ใดที่มีค่า –log p-value ที่สูงกว่า 10^{-5}

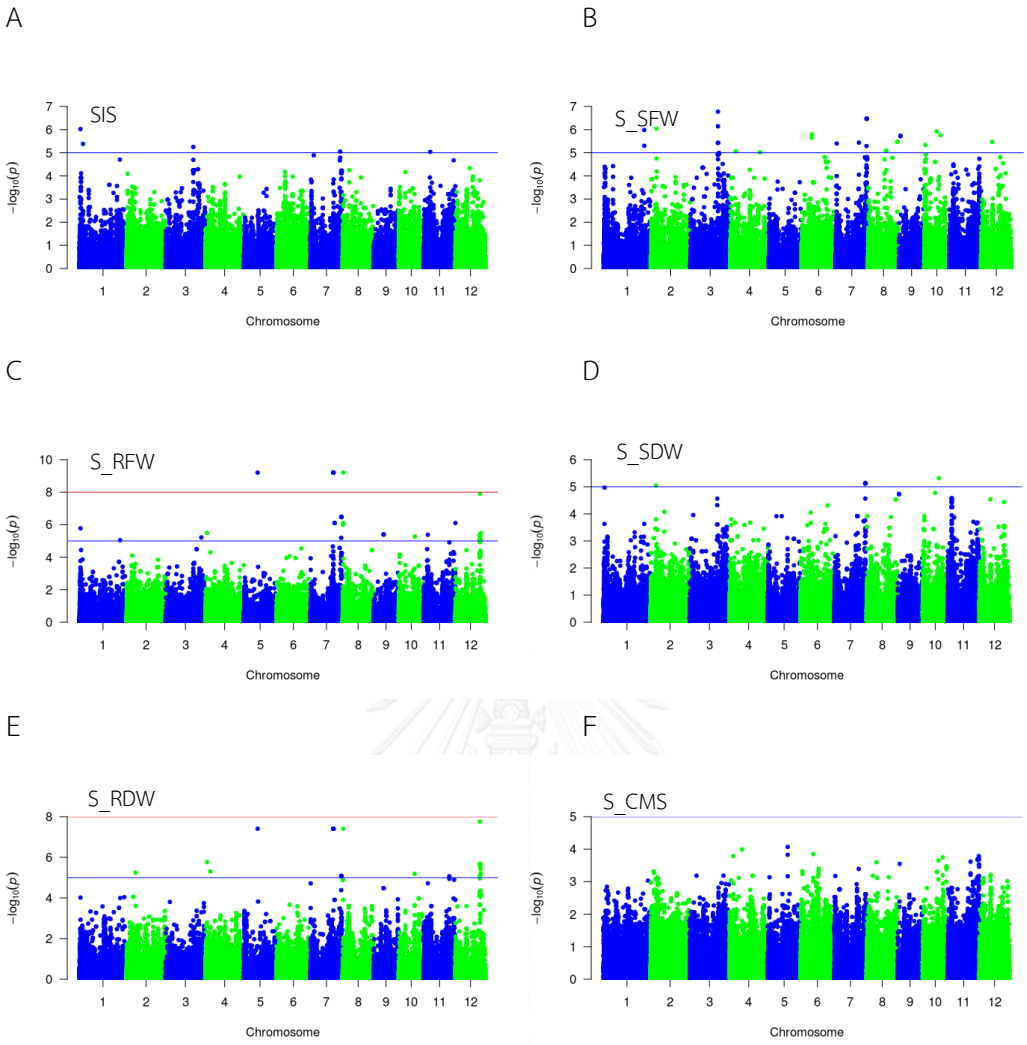
และจาก qq-plot จากบริเวณที่นอกหนือจากสนิปส์โปรโมเตอร์ (ภาพที่ 104 และภาพที่ 105) จะพบว่า ในพารามิเตอร์ของค่าโดยตรงของได้แก่ ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม ค่าน้ำหนักสดต้น ค่าน้ำหนักสดราก ค่าน้ำหนักแห้งต้น ค่าน้ำหนักแห้งราก และ ค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดต้น ค่าน้ำหนักสดราก ค่าน้ำหนักแห้งต้น ค่าน้ำหนักแห้งราก และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีรูปแบบการกระจายของค่า observed probability ที่คล้ายคลึงกันเช่นเดียวกับ qq-plot ที่ได้จากบริเวณสนิปส์โปรโมเตอร์ โดยที่ตำแหน่งสนิปส์ส่วนมากที่มีค่า observed probability สูงกว่า expected probability และอยู่ในแนวของ uniform distribution โดยที่บางตำแหน่งมีค่าไม่อยู่ใน uniform distribution ในขณะที่ค่าโดยตรงของเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีรูปแบบของตำแหน่งนอกเหนือจากสนิปส์ส่วนมากที่มีค่า observed probability สูงว่า expected probability เช่นเดียวกับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีตำแหน่งของสนิปส์ใดใดที่มีค่า –log p-value ที่สูงกว่า 10^{-5} เช่นเดียวกันกับ qq-plot ที่ได้จากบริเวณสนิปส์โปรโมเตอร์ และสำหรับในพารามิเตอร์ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ เป็นชุดข้อมูลที่มี qq plot ของค่าโดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพที่ข้อมูลสนิปส์ปริมาณมากที่มีการกระจายของค่า –log p-value ที่แตกต่างไปจาก uniform distribution pattern จากผลดังกล่าวทำให้ชุดข้อมูลดังกล่าวไม่มีความเหมาะสมในการศึกษาความเชื่อมโยงในครั้งนี้ เช่นเดียวกับชุดข้อมูลที่ได้จากสนิปส์โปรโมเตอร์



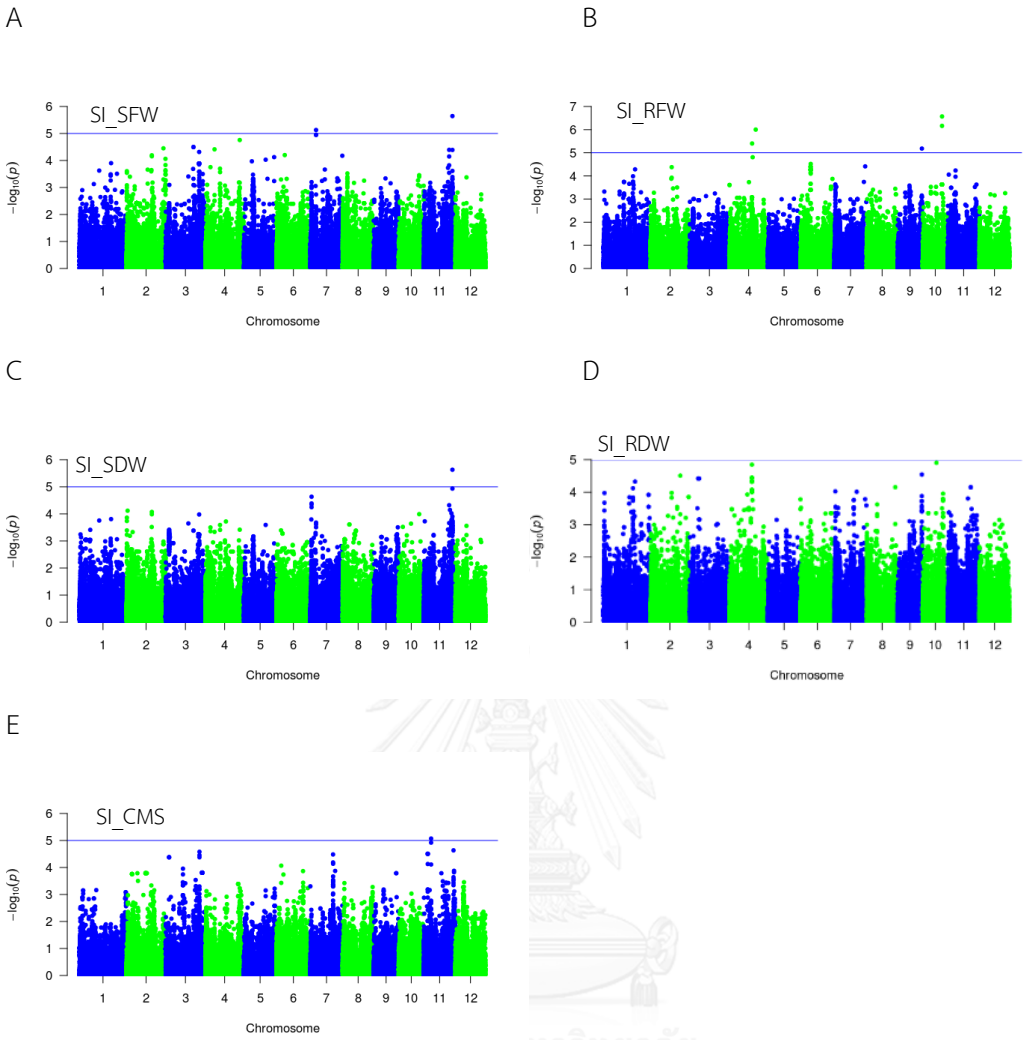
ภาพที่ 106 Manhattan plot ของค่าพารามิเตอร์โดยตรงในส่วนของโปรโมเตอร์ของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ในระยะต้นกล้า



ภาพที่ 107 Manhattan plot ของค่าพารามิเตอร์ดัชนีเสถียรภาพในส่วนของโปรโมเตอร์ของค่าดัชนีเสถียรภาพของ น้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (E) ในระยะต้นกล้า



ภาพที่ 108 Manhattan plot ของค่าพารามิเตอร์โดยตรงในส่วนที่นอกเหนือจากโปรโมเตอร์ของค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม (A) น้ำหนักสดต้น (B) น้ำหนักสดราก (C) น้ำหนักแห้งต้น (D) น้ำหนักแห้งราก (E) และ เสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (F) ในระยะต้นกล้า



ภาพที่ 109 Manhattan plot ของค่าพารามิเตอร์ดัชนีเสถียรภาพในส่วนที่นอกเหนือจากโปรโมเตอร์ของค่าดัชนีของค่าน้ำหนักสดต้น (A) น้ำหนักสดราก (B) น้ำหนักแห้งต้น (C) น้ำหนักแห้งราก (D) และเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ (E) ในระยะต้นกล้า

จากผลการศึกษาความเชื่อมโยงทั้งจีโนมจะแสดงด้วยแผนภาพ Manhattan plot ซึ่งแผนภาพจะแสดงค่า -log p-value กับตำแหน่งของสนิปส์ต่าง ๆ ที่กระจายในจีโนมจำนวน 223,800 สนิปส์ดังภาพที่ 106 - 109 สำหรับบริเวณที่ค่า -log p-value สูงกว่า 10^{-6} หมายความว่าเป็นตำแหน่งนั้นน่าจะมีความเกี่ยวข้องหรือความเชื่อมโยงกับลักษณะที่สนใจศึกษา และจากการศึกษาการเชื่อมโยงในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทั้งในส่วนของโปรโมเตอร์และส่วนที่นอกเหนือโปรโมเตอร์พบจำนวนทั้งสิ้น 39 ตำแหน่งที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับลักษณะการทานความเค็ม 30 สนิปส์ที่ถูกระบุอยู่บริเวณ exon กระจายตัวอยู่บนทุกโครโมโซมยกเว้นโครโมโซมที่ 5 และอีก 9 ยีนเป้าหมาย (Putative genes) ถูกระบุอยู่บนโครโมโซมที่ 3 4 6 9 10 11 และ 12 โดยที่บางตำแหน่งของสนิปส์จะให้ผลการเชื่อมโยงในตำแหน่งเดียวกันแม้ว่าจะวิเคราะห์มาจากคนละพารามิเตอร์ (ตารางที่ 14) สำหรับผลการศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างลักษณะทางการเกษตรและผลผลิตจะให้ผลการเชื่อมโยงโดยมีค่า -log p-value ที่ไม่มีตำแหน่งใดที่สูงกว่า 10^{-6} เนื่องจากชุดข้อมูลของจำนวนพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณน้อย

ตารางที่ 14 สรุปตำแหน่งของสนิปส์ที่มีการเชื่อมโยงกับค่าการตอบสนองต่อภาวะเค็มในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระยะต้นกล้า (highlight ข้อมูลเดียวกัน หมายถึง ตำแหน่งสนิปส์เดียวกันที่เป็นผลมากจากวิเคราะห์ความเชื่อมโยงจากพารามิเตอร์ที่ต่างกัน)

Trait	Chr	Position	log-(pvalue)	ref	alt	Locus	Annotation
SIS	1	956383	1.13E-06	G	A	LOC_Os01g02750.1	protein kinase domain containing protein, expressed
SIS	3	25396373	2.92E-06	A	G	LOC_Os03g44980.1	OsFBX99 - F-box domain containing protein
SIS	7	2742152	8.84E-06	G	A	LOC_Os07g45950.1	expressed protein
SIS	11	5842433	2.81E-06	T	C	LOC_Os11g10650	expressed protein
S_SFW	1	37085027	1.24E-06	A	T	LOC_Os01g63910.1	AT hook motif family protein, expressed
S_SFW	3	25395573	1.35E-07	A	G	LOC_Os03g44980.1	OsFBX99 - F-box domain containing protein, expressed
S_SFW	4	18071678	7.91E-06	C	T	LOC_Os04g30270.1	protein kinase domain containing protein, expressed

Trait	Chr	Position	log-(pvalue)	ref	alt	Locus	Annotation
S_SFW	6	9543685	6.59E-07	A	G	LOC_Os06g16600.1	RNA-directed DNA polymerase, putative, expressed
S_SFW	7	28373356	2.55E-07	A	G	LOC_Os07g47460.1	expressed protein
S_SFW	10	1266280	4.03E-06	T	C	LOC_Os10g03050.1	leucine-rich repeat receptor protein kinase EXS precursor, putative, expressed
S_SFW	10	11415443	1.43E-06	C	A	LOC_Os10g22100.1	expressed protein
S_RFW	1	959268	2.00E-06	G	A	LOC_Os01g02760.1	receptor-like kinase, putative, expressed
S_RFW	7	21062803	8.00E-10	T	G	LOC_Os07g35180.1	hypothetical protein
S_RFW	7	28373356	3.54E-07	A	G	LOC_Os07g47460.1	expressed protein
S_RFW	8	540546	8.81E-07	T	A	LOC_Os08g01880.1	synaptobrevin-related family protein, putative, expressed
S_RFW	12	22512384	1.50E-08	T	C	LOC_Os12g36750.1	expressed protein
S_SDW	10	15003651 (indel)	5.53E-06	C	A	LOC_Os10g28760.1	MBTB33 - Bric-a-Brac, Tramtrack, Broad Complex BTB domain with Meprin and TRAF Homology MATH domain, expressed
S_SDW	11	3581359	1.52E-06	C	G	LOC_Os11g07170.1	receptor kinase, putative, expressed
S_RDW	2	8304505	2.20E-06	A	G	LOC_Os02g14900.1	beta-glucan -1,3 synthase component domain containing protein, expressed
S_RDW	7	21062803	4.90E-08	T	G	LOC_Os07g35180.1	hypothetical protein
S_RDW	7	21148744	4.88E-08	T	C	LOC_Os07g35340.1	TKL_IRAK_DUF26-lc.14 DUF26 kinases have - homology to DUF26 containing loci, expressed
S_RDW	8	540546	4.90E-08	T	A	LOC_Os08g01880.1	synaptobrevin-related family protein, putative, expressed

Trait	Chr.	Position	log-(pvalue)	ref	alt	Locus	Annotation
S_RDW	10	14740512 indel	6.97E-06	C	A	LOC_Os10g28330.1	ZOS10-04 - C2H2 zinc finger protein, expressed
S_RDW	11	23246161	9.39E-06	G	A	LOC_Os11g39040.1	expressed protein
S_RDW	12	22512384	2.07E-08	T	C	LOC_Os12g36750.3	expressed protein
SI_SFW	7	5265310	5.27E-06	T	G	LOC_Os07g09900.1	disease resistance protein RPM1
SI_SFW	11	26213686	4.69E-06	C	A	LOC_Os11g43410	Leucine Rich Repeat family protein
SI_RFW	4	21469481	4.71E-06	T	C	LOC_Os04g35305.1	tetratricopeptide-like helical
SI_RFW	4	20951111	4.62E-06	T	C	LOC_Os04g34620.1	expressed protein
SI_RFW	9	22293998	7.08E-06	C	T	LOC_Os09g38800.1	OsWAK88 - OsWAK pseudogene, expressed
SI_RFW	10	17867635	3.29E-07	C	T	LOC_Os10g33770.1	importin-beta N-terminal domain containing protein, expressed
SI_SDW	11	25316279	1.59E-05	C	T	LOC_Os11g42060.1	Leucine Rich Repeat family protein
SI_RDW	4	20770481	4.61E-06	T	C	LOC_Os04g34290.1	protein kinase, putative, expressed
SI_RDW	10	12794575 (indel)	4.00E-07	C	A	LOC_Os10g24890.1	hypothetical protein
SIS_PRO	12	6809795	1.04E-05	A	C	LOC_Os12g12370.1	outer envelope protein, putative, expressed
S_RFW_PRO	11	3590038	8.04E-06	C	T	LOC_Os11g07180.1	receptor protein kinase CLAVATA1 precursor, putative, expressed
S_SDW_PRO	11	3590038	2.36E-07	C	T	LOC_Os11g07180.1	receptor protein kinase CLAVATA1 precursor, putative, expressed
S_RDW_PRO	6	19441891	1.55E-06	G	T	LOC_Os06g33380.1	hypothetical protein

Trait	Chr	Position	log-(pvalue)	ref	alt	Locus	Annotation
S_RDW_PRO	9	8717406	1.62E-07	C	A	LOC_Os09g14690.1	retrotransposon protein, putative, unclassified, expressed
S_RDW_PRO	10	14686996	2.25E-07	C	G	LOC_Os10g28250.1	retrotransposon protein, putative, unclassified, expressed
SI_SFW_PRO	3	30631143	1.07E-08	A	T	LOC_Os03g53390.1	expressed protein
SI_RFW_PRO	4	21336150	1.13E-05	A	C	LOC_Os04g35114.1	receptor-like kinase, putative, expressedreceptor-like kinase, putative, expressed
SI_RFW_PRO	9	7250710	1.04E-06	A	G	LOC_Os09g12670.1	transposon protein, putative, unclassified
SI_RDW_PRO	9	13705406	9.62E-06	A	G	LOC_Os09g23160.1	annexin, putative, expressed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
อภิปรายผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

1. ผลของภาวะเค็มระดับสูงต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ของต้นกล้าข้าว ในชุดการทดลองที่ 1 ชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 3

จากผลการทดลองการตอบสนองทางสรีรวิทยาในชุดที่ 1 และ 2 ที่เติบโตในภาวะปกติ พบว่ามีรูปแบบแนวโน้มการตอบสนองที่ใกล้เคียงและมีความคล้ายคลึงกัน โดยจะพบว่า สำหรับกลุ่มประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ เมื่อระยะเวลาผ่านไปตลอดที่ทำการทดลอง ต้นกล้าข้าวมีแนวโน้มของค่าน้ำหนักสดต้น และ น้ำหนักแห้งต้น เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงวันสุดท้ายที่ทำการทดลอง (วันที่ 20 และวันที่ 23 ในชุดการทดลองที่ 1 และ ชุดการทดลองที่ 2 ตามลำดับ) ในขณะที่ประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะเครียดเค็ม ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ที่ให้ความเครียดเค็มในดินระดับสูงที่ 9 dS/m (FAO, 1976) ค่าการเจริญเติบโตทั้งสี่ได้แก่ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและราก ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงวันสุดท้ายที่ทำการทดลองเช่นกัน พลวัตที่เกิดขึ้นหลังจากที่ต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดผ่านไป 3 วันในทั้งสองชุดการทดลอง โดยภาพรวม ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากจะลดลงเพียงเล็กน้อยจากค่าเฉลี่ยของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ และจะมีค่าเฉลี่ยประชากรที่ลดลงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เมื่อต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากความเค็มต่อเป็นระยะเวลา 6 วัน และเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งสองประชากรในชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพประกอบควบคู่กัน จะพบแนวโน้มของค่าเฉลี่ยประชากรของค่าดัชนีเสถียรภาพที่มีการตอบสนองคล้ายกันในชุดการทดลองที่ 1 และ ชุดการทดลองที่ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีเสถียรภาพสูงขึ้นจากค่า 1 เพียงเล็กน้อยหลังจากที่ต้นกล้าข้าวทั้งสองประชากรได้รับภาวะความเครียดจากความเค็มในช่วง 3 วันแรกและแนวโน้มของค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพจะลดลงจาก 1 อย่างต่อเนื่องและลดลงเรื่อย ๆ เมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็มต่อไปอีกเป็นระยะเวลา 6 วัน (ในชุดการทดลองที 1) และ 9 วัน (ในชุดการทดลองที่ 2) (ภาพที่ 2 3 20 และ 21 ตามลำดับ) นอกจากนี้พฤติกรรมการตอบสนองทางสรีรวิทยาดังกล่าว ยังถูกขับเคลื่อนภายใต้สภาวะแวดล้อมในการปลูกที่ใกล้เคียงกัน โดยมีระดับความเครียดเค็มในดินที่ถูกควบคุมให้มีระดับใกล้เคียงกันทั้งการทดลอง (9 - 10 dS/m) ความเข้มแสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ยทั้งการทดลอง มีความแปรปรวนที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นหากมีการศึกษาเพิ่มเติมของการแสดงออกของการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าระยะ 14 วันในภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 9 วันภายใต้สภาวะที่ควบคุมเช่นเดียวกัน การทำนายพฤติกรรมข้าวที่จะ

เจริญเติบโตต่อไปอีก 3 วันภายใต้สภาวะความเครียดเค็มระดับสูงที่ 9 dS/m โดยใช้พฤติกรรมจากข้าวชุดการทดลองที่ 2 มาทำนายค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาในประชากรข้าวชุดการทดลองที่ 1 น่าจะมีแนวโน้มการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งค่าการเจริญเติบโตทั้งสี่ น่าจะมีอัตราการลดลงประมาณ 50% นอกจากนี้ หากพิจารณาลงไปถึงระดับกลุ่มประชากรย่อย จะพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์ในประชากรมีการแสดงออกที่หลากหลายรูปแบบอันเนื่องมาจากฐานพันธุกรรมที่หลากหลายของข้าวหลายพันธุ์ในกลุ่มประชากรที่นำมาศึกษานั่นเองแต่การแสดงออกในภาพรวม ตามระดับการแสดงออก ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในผลการทดลองในบทที่ 4

สำหรับข้าวในชุดการทดลองที่ 3 มีรูปแบบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่แตกต่างออกไปจากชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 (โดยมีการตอบสนองดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 หน้า และอธิบายด้วยภาพที่ 45-48) โดยจะพบว่าต้นกล้าข้าวในประชากรที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มระดับสูงมีค่าเฉลี่ยประชากรของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นที่สูงกว่ากลุ่มประชากรที่เติบโตในภาวะปกติ นอกจากนี้ ยังมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ดังกล่าวที่สูงเกินกว่าค่า 1 ค่อนข้างมากและเป็นแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันทั้งประชากรหลังจากที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็มผ่านไป 6 วัน และแนวโน้มดังกล่าวยังมีค่าสูงจนถึงวันที่ 12 ที่ให้ภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ต้นกล้าข้าวเริ่มมีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นที่ลดลงมาใกล้เคียงกับกลุ่มที่ไม่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มที่ระดับ 9 dS/m สำหรับค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งราก จะพบรูปแบบการแสดงออกแบบนี้ เฉพาะในกลุ่มประชากรข้าวที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไประยะเวลา 6 วันเท่านั้น โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพของประชากรที่สูงขึ้นเกินค่า 1 เพียงเล็กน้อย แต่หลังจากที่ต้นกล้าข้าวได้รับความเครียดจากภาวะเค็มระดับสูงต่อไปอีก 9 – 12 วัน ค่าเฉลี่ยประชากรของดัชนีเสถียรภาพมีค่าลดลงน้อยกว่าค่า 1 และอัตราการเจริญเติบโตในภาพรวมของประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะเค็มระดับสูงเริ่มลดลงต่ำกว่าประชากรข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ ทั้งนี้เป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมสภาพอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ความเข้มแสงเฉลี่ยต่อวันและอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันที่ค่อนข้างต่ำในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลองที่เป็นตัวขับเคลื่อนพฤติกรรมของข้าวดังกล่าว และมีเพียงค่าระดับความเค็มในดินที่เป็นปัจจัยควบคุมในการทดลองเดียวที่สามารถควบคุมได้ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 เนื่องจากเป็นการควบคุมปริมาณไอออนที่อยู่ในสารละลาย NaCl ที่ผู้ทดลองเติมเข้าไปในระบบ (Shavrukov, 2012) นอกจากนี้ ระยะต้นของกล้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยายังมีค่ามากกว่าในชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 ถึง 3 วัน อันเนื่องมาจากความจำเป็นที่ต้องเลื่อนการเก็บค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาออกไปเพื่อหลีกเลี่ยงภาวะของระบบที่ยังมีแรงไม่เพียงพอที่จะขับเคลื่อนประชากรต้นกล้าข้าวให้มีความเครียดใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มากที่สุด จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ภาพรวมของอัตราการคายน้ำ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

และอัตราการหายใจของต้นกล้าข้าวในประชากรที่ค่อนข้างต่ำกว่า เมื่อเทียบกับ 2 ชุดการทดลองแรก ผลจากความเครียดจากเกลือที่ถูกดูดผ่านทางราก สู่ลำต้น และการเหนี่ยวนำให้เกิดผลของความเป็นพิษของเกลือไอออนโซเดียมคลอไรด์ที่ต่อเซลล์พืชที่ค่อนข้างต่ำกว่า 2 ชุดการทดลองแรก (เฉพาะในช่วงแรกที่ทำการทดลอง) ในทางกลับกัน ผลของความเข้มข้นเกลือระดับสูง จึงมีความเป็นพิษในระดับที่ค่อนข้างต่ำกว่า ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2

สำหรับคำอธิบายพลวัตที่เกิดขึ้นต่อการแสดงออกทางสรีรวิทยาในข้าวชุดการทดลองทั้งสามชุดการทดลอง เมื่อพืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของความเค็มกะทันหันจากภาวะดินปกติที่ไม่มีไอออนของเกลือสู่สิ่งแวดล้อมที่มีค่าความเข้มข้นของไอออนเกลือระดับสูง ดังที่เกิดขึ้นในชุดการทดลองที่ 1 และ ชุดการทดลองที่ 2 ส่งผลให้พืชเกิดการเปลี่ยนแปลงออสโมติกอย่างกะทันหัน หรือ เกิดภาวะ ‘Osmotic shock’ ซึ่งรากพืชจะเป็นอวัยวะแรกที่ได้รับผลกระทบดังกล่าว และจากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง จะพบว่า รากของต้นกล้าข้าว มีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลงเรื่อย ๆ หลังจากที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มและนอกจากนี้ยังมีอัตราการลดของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากที่น้อยลงกว่าค่าของส่วนลำต้นอย่างชัดเจนอีกด้วย (Munns และคณะ, 2002) หลังจากนั้นเยื่อหุ้มเซลล์จะเกิดการหดตัวออกจากผนังเซลล์หรือกระบวนการ plasmolysis เซลล์รากเกิดการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบมีค่าลดลง แต่กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเท่านั้น เซลล์พืชจะพยายามควบคุมสมดุลของปริมาตรเซลล์และความเต่งของเซลล์ให้อยู่ในภาวะปกติ แต่การรักษาสภาพดังกล่าวพืชสามารถทำได้ในช่วงระยะเวลาแรกๆที่พืชได้รับภาวะความเค็มเท่านั้น แต่หากพืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มต่อความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของเซลล์ลดลงเรื่อย ๆ

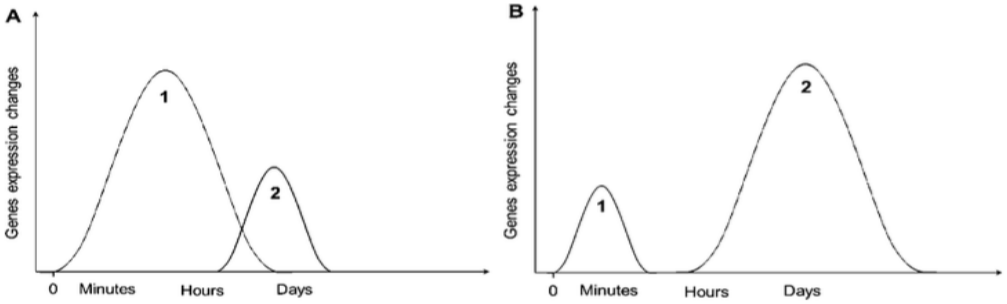
หลังจากต้นกล้าได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม เซลล์รากจะพยายามควบคุมสมดุลของน้ำระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ อันเนื่องมาจากความเครียดที่เกิดขึ้น ไอออนจะถูกดูดซึมผ่านไปทางเส้นทาง apoplastic route ระหว่างผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) และไอออนต่าง ๆ จะเคลื่อนผ่านขึ้นสู่ลำต้นส่วนบนในเวลาต่อมา เมื่อพืชได้รับไอออนปริมาณมากเข้าสู่เซลล์ ไอออนจะเหนี่ยวนำให้เซลล์พืชเกิดความเป็นพิษเกิดขึ้นและเหนี่ยวนำให้เกิดกระบวนการตายของเซลล์ (apoptosis-like cell death) ตามมา ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ นอกจากนี้ กระบวนการเติบโตและกระบวนการขยายขนาดของเซลล์ (cell elongation) ยังมีอัตราที่ลดลงอีกด้วย (Fricke และคณะ, 2000)ส่งผลให้ต้นกล้าข้าวมีอัตราการสร้างมวลชีวภาพที่ลดลง นอกจากนี้ กระบวนการตายของเซลล์อันเนื่องมาจากภาวะที่พืชต้องเผชิญสภาวะความเครียดจากความเค็มระดับสูงเป็นระยะเวลานาน เป็นกระบวนการตอบสนองพื้นฐานต่อความเป็นพิษของไอออนที่เกิดขึ้น กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นทั่ว ๆ ไปและถูกศึกษาในหลายๆการทดลอง เช่น มีการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับผลของสารละลาย NaCl ระดับสูงที่ความเข้มข้น 150 mM

ต่อต้นกล้าข้าวสาลี พืชจะเกิดภาวะ osmotic shock เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในข้าว (Pritchard และคณะ, 1991) นอกจากนี้ มีการศึกษาผลของความสารละลายเกลือที่สูงมาก (150–200 mM NaCl) ส่งผลให้ต้นข้าวตายอย่างรวดเร็ว (Kawasaki และคณะ, 2011; Zou และคณะ, 2012)

แต่อย่างไรก็ตาม ต้นกล้าข้าวในชุดการทดลองที่ 3 ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือระดับสูงอย่างฉับพลันทันทีเช่นเดียวกับ ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 แต่เนื่องจากมีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ Salt shock ไม่รุนแรงและชัดเจนเท่ากับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เซลล์พืชเกิดภาวะ plasmolysis ที่ค่อนข้างน้อย แต่ยังคงมีผลจากความเครียดออสโมติก (osmotic pressure) อยู่จึงทำให้ต้นกล้ามีเวลามากพอที่จะปรับค่า osmolality และรักษาสมดุลความเต่งของเซลล์และเสถียรภาพต่าง ๆ ให้อยู่ในภาวะสมดุล ทำให้ต้นกล้าสามารถรักษาค่าของค่าน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักแห้งต้นและรากไว้ได้เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 6 – 9 วันแรกหลังจากที่พืชได้รับภาวะความเค็มระดับสูงไว้ได้ นอกจากนี้ความเค็มระดับต่ำ ๆ ดังกล่าวยังเป็นปัจจัยที่อาจกระตุ้นให้ข้าวบางพันธุ์มีอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีอัตราการสร้างมวลชีวภาพต้นและรากเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย แต่ทั้งนี้ เมื่อทำการให้ความเครียดเค็มระดับสูงต่อไปอีก 3 วันจนถึงวันที่ 12 แนวโน้มของอัตราการเจริญของต้นและรากเริ่มมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับข้าวที่เจริญเติบโตในภาวะปกติ นอกจากนี้ ค่าดัชนีเสถียรภาพของต้นกล้าข้าวที่ได้รับภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 12 วันโดยภาพรวมเริ่มมีค่าลดต่ำอย่างมากและการแสดงออกในรูปแบบดังกล่าวเริ่มมีความคล้ายคลึงกับการแสดงออกของข้าวในชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 ที่ได้รับภาวะเครียดผ่านไปเป็นระยะเวลา 6 วัน

Shavrukov (2012) อธิบายและอ้างอิงจากหลายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความเค็มทั้งสองรูปแบบ (ภาพที่113) ได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาวะความเค็มแบบค่อยเป็นค่อยไปและการที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็มแบบฉับพลันทันที ส่งผลต่อการแสดงออกของชุดยีนที่แตกต่างกัน เมื่อพืชได้รับความเครียดเค็มแบบค่อยเป็นค่อยไป (incremental application) พืชจะมีการตอบสนองต่อความเค็มแบบค่อยเป็นค่อยไปสู่การเข้าระยะ osmotic phase ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงแรกหลังจากที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็มซึ่งอาจจะกินระยะเวลาภายในไม่กี่ชั่วโมงถึงระยะเวลาไม่กี่วัน ในระยะนี้จะมียีนเพียงไม่กี่ยีนเท่านั้นที่มีการแสดงออก และเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ osmotic adjustment พืชจะมีการสะสมน้ำตาล และ สาร osmolyte อื่น ๆ เพื่อช่วยในการรักษาปริมาณน้ำในเซลล์และช่วยในการปรับค่าสมดุลออสโมติก (osmotic adjustment) (Munns และคณะ, 2002) หลังจากที่พืชผ่านระยะ osmotic phase ไม่นาน พืชจะเข้าสู่ระยะ ionic phase ในระยะดังกล่าวจะมียีนอีกกลุ่มที่เกิดการแสดงออกและเกิดการคาบเกี่ยวกันเพียงเล็กน้อยระหว่างยีนในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 (ภาพ110B) สำหรับยีนที่มีการแสดงออกในกลุ่มที่สองจะมีจำนวนมากที่เกิดการแสดงออกมากกว่ายีนกลุ่มที่ 1 และเป็นยีนที่สัมพันธ์เกี่ยวกับการ

ตอบสนองต่อความเป็นพิษของไอออนโซเดียมต่อเซลล์ (toxic cellular concentrations of Na^+) ในทางกลับกันหากพืชได้รับภาวะเค็มอย่างกะทันหัน เมื่อพืชเข้าสู่ osmotic phase ยีนในกลุ่มที่ 1 จะแสดงออกอย่างรวดเร็วและมีจำนวนยีนปริมาณมากที่เกี่ยวข้องซึ่งยีนดังกล่าวเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกันป้องกันการเกิด plasmolysis ของเซลล์พืช ซึ่งรวมประกอบด้วยยีนที่เกี่ยวข้องกับ signal transduction pathways, osmoregulation และ การสูญเสียน้ำ ระยะดังกล่าวจะเริ่มมีการแสดงออกของยีนตั้งแต่ไม่กี่นาทีหลังจากได้รับภาวะความเค็มหรืออาจกินระยะเวลาในช่วงไม่กี่วันหลังจากที่พืชได้รับภาวะเค็มต่อ และหลังจากที่พืชดำรงเข้าสู่ระยะที่ 2 ionic phase ยีนในกลุ่มที่สองจะเริ่มมีการแสดงออกและยังเกิดการแสดงออกร่วมระหว่างยีนกลุ่มที่ 1 และยีนกลุ่มที่สองร่วมกันในปริมาณมากกว่า การให้ความเค็มแบบค่อยเป็นค่อยไป (ภาพ113A)



ภาพที่ 110 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของชุดยีนคาดหมายที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากเกิดภาวะเครียดจากความเค็มกระทันหัน (A) และการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มแบบค่อยเป็นค่อยไป (B) เส้นโค้ง 1 และ 2 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของชุดยีนที่สัมพันธ์กับ osmotic phase และ ionic phase ค่า ‘0’บนแกน X คือจุดเวลาเริ่มต้นที่พืชได้รับภาวะเค็ม (Shavrukov, 2012)

Chulalongkorn University

จากรูปแบบการตอบสนองที่แตกต่างกันทั้งสามชุดการทดลองดังกล่าว เป็นเหตุให้คณะผู้วิจัยตัดสินใจเลือกระยะการตอบสนองของต้นกล้าข้าวหลังจากที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มไปใช้ในการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมดังที่แสดงไว้ในบทที่ 4 (ภาพที่ 101) เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่เข้ากันของการแสดงออกของชุดยีนในระยะการแสดงออกที่แตกต่างกันของทั้งสามชุดการทดลอง

สำหรับแนวโน้มของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช และ ค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์จะพบรูปแบบการการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง สำหรับกลุ่มประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติในทั้งสามชุดการทดลอง ต้นกล้าข้าวมีการแสดงอาการเสียหายจากความเครียดจากภาวะเค็มมีค่าเท่ากับ 1 นอกจากนี้ ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ในต้นกล้าข้าวทั้งสามกลุ่มประชากรในภาพรวมแล้วมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 80% – 100% แต่เมื่อกลุ่มประชากรข้าวได้รับความเครียดเค็มระดับสูงที่ 9 dS/m กลุ่มประชากรข้าวจะมีค่าเฉลี่ยประชากรของปริมาณน้ำ

สัมพัทธ์ในใบและค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ลดลงเพียงเล็กน้อยในช่วงสามวันแรกที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม และจะมีอัตราลดลงอย่างมากและลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันสุดท้ายที่ทำการทดลอง นอกจากนี้ต้นกล้าข้าวในประชากรยังมีการแสดงออกถึงความเสียหายจากความเครียดเค็มโดยมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ในช่วงแรกๆที่พืชได้รับภาวะเค็มจนกระทั่งถึงวันสุดท้ายที่ทำการทดลองในทั้งสามชุดประชากร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันสุดท้ายของการทดลอง ต้นกล้าข้าวบางพันธุ์มีการแสดงออกของค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มระดับ 9 ซึ่งส่งผลให้ต้นกล้าข้าวตาย

ผลการทดลองดังกล่าวมีความสอดคล้องและคล้ายคลึงในหลายๆงานวิจัย Suriya-arunroj และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาการประเมินลักษณะการทนทานความเค็มในกลุ่มประชากรต้นกล้าข้าวปรับปรุงพันธุ์จำนวน 16 สายพันธุ์ในระยะ 2 สัปดาห์โดยมีพันธุ์ Pokkali เป็นพันธุ์มาตรฐานทนทานความเค็มและพันธุ์ KDML105 ถูกใช้เป็นพันธุ์ไม่ทนทานความเค็มเป็นตัวตรวจสอบเปรียบเทียบ ในสารละลาย NaCl ที่มีค่าการนำไฟฟ้า 6 dS/m เป็นระยะเวลา 16 วัน จากการศึกษาพบว่า ต้นกล้าข้าวในประชากรที่ศึกษามีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบช่วงกลางวันในภาพรวมของประชากร มีค่าลดลงจากค่าในภาวะปกติเล็กน้อยประมาณ 4% หลังจากที่ได้ภาวะเครียดจากภาวะเค็ม นอกจากนี้ ค่าคะแนนความเสียหายจากภาวะความเค็ม ยังมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากกลุ่มประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในสารละลายปกติ โดยมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 3.00 – 7.00 โดยที่ข้าวพันธุ์ Pokkali เป็นพันธุ์ที่สามารถรักษาสถานะของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ดีที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์ KDML105 เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ต่ำที่สุดในประชากรที่ศึกษาโดยมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ที่เก็บได้ในช่วงกลางวันเท่ากับ 75.00%

งานวิจัยของ Shereen และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาผลของภาวะความเค็มในกลุ่มประชากรข้าวสายพันธุ์ทดสอบพันธุ์ต่าง ๆ ได้แก่ สายพันธุ์ IR29 IR12 IR43 IR96 และ IR104 ซึ่งถูกจัดระดับความสามารถในการทนเค็มเป็นสายพันธุ์ทนเค็มและสายพันธุ์ IR2 และ IR64 ที่ถูกระบุเป็นสายพันธุ์ไม่ทนเค็ม ที่ได้จาก International Rice Gene Bank held at the International Rice Research Institute (IRRI) ประเทศ Philippines เปรียบเทียบกับพันธุ์ทนทานความเค็มมาตรฐาน Shua-92 ในระยะต้นกล้า 14 วันที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย NaCl 0 50 และ 75mM NaCl เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาครั้งนี้ ซึ่งจะพบว่า ต้นกล้าข้าวทั้งประชากรมีค่าน้ำหนักสดส่วนและน้ำหนักแห้งต้นและราก ที่ลดลงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มทั้งสองระดับความเข้มข้น โดยที่ค่าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตดังกล่าว มีค่าเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเมื่อความเข้มข้นเกลือเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ ข้าวในประชากรยังมีการตอบสนองต่อความเค็มในรูปแบบที่หลากหลาย โดยพันธุ์ที่สามารถรักษาค่าน้ำหนักสดได้ดีที่สุดในประชากรคือ สายพันธุ์ IR96 นอกจากนี้ ผลการทดลองในภาพรวมดังกล่าว พืชยังสามารถรักษาเสถียรภาพของค่าน้ำหนักต่าง ๆ ได้

ค่อนข้างดีมีค่าใกล้เคียง 1 โดยมีบางพันธุ์ที่มีค่าเสถียรภาพใกล้เคียง 1 และค่าดัชนีเสถียรภาพจะลดลงจาก 1 ไปมาก เมื่อพืชได้รับภาวะเค็มระดับที่สูงขึ้น 75mM NaCl เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

สำหรับผลการทดลองการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ของต้นกล้าข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เกือบทั้งหมดในประชากรเป็นการค้นพบการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเค็มที่ยังไม่เคยมีการศึกษามาก่อน เนื่องจากกลุ่มประชากรที่นำมาใช้ในการศึกษาส่วนใหญ่เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยและข้าวปรับปรุงพันธุ์ ยกเว้นบางพันธุ์ที่มักนิยมใช้เป็นพันธุ์มาตรฐานในการตรวจสอบและเปรียบเทียบความสามารถในการทนทานความเค็มได้แก่ พันธุ์ Pokkali ที่เป็นพันธุ์มาตรฐานทนทานความเค็มที่มีแหล่งที่มาจากประเทศศรีลังกา (Zeng, 2005) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้เป็นพันธุ์ศึกษาเปรียบเทียบของนักปรับปรุงพันธุ์ในการใช้ในการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาเปรียบเทียบความสามารถในการทนทานความเค็มและพันธุ์ IR29 ซึ่งเป็นมาตรฐานไม่ทนทานความเค็มที่มักนิยมใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อคัดกรองและเปรียบเทียบความสามารถในการทนทานความเค็ม ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานไม่ทนทานความเค็มที่ได้จาก International Rice Gene Bank held at the International Rice Research Institute (IRRI) ประเทศ Philippines (Bonilla และคณะ, 2002) ซึ่งในข้าวสองพันธุ์ดังกล่าวเป็นพันธุ์ที่นิยมใช้ศึกษาเปรียบเทียบและมีพฤติกรรมการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความเค็มในลักษณะตรงกันข้าม

สำหรับการการแสดงออกของการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเค็มระดับสูงในข้าวพันธุ์ Pokkali ในงานวิจัยครั้งนี้จะพบว่า ลักษณะพื้นฐานของข้าวพันธุ์ดังกล่าวในระยะต้นกล้า เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดน้ำหนักแห้งอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับข้าวที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมืองไทยเมื่อเติบโตในภาวะปกติสำหรับในชุดการทดลองที่ 1 แต่สำหรับในชุดการทดลองที่ 3 ข้าวพันธุ์ Pokkali ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและค่าน้ำหนักแห้งต้นและรากโดยภาพรวมมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประชากรพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยที่นำมาศึกษา ความแตกต่างระหว่าง 2 ชุดการทดลองดังกล่าวอันเนื่องมาจากระยะต้นกล้าที่ใช้ทำการศึกษาผลของภาวะความเค็มที่ต่างกันสามวันหลังจากได้รับภาวะความเค็มและชุดพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีพื้นหลังทางพันธุ์กรรมในข้าวชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 3 ที่มีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ดี การแสดงออกของข้าวพันธุ์ Pokkali ที่มีการแสดงออกซึ่งเป็นลักษณะเด่นและมีลักษณะร่วมกันที่ได้จากการศึกษาในการทดลองครั้งนี้คือข้าวพันธุ์ Pokkali มีความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดได้ค่อนข้างดีเมื่อได้รับภาวะความเครียดเค็มตลอดทั้งการทดลอง โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็มในช่วงสามวันแรกเท่านั้น และเมื่อต้นกล้าข้าวพันธุ์ Pokkali ได้รับความเครียดเค็มต่อไปอีก ค่าดัชนีเสถียรภาพมีค่าลดลงเล็กน้อยแต่ยังสามารถรักษาค่าเสถียรภาพได้ค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร นอกจากนี้ ข้าวพันธุ์ Pokkali ยังมีค่าคะแนนความเสียหายที่ค่อนข้างต่ำในทุก ๆ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล อีกทั้งค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์และ

ค่าเฉลี่ยเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ค่อนข้างสูงตลอดทั้งการทดลอง เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร จากผลการทดลองดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pattanagul และ Thitisaksakul (2008) ได้ทำการศึกษาผลของภาวะความเค็มสารละลาย NaCl ที่ระดับความเข้มข้น 50 100 และ 150 mM เป็นระยะเวลา 9 วันต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการ Carbohydrate metabolism ในข้าวพันธุ์ Pokkali เปรียบเทียบกับพันธุ์ KDML105 และพันธุ์หลวงอนันต์ในระยะต้นกล้า 14 วัน ซึ่งจะพบว่าข้าวพันธุ์ Pokkali มีความสามารถในการรักษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ดีที่สุดหลังจากที่ข้าวได้รับภาวะเค็มทั้ง 3 และมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ที่ลดลงเล็กน้อย จากภาวะปกติ นอกจากนี้ เมื่อข้าวพันธุ์ Pokkali ได้รับความเครียดเค็มที่ระดับ 50 mM ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งทั้งต้นมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยจากภาวะปกติ และจะมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งทั้งต้นมีค่าสูงขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อเติบโตในภาวะเค็มที่ระดับ 100 mM นอกจากนี้ ความเครียดเค็มที่ระดับต่าง ๆ ยังมีผลทำให้ความสูงของลำต้นกล้าข้าวพันธุ์ Pokkali มีความสูงขึ้นเล็กน้อย และความยาวของรากต้นกล้ามีความสั้นลงหลังจากที่ต้นกล้าได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มที่ระดับสูงขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าว สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาครั้งนี้ซึ่งความยาวรากมักจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของน้ำหนักรากด้วย และในการศึกษาของ Suriya-arunroj และคณะ (2004) ทำการศึกษาผลของภาวะความเค็มสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้นระดับ 6 dS/m เป็นระยะเวลา 14 วันต่อการรักษาปริมาณน้ำในใบเพื่อใช้เป็นวิธีการในการคัดเลือกพันธุ์ทนทานความเค็มในกลุ่มประชากรข้าวปรับปรุงพันธุ์จำนวน 16 พันธุ์ ได้แก่ IR66946-3R-58-1-1 (FL358) IR66946-3R-67-1-1 (FL367) IR66946-3R-111-1-1 (FL411) IR66946-3R- 116-1-1 (FL416) IR66946-3R-134-1-1 (FL434) IR66946-3R-143-1-1 (FL443) IR66946-3R-178-1-1 (FL478) IR66946-3R-196-1-1 (FL496) IR66946-3R- 223-1-1 (FL523) IR66946-3R-230-1-1 (FL530) IR66946-3R-263-1-1 (FL563) KMK และ DDG พบว่า ข้าวพันธุ์ Pokkali มีความสามารถในการรักษาค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบในตอนกลางวัน (Midday) ได้ใกล้เคียงกับต้นกล้าข้าวพันธุ์ Pokkali ที่เติบโตในภาวะปกติ โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 1.01 และยังมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ต่ำที่สุดในประชากรเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร โดยมีค่าคะแนนความเสียหายเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 เท่านั้น

สำหรับข้าวพันธุ์ IR29 เป็นพันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อความเค็มในชุดการทดลองที่ที่ 1 และชุดการทดลองที่ 3 จากการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเค็มมีความคล้ายคลึงกันทั้งสองชุดการทดลอง โดยจะพบว่า ข้าวพันธุ์ IR29 เป็นพันธุ์ที่มีพื้นฐานของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยที่ทำการศึกษา ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็ม ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ค่อนข้างต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ ในประชากรที่ทำการศึกษาในทุก ๆ ช่วงระยะเวลาที่ทำการเก็บผลการทดลอง นอกจากนี้ แนวโน้มของค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดและค่าน้ำหนักแห้งต้นและรากจะมีค่าที่ค่อนข้างสูงขึ้นอย่างมาก

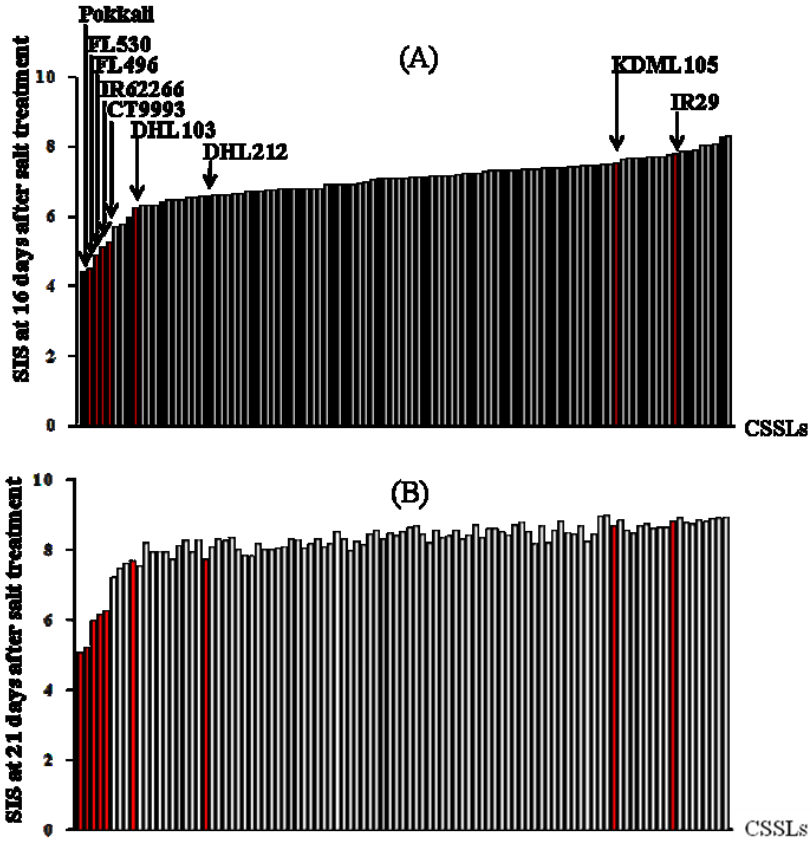
หลังจากช่วง 3 วันแรกที่ต้นกล้าข้าว IR29 ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม และจะมีค่าดัชนีเสถียรภาพลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากที่ต้นกล้าได้รับความเค็มต่อไปอีก ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Cha-um และคณะ (2010) ที่ทำการศึกษาและประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มในกลุ่มพันธุ์พื้นเมืองไทยชนิดข้าวขึ้นน้ำจำนวน 11 พันธุ์ที่ระดับความเข้มข้น 200 mM เป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่าข้าวพันธุ์ IR29 เป็นพันธุ์ที่มีค่า น้ำหนักสดต้น, ค่าน้ำหนักแห้งต้น, เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ (%Electrolyte leakage) ที่สูงที่สุดในประชากรที่ศึกษาหลังจากได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม โดยมีค่า เท่ากับ 0.0908 กรัม, 0.0209 กรัม และ 91.7 % ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาเป็นค่าดัชนีเสถียรภาพแล้วจะพบว่า ดัชนีเสถียรภาพของค่าต่าง ๆ มีค่าที่ค่อนข้างต่ำมากหลังจากที่ต้นกล้าได้รับภาวะความเค็ม โดยมีค่าเท่ากับ 0.68, 0.40 และ 0.13 ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและค่าที่เกี่ยวข้องกับการอัตราการสังเคราะห์แสงยังมีค่าที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรเช่นเดียวกัน สำหรับผลการแสดงออกของค่าดัชนีเสถียรภาพในข้าว IR29 ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงระยะเวลา 3 วันแรกที่พืชได้รับภาวะเค็มยังไม่สอดคล้องกับผลการทดลองใดมาก่อน ทั้งนี้ การแสดงออกดังกล่าวน่าจะมีความสัมพันธ์กับยีนบางยีนที่ควบคุมลักษณะดังกล่าวซึ่งจะพบพฤติกรรมของข้าวในลักษณะนี้ในทั้งสามชุดการทดลองอย่างชัดเจน ได้แก่ ข้าวกลุ่มที่ II จากชุดการทดลองที่ 1(มะยม (36) ดีสี่ (85) ขาวสุพรรณ (3) เก้ารวง (27) ขาวก้นจุด (64) ปิ่นแก้ว (31) มะยม (91) เหนียวดำหลาย (58) ขาวสงวน (56) พ้าวฮ้าว (100) พลายงามปราจีนบุรี (81) และ เจ้าขาว (66) ข้าวกลุ่มที่ III จากชุดการทดลองที่ 2 และข้าวกลุ่มที่ II จากชุดการทดลองที่ 3 (IR29 (102) ดอกข่า (27) ลูกแดงปัตตานี (198) จำปาทอง (159) ลอยห้ารวง (165) ขี้ตมกลาง (98) ขาวหลวง (104) นาขวัญ (86) LPT123 (109) ขาวตาเชื้อ (183) คันนา (167) ขาวแก้ว (6) เฉี้ยงพัทลุง (199) และ ขาวพวง (179) จากผลการทดลองการแสดงออกดังกล่าวน่าจะสะท้อนให้เห็นถึงผลการแสดงออกเกี่ยวกับปัจจัยหรือยีนบางอย่างที่ควบคุมลักษณะดังกล่าวเช่นเดียวกัน

การศึกษาของ Mansuri และคณะ (2012) ทำการศึกษาและประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มของต้นกล้าข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองอิหร่านจำนวน 20 พันธุ์และข้าวปรับปรุงพันธุ์อื่น ๆ อีก 19 พันธุ์ในระยะต้นกล้าโดยมีพันธุ์ Pokkali และพันธุ์ IR29 เป็นพันธุ์ตรวจสอบมาตรฐาน ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยจะพบว่า ข้าวพันธุ์ IR29 เป็นพันธุ์ที่มีค่ามวลชีวภาพทั้งต้นที่ต่ำที่สุดในประชากร และมีค่าคะแนนความเสียหายจากค่าความเค็มสูงที่สุดอีกด้วย ในขณะที่ ข้าวพันธุ์ Pokkali เป็นพันธุ์ที่ทีค่าน้ำหนักมวลชีวภาพทั้งต้นในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์พื้นเมืองอิหร่านและข้าวปรับปรุงพันธุ์ที่ทำการศึกษา ทั้งนี้ ยังพบพฤติกรรมของต้นกล้าข้าวพันธุ์ Pokkali ที่มีการเจริญเติบโตสูงขึ้นหลังจากที่ได้รับค่าภาวะความเค็มระดับ 0.7% NaCl เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพประมาณ 1.16 อีกด้วย

ในงานวิจัยของ (Ferreira และคณะ, 2015) ได้ทำการศึกษาผลของความเครียดเค็มต่อต้นกล้าข้าวที่มีพฤติกรรมการตอบสนองต่อภาวะเค็มในภาวะตรงกันข้ามโดยใช้ข้าวพันธุ์ Pokkali และ IR29 เป็นตัวศึกษาต่อระดับกระบวนการเกิด Global DNA methylation ในระยะต้นกล้าข้าว 14 วันที่เติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Yoshida ที่มีความเข้มข้นของสารละลาย NaCl โดยใช้ ELISA-based technique assay จากผลการศึกษา คณะวิจัยได้อธิบายถึงผลการที่ต้นกล้าข้าวได้รับภาวะความเค็ม ข้าวพันธุ์ Pokkali มีความสามารถในการลดกระบวนการเกิด DNA methylation ได้อย่างรวดเร็วและมีความยืดหยุ่นของกระบวนการเกิด DNA methylation ที่ดีกว่า ในขณะที่ข้าวพันธุ์ IR29 มีความสามารถในการจัดการกระบวนการ DNA methylation ที่ต่ำกว่า ภายใต้สภาวะความเครียดจากความเค็ม นอกจากนี้ ระดับการเกิด Global DNA methylation มีระดับการเกิดในเนื้อเยื่อรากที่ต่ำกว่าในส่วนใบพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทั้งนี้ซึ่งก็ยังเป็นที่ถกเถียงในหมู่นักวิจัยที่ว่า รูปแบบของกระบวนการที่จำเพาะเจาะจงกับชนิดเนื้อเยื่อน่าจะเป็นผลจากกระระดับการเปลี่ยนแปลงของการเกิด DNA methylation ที่แตกต่างกันไป จากเหตุผลดังกล่าว ระดับการเกิดกระบวนการเกิด DNA methylation ที่แตกต่างกันน่าจะส่งผลถึงกระบวนการควบคุมของยีนบางอย่างที่ส่งผลต่อกระบวนการดังกล่าวซึ่งส่งผลต่อในระดับการแสดงออกต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่แตกต่างด้วย ทั้งนี้ยังต้องมีการศึกษาในเชิงลึกต่อไป

ข้าวพันธุ์ KDML105 เป็นพันธุ์ข้าวพันธุ์ไทยที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกเนื่องจากคุณภาพของการหุงต้มที่ดีเด่นและเป็นที่ต้องการของตลาดโลก จึงเป็นที่นิยมศึกษาในงานวิจัยหลายๆงานอย่างมากในประเทศไทย ข้าวพันธุ์ KDML105 ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีความอ่อนแอต่อภาวะเค็มในหลายๆการทดลอง มักจะใช้ข้าวพันธุ์นี้เป็นพันธุ์มาตรฐานอ่อนแอต่อความเค็ม (Suriya-arunroj และคณะ, 2004; Pattanagul และ Thitisaksakul, 2008) แต่จากผลการศึกษาทดลองของ Chutimanukul และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาในประชากรข้าวพัน CSSL ซึ่งเป็นกลุ่มประชากรข้าวเพื่อใช้ในการศึกษาความทนแล้ง ได้พัฒนาสายพันธุ์ข้าวโดยการย้ายชิ้นส่วนพันธุกรรมของพันธุ์ทนแล้ง DH212 บนโครโมโซมที่1 ที่อยู่ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุล (SSR marker) RM212 และ RM5310 ที่มีฐานพันธุ์กรรมจากข้าว KDML105 (ธีรยุทธ ตู้จินดา และคณะ, 2555) เปรียบเทียบผลของภาวะเค็มจากสารละลาย NaCl ที่ระดับ 75 mM และ 150 mM กับข้าวพันธุ์ Pokkali และ IR29 และพันธุ์ KDML105 พบว่าข้าวพันธุ์ KDML105 ยังมีความสามารถในการทนทานความเค็มในระดับที่ดีกว่า IR29 โดยมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างต่ำกว่าและมีความสามารถในการรักษาอัตราการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ IR29 และนอกจากนี้ จากผลการวิจัยของ Kanjoo และคณะ (2011) ทำการศึกษาเปรียบความแตกต่างของข้าวพันธุ์ Pokkali, IR29 ข้าวพันธุ์ KDML105 และกลุ่มประชากรข้าวสายพันธุ์ CSSL จำนวน 90 สายพันธุ์ โดยใช้ค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มเป็นดัชนีชีวัด พบว่า

ข้าวพันธุ์ KDML105 มีความสามารถในการรักษาค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มได้ดีกว่าพันธุ์ IR29 แม้ว่าจะผ่านการเติบโตจากภาวะเครียดจากความเค็มในดินที่ระดับ 12 dS/m เป็นระยะเวลา 16 และ 21 วัน (ภาพที่ 111) ดังนั้นในการจัดความสามารถการทนทานความเค็มในชุดการทดลองที่ 2 ข้าวพันธุ์ KDML105 จะถูกย้ายกลุ่มจากเดิมที่เคยถูกประเมินว่าเป็นพันธุ์อ่อนแอต่อความเค็ม (Salt sensitive; SS) จากงานวิจัยอื่น ๆ เป็นกลุ่มทนทานต่อความเค็มระดับปานกลาง (Moderately Salt Tolerant; MT)



ภาพที่ 111 ค่าเฉลี่ยคะแนนความเสียหายจากความเค็มของประชากรข้าว CSSL จำนวน 90 สายพันธุ์ (แท่งสีเทา)และ ข้าว 9 พันธุ์มาตรฐาน (แท่งสีแดง) หลังจากที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม NaCl ความเข้มข้น 150 mM เป็นระยะเวลา 16 วัน (A) และ 21 วัน (B) (Kanjoo และคณะ (2011)

ในชุดการทดลองที่ 2 ในการศึกษาครั้งนี้ที่มีการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์ KDML105 เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์พื้นเมืองอื่น ๆ ในประชากร ลักษณะการแสดงออกของข้าวพันธุ์ KDML105 ที่ได้จากการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยา จะพบว่าข้าวพันธุ์ดังกล่าวมีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรทั้งในภาวะปกติและภาวะเครียดจากภาวะเค็ม นอกจากนี้ ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าลดลงอยู่ในระดับปานกลางซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงปานกลางเช่นกัน ทั้งนี้ ข้าวพันธุ์ KDML105 มี

ความสามารถในการรักษาเสถียรภาพในทุก ๆ พารามิเตอร์ได้ดีเฉพาะในช่วง 3 วันแรกที่ได้รับภาวะเค็มระดับสูงโดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพประมาณ 1 แต่หลังจากที่ให้ภาวะเค็มต่อเป็นระยะเวลา 6 – 9 วัน ค่าดัชนีเสถียรภาพในค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เริ่มมีอตราที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากผลการศึกษา มีความสอดคล้องกับหลายๆงานวิจัย เช่น Cha-um และคณะ (2010) ที่ทำการศึกษาและประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มในกลุ่มข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองไทยจำนวน 11 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์ KDML105 มีค่าน้ำหนักสดและค่าน้ำหนักทั้งต้น สูงกว่าข้าวพันธุ์ IR29 และมีค่าน้อยกว่าข้าวพันธุ์ Pokkali เล็กน้อยและถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับข้าวพันธุ์ Pokkali นอกจากนี้ ข้าวพันธุ์ KDML105 ยังมีค่าเปอร์เซ็นการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ (%Electrolyte leakage) ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (หรือมีค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ลดลง) หลังจากที่ได้รับภาวะความเครียดเค็มในสารละลายระดับ 200 mM เป็นระยะเวลา 14 วัน และมีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งได้ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพเท่ากับ 0.78, 0.74 และ 0.27 ตามลำดับ นอกจากนี้ (Suriya-arunroj และคณะ, 2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระดับความสามารถในการทนเค็มในประชากรข้าวปรับปรุงพันธุ์ โดยมีพันธุ์ Pokkali และ KDML105 เป็นตัวเปรียบเทียบมาตรฐาน พบว่า ข้าวพันธุ์ KDML105 มีพฤติกรรมข้าวหลังจากได้รับภาวะความเค็ม 6 dS/m เป็นระยะเวลา 14 วันที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยครั้งนี้ โดยข้าวดังกล่าว มีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มค่อนข้างสูงเท่ากับ 7.00 และมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบในช่วงกลางวัน (midday) ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับประชากรที่ศึกษาโดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบหลังได้รับภาวะความเค็มเท่ากับ 0.79

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (Patumtani 1) เป็นหนึ่งในพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยที่ใช้ศึกษาเปรียบเทียบในงานวิจัยของ Cha-um และคณะ (2010) ซึ่งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งทั้งต้นโดยรวมที่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ IR29 เล็กน้อย อีกทั้งค่า %Electrolyte leakage ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากหลังจากที่ได้รับภาวะความเครียดในสารละลายระดับ 200 mM เป็นระยะเวลา 14 วัน ใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ IR29 ทั้งนี้ การตอบสนองดังกล่าว มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยที่ศึกษาการตอบสนองของข้าวปทุมธานี 1 ในครั้งนี้ด้วย ในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งลักษณะโดยภาพรวมดังกล่าวมีความใกล้เคียงกันกับการแสดงออกของข้าวพันธุ์ IR29 ในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 และมีระดับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ ในประชากร ทั้งนี้ จากผลของระดับการตอบสนองดังกล่าวจะใช้เป็นตัวบ่งบอกระดับความสามารถในการทนทานความเค็มของข้าวปทุมธานี 1 ให้คล้ายคลึงกับพันธุ์ IR 29 ให้เป็นพันธุ์ไม่ทนทานความเค็ม (Salt Susceptible; SS)

ข้าวสายพันธุ์ CSSL11 เป็นหนึ่งในสายพันธุ์ กลุ่มประชากรข้าวเพื่อใช้ในการศึกษาความทนแล้ง ได้พัฒนาสายพันธุ์ข้าวโดยการย้ายชิ้นส่วนพันธุกรรมของพันธุ์ทนแล้ง DH212 บนโครโมโซมที่1 ที่อยู่ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุล (SSR marker) RM212 และ RM5310 ที่มีฐานพันธุกรรมจากข้าว

KDML105 (ธีรยุทธ ตู้จินดา และคณะ, 2555) ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาถูกใช้ในการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาในครั้งนี้ หากพิจารณาจากผลการวิเคราะองค์ประกอบหลักและผลการวิเคราะห์กลุ่มโดยใช้ค่าโดยตรงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะพบว่าข้าวพันธุ์ CSSL11 เป็นพันธุ์ที่มีการแสดงออกทางสรีรวิทยาใกล้เคียงกับพันธุ์อื่นในประชากรและไม่มีค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาใดที่โดดเด่นมากนักและการตอบสนองทางสรีรวิทยาเปรียบเทียบระหว่างต้นกล้าที่โตในภาวะปกติและภาวะได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม จะพบว่า ข้าวพันธุ์ CSSL 11 เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและราก ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ไม่แตกต่างกับข้าวพันธุ์ KDML105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในภาวะที่เติบโตในภาวะปกติและภาวะได้รับความเครียดจากความเค็มและถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน นอกจากนี้หากพิจารณาจากค่าดัชนีเสถียรภาพจะพบว่าข้าวพันธุ์ CSSL11 ยังมีค่าดัชนีเสถียรภาพของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ KDML105 แต่จากผลการวิเคราะห์กลุ่มจะถูกจัดแยกคนละกลุ่มเนื่องด้วยลักษณะการแสดงออกของพฤติกรรมข้าวในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพในวันที่ 6 – 9 วันที่ข้าวพันธุ์ CSSL 11 มีความสามารถในการรักษาเสียรภาพได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ KDML105

จากผลการทดลองดังกล่าว มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chutimanukul และคณะ (2013) ทำการศึกษาผลของภาวะเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในข้าวสายพันธุ์ทนเค็มที่ได้จากประชากร CSSL จำนวน 6 สายพันธุ์ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative stage) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์ CSSL11 และ KDML105 มีการลดลงของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดต้นและน้ำหนักแห้งต้นที่หลังจากที่ได้รับความเครียดจากสารละลาย NaCl ที่ระดับ 75mM และ 150 mM เป็นระยะเวลา 18 วันที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าว CSSL11 จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มทนทานต่อความเค็มระดับปานกลางเช่นเดียวกับพันธุ์ KDML105

2. การตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปของค่าลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตหลังจากพืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 12 วันในชุดการทดลองที่ 3

สำหรับผลการศึกษาเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงไปทางสรีรวิทยาของประชากรข้าวในชุดการทดลองที่ 3 ที่ได้รับภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลา 12 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่เติบโตในภาวะปกติตลอดการทดลองพบว่า โดยภาพรวมแล้วประชากรชุดควบคุมและประชากรที่ได้รับภาวะความเครียดเค็มมีค่าลักษณะทางการเกษตร ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะความสูง จำนวนรวง จำนวนกอ อัตราส่วนรวงต่อกอ มวลชีวภาพส่วนต้น และความยาวรวงที่ไม่แปรผันมากนัก แต่หากพิจารณาค่าที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนเมล็ดดีต่อต้นและต่อรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อต้นและต่อรวง จำนวนเมล็ดรวมทั้งหมด อัตราการผสมติดเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด จะมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อดูค่าอัตราการผสมติดเมล็ดดี จะพบว่า ค่าดังกล่าวในประชากรมีปริมาณการติดรวงที่ค่อนข้างต่ำอันเนื่องมาจากสภาวะความหนาวเย็นรุนแรง ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2557 ซึ่งเป็นผลจากภาวะเย็นทันทีในช่วงฤดูกาลที่ปลูก (seasonal effect) เมื่อพิจารณาเฉพาะประชากรต้นกล้าข้าวที่เติบโตในภาวะปกติ พบว่าโดยภาพรวมต้นข้าวให้ผลผลิตที่ค่อนข้างน้อยกว่าปกติโดยมีค่าการแตกกอเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 7.40 กอ (ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3.00 – 12.75กอ), ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนรวงต่อกอของประชากร 0.9285 (ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.80 – 1.00), มีค่าอัตราการผสมติดเมล็ด 17% (ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.92% - 40.60%), จำนวนเมล็ดลีบต่อต้นที่ค่อนข้างสูงโดยมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 500.62 เมล็ด (ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 197.67 - 1,063.50 เมล็ด) จำนวนเมล็ดเต็มต่อต้นที่ค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับ 98.17% (ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 14.75 - 247.75 เมล็ด) และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเต็มมีค่าเฉลี่ยประชากรเท่ากับ 2.2454 กรัม (มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1279 - 5.5455 กรัม) และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่น ๆ ไม่สอดคล้องกับผลการทดลอง หลาย ๆ การทดลองเช่น Heathisong และคณะ (2012) ทำการศึกษาคัดเลือกข้าวสายพันธุ์กลายทนเค็มและไม่ไวต่อช่วงแสงจากการชักนำให้เกิดการกลายในข้าวพันธุ์ KDML105 จำนวน 12 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวในประชากรมีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดดี ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าการแตกกออยู่ในช่วง 11.46 - 13.06 กอ, มีจำนวนรวงต่อต้นอยู่ในช่วง 9.96-11.36 รวงและน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเต็มที่อยู่ในช่วง 26.36 - 29.55 กรัม นอกจากนี้ผลการทดลองดังกล่าวยังไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kanawapee และคณะ (2013) ที่ทำการศึกษาผลกระทบต่อความเครียดจากความเค็ม ในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย และข้าวปรับปรุงพันธุ์ จำนวน 30 พันธุ์โดยมีข้าวพันธุ์ Pokkali และ IR29 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน พบว่า ข้าวในประชากรมีเปอร์เซ็นต์การของอัตราการผสมติดเมล็ดอยู่ในช่วง 80% – 90% จากผล

การทดลองในการศึกษาครั้งนี้ ชี้ให้เห็นว่า องค์ประกอบผลผลิตในภาพรวมค่อนข้างน้อยกว่าการทดลองอื่น ๆ

สำหรับประชากรข้าวที่ผ่านการเติบโตจากภาวะเครียดเค็มเป็นระยะเวลา 12 วันยังคงพบรูปแบบการแสดงที่หลากหลาย แต่โดยภาพรวมแล้ว ข้าวส่วนใหญ่ในประชากรมีแนวโน้มของการสร้างองค์ประกอบผลผลิตที่ลดลง จากกลุ่มประชากรที่เติบโตในภาวะปกติ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีเสถียรภาพจะช่วยให้การมองภาพของรูปแบบการแสดงออกของลักษณะต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น และจากการทดลอง ยังคงรูปแบบการแสดงออกที่หลากหลายของลักษณะทางการเกษตรและในภาพรวม จะพบค่าต่าง ๆที่ดูมีแนวโน้มที่ไปด้วยกันมากกว่าค่าการตอบสนองในภาวะปกติและค่าการตอบสนองในภาวะเครียดจากความเค็ม ดังนั้นในการอธิบายทิศทางหรือรูปแบบของลักษณะดังกล่าวจึงค่อนข้างทำได้ยากที่จะกล่าวได้ว่า ผลการทดลองการศึกษาครั้งนี้จะเป็นผลมาจากความเครียดจากความเค็มที่ต้นกล้าข้าวเคยได้รับในระยะต้นกล้าเพียงอย่างเดียวเนื่องจากระบบปลูกที่มีความเย็นมากระทบดังกล่าว ทั้งนี้คณะผู้ทำการทดลองมีข้อเสนอว่าควรเก็บผลการทดลองใหม่เพื่อยืนยันผลการทดลองให้แม่นยำมากยิ่งขึ้น แต่สำหรับค่าที่เกี่ยวกับลักษณะทางเกษตรที่สัมพันธ์กับค่าความสูง ค่าการแตกกอ การออกรวง น่าจะเป็นลักษณะที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะอากาศเย็นที่น้อยกว่า

ผลการทดลองในครั้งนี้ มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thitisaksakul และคณะ (2015) ศึกษาผลกระทบจากความเค็มในดินระดับต่ำที่ระดับความเข้มข้นเกลือ NaCl ที่ความเค็ม 2 และ 4 dS/m ในระยะต่าง ๆ ของข้าวรวมทั้งระยะต้นกล้าข้าว 28 วันในข้าว Nipponbare ต่อการแสดงออกของการสร้างองค์ประกอบผลผลิตและกลไกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างแป้ง พบว่า ความเค็มที่พืชได้รับในระยะต้นกล้า มีผลกระทบน้ำหนักเมล็ด อัตราการผสมติดเมล็ด และค่าที่เกี่ยวข้องกับจำนวนเมล็ดนอกจากนี้ ยังส่งผลให้เกิดเมล็ดลีบเล็กและไม่พัฒนา นอกจากนี้ ค่าน้ำหนัก 100 เมล็ดนอกจากนี้ ในงานวิจัยของ Zeng และคณะ (2001) ทำการศึกษาผลกระทบของความเค็ม NaCl ที่ระดับต่าง ๆ กันต่อการสร้างองค์ประกอบผลผลิตในต้นกล้าข้าวระยะ 20 วัน ให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยครั้งนี้ โดยจะพบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลาย NaCl ที่สูงขึ้น ตั้งแต่ 1.8 dS/m – 4.6 dS/m ข้าวมีจำนวนการแตกกอที่ลดลง มวลชีวภาพส่วนต้น จำนวนเมล็ดต่อรวง และจำนวนเมล็ดต่อต้น ที่ลดลงจากข้าวชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสารละลาย NaCl อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Aref และ Rad (2012) ทำการศึกษาผลกระทบของสารละลาย NaCl ที่ระดับ 2, 4,6 และ 8 dS/m ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและระยะต่างของการออกดอก พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเกลือระดับสูง 8 dS/m ส่งผลให้เปอเซ็นต์การสร้างเมล็ดดีมีค่าลดลงจากข้าวชุดควบคุมที่โตในภาวะปกติประมาณ 40% นอกจากนี้จำนวนเมล็ดลีบต่อรวงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยหลังจากที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม เช่นกัน นอกจากนี้ Zeng และคณะ (2003) ทำการศึกษาประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มในกลุ่มประชากรพันธุ์ข้าว 12 พันธุ์ โดยใช้

ค่าดัชนีเสถียรภาพมาใช้ในการประเมิน จากผลการทดลองพบว่า ข้าว(สาย)พันธุ์ต่าง ๆ ที่ทำการทดสอบ มีค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าองค์ประกอบผลผลิต ค่ามวลชีวภาพส่วนต้น น้ำหนักเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง อัตราการแตกกอ อัตราการผสมติดรวงที่ลดลงเกือบทั้งประชากร หลังจากที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 8.2 dS/m

Thitisaksakul และคณะ (2015) ได้อ้างอิงในงานวิจัยหลายๆงานวิจัย พบว่า กระบวนการที่พืชทีการเพิ่มจำนวนของเมล็ดลีบสูงขึ้นเนื่องมาจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการสังเคราะห์แป้งที่ลดลง นอกจากนี้กระบวนการเคลื่อนย้ายของสาร soluble carbohydrate ที่ลดลงอันเนื่องมาจากผลกระทบของพืชที่สูญเสียอัตราการควบคุมสมดุลของอัตราส่วน Na^+/K^+ ในเนื้อเยื่อดอก (Abdullah และคณะ, 2011) ส่งผลให้พืชมีการเจริญและพัฒนาช่อดอกที่ผิดปกติอีกด้วย (Lutts และคณะ, 1995) ในทางตรงกันข้ามหากพืชได้รับความเข้มข้นของเกลือที่ระดับต่ำ ในระยะต้นกล้า จะพบผลกระในทางบวก (positive effect) ในงานวิจัยดังกล่าวยังพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้น 2 dS/m จะไปส่งเสริมให้ ข้าวจำนวนรวง น้ำหนักเมล็ด อัตราการผสมติดเมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจากข้าวชุดควบคุมที่เติบโตภาวะปกติ สำหรับจำนวนรวงของข้าวที่ทำการทดลองพบว่า หลังจากได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม ข้าวมีการสร้างรวงที่เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 12% จากภาวะปกติ จากผลการทดลองดังกล่าว ไม่สอดคล้องกับการรายงานที่ใดมาก่อน และจากผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่า ในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยบางพันธุ์มีความสามารถในการผลิตองค์ประกอบผลผลิตที่สูงขึ้นอย่าง ได้แก่ข้าวพันธุ์ที่ถูกจัดกลุ่มใน Cluster I ชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตมาวิเคราะห์ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าข้าวมีความสามารถในการปรับตัวและคืนสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นในระยะต้นกล้า สำหรับเหตุผลที่ข้าวแสดงพฤติกรรมดังกล่าว ยังต้องมีการศึกษาเชิงลึกต่อไป

3.การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์กลุ่มจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตอบสนองต่อการเจริญในภาวะปกติและภาวะเครียดจากความเค็มในชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3

สำหรับผลการทดลองการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่นำมาวิเคราะห์การตอบสนองโดยใช้ค่าเฉลี่ยโดยตรงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาในระยะต้นกล้า ในชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3 พบว่า การใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองแบบ ช่วยอธิบายชุดข้อมูลได้ดีใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแปรปรวนของชุดข้อมูลที่พบในแกน PC1 อยู่ในช่วง 30% – 45% และมีค่าความแปรปรวนสะสม (Cumulative percentage) ตั้งแต่แกน PC1 – PC3 อยู่ในช่วง 50% – 60% สำหรับงานทดลองนี้ ผู้วิจัยจะขอเลือกใช้ความแปรปรวนจากสามแกน PC แรกเพื่อมาใช้ในการพล๊อตค่าความห่างของประชากรโดยใช้ความแปรปรวนจากแกน PC1, PC2 และ PC3 เท่านั้นเนื่องจากเป็นสามแกนแรกที่สามารถมองเห็นและพิจารณาได้ง่าย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในชุดการทดลองที่ 1 จะพบว่า จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้ค่าปกติ จะมีข้าวจำนวน 3 พันธุ์ที่ค่อนข้างมีการกระจายตัวออกจากกลุ่มประชากร ได้แก่ พันธุ์หลวงประทาน (4), เจ้าขาว (66) และ กข1 (6) และเมื่อใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพมาใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ยังพบว่าต้นกล้าข้าวส่วนใหญ่ในประชากรยังมีค่าดัชนีเสถียรภาพในภาพรวมที่ยังเกาะกลุ่มใกล้เคียงกันยกเว้นข้าวพันธุ์ กข1 เท่านั้น ที่ค่อนข้างกระจายห่างไปจากกลุ่มประชากรมากที่สุด (ข้าวพันธุ์กข1 จะมีการกระจายตัวออกไปทางด้านซ้ายสุดของกราฟ 2 มิติ) จากการพิจารณาค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยตรงจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ และค่าดัชนีเสถียรภาพจะพบว่า ข้าวพันธุ์ กข1 เป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น ที่ต่ำที่สุดในประชากร และมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่สูงที่สุด ในทุก ๆ วันที่ทำการเก็บผลการทดลอง นอกจากนี้ ค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าน้ำหนักสดและค่าน้ำหนักแห้งต้น ยังมีค่าที่ต่ำมากตั้งแต่วัน 3 วันแรกที่ทำการให้ภาวะเครียดจากความเค็ม ในขณะที่ข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) มีค่าการแสดงออกของค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ตรงกันข้ามกับข้าวพันธุ์กข1 ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักข้าวพันธุ์หลวงประทานจะมีการกระจายตัวออกไปทางด้านขวาสุดของกราฟ 2 มิติ (พันธุ์ที่มีการกระจายตัวไปทางด้านขวาของกราฟจะสื่อให้เห็นว่าเป็นพันธุ์ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยรวมมากในขณะที่พันธุ์ที่มีการกระจายตัวไปทางด้านซ้ายของแกนจะเป็นพันธุ์ที่สื่อให้เห็นว่าเป็นพันธุ์ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ น้อย) โดยค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างสูงที่สุดในประชากรทั้งภาวะปกติและภาวะที่ได้รับความเครียดต่อความเค็มในประชากร ทั้งนี้ค่าดัชนีเสถียรภาพของทุกพารามิเตอร์ของข้าวพันธุ์หลวงประทาน โดยรวมมีค่าที่ค่อนข้างสูงอีกด้วย แต่ยังมีค่าใกล้เคียงไม่โดดเด่นเมื่อเทียบกับประทานบ้านบุ้งและพันธุ์เขียวหางม้า ที่มีความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพสูงที่สุดตลอดทั้ง 3 และ 6 วันที่ได้รับค่าภาวะเครียดจากภาวะเค็ม

สำหรับข้าวพันธุ์เจ้าขาว มีการกระจายตัวที่ค่อนไปทางด้านขวาของกราฟเช่นเดียวกับข้าวพันธุ์ หลวงประทาน (4) แต่จะแยกตัวออกไปทางด้านบนของกราฟ ทั้งนี้ข้าวพันธุ์เจ้าขาวเป็นพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากในระดับที่สูงใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์หลวงประทาน (4) แต่มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์หลวงประทานเล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ข้าวทั้งสี่พันธุ์น่าจะเป็นแหล่งของฐานข้อมูลพันธุกรรมที่น่าจะเกี่ยวข้องกับการควบคุมลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการทนทานความเค็มที่น่าสนใจและยังไม่เคยค้นพบและมีการศึกษามาก่อน นอกจากนี้ในข้าวพันธุ์อื่น ๆ ในประชากรที่ทำการศึกษา การวิเคราะห์การสกัดองค์ประกอบจะมีค่าเฉลี่ยลักษณะด้อยและลักษณะเด่นที่แตกต่างแปรผันลดหลั่นระดับการแสดงออกของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันไปแล้วแต่ละพันธุ์ซึ่งจะต้องพิจารณาในรายละเอียดจากการวิเคราะห์กลุ่มในขั้นต่อไป

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในชุดการทดลองที่ 2 จะพบรูปแบบการกระจายตัวของประชากรข้าวที่คล้ายคลึงกับข้าวในชุดการทดลองที่ 1 จากการวิเคราะห์การสกัดองค์ประกอบโดยใช้ค่าโดยตรงที่ตอบสนองในสภาวะปกติและที่ตอบสนองในภาวะเครียดจากภาวะเค็มจะพบว่าข้าวพันธุ์เล้าแตก (50) เป็นพันธุ์ที่กระจายตัวออกมาทางด้านขวาของกราฟสองมิติ ในขณะที่ ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) เป็นพันธุ์ที่กระจายตัวออกไปจากประชากรทางด้านซ้ายของกราฟแต่ก็ยังมีแนวโน้มที่เกาะกลุ่มกันอยู่ในประชากรพันธุ์อื่น ๆ ที่ศึกษาซึ่งลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์เล้าแตกคือเป็นข้าวพันธุ์ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างสูงทั้งในภาวะปกติและภาวะที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มตลอดระยะเวลาการทดลองและมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบกับค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่ค่อนข้างสูงแต่ก็ยังไม่โดดเด่นเท่าข้าวพันธุ์ ในประชากร ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไอไท้ (72) จะมีการแสดงออกที่ตรงกันข้ามกับข้าวพันธุ์ เล้าแตก (50) โดยจะมีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างน้อยที่สุดในประชากรทั้งในภาวะปกติและภาวะที่ได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม ทั้งนี้เนื่องจากข้าวพันธุ์ไอไท้ เป็นข้าวพันธุ์เดียวในประชากรชุดการทดลองที่ 2 ที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรมเป็นข้าวไร่ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง population substructure analysis ที่มีกลุ่มสนิปส์ที่แตกต่างทั้งหมดแยกกระจายจากพันธุ์อื่น ๆ ในประชากร เนื่องจากข้าวพันธุ์ไอไท้เป็นข้าวที่มีพื้นหลังทางพันธุกรรมที่แตกต่างจากพันธุ์อื่นในประชากรมากและพันธุ์ข้าวที่ต้องปลูกในระบบรดน้ำ การปลูกข้าวไร่ในระบบขังน้ำแบบข้าวนาสวน จะส่งผลให้ข้าวพันธุ์ไอไท้เกิดภาวะเครียดตั้งแต่ก่อนระยะต้นกล้าจึงส่งผลให้ค่าการเจริญเติบโตต่าง ๆ มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าพันธุ์อื่นในประชากร จากผลการทดลองดังกล่าว มีความคล้ายคลึงและสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kajonphol และคณะ (2012) ที่ทำการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองไทยในจังหวัดกาญจนบุรี โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาทั้ง 5 ลักษณะพบว่าความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ข้าวไร่ใน

ประชากรที่ค่อนข้างต่ำและแยกกระจายตัวออกไปจากข้าวพันธุ์อื่น ๆ อันเนื่องมาจากการคัดเลือกพันธุ์ของเกษตรกรที่ส่งผลต่อโครงสร้างทางพันธุกรรมที่ทำให้มีความแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่นในประชากร

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของทุกพารามิเตอร์ จะพบรูปแบบการกระจายตัวของพันธุ์ข้าวในประชากรที่แตกต่างจากการใช้ค่าโดยตรงมาวิเคราะห์ซึ่งจะพบว่า ข้าวพันธุ์ อีพวง สายหยุด ดำด่าง ป้องแอ้ว และขาวกอเดียว ที่มีความห่างจากพันธุ์อื่นในกลุ่มประชากรมากที่สุด โดยข้าวพันธุ์ขาวกอเดียวกระจายตัวอยู่ทางด้านขวาของกราฟ และมีลักษณะเด่นคือ มีค่าดัชนีเสถียรภาพที่ค่อนข้างสูงขึ้นเล็กน้อยจากค่า 1 ในช่วง 3 วันแรกที่พืชได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม และเมื่อเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 6 และ 9 วัน มีการลดลงไม่มากนักของค่าดัชนีเสถียรภาพในทุก ๆ พารามิเตอร์ที่ตอบสนองต่อความเครียดเค็ม อีกทั้งมีค่าดัชนีเสถียรภาพในภาพรวมที่สูงที่สุดในประชากรได้ และยังมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างต่ำ ในทุกช่วงเวลาที่เก็บค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากรอีกด้วย ในขณะที่ข้าวพันธุ์ อีพวง, สายหยุด, ดำด่าง, ป้องแอ้ว มีการกระจายตัวออกไปทางด้านซ้ายของกราฟและในภาพรวมมีลักษณะการแสดงออกของค่าดัชนีเสถียรภาพในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรงกันข้ามกับข้าวพันธุ์ขาวกอเดียว จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักดังกล่าว ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ น่าจะเป็นพันธุ์ที่มีฐานข้อมูลทางพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรักษาเสถียรภาพที่น่าสนใจ

ในชุดการทดลองที่ 3 จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้ค่าโดยตรงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการตอบสนองทางสรีรวิทยาในระยะต้นกล้า จะพบว่า ข้าวพันธุ์ Pokkali เหนียวสันป่าตอง ขี้ตมพัน และก่ำเฟือง เป็นพันธุ์ที่ค่อนข้างกระจายตัวออกห่างจากพันธุ์อื่นในประชากรมากที่สุด โดยที่ข้าวพันธุ์ Pokkali เป็นพันธุ์ที่มีการกระจายตัวออกไปทางด้านขวาของกราฟด้วยลักษณะที่โดดเด่นของข้าวพันธุ์ Pokkali ที่มีค่าน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและรากค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ทั้งในภาวะปกติและในภาวะที่ต้นกล้าข้าวเติบโตในภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไประยะเวลา 6 9 และ 12 วัน และยังสามารถรักษาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีมากตลอดช่วงเวลาที่พืชได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็ม อีกทั้งยังมีค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร ในขณะที่ข้าวพันธุ์ เหนียวสันป่าตอง ขี้ตมพัน และก่ำเฟือง มีการกระจายตัวออกไปทางด้านซ้ายของกราฟและลักษณะเด่นต่อการอ่อนแอต่อภาวะเครียดจากความเค็มเป็นพิเศษอีกทั้งยังเป็นพันธุ์ที่มีการแสดงออกในลักษณะตรงกันข้ามกับข้าวพันธุ์ Pokkali นอกจากนี้รูปแบบการกระจายตัวของตัวทำนายต่าง ๆ ยังมีค่าที่แตกต่างจากการวิเคราะห์เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 2 และ ชุดการทดลองที่ 3 โดยมีข้าวพันธุ์ Pokkali เหลืองเตี้ย ขี้ตมพัน และ เหนียวสันป่าตองที่ค่อนข้างกระจายตัวแยกจากพันธุ์อื่นในประชากร ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ข้าวพันธุ์เหลืองเตี้ยมีการกระจายตัวออกห่างจากประชากรและกระจายตัวใกล้กับข้าวพันธุ์ Pokkali ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพ

ต่าง ๆ ได้ดีใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ Pokkali ในขณะที่ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตองมีการกระจายตัวออกไปทางด้านซ้ายของกราฟและอยู่ตรงกันข้ามกับข้าวพันธุ์ Pokkali ซึ่งสะท้อนให้เห็นลักษณะเด่นของการแสดงออกของการรักษาเสถียรภาพที่ค่อนข้างต่ำที่สุดในประชากร และสำหรับข้าวพันธุ์ IR29 มีการกระจายตัวแยกออกไปทางด้านขวาบนของกราฟซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการตอบสนองต่อภาวะเข้มข้นของเกลือในระบบที่ค่อนข้างผิดปกติ จึงทำให้ข้าวพันธุ์ IR29 มีการตอบสนองที่แยกออกจากประชากร ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว อาจเป็นแหล่งของฐานข้อมูลทางพันธุกรรมและข้อมูลการแสดงออกของการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการตอบสนองต่อความเครียดเค็มที่น่าสนใจ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในชุดการทดลองที่ 3 โดยการใช้ค่าโดยตรงของลักษณะทางการเกษตรและค่าองค์ประกอบผลผลิตในทั้งภาวะปกติและภาวะเครียดจากความเค็มจะพบว่าความแปรปรวนของค่า Factor loading ในแกน PC1 จะเทน้ำหนักไปที่ค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชในภาวะที่ผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็ม โดยมีค่า Factor Loading อยู่ในช่วง 0.16 – 0.30 โดยมีค่าความแปรปรวนของแกน PC1 เท่ากับ 29.05% จากผลการทดลองดังกล่าว น่าจะสื่อให้เห็นถึงผลกระทบจากความเค็มเป็นปัจจัยที่ขับเคลื่อนให้ข้าวที่มีพื้นหลังทางพันธุกรรมต่างกันมีพฤติกรรมการแสดงออกต่อความเครียดจากความเค็มไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบผลผลิตและค่าลักษณะทางการเกษตรโดยภาพรวมที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นในบางพารามิเตอร์ อย่างมีทิศทางจึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองในภาวะเค็ม มีความสัมพันธ์กันมากขึ้น

ในงานวิจัยของ Soontornyatara และคณะ (2015) ได้ทำศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของสบู่ดำโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาลักษณะทางการเกษตร จำนวน 31 ลักษณะโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อการจัดกลุ่มทางการเกษตรพบว่า ไม่สามารถ จัดแยกกลุ่มสบู่ดำแยกออกจากกันได้ชัดเจนเนื่องมาจากลักษณะที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่อนข้างมีความแปรปรวนของชุดข้อมูลสูงแม้ว่าความห่างทางพันธุกรรมของสบู่ดำในประชากรจะมีไม่มาก และนอกจากนี้ (Maji และ Shaibu, 2012) ทำการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการประเมินลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตระหว่างกลุ่ม *Oryza sativa* และ *Oryza glaberrima* พบว่าให้ผลการศึกษาที่สอดคล้องกัน ดังนั้นการศึกษาองค์ประกอบหลักช่วยให้นักปรับปรุงสามารถสามารถเลือกลักษณะต่าง ๆ ที่สนใจโดยดูจากความสัมพันธ์ของค่า factor loading ที่สัมพันธ์กับแกน PC ต่าง ๆ นำไปเป็นเชื้อพันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์

การใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าองค์ประกอบผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรมาใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะพบว่าค่าความแปรปรวนของสะสมของแกน PC1 และ PC2 ได้สูงถึง 83.39% ทั้งนี้ความต่างของชุดข้อมูลสองชุดการทดลองมีความต่างของ scale ของชุดข้อมูลที่แตกต่างกันมากกว่าการใช้ข้อมูลในระยะต้นกล้ามาใช้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าโดยตรงมา

พิจารณา จะทำให้ผลของความแปรปรวนที่มาจากความต่างกันของ scale ของชุดข้อมูลห่างกันมาก อาจจะไปรบกวนผลการวิเคราะห์ข้อมูล ในขณะที่การใช้ข้อมูลดัชนีเสถียรภาพมาวิเคราะห์ จะช่วยปรับ scale ของชุดข้อมูลให้มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ความแปรปรวนของชุดข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ลดน้อยลง ทำให้เปอร์เซ็นต์การอธิบายชุดข้อมูลได้สูงขึ้น

ผลการเปรียบเทียบลำดับการจัดกลุ่มมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการนำชุดข้อมูลที่ตอบสนองต่อภาวะเครียดจากภาวะเค็มที่แตกต่างกันมาวิเคราะห์การจัดกลุ่มโดยจะพบว่าการใช้ค่าโดยตรงของลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตมาใช้ในการจัดกลุ่มนั้น เนื่องจากลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตเป็นลักษณะที่มีความแปรปรวนสูงและเป็นลักษณะที่แปรผันกับสิ่งแวดล้อมและเป็นลักษณะทางปริมาณซึ่งถูกควบคุมด้วยยีนจานวนมากและ สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการแสดงออกของยีน ทำให้ลักษณะทางการเกษตรที่แสดงออกมีความผันแปรอย่างต่อเนื่อง (continuous variation) ทำให้ไม่สามารถ แยกกลุ่มพันธุ์ข้าวต่าง ๆ ออกจากกันเป็นกลุ่มอย่างชัดเจน (discrete variation) เช่นเดียวกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาอื่น ๆเช่น ลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาในระยะต้นกล้าซึ่งเป็นลักษณะทางคุณภาพ (qualitative trait) ที่ถูกควบคุมด้วยยีนจำนวนน้อยกว่า และสภาพแวดล้อมไม่มีอิทธิพลต่อการแสดงออกของลักษณะ (Acquaah, 2012) จึงทำให้ผลการจัดกลุ่มมีบางลักษณะที่ไม่ไปด้วยกันแม้จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันก็ตาม อันเนื่องมาจากเบื้องหลังทางพันธุกรรมที่หลากหลายของการแสดงออกของลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิตดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่อย่างไรก็ตาม มีข้าวบางพันธุ์ที่รูปแบบการวิเคราะห์การจัดกลุ่มและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่ไปในทิศทางเดียวกันทั้งในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการใช้ค่าโดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพ คือ LPT123 (109) เหลืองนวล (175) เหลืองปลากิม (174) และ ขาวตาเจือ (150)) ก่ำเฟือง (155) บุญมา (135) ขี้ตมพัน (48) ข้าวฮ้าว (163) และเหนียวสันป่าตอง (112) ที่กระจายตัวแยกออกไปจากกลุ่มและถูกจัดในกลุ่มเดียวกัน โดยมีลักษณะค่าดัชนีและค่าโดยตรงจากภาวะปกติและภาวะเครียด ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ทั้งจากการวิเคราะห์การจัดกลุ่มโดยใช้ค่าโดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพ ซึ่งพันธุ์ดังกล่าวน่าจะเป็นแหล่งฐานข้อมูลทางพันธุกรรมและลักษณะทางการเกษตรที่ดีต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะเครียดจากความเค็มที่น่าจะเป็นประโยชน์ในการไว้เป็น germplasm) เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ (Boonlertnirun และ Jompuk, 2013)

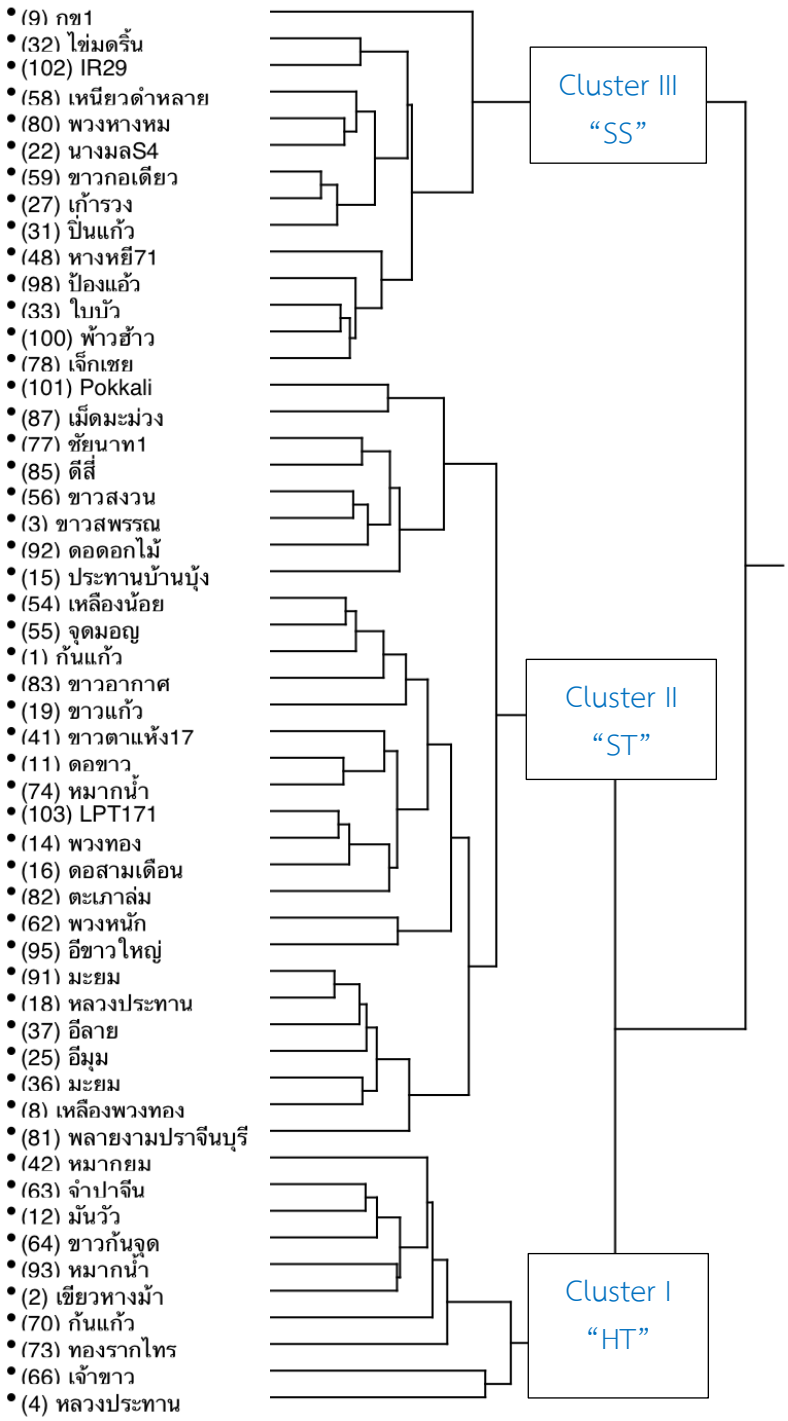
ในการทดลองของ Cha-um และคณะ (2010) ได้มีการศึกษาการจัดลำดับความสามารถในการทนทานความเค็มโดยการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยจำนวน 11 พันธุ์ได้แก่ Homjan Pathumthani 1 R258 Upland rice 1 Upland rice 2 Dokpayom Chewmaejan 1 Chewmaejan 2 Chowho Kumuangluang KDML 105 เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ Pokkali และ IR29 พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ โดยจะพบว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์ที่มีการ

ตอบสนองทางสรีรวิทยาที่คล้ายคลึงกับข้าวพันธุ์ IR29 และถูกจัดกลุ่มให้มีความสามารถในการทนทานความเค็มในระดับเดียวกัน คือ พันธุ์อ่อนแอต่อความเค็ม (SS) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ Pokali ถูกจัดกลุ่มแยกออกไปคนละกลุ่มและถูกจัดระดับความสามรถอยู่ในกลุ่มข้าวทนทานความเค็ม ST แต่อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์ KDML105 ในประชากรที่ศึกษาถูกจัดระดับความสามารถความทนทานความเค็มอยู่ในกลุ่มเดี่ยวกับ Pokkali ทั้งนี้เนื่องมาจากมิติของค่าพารามิเตอร์ศึกษาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อความเค็มมีมากกว่าชุดการทดลองที่ศึกษาครั้งนี้ หากมีการศึกษาผลของค่าสรีรวิทยาอื่นๆ มีความเกี่ยวข้องและสะท้อนความสามารถในการทนทานความเค็มมาจัดกลุ่มในประชากรข้าวพื้นเมืองไทยที่ศึกษา รูปแบบการแสดงออกและการจัดกลุ่มจะมีรูปแบบที่แตกต่างออกไป

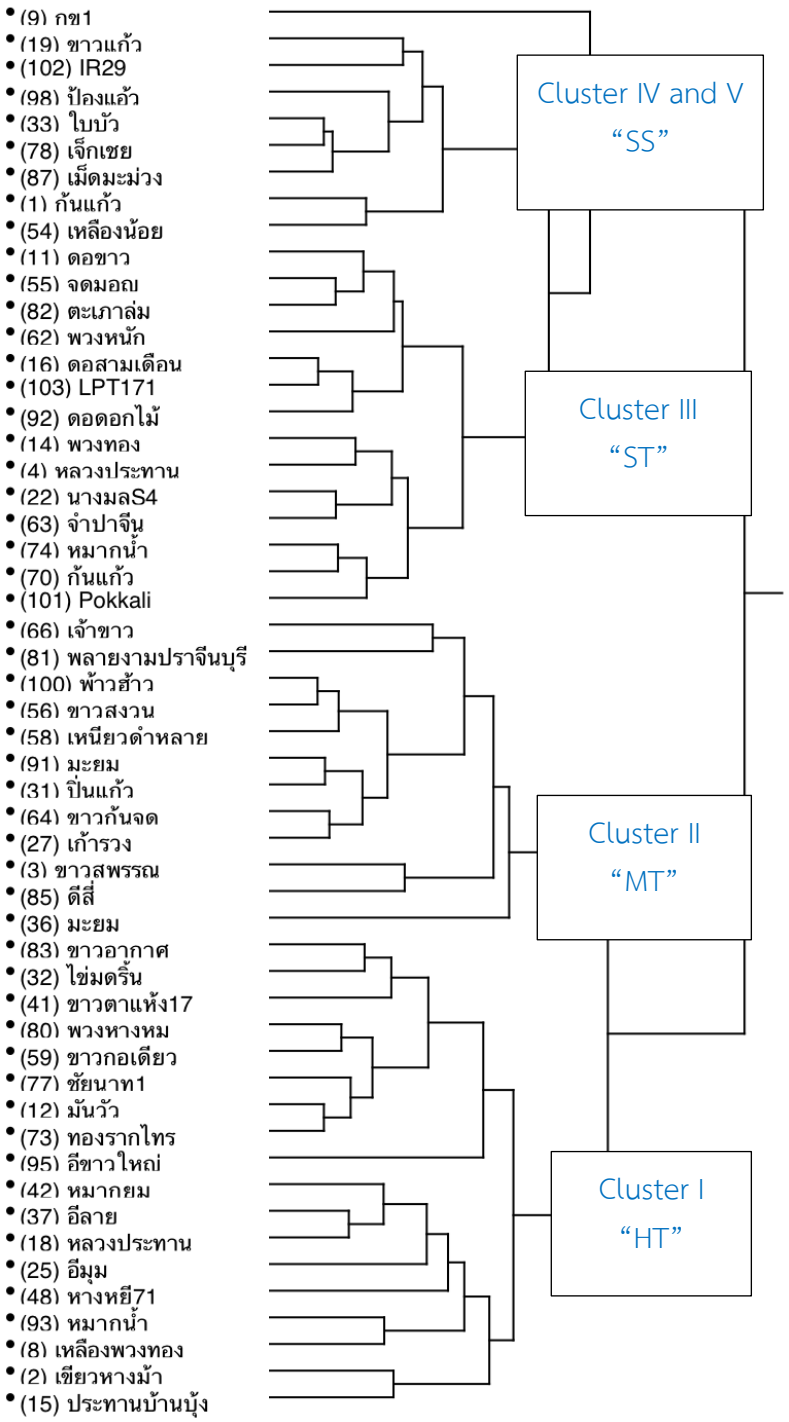
ดังนั้นในการจัดกลุ่มความสามารถต่อการทนทานความเค็มในครั้งนี้ จะอ้างอิงความสามารถการทนทานความเค็มของข้าวพันธุ์ Pokkali IR29 KDML105 และปทุมธานี 1ที่ได้รับการรับรองและสอดคล้องในหลายๆงานวิจัยตามความสามารถในการตอบสนองทางสรีรวิทยาทางความเค็มในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 112 – 119 โดยเกณฑ์การจัดกลุ่มมีดังนี้ ข้าวที่มีคุณสมบัติในการทนทานความเค็มในด้านต่าง ๆ ใกล้เคียงหรือคล้ายคลึงกับข้าวพันธุ์

- Pokkali เป็นข้าวพันธุ์ทนทานความเค็ม Salt Tolerant (ST)
- IR29 และ Pathumthani 1 เป็นข้าวพันธุ์อ่อนแอต่อความเค็ม Salt Susceptible (SS)
- ข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการทนทานความเค็มดีกว่าข้าวพันธุ์ Pokkali เป็นข้าวพันธุ์ทนทานความเค็มระดับสูง Highly Salt Tolerant (HT)
- KDML105 เป็นข้าวพันธุ์ทนทานความความเค็มระดับปานกลาง Moderately Salt Tolerant (MT)

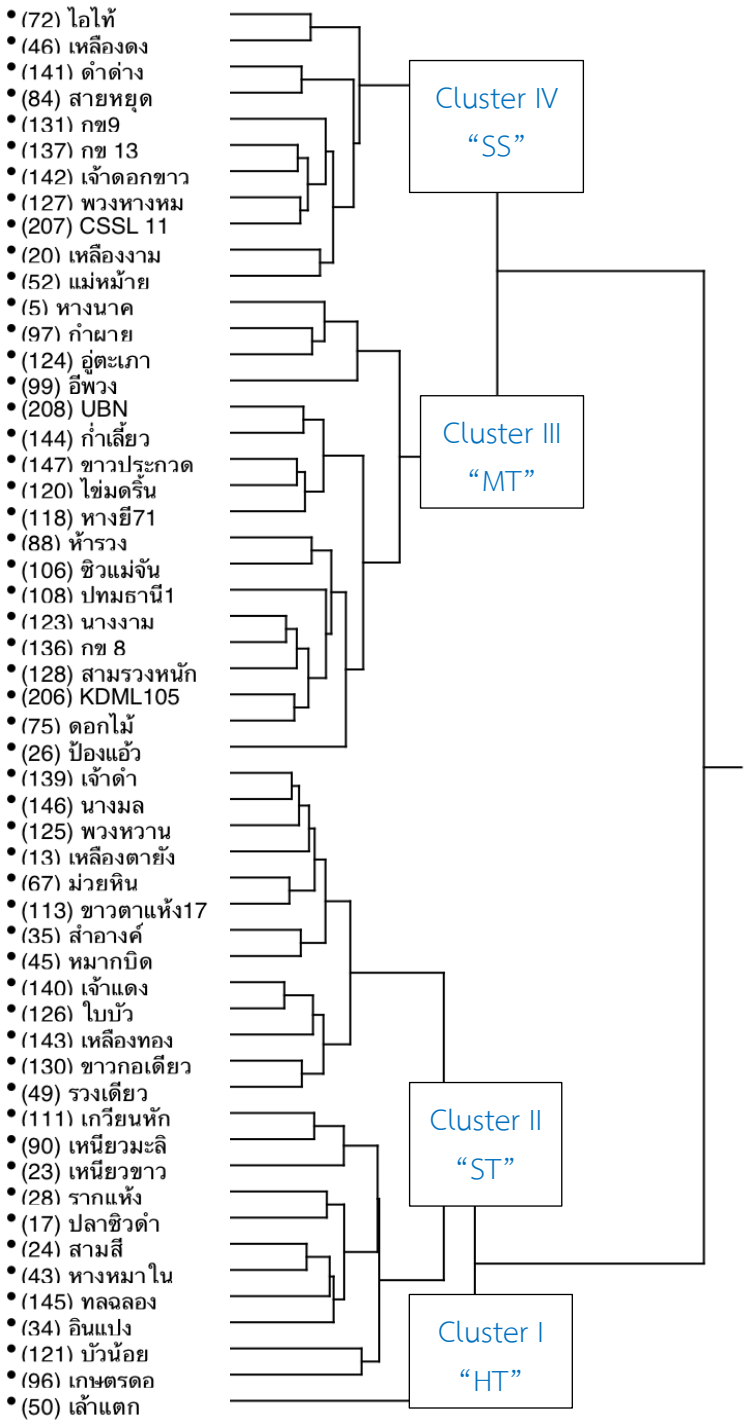
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



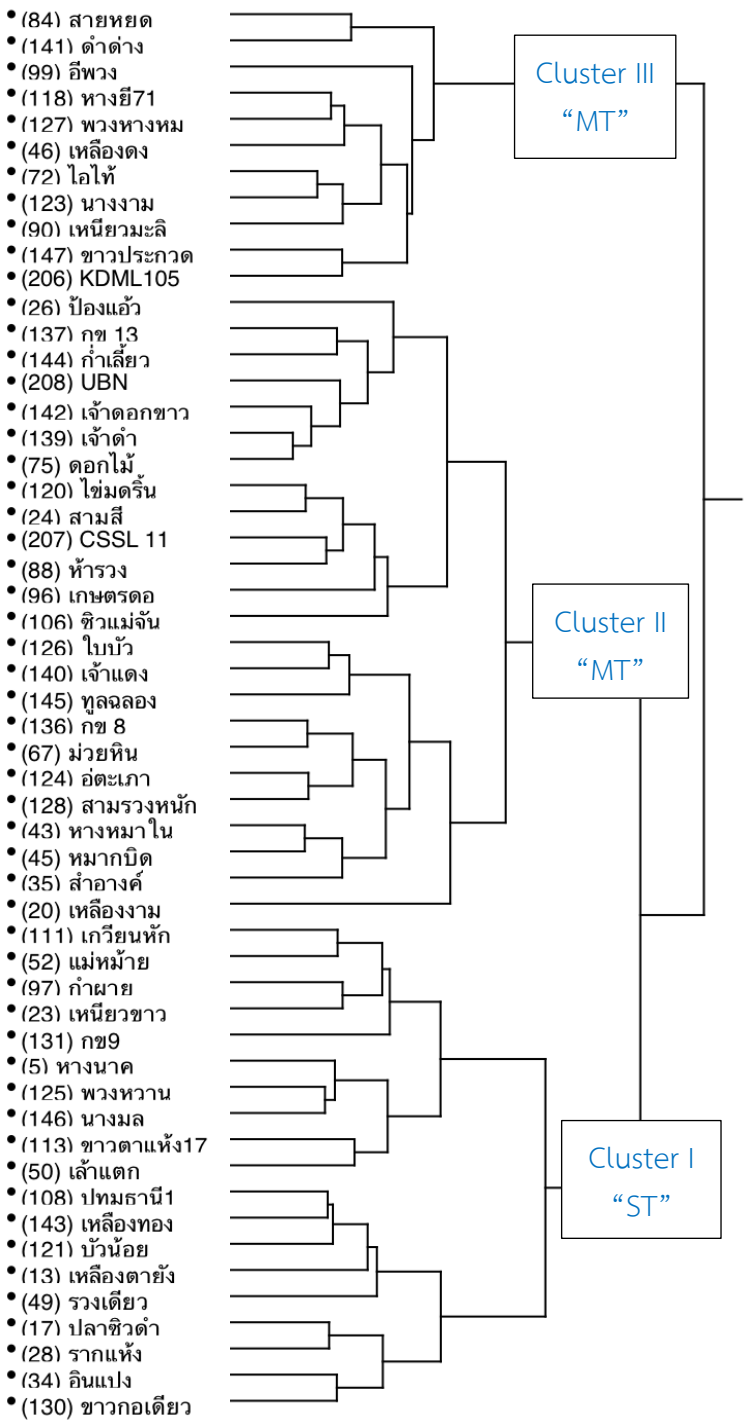
ภาพที่ 112 แผนภาพ dendogram แสดงการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้ค่าโดยตรงจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพารามิเตอร์ต่าง ๆ : High salt tolerant (HT) Salt tolerant (ST) และ Salt susceptible (SS)



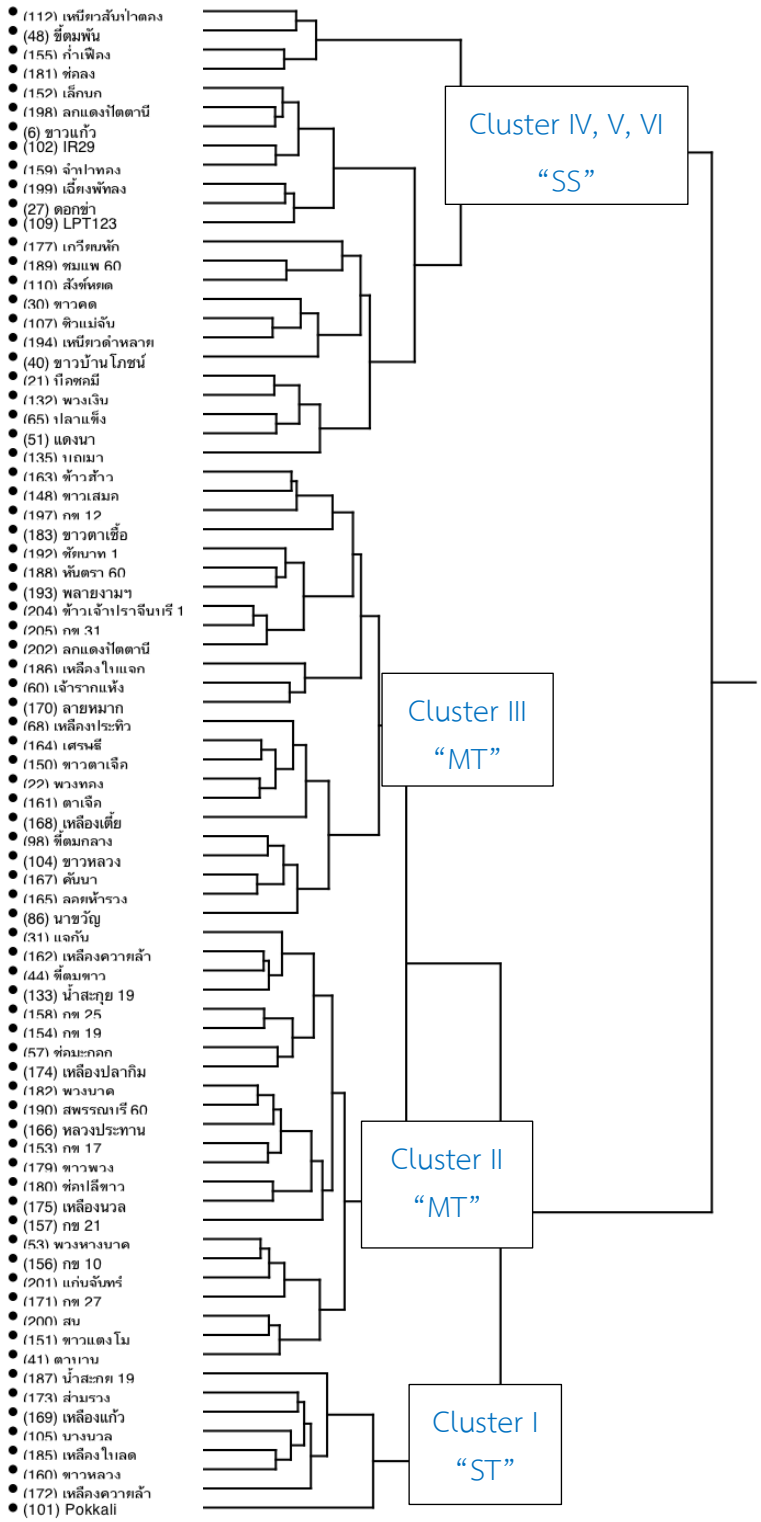
ภาพที่ 113 แผนภาพ dendogram แสดงการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพของค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพารามิเตอร์ต่าง ๆ : High salt tolerant (HT) Salt tolerant (ST) Salt susceptible (SS) และ Moderately tolerant (MT)



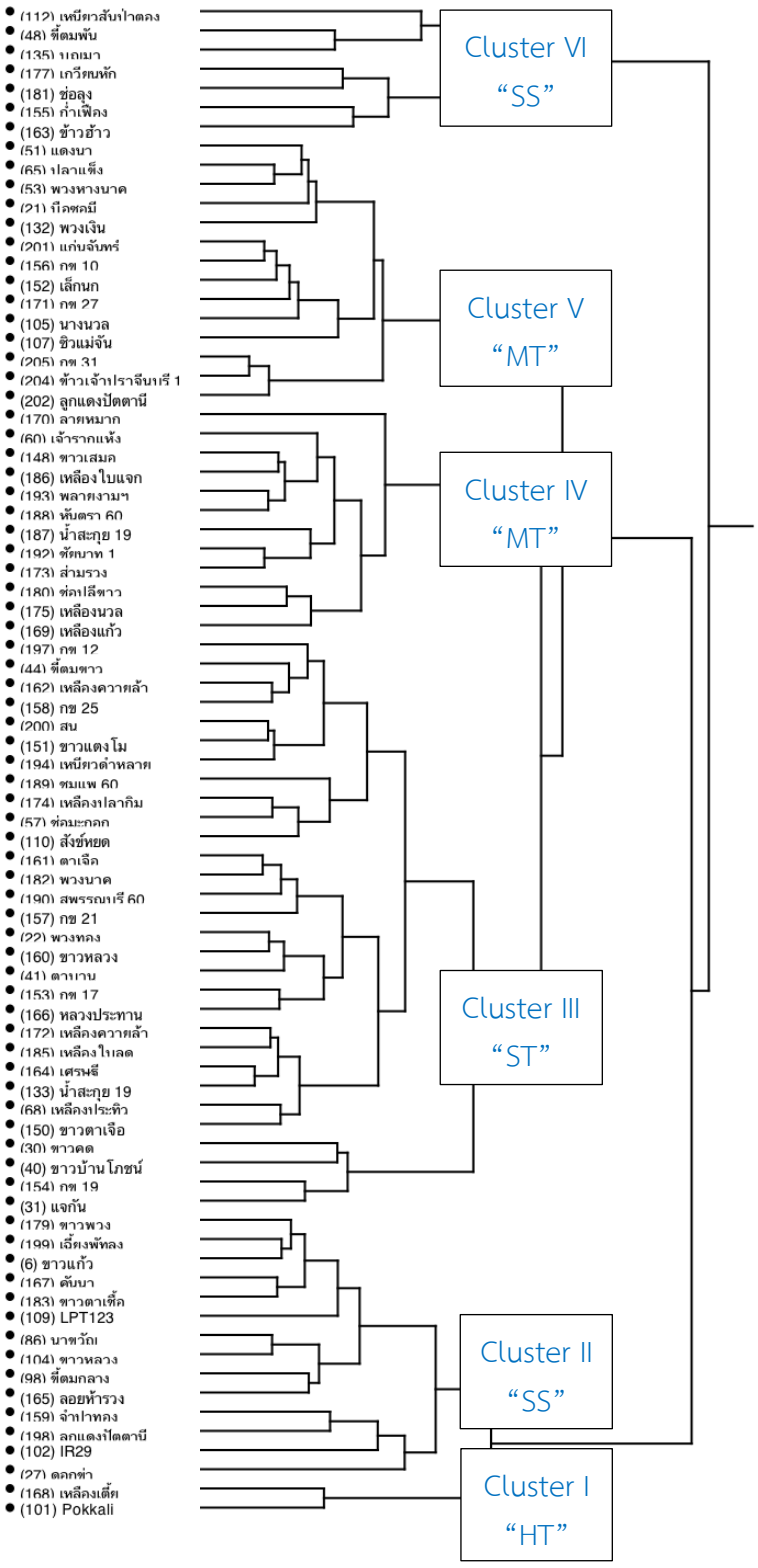
ภาพที่ 114 แผนภาพ dendogram แสดงการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้ค่าโดยตรงจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพารามิเตอร์ต่าง ๆ : High salt tolerant (HT) Salt tolerant (ST) Moderately Salt tolerant (MT) และ Salt susceptible



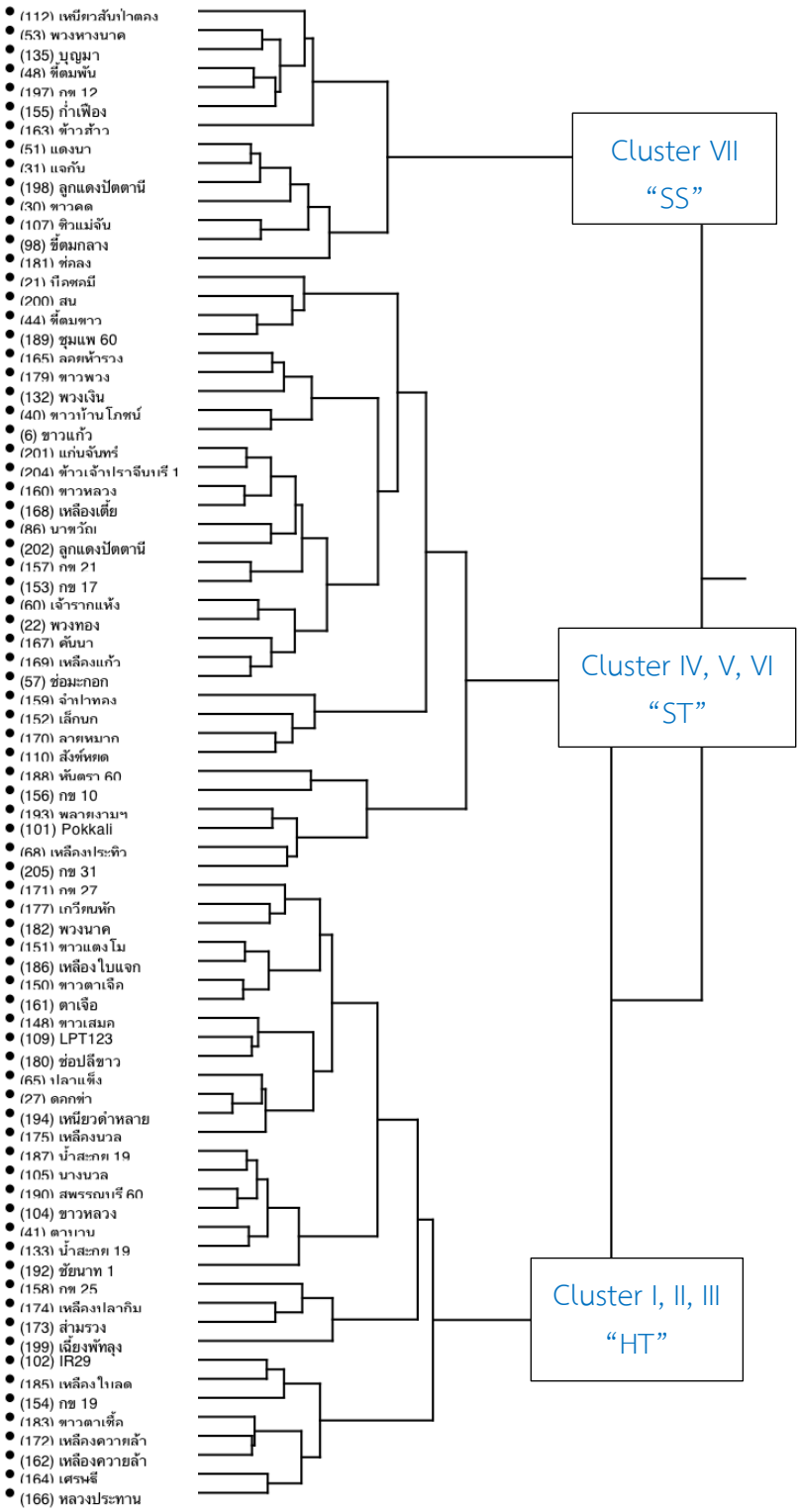
ภาพที่ 115 แผนภาพ dendogram แสดงการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้ค่าโดยดัชนีเสถียรภาพจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพารามิเตอร์ต่าง ๆ : Salt tolerant (ST) และ Moderately Salt tolerant (MT)



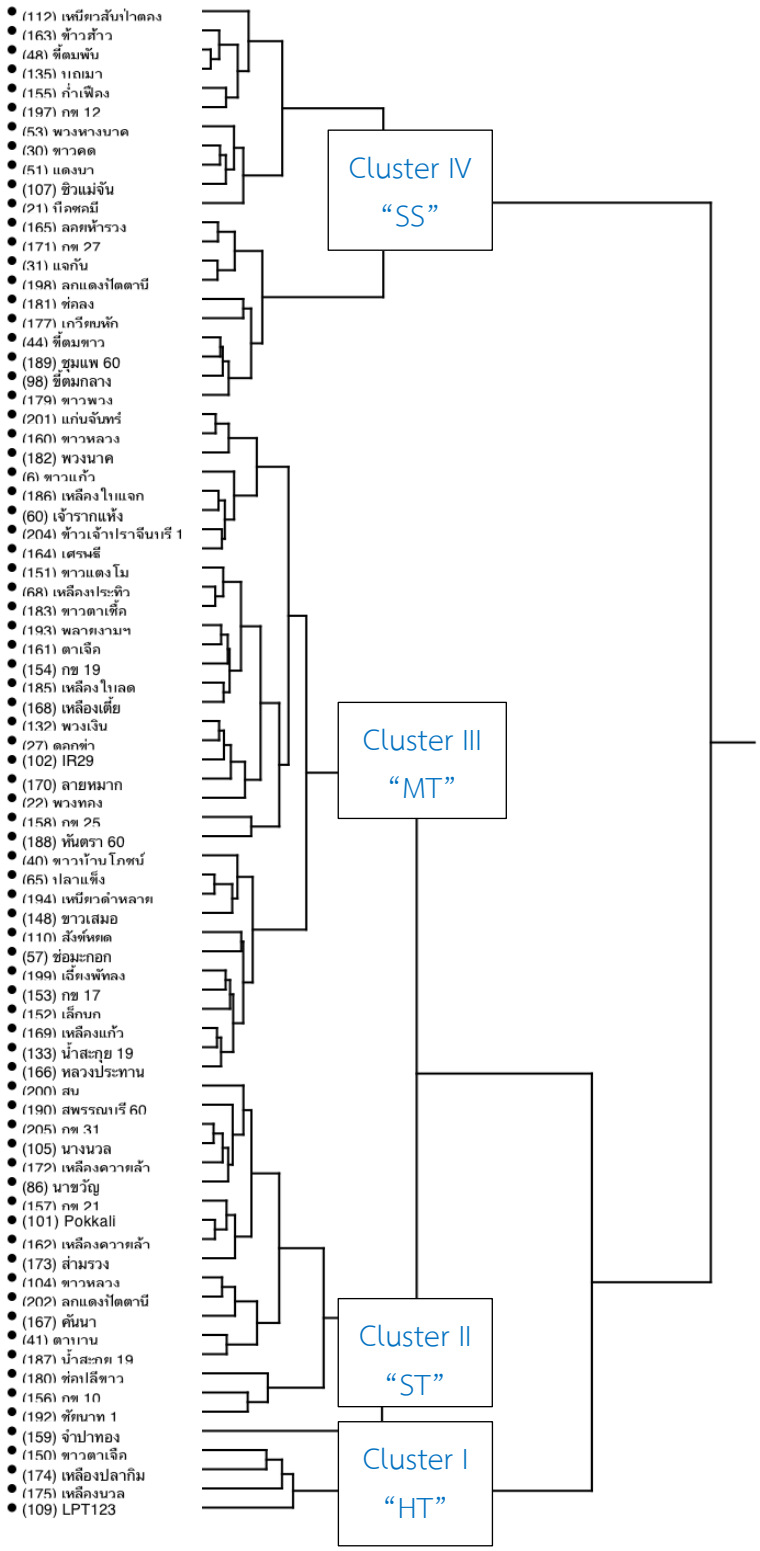
ภาพที่ 116 แผนภาพ dendogram แสดงการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าโดยตรงจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพารามิเตอร์ต่าง ๆ : Moderately Salt tolerant (MT) Salt Tolerant (ST) และ Salt Susceptible (SS)



ภาพที่ 117 แผนภาพ dendogram แสดงการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าโดยดัชนีเสถียรภาพจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพารามิเตอร์ต่าง ๆ: High salt tolerant (HT) Salt tolerant (ST) Moderatly salt tolerant (MT) และ Salt susceptible (SS)



ภาพที่ 118 แผนภาพ dendogram แสดงการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าโดยตรงจากค่าลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิต : High salt tolerant (HT) Salt tolerant (ST) และ Salt susceptible (SS)



ภาพที่ 119 แผนภาพ dendogram แสดงการวิเคราะห์กลุ่มของข้าวในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพจากค่าลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิต : High Salt Tolerant (HT) Salt Tolerant (ST) Moderately Salt Susceptible (MS) และ Salt Susceptible (SS)

ตารางที่ 15 ผลการจัดกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์โดยตรงและดัชนีเสถียรภาพในชุดการทดลองที่ 1

ระดับการทนเค็ม	ค่าโดยตรง	ค่าดัชนีเสถียรภาพ	พันธุ์ที่ให้ผลการจัดกลุ่มตรงกัน
HT	หลวงประทาน (4) เจ้าขาว (66) ทองรากไทร (73) ก้นแก้ว (70) เขียวหางม้า (2) หมากน้ำ (93) ขาวก้นจุด (64) มันวัว (12) จำปาจีน (63) และ หมากยม (42)	ประทานบ้านบุ้ง (15) เขียวหางม้า (2) เหลืองพวงทอง (8) หมากน้ำ (93) หางยี 71 (48) อีมุม (25) หลวงประทาน (18) อีลาย (37) หมากยม (42) อีขาวใหญ่ (95) ทองรากไทร (73) มันวัว (12) ชัยนาท1 (77) ขาวกอเดียว (59) พวงหางหมู (80) ขาวตาแห้ง17 (41) ไข่มดริ้น (32) และขาวอากาศ (83)	ทองรากไทร (73) เขียวหางม้า (2) หมากน้ำ (93) มันวัว (12) หมากยม (42)
ST หรือ MT	พลายงามปราจีนบุรี (81) เหลืองพวงทอง (8) มะยม (36) อีมุม (25) อีลาย (37) หลวงประทาน (18) มะยม (91) อีขาวใหญ่ (95) พวงหนัก (62) ตะเภาล่ม (82) ดอสามเดือน (16) พวงทอง (14) LPT171 (103) หมากน้ำ (74) ดอขาว (11) ขาวตาแห้ง 17 (41) ขาวแก้ว (19) ก้นแก้ว (1) จุดมอญ (55) เหลืองน้อย (54) ประทานบ้านบุ้ง (15) ดอดอกไม้ (92) ขาวสุพรรณ (3) ขาวสงวน (56) ดีสี่ (85) ชัยนาท1 (77) เม็ดมะม่วง (87) Pokkali (101)	มะยม (36) ดีสี่ (85) ขาวสุพรรณ (3) เก้ารวง (27) ขาวก้นจุด (64) ปิ่นแก้ว (31) มะยม (91) เหนียวดำหลาย (58) ขาวสงวน (56) พ้าวฮ้าว (100) พลายงามปราจีนบุรี (81) เจ้าขาว (66) Pokkali (101) ก้นแก้ว (70) หมากน้ำ (74) จำปาจีน (63) นางมลS4 (22) หลวงประทาน (4) พวงทอง (14) ดอดอกไม้ (92) LPT 171 (103) ดอสามเดือน (16) พวงหนัก (62) ตะเภาล่ม (82) จุดมอญ (55) ดอขาว (11)	พลายงามปราจีนบุรี (81) มะยม (36) มะยม (91) พวงหนัก (62) ตะเภาล่ม (82) พวงทอง (14) LPT171 (103) หมากน้ำ (74) ดอขาว (11) ขาวสุพรรณ (3) ขาวสงวน (56) ดีสี่ (85) Pokkali (101)
SS	เจ๊กเชย (78) พ้าวฮ้าว (100) ใบบัว (33) ป้องแอ๊ว (98) หางยี71 (48) ปิ่นแก้ว (31) เก้ารวง (27) ขาวกอเดียว (59) นางมลS4 (22) พวงหางหมู (80) เหนียวดำหลาย (58) IR29 (102) ไข่มดริ้น (32) กข1 (9)	เหลืองน้อย (54) ก้นแก้ว (1) เม็ดมะม่วง (87) เจ๊กเชย (78) ใบบัว (33) ป้องแอ้ว (98) IR29 (102) ขาวแก้ว (19) กข1 (9)	เจ๊กเชย (78) ใบบัว (33) ป้องแอ้ว (98) IR29 (102) กข1 (9)

ตารางที่ 16 ผลการจัดกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์โดยตรงและดัชนีเสถียรภาพในชุดการทดลองที่ 3

ระดับการทนเค็ม	ค่าโดยตรง	ค่าดัชนีเสถียรภาพ	พันธุ์ที่ให้ผลการจัดกลุ่มตรงกัน
HT หรือ ST	Pokkali (101) เหลืองควายล้า (172) ขาวหลวง (160) เหลืองใบลด (185) นางนวล (105) เหลืองแก้ว (169) ส่ามรวง (173) น้ำสะกุย 19 (187)	Pokkali (101) เหลืองเตี้ย (168) แจกัน (31) กข19 (154) ขาวบ้านโภชณ์ (40) ขาวคด (30) ขาวตาเจือ (150) เหลืองประทิว (68) น้ำสะกุย 19 (133) เศรษฐี (164) เหลืองใบลด (185) เหลืองควายล้า (172) หลวงประทาน (166) กข17 (153) ตาบาน (41) ขาวหลวง (160) พวงทอง (22) กข21 (157) สุพรรณบุรี 60 (190) พวงนาค (182) ตาเจือ (161) เหลืองปลากิม (110) ช่อมะกอก (57) สังข์หยด (174) ชุมแพ60 (189) เหนียวดำหลาย (194) ขาวแตงโม (151) สูน (200) กข25 (158) เหลืองควายล้า (162) ขี้ตมขาว (44) กข12 (197)	Pokkali (101) เหลืองควายล้า (172) ขาวหลวง (160) เหลืองใบลด (185)
MT	ตาบาน (41) ขาวแตงโม (151) สูน (200) กข27 (171) แก่นจันทร์ (201) กข10 (156) พวงหางนาค (53) กข21 (157) เหลืองนวล (175) ช่อปลีขาว (180) ขาวพวง (179) กข17 (153) หลวงประทาน (166) สุพรรณบุรี 60 (190) พวงนาค (182) เหลืองปากิม (174) ช่อมะกอก (57) กข19 (154) กข25 (158) น้ำสะกุย19 (133) ขี้ตมขาว (44) เหลืองควายล้า (162) แจกัน (31) นาขวัญ (86) ลอยห้ารวง (165) คันนา (167) ขาวหลวง (104) ขี้ตมกลาง (98) เหลืองเตี้ย (168) ตาเจือ (161) พวงทอง (22)	เหลืองแก้ว (169) เหลืองนวล (175) ช่อปลีขาว (180) สามรวง (173) ชัยนาท1 (192) น้ำสะกุย19 (187) หันตรา60 (188) พลายงามปราจีนบุรี (193) เหลืองใบแจก (186) ขาวเสมอ (148) เจ้ารากแห้ง (60) ลายหมาก (170) ลูกแดงปัตตานี (202) ข้าวเจ้าปราจีนบุรี (204) กข31 (205) ชิวแม่จัน (107) นางนวล (105) กข27 (171) เล็กนก (152) กข10 (156) แก่นจันทร์ (201) พวงเงิน (132) บือซอมี (21) พวงหางนาค (53) ปลาแข็ง (65) แดงนา (51)	ตาบาน (41) กข27 (171) แก่นจันทร์ (201) กข10 (156) พวงหางนาค (53) กข21 (157) เหลืองนวล (175) ช่อปลีขาว (180) ลายหมาก (170) เจ้ารากแห้ง (60) เหลืองใบแจก (186) ลูกแดงปัตตานี (202) กข31 (205) ข้าวเจ้าปราจีน (204) พลายงามปราจีนบุรี (193)

ระดับการทนเค็ม	ค่าโดยตรง	ค่าดัชนีเสถียรภาพ	พันธุ์ที่ให้ผลการจัดกลุ่มตรงกัน
MT	ขาวตาเจือ (150) เศรษฐี (164) เหลืองปะทิว (68) ลายหมาก (170) เจ้ารากแห้ง (60) เหลืองใบแจก (186) ลูกแดงปัตตานี (202) กข31 (205) ข้าวเจ้าปราจีน (204) พลายงามปราจีนบุรี (193) หันตรา60 (188) ชัยนาท1 (192) ขาวตาเชื้อ (183) กข12 (197) ขาวเสมอ (148) ข้าวฮ้าว (163)		หันตรา60 (188) ชัยนาท1 (192)
SS	บุญมา (135) แดงนา (51) ปลาแข็ง (65) พวงเงิน (132) บือซอมี (21) ขาวบ้านโภชณ์ (40) เหนียวดำหลาย (194) ชิวแม่จัน (107) ขาวคด (30) สังข์หยด (110) ชุมแพ60 (189) เกวียนหัก (177) LPT123 (109) ดอกข่า (27) เฉี้ยงพัทลุง (199) จำปาทอง (159) IR29 (102) ขาวแก้ว (6) ลูกแดงปัตตานี (198) เล็กนก (152) ช่อลุง (181) ก่ำเฟือง (155) ขี้ตมพัน (48) เหนียวสันป่าตอง (112)	IR29 (102) ดอกข่า (27) ลูกแดงปัตตานี (198) จำปาทอง (159) ลอยห้ารวง (165) ขี้ตมกลาง (98) ขาวหลวง (104) นาขวัญ (86) LPT123 (109) ขาวตาเชื้อ (183) คันนา (167) ขาวแก้ว (6) เฉี้ยงพัทลุง (199) ขาวพวง (179) ข้าวฮ้าว (163) ก่ำเฟือง (155) ช่อลุง (181) เกวียนหัก (177) บุญมา (135) ขี้ตมพัน (48) เหนียวสันป่าตอง (112)	บุญมา (135) เกวียนหัก (177) LPT123 (109) ดอกข่า (27) เฉี้ยงพัทลุง (199) จำปาทอง (159) IR29 (102) ขาวแก้ว (6) ลูกแดงปัตตานี (198) เล็กนก (152) ช่อลุง (181) ก่ำเฟือง (155) ขี้ตมพัน (48) เหนียวสันป่าตอง (112)

การศึกษาการประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มโดยใช้ค่าโดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพในชุดการทดลองที่ 1 พบรูปแบบการจัดกลุ่มที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 15) เมื่อใช้ค่าโดยตรงจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์จัดกลุ่ม ข้าวในกลุ่มพันธุ์ SS จำนวน 14 พันธุ์ แต่เมื่อใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพ มีข้าวจำนวน 5 พันธุ์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดิม (เจ๊กเชย (78) ใบบัว (33) ป้องแอ๊ว (98) IR29 (102) และ กข1 (9)) ในขณะที่ข้าวจำนวน 5 พันธุ์ จะถูกย้ายกลุ่มเป็น ST หรือ MT (พ้าวฮ้าว (100) ปิ่นแก้ว (31) เก้ารวง (27) นางมลS4 (22) และเหนียวดำหลาย (58)) เนื่องจากความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพได้ดีใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ Pokkali

โดยมีค่าดัชนีเสถียรภาพที่สูงขึ้นจากค่า 1 เล็กน้อยเมื่อได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มผ่านไป 3 วัน และค่าดัชนีเสถียรภาพจะลดลงจากค่า 1 เล็กน้อยเมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 วันแม้จะมีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างน้อยในทั้งสองสภาวะ และข้าวจำนวน 4 พันธุ์ (หางยี 71 (48) ขาวกอเดียว (59) พวงหางหมู (80) และ ไข่มดริ้น (32)) ที่ถูกย้ายกลุ่มไปอยู่ในกลุ่มพันธุ์ที่ทนทานความเค็มระดับสูง เนื่องจากความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพที่สูงตลอดทั้ง 6 วันที่ต้นกล้าข้าวได้รับภาวะเครียดจากภาวะเค็มและรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพได้สูงกว่าข้าวพันธุ์ Pokkali แม้ว่าจะมีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างน้อยในทั้งสองสภาวะเช่นกัน ในทางกลับกันข้าวจำนวน 10 พันธุ์ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม HT (หลวงประทาน (4) เจ้าขาว (66) ทองรากไทร (73) ก้นแก้ว (70) เขียวหางม้า (2) หมากน้ำ (93) ขาวก้นจุด (64) มันวัว (12) จำปาจีน (63) และ หมากยม (42)) เนื่องด้วยลักษณะของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและรากที่ค่อนข้างสูงในทั้งภาวะปกติและภาวะที่ได้รับความเครียดจากความเค็ม แต่จะจะถูกจัดกลุ่มอยู่ในกลุ่มเดิม (HT) จำนวน 5 พันธุ์ (ทองรากไทร (73) เขียวหางม้า (2) หมากน้ำ (93) มันวัว (12) และหมากยม (42)) เนื่องจากความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพได้ใกล้เคียงค่า 1 ทั้ง 3 วันตลอดที่ทำการทดลอง ในขณะที่ข้าวจำนวน 5 พันธุ์ที่เหลือ (หลวงประทาน (4) เจ้าขาว (66)) ก้นแก้ว (70) ขาวก้นจุด (64) จำปาจีน (63)) จะถูกย้ายไปอยู่กลุ่ม ST หรือ MT เนื่องจากความสามารถในการทนทานความเค็มที่ใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ Pokkali

สำหรับในชุดการทดลองที่ 3 การศึกษาการประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มโดยใช้ค่าโดยตรงและค่าดัชนีเสถียรภาพ พบรูปแบบการจัดกลุ่มที่แตกต่างกันเช่นกัน (ตารางที่ 17) เมื่อใช้ค่าโดยตรงจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์จัดกลุ่ม ข้าวจำนวน 8 พันธุ์ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม HT หรือ ST (Pokkali (101) เหลืองควายล้า (172) ขาวหลวง (160) เหลืองใบลด (185) นางนวล (105) เหลืองแก้ว (169) ส่ามรวง (173) และน้ำสะกุย 19 (187)) เนื่องจากลักษณะของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นและราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและค่าเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์ที่สูงในทั้งภาวะปกติและภาวะที่ได้รับความเครียดจากความเค็มและค่าคะแนนความเสียหายจากความเค็มที่ค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อวิเคราะห์การจัดกลุ่มโดยใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพ ข้าวจำนวน 4 พันธุ์ (Pokkali (101) เหลืองควายล้า (172) ขาวหลวง (160) เหลืองใบลด (185)) จะถูกจัดกลุ่มอยู่ในกลุ่มเดิม (HT หรือ ST) เนื่องจากความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพได้ใกล้เคียงค่า 1 ทั้ง 3 วันตลอดที่ทำการทดลอง และข้าวจำนวน 4 พันธุ์ (นางนวล (105) เหลืองแก้ว (169) ส่ามรวง (173) และน้ำสะกุย 19 (187)) ถูกย้ายไปอยู่กลุ่ม MT เนื่องจากความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพที่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ Pokkali ในขณะที่ข้าวจำนวน 23 พันธุ์ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม SS เมื่อใช้ค่าโดยตรงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการจัดกลุ่ม บุญมา (135) แดงนา (51) ปลาแข็ง (65) พวงเงิน (132) บือซอมี (21) ขาวบ้านโภชณ์ (40) เหนียวดำหลาย (194) ชิวแม่จัน (107) ขาวคด (30) สังข์

หยด (110) ชุมแพ60 (189) เกวียนหัก (177) LPT123 (109) ดอกข่า (27) เฉี้ยงพัทลุง (199) จำปาทอง (159) IR29 (102) ขาวแก้ว (6) ลูกแดงปัตตานี (198) และ เล็กนก (152) ช่อลุง (181) ก่ำเฟือง (155) ขี้ตมพัน (48) และ เหนียวสันป่าตอง (112) เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นในประชากร และเมื่อใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพในการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม ข้าวจำนวน 12 พันธุ์จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดิม (บุญมา (135),เกวียนหัก (177) LPT123 (109) ดอกข่า (27) เฉี้ยงพัทลุง (199) จำปาทอง (159) IR29 (102) ขาวแก้ว (6) ลูกแดงปัตตานี (198) เล็กนก (152) ช่อลุง (181) ก่ำเฟือง (155) ขี้ตมพัน (48) และ เหนียวสันป่าตอง (112)) ข้าวจำนวน 5 พันธุ์ ถูกย้ายกลุ่มเป็นกลุ่ม HT หรือ ST ขาวบ้านโภชณ์ (40) เหนียวดำหลาย (194) ขาวคด (30) สังข์หยด (110) ชุมแพ60 (189) เนื่องจากความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพได้ดีและใกล้เคียงค่า 1 ใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ Pokkali และข้าว 5 พันธุ์ถูกย้ายอยู่กลุ่ม MT เนื่องจากความสามารถในการรักษาค่าดัชนีเสถียรภาพที่น้อยกว่าข้าวพันธุ์ Pokkali (แดงนา (51) ปลาแข็ง (65), พวงเงิน (132), บือซอมี (21)) ชิวแม่จัน (107))

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการจัดกลุ่มโดยใช้ชุดข้อมูลในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 การใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพในการประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มช่วยทำให้ประเมินความสามารถที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการทดลองสอดคล้องและสะท้อนกับความสามารถในการทนทานความเค็มมากขึ้นแม้ต้นกล้าข้าวที่ทำการศึกษาจะมีฐานทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันและช่วยเปิดเผยคุณลักษณะในการรักษาเสถียรภาพของต้นกล้าข้าวในค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากผ่านการเติบโตในภาวะเครียดจากความเค็ม จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์ค้นหาลักษณะความสามารถของต้นกล้าข้าวที่สะท้อนให้เห็นถึงสถานะที่เปลี่ยนแปลงไปของต้นกล้าข้าวหลังจากที่ได้รับภาวะความเค็มได้ดียิ่งขึ้น

ดัชนีเสถียรภาพเป็นดัชนีที่มีประสิทธิภาพในการใช้การประเมินความสามารถในการทนทานต่อการตอบสนองต่อสภาวะความเครียดต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป (Blum, 1980) นอกจากนี้ จากผลการทดลองของ (Kamyab-Talesh และคณะ, 2014) ได้ทำการศึกษาประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มโดยใช้ดัชนีต่าง ๆ ในข้าวพื้นเมืองอิหร่านจำนวน 8 พันธุ์ พบว่า รูปแบบการแสดงออกของค่าในภาวะปกติ ค่าในภาวะเครียด และค่าดัชนีเสถียรภาพ มีรูปแบบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ค่าทั้งการตอบสนองทางสรีรวิทยาจากทั้ง 3 สภาวะ ยังมีสหสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ค่า YI HM STI GMP และ SSI ดังนั้นค่าดัชนีเสถียรภาพจึงช่วยสะท้อนความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของสถานะต่าง ๆ ที่สะท้อนความสามารถในการทนทานความเค็มของต้นกล้าข้าวซึ่งน่าจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะอื่น ๆ และจากผลดังกล่าว จึงทำให้รูปแบบการจัดกลุ่มมีความแตกต่างกันตามความสามารถในการรักษาเสถียรภาพ

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรที่มักนิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ในการแยกแยะตัวอย่างหรือความแตกต่างของลักษณะต่าง ๆ ของกลุ่มของพืชพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมที่สนใจศึกษาและช่วยสื่อให้เห็นปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าน่าจะเกี่ยวข้องกับค่า PC ในแต่ละแกนที่ใช้แยกแยะความห่างของประชากรอีกด้วยว่ามีปัจจัย Factor Loading ที่สัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ใดบ้าง ที่ใช้ในการอธิบายความห่างของแต่ละตัวทำนาย(พันธุ์ข้าว)ในประชากร เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายลักษณะหลักของแกน PC นั้น นอกจากนี้การวิเคราะห์กลุ่มร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักยังช่วยในการวิเคราะห์และแยกแยะระดับความสามารถในการทนทานความเค็มได้ชัดเจนขึ้น และจากผลการทดลองทั้งสามชุดการทดลองจะพบว่า การใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพจะช่วยสื่อให้เห็นความสามารถในการทนทานความเค็มของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีพื้นหลังทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันได้ชัดเจนขึ้น นอกจากนี้ประโยชน์ที่ตามมาของการใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก คือจะช่วยให้ช่วงของตัวแปรในพารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้ามาอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ตัวแปรช่วงต่างกันมากใน PC แรก ๆ จะไปมีสัมพันธ์กับตัวแปรที่มีความแปรปรวน (variance) มากขึ้น ทั้งนี้ขนาดความแปรปรวนหรือ Factor loading จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักอาจจะมีความแตกต่างแปรผันกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะต่าง ๆ ที่นำเอามาศึกษาและลักษณะในองค์ประกอบหลักในแต่ละแกน PC ยังสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อตัวแปรที่ศึกษาต่างกันออกไป (Khavari และคณะ, 2011; Li และคณะ, 2011)

นอกจากนี้การศึกษาองค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์กลุ่มยังสามารถนำมาปรับใช้ทำนายพฤติกรรมของข้าวในชุดการทดลองอื่น ๆ ภายใต้เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมเดียวกัน เพื่อใช้ประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มได้ และข้อดีของการสกัดองค์ประกอบหลักจะช่วยลดความซับซ้อนของตัวแปรที่มีอยู่ปริมาณมากให้ลดเหลือเพียงไม่กี่ตัวแปรแต่ยังคงความแปรปรวนทั้งหมดของชุดข้อมูลเอาไว้ ซึ่งจะทำให้เรามองภาพสิ่งที่ศึกษาง่ายขึ้น (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551) และจากผลการศึกษาสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อให้เกษตรกรหรือนักปรับปรุงพันธุ์เลือกใช้พันธุ์ที่มีความสามารถการตอบสนองต่อความเค็มในลักษณะที่สนใจได้ตรงกับความต้องการ และเป็นประโยชน์สำหรับ นักปรับปรุงพันธุ์พืชต่อการวางแผนและเลือกใช้เป็นเชื้อพันธุ์ข้าวในงานปรับปรุงพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Okporie, 2008)

4. การวิเคราะห์การเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะการทนเค็มในข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย

จากผลการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะทนทานความเค็มในประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทยและข้าวปรับปรุงพันธุ์จะพบว่า ลักษณะดังกล่าว ถูกควบคุมด้วยยีนหลายยีน (Kawasaki

และคณะ, 2011) ทั้งนี้จากผลการศึกษาเชื่อมโยงทั้งจีโนม โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากการตอบสนองในภาวะความเค็มกับการใช้ค่าดัชนีเสถียรภาพมาทำการวิเคราะห์ทั้งสองค่าให้ผลการเชื่อมโยงทั้งจีโนมในตำแหน่งที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยครั้งนี้จะช่วยตอบสมมติฐานที่ว่า ค่าดัชนีเสถียรภาพนอกจากจะช่วยให้การประเมินความสามารถในการทนทานความเค็มในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ชัดเจนขึ้น ยังช่วยเปิดเผยตำแหน่งของยีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะที่ควบคุมความสามารถในการทนทานความเค็มอีกด้วย ทั้งนี้ จากผลการทดลอง ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยใดมาก่อน

จากผลการศึกษาของ Kumar และคณะ (2015) ศึกษาความเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับลักษณะในการทนทานความเค็มระดับ 10 dS/m ของข้าวพันธุ์พื้นเมืองต่าง ๆ ที่รวบรวมจากประเทศอินเดียโดยใช้ลักษณะทางการเกษตรและค่าน้ำหนักสดและค่าอัตราส่วน Na/K จำนวนทั้งสิ้น 12 ลักษณะพบว่าให้ผลการเชื่อมโยงในตำแหน่งสนิปส์ทั้งสิ้น 44 สนิปส์และมีการกระจายตัวของยีนอยู่บนโครโมโซมทั่วทั้ง 12 โครโมโซมที่คาดว่าน่าจะมีความสัมพันธ์กับการทนทานความเค็ม และตำแหน่งยีนที่พบเป็นตำแหน่งยีนคนละตำแหน่งกับงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ Negra˜o และคณะ (2011) ได้รวบรวมแบบแผนตำแหน่งของ QTLs ที่ตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความเค็มทั่วทั้ง 12 โครโมโซมจากงานวิจัยต่าง ๆ ทั่วโลกพบว่า ตำแหน่งยีนต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการตอบสนองต่อความเค็มให้ผลตำแหน่งยีนที่แตกต่างกันเช่นกัน

การจะยืนยันว่าตำแหน่งยีนที่ได้ มีความสัมพันธ์กับลักษณะการทนทานความเค็มที่แน่จริงหรือไม่ ยังต้องมีการศึกษาหน้าที่ของยีนเพื่อยืนยันสมมติฐานต่อไปและจากข้อมูลการศึกษาที่ได้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อช่วยให้สามารถเลือกพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ที่มีลักษณะการทนทานความเค็มที่ต้องการและสามารถใช้ข้อมูลในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นและองค์ความรู้ดังกล่าวยังสามารถนำไปปรับใช้ในการพัฒนาชุดเครื่องหมายดีเอ็นเอสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ระดับจีโนมหรือเทคนิค Genomic Selection (GS) (Hayes และคณะ, 2009; Jannink และคณะ, 2010) ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ทดลองโดยใช้ค่าดัชนีอื่น ๆ ที่มักมาใช้นิยมในการศึกษาลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ที่สะท้อนถึงความสามารถในการตอบสนองต่อความทนทานความเค็ม มาใช้ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มและใช้ศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนม

รายการอ้างอิง

Abdullah, Z., Khan, M. A. and Flowers, T. J. 2002. Causes of sterility in rice under salinity stress. **Prospects for Saline Agriculture** 37: 177-187.

Abdullah, Z., Khan, M. A. and Flowers, T. J. 2011. Causes of sterility in seed set of rice under salinity stress. **Journal of Agronomy and Crop Science** 187: 25– 32.

Acquaah, G. 2012. **Principles of Plant Genetics and Breeding**. 2 ed. Blackwell Publishing, Malden.

Akbar, M. and Ponnamperuma, F. M. 1980. Saline Soil of South and Southeast Asia as Potential Rice Lands. A paprer presented at the Special International Symposium 21-25 April 1980 on Rice strategies for the future. **International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines**: 213 p.

Akram, N. A., Shahbaz, M. and Ashraf, M. 2007. Relationship of photosynthetic capacity and proline accumulation with the growth of differently adapted population of two potential grasses (*Cynodon Dactylon* (L.)) Pers. and *Cenchrus ciliaris* (L.) to drought stress. **Pakistan Journal of Botany** 39: 777-786.

Aref, F. and Rad, H. E. 2012. Physiolological characterization of rice under salinity stress during vegetative and reproductive stages. **Indian Journal of Science and Technology** 5(2578-2586)

Atwell, S., Huang, Y. S., Vilhjálmsson, B. J., Willems, G., Horton, M., Li, Y., Meng, D., Platt, A., Tarone, A. M., Hu, T. T., Jiang, R., Muliyati, N. W., Zhang, X., Amer, M. A., Baxter, I., Brachi, B., Chory, J., Dean, C., Dean, C., de Meaux, J., Ecker, J. R., Faure, N., Faure, N., Jones, J. D., Michael, T., Nemri, A., Roux, F., Salt, D. E.,

Tang, C., Todesco, M., Traw, M. B., Weigel, D., Marjoram, P., Borevitz, J. O., Bergelson, J. and Nordborg, M. 2010. Genome-wide association study of 107 phenotypes in *Arabidopsis thaliana* inbred lines. **Nature** 465: 627-631.

Barr, H. D. and Weatherley, P. E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences** 15: 413-428.

Beadle, C. L. 1993. Growth analysis. In (Hall, D.O. et al. Ed.) Photosynthesis and Production in the Changing Environment: A Field and Laboratory Manual. **Chapman & Hall: London.**

Bernstein, L. and Hayward, H. E. 1958. Physiology of salt tolerance. **Annual Review of Plant Physiology** 9: 25-46.

Bienvenido, O. J. 1993. **Rice in human food and nutrition**. FAO with the cooperation of International Rice Research Institute, Rome and Manila.

Blum, A. 1980. **Genetic improvement of drought adaptation In: Adaptation of plants to water and high temperature stress**. John Filey and Sons, New York.

Bonilla, P., Dvorak, J., Mackill, D., Deal, K. and Gregorio, G. 2002. RFLP and SSLP mapping of salinity tolerance genes in chromosome 1 of rice (*Oryza sativa* L.) using recombinant inbred lines. **The Philippine Agricultural Scientist** 85: 68–76.

Boonlertnirun, K. and Jompuk, C. 2013. Waxy corn hybrid classification by multivariate analysis. **RMUTSB Academic Journal** 1(1): 41-50.

Cha-um, S., Ashraf, M. and Kirdmanee, C. 2010. Screening upland rice (*Oryza sativa* L. ssp. indica) genotypes for salt-tolerance using multivariate cluster analysis. **African Journal of Biotechnology** 9(30): 4731-4740.

Chutimanukul, P., Chaidee, A., Buaboocha, T., Siangliw, M., Toojinda, T., Chadchawan, S. and Kositsup, K. 2013. Effect of Salt Stress on Photosynthesis and Growth in Salt-tolerant Rice Lines Obtained from CSSL Population. **Thai Journal of Genetics** S(1): 276-279.

Dauda, T. O. and Olakojo, S. A. 2007. Principal Component Analysis of Striga-Tolerant Maize Varieties. **Research Journal of Agronomy** 1: 94-98.

Ding, X., Zheng, D., Fan, C., Liu, Z., Dong, H., Lu, Y. and Qi, K. 2015. Genome-wide screen of DNA methylation identifies novel markers in childhood obesity. **Gene** 556: 74–83.

FAO. 1976. Prognosis of salinity and alkalinity. **FAO Soil Bulletin 31. FAO, Rome**

Ferreira, L. J., Azevedo, V., Maroco, J., Oliveira, M. M. and Santos, A. P. 2015. Salt Tolerant and Sensitive Rice Varieties Display Differential Methylome Flexibility under Salt Stress. **PLoS ONE** 10(5): e0124060.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research** 29: 897–907.

Fricke, W., Peters, W. S., Passioura, J. B. and Munns, R. 2000. Rapid environmental changes that affect leaf water status induce transient surges or pauses in leaf expansion rate. **Australian Journal of Plant Physiology** 27: 941–948.

Gana, A. S., Shaba, S. Z. and Tsado, E. K. 2013. Principal component analysis of morphological traits in thirty-nine accessions of rice (Oryza sativa L.) grown in

a rainfed lowland ecology of Nigeria. **Journal of Plant Breeding and Crop Science** 5: 120-126.

Gigon, A., Matos, A. R., Laffray, D., Zuily-Fodil, Y. and Pham-Thi, A. T. 2004. Effect of drought Stress on Lipid Metabolism in the Leaves of Arabidopsis thaliana (Ecotype Columbia). **Annals of Botany** 94: 345-351.

Gill, K. S. and Dutt, S. K. 1979. Tolerance of rice varieties at the germination stage to salt levels in the tidal water of the Sunderban region. **The Indian Journal of Agricultural Sciences** 49(5): 374-377.

Gregorio, G. B., Senadhira, D. and Mendoza, R. D. 1997. Screening rice for salinity tolerance. IRRI discussion paper series NO.22. **International Rice Research Institute**

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J. and Anderson, R. E. 2010. **Multivariate data analysis**. 7 ed. Macmillan, New York.

Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K. and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and Molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 51: 463-499.

Heathisong, T., Thongsoi, J., Kehung, P., Peyachoknagul, S. and Pongtongkam, P. 2012. Selection of salinity tolerant and photoperiod insensitive rice mutant from induced mutation of KDML105. **Thai Journal of Genetics** 5(1): 57-66.

Huang, X., Wei, X., Sang, T., Zhao, Q., Zhao, Q., Zhao, Y., Li, C., Zhu, C., Lu, T., Zhang, Z., Li, M., Fan, D., Guo, Y., Wang, A., Wang, L., Deng, L., Li, W., Lu, Y., Weng, Q., Liu, K., Huang, T., Zhou, T., Jing, Y., Li, W., Lin, Z., Buckler, E. S., Qian, Q., Zhang, Q., Li, J. and Han, B. 2010. Genome-wide association studies of 14 agronimic traits in rice landraces. **Nature Genetics** 42: 961-969.

Iwaki, S. 1956. Studies on the salt injury in rice plant. **Ehime University Member Section 6** 2: 147-149.

Janardan, K. V. and Murty, K. S. 1970. Effect of sodium chloride treatment on leaf injury and chloride uptake by young rice seedlings. **Indian Journal of Plant Physiology** 13(2): 225-232.

Kaddah, M. T., Lehman, W. F. and Robinson, F. E. 1973. Tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) to salt during boot, flowering, and grain filling stages. **Agronomy Journal** 65: 845–847.

Kajonphol, T., Paowsrakoo, N. and Sangsiri, C. 2012. Diversity of Local Upland Rice Varieties in Kanchanaburi Province. **Journal of Agricultural Science** 43(2): 601-604.

Kamyab-Talesh, F., Mousavi, S. F., Asadi, R., Rezaei, M. and Khaledian, M. R. 2014. Evaluation of some rice cultivars' response to salinity stress using resistance indices. **Archives of Agronomy and Soil Science** 60: 1303-1314.

Kanawapee, N., Sanitchon, J., Srihaban, P. and Theerakulpisut, P. 2013. Physiological changes during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salt tolerance under saline field condition. **Plant Soil** 370: 89–101.

Kanjoo, V., Jearakongman, S., Punyawaew, K., Siangliw, J. L., Siangliw, M., Vanavichit, A. and Toojinda, T. 2011. Co-location of quantitative trait loci for drought and salinity tolerance in rice. **Thai Journal of Genetics** 4(2): 126-138.

Kawasaki, S., Borchert, C., Deyholos, M., Wang, H., Brazille, S., Kawai, K., Galbraith, D. and Bohnert, H. 2011. Gene expression profiles during the initial phase of salt stress in rice. **Plant Cell** 13: 889- 905.

Chulalongkorn University

Khan, M. A., Ungar, I. A. and Showalter, A. M. 2000. Salt tolerance in the subtropical perennial halophyte *Atriplex griffithii* Moq. var. *stocksii Boiss*. **Annals of Botany** 85: 225-232.

Khavari, K. S., Mostafavi, K., Zandipour, E. and Heidarian, A. 2011. Multivariate analysis of agronomic traits of new corn hybrids (*Zea may* L.). **International Journal of Agricultural Science** 1: 314-322.

Khush, G. S. 2005. What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. **Plant Molecular Biology** 59: 1-6.

Kumar, V., Singh, A., Mithra, S. V., Krishnamurthy, S. L., Parida, S. K., Jain, S., Tiwari, K. K., Kumar, P., Rao, A. R., Sharma, S. K., Khurana, J. P., Singh, N. K. and Mohapatra, T. 2015. Genome-wide association mapping of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa*). **DNA Research** 22(2): 133–145.

Lamber, H., Chapin III, F. S. and Pons, T. L. 2008. Plant Physiological Ecology. **Springer, New York.**

Li, X., Wang, Y., Gou, M. and Cheng, M. 2011. Relationship between maize yield and ear characters under supplementary irrigation with catchment rainfall. **Advanced Biomedical Engineering** 1: 324-327.

Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. **Journal of Experimental Botany** 46: 1843–1852.

Maji, A. T. and Shaibu, A. A. 2012. Application of principal component analysis for rice germplasm characterization and evaluation. **Journal of Plant Breeding and Crop Science** 4(6): 87-93.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Mansour, M. M. F. and Salama, K. H. A. 2004. Cellular basis of salinity tolerance in plants. **Environment and Experimental Botany** 52: 113-122.

Mansuri, S. M., Jelodar, N. B. and Bagheri, N. 2012. Evaluation of rice genotypes to salt stress in different growth stages via phenotypic and random amplified polymorphic DNA (RAPD) marker assisted selection. **African Journal of Biotechnology** 11(39): 9362-9372.

Meloni, D. A., Oliva, M. A., Ruiz, H. A. and Martinez, C. A. 2001. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. **Journal of Plant Nutrition** 599: 24-612.

Milligan, G. W. 1980. An Examination of the Effect of Six Types of Error Perturbation on Fifteen Clustering Algorithms. **Psychometrika** 45: 325-342.

Munns, R., Husain, S., Rivelli, A. R., James, R. A., Condon, A. G., Lindsay, M. P., Lagudah, E. S., Schachtman, D. P. and Hare, R. A. 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. **Plant Soil** 247: 93-105.

Munns, R., James, R. A. and Lauchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany** 57: 1025-1043.

Negra˜o, s., Courtois, B., Ahmadi, N., Abreu, I., Saibo, N. and Oliveira, M. M. 2011. Recent Updates on Salinity Stress in Rice: From Physiological to Molecular Responses. **Critical Reviews in Plant Sciences** 30: 329–377.

Chulalongkorn University

Okporie, E. O. 2008. Characterization of maize (*Zea mays* L.) germplasm with principal component analysis. **Journal of Tropical Agriculture, Food, Environment and Extension** 7(66-71)

Pattanagul, W. and Thitisaksakul, M. 2008. Effect of salinity stress on growth and carbohydrate metabolism in three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity tolerance. **Indian Journal of Experimental Biology** 46: 736-742.

Patterson, N., Price, A. I. and Reich, D. 2006. Population Structure and Eigenanalysis. **PLoS Genetics** 12: 2074-2093.

Pearson, G. A., Ayer, A. D. and Eberhard, D. L. 1965. Relative salt tolerance of rice during germination and early seedling development. **Soil Science** 102: 151-156.

Pearson, G. A., Ayers, A. D. and Everhand, D. L. 1966. Relative salt tolerance of rice during germination and early seedling development. **Soil Science** 102: 151-156.

Pearson, G. A. and Bernstein, L. 1959. Salinity effects at several growth stages of rice. **Agronomy Journal** 51: 654-657.

Polijakoff - Mayber, A. 1975. Morphological and anatomical changes in plant as a response to salinity stress environment. **Ecological Studies** 15: 97-98.

Price, A. L., Patterson, N. J., Plenge, R. M., Weinblatt, M. E., Shadick, N. A. and Reich, D. 2006. Principal components analysis corrects for stratification in genome-wide association studies. **Nature Genetics** 38: 904-909.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pritchard, J., Wyn Jones, R. G. and Tomos, A. D. 1991. Turgor, growth and rheological gradients of wheat roots following osmotic stress. **Journal of Experimental Botany** 42: 1043–1049.

Rosielle, A. A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 943–946.

Shannon, M. C., Rhoades, J. D., Draper, J. H., Scardaci, S. C. and Spyres, M. D. 1998. Assessment of salt tolerance in rice cultivars in response to salinity problems in California. **Crop Science** 38: 38: 394-398.

Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S. and Pessarakli, M. 2012. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, asd Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. **Journal of Botany** 2012: 1-26.

Shavrukov, Y. 2012. Salt stress or salt shock: which genes are we studying? **Journal of Experimental Botany**

Shereen, A., Ansari, R. U., Yasmin, S., Raza, S., Mumtaz, S., Khan, M. K. and Mujaba, S. M. 2007. Physiological Response of rice (*Oryza Sativa* L.). **Pakistan Journal of Botany** 39(7): 2527-2534.

Singh, S., Sengar, R. S., Kulshreshtha, N., Datta, D., Tomar, R. S., Rao, V. P., Garg, D. and Ojha, A. 2015. Assessment of Multiple Tolerance Indices for Salinity Stress in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Agricultural Science** 7

Soontornyatara, S., Sripichitt, P., Hongtrakul, V. and Kaveeta, R. 2015. Genetic diversity of physic nut (*Jatropha curcas* L.) based on morpho-agronomic characters and DNA markers. **Thai Journal of Genetics** 8(1): 26-37.

Sullivan, C. Y. and Ross, W. M. 1979. Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. **In Stress Physiology in Crop Plant** Wiley Interscience, New York,: 263–281.

Suriya-arunroj, D., Supapoj, N., Toojinda, T. and Vanavichit, A. 2004. Relative leaf water content as an efficient method for evaluating rice cultivars for tolerance to salt stress. **Science Asia** 30: 411-415.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. **Plant Physiology**. 4 ed. Massachusetts, Sinauer Associates Inc.

Tester, M. and Davenport, R. 2003. Mechanism of salinity tolerance: Na tolerance and Na transport in higher plants. **Annals of Botany** 91: 503-527.

Teulat, B., Monneveux, P., Wery, J., Borries, C., Souyris, I., Charrier, A. and This, D. 1997. Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. **New Phytologist** 137: 99-107.

Thitisaksakul, M., Tananuwong, K., Shoemaker, C. F., Chun, A., Tanadul, O., Labavitch, J. M. and Beckles, D. M. 2015. Effects of Timing and Severity of Salinity Stress on Rice (Oryza sativa L.) Yield, Grain Composition and Starch Functionality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 63(8): 2296-2304.

Tripathy, J. N., Zhang, J., Robin, S., Nguyen, T. T. and Nguyen, H. T. 2000. QTLs for cell-membrane stability mapped in rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. **Theoretical and Applied Genetics** 100: 1197-1202.

USSL. 1954. Diagnosis and improvement of saline soils. **USDA. Handbook 60**

Varshney, R. K., Paulo, M. J., Grando, S., van Eeuwijk, F. A., Keizer, L. C. P., Guo, P., Ceccarelli, S., Kilian, A., Baum, M. and Graner, A. 2012. Genome-wide

association analyses for drought tolerance related traits in barley. **Field Crops Research** 126: 171-180.

Wang, M., Yan, J., Zhao, J., Song, W., Zhang, X. and Xiao, Y. 2012. Genome-wide association study (GWAS) of resistance to head smut in maize. **Plant Science** 196: 125-131.

Willson, W. 1967. The components of leaf water potential. I. Osmotic and matric potential. **Australian Journal of Biological Sciences** 20: 349-357.

Yoshiba, Y., Kiyosue, T., Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, Y. and Shinozaki, K. 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. **Plant and Cell Physiology** 38: 1095-1102.

Zeng, L., Lesch, S. M. and Grieve, C. M. 2003. Rice growth and yield respond to changes in water depth and salinity stress. **Agricultural Water Management** 59: 67-75.

Zeng, L. and Shannon, M. C. 2000. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. **Crop Science** 40: 996-1003.

Zeng, L., Shannon, M. C. and Lesch, S. M. 2001. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. **Agricultural Water Management** 48: 191-206.

Zeng, L. H. 2005. Exploration of relationships between physiological parameters and growth performance of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings under salinity stress using multivariate analysis. **Plant Soil** 268: 51–59.

Zou, J., Liu, C., Liu, A., Zou, D. and Chen, X. 2012. Overexpression of OsHsp17.0 and OsHsp23.7 enhances drought and salt tolerance in rice. **Journal of Plant Physiology** 169: 628–635.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2527. ความรู้ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ. โครงการพัฒนาดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามแผนพัฒนาชนบทยากจน (2525-2529). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ. 159น.

กระทรวงพาณิชย์และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. ยุทธศาสตร์ข้าวไทยปี 2550-2554. คณะทำงานยุทธศาสตร์ ข้าวไทยด้านการผลิต. กรมการข้าว. กรุงเทพฯ. 19 หน้า.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2551. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ธีรยุทธ ตู้จินดา, Jonaliza L. Siangliw and กาญจนา ปัญญาแวว และ ไวพจน์ กันจู. 2555. Development of single QTL near isogenic lines (NILs) of KDML105 for drought tolerance. รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม ณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ: 109 หน้า.

สถาบันวิจัยข้าว. 2541. วิวัฒนาการพันธุ์ข้าวไทย. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 168 หน้า.

สมศรี อรุณินท์. 2539. ดินเค็มในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 251 หน้า.

สำนักคุ้มครองพันธุ์พืชแห่งชาติ. 2543. พันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทย. เอกสารวิชาการ สำนักคุ้มครองพันธุ์พืชแห่งชาติ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 215หน้า.

Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.วิธีการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2527)

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง
2. บีกเกอร์ขนาด 600 มล.
3. spatula
4. เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Baroid Press)
5. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า Digital Electrical Conductivity meter
6. หลอดทดลองขนาด 40 มล.
7. กระบอกตวง 25 มล.
8. แท่งแก้วคนสาร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานที่มีการนำไฟฟ้า 1.412 dS/m, 25 ^{o}C ซึ่งเตรียมได้โดยใช้สารละลายมาตรฐาน 0.01 M KCl : ละลาย KCl (ที่อบที่ 110 ^{0}C เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง) 0.7456 กรัม ในน้ำกลั่นจากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายมาตรฐานที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่ 12.88 dS/m, 25 ^{o}C ซึ่งเตรียมได้โดยใช้สารละลายมาตรฐาน 0.1 M KCl : ละลาย KCl (อบที่ 110 ^{0}C นานประมาณ 3 ชั่วโมง) 7.456 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน

1. ทำให้ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ (saturated paste) แล้วสกัดสารละลายออกจากเนื้อดินโดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ
2. ทำให้อยู่ในรูปสารละลายไอออนโดยใช้ดินในอัตราส่วน ดิน : น้ำ เป็น 1:5

วิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้า

1. การสกัดดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

- ใส่ดินลงในบีกเกอร์ 400 – 500 กรัม แล้วค่อย ๆ เทน้ำกลั่นลงไปในดินผสมให้เข้ากัน ซึ่งดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีผิวมันและสะท้อนแสงทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
- นำไปสกัดด้วยเครื่องอัดน้ำออกจากดิน แล้วจึงนำสารละลายที่ได้มาวัดหาค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Electrical Conductivity meter โดยใช้สารละลายมาตรฐาน KCl 0.01 M หรือ 0.1 M ปรับค่าคงที่ (cell constant) ของเครื่อง Digital electrical Conductivity meter ที่ 25 ^{o}C ซึ่งจะมีค่า = 1.412 dS/m หรือ 12.88 dS/m

2. การสกัดในอัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1 : 5

ทำการชั่งดินจำนวน 4 กรัมลงในหลอดทดลองขนาด 40 มล. แล้วใส่น้ำกลั่นปริมาตร 20 มล. คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้อีกประมาณ 30 นาทีจนกระทั่งเนื้อดินตกตะกอน นำสารละลายด้านบนไปวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้สารละลายมาตรฐาน KCl 0.01 M หรือ 0.1 M ปรับค่าคงที่ (cell constant) ของเครื่อง Electrical Conductivity meter ที่ 25 ^{o}C ซึ่งจะมีค่าประมาณ 1.412 dS/m หรือ 12.88 dS/m

3. การคำนวณค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจะมีค่าสูงขึ้นประมาณ 2% เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น 1 ^{0}C ดังนั้นเครื่องมือวัดที่ไม่สามารถคำนวณแปลงค่าที่วัดได้เป็นค่าที่อุณหภูมิ ควรจะต้องวัดอุณหภูมิสารละลายแล้วคำนวณเป็นค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ตามสมการ

$$EC_{25} = EC_t / [1 + 0.02(t - 25)]$$

เมื่อ EC_{25} = ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C

EC_t = ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ที่อุณหภูมิ t ^{0}C

t = อุณหภูมิ (^{0}C)

4. การแปลผล

การแปลผลค่าการนำไฟฟ้าในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ที่ 25 °C dS/m จะแปรตามเกณฑ์ดังนี้

0 -2 ไม่เค็ม ไม่มีผลกระทบต่อการเจิญเติบโตของพืช

2 - 4 เค็มน้อยมาก อาจมีผลกระทบกระเทือนต่อผลผลิตของพืชที่ sensitive ต่อความเค็ม

4 - 8 เค็มปานกลาง เป็นอุปสรรคต่อพืชหลายชนิด

8 - 16 เค็มจัด เป็นอุปสรรคต่อพืชส่วนมาก เฉพาะพืชทนเค็มที่เติบโตได้

>16 เค็มจัดมาก เป็นอันตรายต่อพืชทุกชนิด ยกเว้นพืชบางชนิด เช่นหญ้าทนเค็ม เป็นต้น

2. ขั้นตอนการศึกษาการเชื่อมโยงทั้งจีโนมกับฐานข้อมูลสนิปส์โดยใช้โปรแกรม Linux

2.1 จัดข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ต้องการจะศึกษาการเชื่อมโยงให้อยู่ในไฟล์นามสกุล .txt (Tab delimited format)

2.2 ทำการรวมไฟล์ phenotype ที่เข้ากับ SNPs file โดยพิมพ์

- cd /mnt/4TB2/script/gemma
- vi addpheno.snps_indel.bash

จะแสดงผลดังนี้

```
#!/bin/bash
#cut -d'   ' -f1,2,3,4,5 filtered.impute.ped > firstfive.txt
#cut -d'   ' -f7- filtered.impute.ped > last.txt
paste -d'        ' /mnt/4TB2/impute.snps.indel/firstfive.snps.indel /mnt/4TB2/data/ชื่อไฟล์.txt /mnt/4TB2/impute.snps.indel/last.snps.indel > /mnt/4TB2/impute.snps.indel/ชื่อไฟล์หลัง combine แล้ว(1).ped
```

จากนั้นพิมพ์ esc+shift+:wq เพื่อ save ชุดคำสั่ง

- พิมพ์ nohup ./addpheno.bash& เพื่อ run คำสั่ง

2.3 การสร้าง file map

เข้าใน directory “ impute.snps.indel” ซึ่งจะอยู่ใน script โดยพิมพ์

-cd impute.snps.indel

-cp ชื่อไฟล์เก่า.map ชื่อไฟล์ใหม่.map เพื่อ copy map โดยตั้งชื่อให้ตรงกันกับ file .ped (1)

เช่น cp combined_sisfwver5.snps.indel.map combined_sirfwver5.snps.indel.map

2.4 Run plink

เข้าในชุดโปรแกรม plink ซึ่งอยู่ในfolder script ในฐานข้อมูลและพิมพ์แก้คำสั่งใน vi makebed.snps.indel.bash

จะแสดงผลดังนี้

#!/bin/bash

/mnt/4TB2/tools/plink-1.07-x86_64/plink --file /mnt/4TB2/impute.snps.indel/ชื่อไฟล์หลัง combine แล้ว(1) --make-bed --out /mnt/4TB2/impute.snps.indel/ชื่อไฟล์หลัง combine แล้ว(1)

"makebed.snps.indel.nn.bash" 3L, 191C 3,88 All

ดังตัวอย่างเช่น

#!/bin/bash

/mnt/4TB2/tools/plink-1.07-x86_64/plink --file /mnt/4TB2/impute.snps.indel/combined_sis.snps.indel --make-bed --out /mnt/4TB2/impute.snps.indel/combined_sis.snps.indel

~

~

"makebed.snps.indel.nn.bash" 3L, 191C 3,88 All

พิมพ์ esc+shift+:wq

พิมพ์ nohup ./makebed.snps.indel.bash& เพื่อ Run program

2.4 GEMMA test

แก้คำสั่งในชุดข้อมูล GEMMA โดยพิมพ์ vi gemmatest.snps.indel.nn.bash

จะแสดงผลดังนี้

#!/bin/bash

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

/mnt/4TB2/tools/gemma -bfile /mnt/4TB2/impute.snps.indel/ชื่อไฟล์หลัง combine (1) -gk 1 -o ชื่อไฟล์ของ output
/mnt/4TB2/tools/gemma -bfile /mnt/4TB2/impute.snps.indel/ชื่อไฟล์หลัง combine (1) -k /mnt/4TB2/script/gemma/output/ชื่อไฟล์ของ output.cXX.txt -eigen -o ชื่อไฟล์ของ output.decompose
/mnt/4TB2/tools/gemma -bfile /mnt/4TB2/impute.snps.indel/ชื่อไฟล์หลัง combine (1) -d /mnt/4TB2/script/gemma/output/ชื่อไฟล์ของ output.decompose.eigenD.txt -u /mnt/4TB2/script/gemma/output/ชื่อไฟล์ของ output.decompose.eigenU.txt -lmm 4 -o ชื่อไฟล์ของ output
พิมพ์ esc+shift+:wq
พิมพ์ nohup ./gemmatest.snps.indel.bash & เพื่อ Run program
ดังตัวอย่างเช่น

#!/bin/bash
/mnt/4TB2/tools/gemma -bfile
/mnt/4TB2/impute.snps.indel/combined_sirsver5.snps.indel -gk 1 -o sis.snps.indel
/mnt/4TB2/tools/gemma -bfile /mnt/4TB2/impute.snps.indel/combined_sis.snps.indel -k /mnt/4TB2/script/gemma/output/sis.snps.indel.cXX.txt -eigen -o sis.snps.indel.decompose
/mnt/4TB2/tools/gemma -bfile /mnt/4TB2/impute.snps.indel/combined_sis.snps.indel -d /mnt/4TB2/script/gemma/output/sis.snps.indel.decompose.eigenD.txt -u /mnt/4TB2/script/gemma/output/sis.snps.indel.decompose.eigenU.txt -lmm 4 -o sis.snps.indel
จะได้ไฟล์ .assoc format เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของสนิปส์

2.5 Call qq-plot

เข้าชุดโปรแกรม R โดยพิมพ์ cd script/R หลังจากนั้นพิมพ์ vi callnnqqplot.bash
จะแสดงผลดังนี้
#!/bin/bash

R --vanilla --slave -f qqplot.r –args ชื่อไฟล์ของ output.assoc.txt
/mnt/4TB2/script/gemma/output/mp.ชื่อไฟล์ของ output.tiff
/mnt/4TB2/script/gemma/output/qq.ชื่อไฟล์ของ output l.tiff

esc+shift+:wq
nohup ./vi callnnqqplot.bash&
ดังตัวอย่างเช่น
#!/bin/bash
R --vanilla --slave -f qqplot.nn.r --args sis.snps.indel.assoc.txt
/mnt/4TB2/script/gemma/output/mp.nn/mp.sis.snps.indel.tiff
/mnt/4TB2/script/gemma/output/mp.nn/qq.sis.snps.indel.tiff

จะได้ไฟล์ นามสกุล.tiff ของ qq-plot เพื่อใช้พิจารณา distribution pattern

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนพคุณ คุณผลวัฒนา เกิดวันที่ 16 ธันวาคม 2532 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนสระบุรีวิทยาคม สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาในภาคปลายหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อพ.ศ. 2555

การนำเสนอผลงาน

-นำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ในหัวข้อเรื่องฟีโนไทป์บางประการที่ตอบสนองต่อความเค็มในต้นกล้าข้าวพื้นเมืองไทย ในงานประชุมวิชาการพันธุศาสตร์แห่งชาติครั้งที่ 18 ระหว่างวันที่ 17-19 กรกฎาคม 2556 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ สุขุมวิท กรุงเทพมหานคร

-นำเสนอผลงานแบบบรรยายในหัวข้อเรื่อง การประเมินและการจัดกลุ่มต้นกล้าข้าวพื้นเมืองไทย 54 พันธุ์โดยใช้ดัชนีเสถียรภาพของฟีโนไทป์บางประการที่ตอบสนองต่อความเค็มในดิน ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเยาวชนครั้งที่ 9 ระหว่างวันที่ 30 พฤษภาคม - 1 มิถุนายน 2557 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค

การตีพิมพ์บทความทางวิชาการ

นพคุณ คุณผลวัฒนา, สมทรง โชติชื่น, ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์, บุญธิดา โฆษิตทรัพย์, ธีรพงษ์ บัวบูชา และ ศุภจิตรา ชัชวาลย์. 2013.ฟีโนไทป์บางประการที่ตอบสนองต่อความเค็มในต้นกล้าข้าวพื้นเมืองไทย. Thai Journal of Genetic. S(1): 280-284