การสร้างแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลืองที่มีผลจากความเครียดที่เกิดจากความเค็ม

นางสาวศิรินันท์ วันทอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODELING SOYBEAN GROWTH AFFECTED BY SALT STRESS

Miss Sirinan Wantong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Computational Science

Department of Mathematics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลืองที่มีผลจากความเครียดที่เกิดจากความเค็ม
โดย	นางสาว ศิรินันท์ วันทอง
สาขาวิชา	วิทยาการคณนา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พรชัย สาตรวาหา)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

.... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ชิดชนก เหลือสินทรัพย์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิรินันท์ วันทอง : การสร้างแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลืองที่มีผลจากความเครียดที่เกิดจากความเค็ม (MODELING SOYBEAN GROWTH AFFECTED BY SALT STRESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.สุชาดา ศิริพันธุ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์, 59 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้เสนอตัวแบบคณิตศาสตร์ ที่แสดงถึงผลกระทบของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารในช่วงระดับความเค็ม 0-30 มิลลิโมลาร์ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้ประกอบด้วย แบบจำลองที่มีพื้นฐานมาจากแบบจำลองการเติบโตแบบเอกซ์โปเนนเชียล โดยใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์แบบวิธีทรัสท์-รีเจียน เพื่อแสดงถึงน้ำหนักแห้ง และอัตราการติดฝัก นอกจากนี้ได้ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร โดยกำหนดข้อมูลนำเข้าเป็น น้ำหนักแห้ง ค่าการนำไฟฟ้า อัตราการติดฝัก และฤดูกาลที่ปลูก ส่วนตัวแปรเป้าหมายคือ น้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง จากการตรวจสอบแบบจำลอง พบว่าการทำนายผลผลิตมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 4%

ภาควิชา คณิตศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต ศิรินันท์ วันทอง

สาขาวิชา วิทยาการคณนา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก สุชาดา ศิริพันธุ์

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ศุภจิตรา ชัชวาลย์

4972501923 : MAJOR COMPUTATIONAL SCIENCE
KEYWORDS : SALT STRESS / NEURAL NETWORKS / SOYBEAN

SIRINAN WANTONG : MODELING SOYBEAN GROWTH AFFECTED BY SALT STRESS. ADVISOR : ASSOC. PROF. SUCHADA SIRIPANT, CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. SUPACHITRA CHADCHAWAN, Ph.D., 59 pp.

This research presents a mathematical model for the effect of salinity on growth and yield of soybean. Soybean plants are grown in solution culture or hydroponics with different concentration between 0-30 mM NaCl. Exponential equations are used to predict the dry weight and the ratio of pod and flower. The approximated parameters of the equations are found by trust-region method. In addition, a feedforward neural network model is used to predict the yield of soybean (seed weight). The dry weight, the electrical conductivity, the ratio of pod and flower and the season are used as input variables and the yield is used as the target variable. The result shows that the model can be used to predict the yield with relative error less than 4 percents.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Mathematics Student's Signature : Sirinan Wantong
Field of Study : Computational Science Advisor's Signature : S. Siripant
Academic Year : 2008 Co-Advisor's Signature : Supachitra Chadchawan

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำหรับลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ด้วยความกรุณาช่วยเหลืออย่างดี จากรองศาสตราจารย์ สุชาดา ศิริพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลืออย่างดี ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ จึงขอกราบพระคุณอย่างสูง ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พรชัย สาตรวาหา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ชิดชนก เหลือสินทรัพย์ และรองศาสตราจารย์ ดร.พูนพิภพ เกษมทรัพย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และการใช้เครื่องมือในการผสมสารละลายธาตุอาหาร

ขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในสาขาวิทยาการคณนา และขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ศูนย์วิจัย AVIC ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาอันมีประโยชน์ในการทำการวิจัย ตลอดจนให้กำลังใจในการทำการวิจัยอย่างดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ นายวินัย และนางจินตนา วันทอง ที่ให้กำลังใจอย่างดีมาตลอดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ... จ
กิตติกรรมประกาศ... ฉ
สารบัญ... ช
สารบัญตาราง.. ฌ
สารบัญภาพ…….. ญ
บทที่
1 บทนำ... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย... 1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.. 1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.. 2
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย.. 2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง... 3
2.1 งานวิจัยทางพฤกษศาสตร์ที่ศึกษาความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช................................ 3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลผลิตของพืช... 5
3 ทฤษฎีพื้นฐาน.. 6
3.1 ค่าการนำไฟฟ้า.. 6
3.2 ระบบไฮโดรโปนิกส์... 7
3.3 การลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียล... 13
3.4 การวิเคราะห์การถดถอย.. 14
3.5 โครงข่ายประสาทเทียม.. 19
4 วิธีดำเนินการวิจัย.. 23
4.1 การออกแบบการทดลอง.. 23
4.2 การเก็บข้อมูล.. 26
4.3 การจำลองแบบ.. 26

บทที่ หน้า

5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.. 34
5.1 แบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง.. 34
5.2 แบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง... 36
5.3 แบบจำลองน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง.. 38
6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ... 40
6.1 สรุปผลการวิจัย... 40
6.2 ข้อเสนอแนะ.. 41
รายการอ้างอิง.. 42
ภาคผนวก... 44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 3.1	การจำแนกระดับความเค็มจากค่าการนำไฟฟ้าและผลกระทบต่อพืช.................	6
ตารางที่ 3.2	วิธีการเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) สำหรับสูตร Hoagland.......	10
ตารางที่ 3.3	สารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์สูตร Hoagland ต่อน้ำ 2 ลิตร............................	12
ตารางที่ 4.1	ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ เมื่อเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าในการทดลองครั้งที่ 1..	24
ตารางที่ 4.2	ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เมื่อเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าในการทดลองครั้งที่ 2..	25
ตารางที่ 5.1	น้ำหนักแห้งเฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลอง ในการทดลองช่วงที่ 1..	35
ตารางที่ 5.2	น้ำหนักแห้งเฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลอง ในการทดลองช่วงที่ 2..	36
ตารางที่ 5.3	อัตราการติดฝักเฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลอง ในการทดลองช่วงที่ 1..	37
ตารางที่ 5.4	อัตราการติดฝักเฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลอง ในการทดลองช่วงที่ 2..	38
ตารางที่ 5.5	น้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง และค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลอง จากชุดข้อมูลสำหรับทดสอบรอบที่ดีที่สุด..	39
ตารางที่ 5.6	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ สหสัมพันธ์ และสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ที่ได้จากแบบจำลองจากชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้งหมด 500 ครั้ง................................	39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
รูปที่ 3.1	การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร	8
รูปที่ 3.2	การลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียล	13
รูปที่ 3.3	ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุด (x_i, y_i)	15
รูปที่ 3.4	โครงสร้างของเซลล์ประสาทและโครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียม	20
รูปที่ 3.5	แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	20
รูปที่ 4.1	กราฟข้อมูลน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร จากการทดลองช่วงที่ 1 ที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551	27
รูปที่ 4.2	กราฟข้อมูลน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร จากการทดลองช่วงที่ 2 ที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551	27
รูปที่ 4.3	กราฟข้อมูลอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร จากการทดลองช่วงที่ 1ที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551	30
รูปที่ 4.4	กราฟข้อมูลอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร จากการทดลองช่วงที่ 2 ที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551	30
รูปที่ 5.1	กราฟข้อมูลแบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร จากการทดลองช่วงที่ 1 ที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551	35
รูปที่ 5.2	กราฟข้อมูลแบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร จากการทดลองช่วงที่ 2 ที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551	35
รูปที่ 5.3	กราฟข้อมูลแบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร จากการทดลองช่วงที่ 1ที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551	37

ภาพที่ หน้า

รูปที่ 5.4 กราฟข้อมูลอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร จากการทดลองช่วงที่ 2 ที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551.. 37

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในธรรมชาติ การเจริญเติบโตของพืชจำเป็นต้องใช้ปัจจัยหลายอย่าง อาทิเช่น น้ำ แสง อุณหภูมิ ความชื้น สภาพของดิน รวมถึงธาตุอาหารต่างๆ ในดิน เป็นต้น ความไม่สมดุลของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง จะส่งผลโดยตรงกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ปัญหาดินเค็มเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน เพราะดินเค็มได้เกิดเพิ่มขึ้นในส่วนต่างๆ ของโลก ดินเค็มสามารถเกิดขึ้นได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในบริเวณที่มีภูมิอากาศแบบแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง ความเค็มในดินมีผลทำให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่ปลูกลดลง ในประเทศไทยพบดินเค็มแพร่กระจายทั่วไปในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบริเวณชายฝั่งทะเล งานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของความเค็มที่มีต่อพืชมีมานานแล้ว แต่ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกลไกชีวภาพของพืช ดังนั้นการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงผลกระทบของความเค็ม ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจนำมาศึกษา งานวิจัยนี้ได้ใช้ถั่วเหลืองเป็นกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณการผลผลิตของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเครียดที่เกิดจากความเค็ม ในสารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์สูตร Hoagland ที่ปรับระดับความเค็มให้เพิ่มขึ้นในระดับที่ต่างกันในช่วงความเค็ม 0-30 มิลลิโมลาร์ เพื่ออธิบายและพิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับต้นถั่วเนื่องจากความเค็มในระดับต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเครียดที่เกิดจากความเค็มในระดับต่างๆ ที่มีผลต่อต้นถั่วเหลือง

2. เพื่อประมาณน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง ที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเค็มในช่วง 0-30 มิลลิโมลาร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พืชที่ใช้ในการวิจัยคือ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม. 60)

2. ทำการปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland [1] ที่ให้ความเค็มในระดับต่างๆ ในช่วง 0-30 มิลลิโมลาร์

3. ความเค็มที่ใช้ในการวิจัยคือ ความเค็มของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

4.ในการประมาณน้ำหนักผลผลิตจะพิจารณาผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง

5.ระยะเวลาการทดลองที่ใช้ในการปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร คือตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตใช้เวลา 80 วัน มีการทดลองปลูก 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551 และช่วงที่สองตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551 การเพาะปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร ช่วงแรกจะใช้ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ และช่วงที่สองจะใช้ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผน และการตัดสินใจในการปลูกถั่วเหลืองในบริเวณพื้นที่ที่เป็นดินเค็ม อีกทั้งยังช่วยในการพิจารณาหาวิธีแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น กับปริมาณผลผลิตของถั่วเหลืองที่เพาะปลูกในสภาวะดินเค็มให้สามารถมีผลผลิตที่ดีขึ้นได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำไปเป็นแนวทางสำหรับการแก้ปัญหาการปลูกพืชชนิดอื่นๆ ในพื้นที่ดินเค็มได้เช่นกัน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัย ที่เกี่ยวกับความเค็มที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง

2. ทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหารเพื่อการเก็บข้อมูลดังนี้

การทดลองครั้งที่ 1 ทดลองปลูกที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์

การทดลองครั้งที่ 2 ทดลองปลูกที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์

3. สร้างแบบจำลองเพื่อใช้อธิบายผลกระทบของความเค็ม กับการเปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง และทดสอบแบบจำลอง

4. จัดทำเอกสารรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเครียดที่เกิดจากความเค็ม ที่มีผลกระทบต่อพืช กันอย่างกว้างขวาง ทั้งในด้านพฤกษศาสตร์ และการสร้างแบบจำลอง

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาแบบจำลองผลผลิตของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเครียดที่เกิดจากความเค็มที่ได้ศึกษานี้ ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

- งานวิจัยทางพฤกษศาสตร์ที่ศึกษาความเครียดที่เกิดจากความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช
- งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองผลผลิตของพืช ที่ได้รับผลจากความเครียดที่เกิดจากความเค็ม

2.1 งานวิจัยทางพฤกษศาสตร์ที่ศึกษาความเครียดที่เกิดจากความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช

ในปี ค.ศ. 1998 Soussi, Ocaña และ Lluch ได้ศึกษาผลกระทบของความเค็มต่อการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง และการตรึงไนโตรเจนในถั่วหัวช้าง (*Cicer arietinum* L.) ในสารละลายธาตุอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0, 50, 75 และ 100 มิลลิโมลาร์ ในช่วงการเจริญระยะ vegetative ของพืช หลังจากให้ความเค็ม พบว่าเฉพาะระดับความเข้มข้นสูงสุดของเกลือโซเดียมคลอไรด์ คือ 100 มิลลิโมลาร์ ส่งผลกระทบทำให้การเจริญเติบโตของพืช การสังเคราะห์แสง และการตรึงไนโตรเจนลดลง [5]

ในปี ค.ศ. 2001 Eassa และ Al-Ani ได้ศึกษาผลกระทบความเครียดของความเค็มที่มีต่อถั่วเหลือง 6 พันธุ์ คือ Lee, A6297, Coiquitt, Wricht, Clark 63k และ Forest ทำการวิจัยโดยทดลองปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร ที่ระดับการนำไฟฟ้า 2, 4, 6, 8, และ 10 mS/cm พบว่าความเค็มมีผลทำให้ น้ำหนักแห้งของลำต้น และปริมาณ chlorophyll *a* และ chlorophyll *b* ของถั่วเหลือง 6 พันธุ์ลดลง โดยพันธุ์ Lee, Coiquitt และ Clark 36k สามารถทนเค็มได้มากกว่า [6]

ในปี ค.ศ. 2004 Meloni, Gulotta, Martínez, และ Oliva ได้ศึกษาถึงความเครียดจากความเค็ม ที่มีผลกระทบต่อการลดลงของไนเตรท (nitrate), โพรลีน (proline) และ การสะสมไกลซีนบิเทน (glycinebetaine) ของต้นกล้า *Prosopis alba* (algarrobo) โดยทดลองให้ต้นกล้า *Prosopis alba* ได้รับภาวะเค็ม 3 ระดับ แล้วให้ความเค็มเพิ่มขึ้น 50 มิลลิโมลาร์ ทุก 24 ชั่วโมง จนถึงระดับความเค็มสุดท้ายเป็น 300 และ 600 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ พบว่าราก และส่วนลำต้น มีการเจริญเติบโตที่ลดลง แต่อัตราส่วนของรากต่อลำต้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ภาวะเค็มทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (leaf relative water content), ปริมาณไนเตรท (nitrate content) และกิจกรรมของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส (nitrate reductase activity) มีค่าลดลง และที่ระดับความเค็ม 300 และ

600 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ glycinebetaine เพิ่มขึ้นในใบและราก ซึ่งเป็นผลจากการปรับเปลี่ยนแรงดันออสโมติกใน *Prosopis alba* ภายใต้ภาวะเค็ม [7]

ในปี ค.ศ. 2004 Sheldon, Menzies, So และ Dalal ได้ศึกษาผลกระทบของความเค็มที่มีต่อน้ำในต้นพืช โดยใช้พืชที่ทนเค็ม คือข้าวสาลี (wheat) พันธุ์ Kenedy และพืชที่ไม่ทนเค็มคือถั่วหัวช้าง (chick-pea) พันธุ์ Jimbour ให้ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 ระดับ ตั้งแต่ 0 ถึง 3 กรัม/กิโลกรัม พบว่าเมื่อไม่มีภาวะความเค็ม ข้าวสาลีและถั่วหัวช้าง มีความสามารถในการได้รับปริมาณน้ำที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อได้รับความเค็มเพิ่มขึ้น ความสามารถในการได้รับน้ำของถั่วหัวช้างแย่ลงมาก ในขณะที่ข้าวสาลีไม่มีผลกระทบต่อช่วงของความเข้มข้นของความเค็มที่กำหนด ส่วนการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 2 ชนิดลดลง ถึงแม้เป็นช่วงความเค็มที่ต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากพิษของคลอไรด์ (Cl^-) และความต้องการเผาผลาญอาหารเพื่อรักษาความสมดุลของน้ำในต้นพืช [8]

ในปี ค.ศ. 2008 Stoeva และ Kaymakanova ได้ศึกษาถึงผลกระทบของความเครียดที่เกิดจากความเค็ม ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris* L.) โดยทำการทดลองในสารละลายธาตุอาหาร ใช้ความเค็มของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมซัลเฟต แบ่งระดับความเค็มเป็น 0, 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับความเค็ม ทำให้ยับยั้งกระบวนการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นผลจากการรบกวนการดูดซึม (Osmotic) และพิษของคลอไรด์ไอออน, ซัลเฟตไอออน และโซเดียมไอออน ความเค็มของเกลือโซเดียมซัลเฟต ส่งผลต่อการยับยั้งการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ใบและความเข้มข้นของเม็ดสีได้ชัดเจนกว่าค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ลดลง ในขณะที่โพรลีน (proline) เพิ่มขึ้น [9]

ในปี ค.ศ. 2008 Manchanda และ Garg ได้ศึกษาถึงความเค็มและผลกระทบต่างๆ ต่อฟังก์ชันทางชีววิทยาของถั่ว พบว่าความเครียดของความเค็มส่งผลต่อกระบวนการเผาผลาญอาหาร การเจริญเติบโต และทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงเนื่องจากพืชได้รับผลกระทบต่ออัตราการขยายตัวของใบ พื้นที่ใบ รวมถึงอัตราการสังเคราะห์แสง และอัตราการหายใจต่อหน่วยของพื้นที่ใบ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของความเค็มต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วลันเตาและถั่วปากอ้า มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของการเปรียบเทียบระหว่างถั่วเหลืองและถั่วแขกพบว่ามีผลกระทบปานกลาง [10]

ในปี ค.ศ. 2008 Phang, Shao และ Lam ได้ศึกษาการทนต่อความเค็มของถั่วเหลือง ซึ่งพบว่าผลผลิตของถั่วเหลืองจะลดลงเมื่อความเค็มในดินที่ปลูกถั่วเหลืองมีค่าเกิน 5 mS/cm และความเค็มที่สูงมีผลกระทบต่อวัฏจักรทั้งหมดของการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ความเค็มจะมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อลักษณะต่างๆ ของถั่วเหลือง ได้แก่ การลดลงของความสูง ขนาดของใบ น้ำหนัก จำนวนของปล้อง จำนวนของกิ่ง จำนวนของฝัก น้ำหนักต่อต้น น้ำหนักของ 100 เมล็ด และคุณภาพของเมล็ดของถั่วเหลือง นอกจากนี้ความเครียดจากความเค็มมีผลต่อการสร้างปมของถั่ว

เหลือง การลดลงของประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน การลดลงของจำนวนและน้ำหนักของราก [11]

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทำนายผลผลิตของพืช

ในปี ค.ศ. 2005 Kaul, Hill และ Walthall ได้ศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายผลผลิตของข้าวโพดและถั่วเหลือง ในพื้นที่รัฐ Maryland โดยใช้ข้อมูลนำเข้าเป็นปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา และลักษณะดินที่เพาะปลูก ซึ่งปริมาณน้ำฝนพิจารณาจากปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายสัปดาห์ ข้อมูลเป้าหมายคือผลผลิต ทำการปรับค่าจำนวน hidden node และอัตราการเรียนรู้ พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลผลิตของข้าวโพด และถั่วเหลืองได้ดี [12]

ในปี ค.ศ. 2006 Khamis, Ismail, Haron และ Mohammed ได้ศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายผลผลิตของปาล์มน้ำมัน โดยใช้ข้อมูลนำเข้าเป็น เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบ และข้อมูลเป้าหมายคือ กลุ่มผลสดของปาล์มน้ำมัน ทำการปรับค่าอัตราการเรียนรู้ (learning rate), momentum terms, จำนวน hidden node และจำนวนรอบของการประเมินผล (number of runs) พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ให้ผลการทำนายที่ดีกว่าแบบจำลองการถดถอย [13]

ในปี ค.ศ. 2006 นายประเทือง เชื้อสะอาด ได้ทำวิทยานิพนธ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายน้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง ที่ช่วงระดับ pH 4-8 โดยใช้ข้อมูลนำเข้าเป็น ระดับ pH และความสูง ซึ่งผลจากการทำนายน้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่ำกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการทำนายผลผลิตจริงก่อนที่จะทำการเพาะปลูกได้ [15]

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของความเครียดที่เกิดจากความเค็ม ที่มีต่อถั่วเหลือง เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มกับน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง โดยทำการทดลองในระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) ซึ่งทำให้จำกัดผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมอื่นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ทฤษฎีพื้นฐาน

ในการทำการวิจัย ผู้วิจัยต้องศึกษาเกี่ยวกับความรู้พื้นฐาน รวมทั้งทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยที่ทำ ในบทนี้จะอธิบายถึง ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) ระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics System) การลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Decay) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

3.1 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC)

ดินเค็ม คือดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้มากเกินไป จนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและส่งผลต่อผลผลิตของพืช ความเค็มของดินประเมินได้จากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน ซึ่งสกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ค่าความเค็มจะแปรผันตามปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ โดยที่ดินเค็มมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 2 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร (mS/cm) เครื่องมือที่ใช้วัดค่าการนำไฟฟ้าของดินเรียกว่า เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity meter) ซึ่งระดับค่าการนำไฟฟ้าได้แสดงสภาวะความเค็มของดิน ซึ่งความเค็มของดินในระดับต่างๆ มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	ระดับความเค็ม	ผลกระทบของความเค็มต่อพืช
น้อยกว่า 2 mS/cm	ไม่เค็ม	ไม่มีผลกระทบต่อพืช
2-4 mS/cm	เค็มน้อย	มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่ทนเค็ม
4-8 mS/cm	เค็มปานกลาง	มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด
8-15 mS/cm	เค็มมาก	เฉพาะพืชทนเค็มเท่านั้นจึงเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้
มากกว่า 15 mS/cm	เค็มจัด	เฉพาะพืชทนเค็มจัดจึงเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้

ตารางที่ 3.1 การจำแนกระดับความเค็มจากค่าการนำไฟฟ้าและผลกระทบต่อพืช [14]

ค่าการนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นซีเมนซ์ต่อเมตร (Siemens/meter; S/m) ในระบบ SI แต่เนื่องจากหน่วยนี้เป็นหน่วยที่ใหญ่เกินไปสำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายต่างๆ ในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้หน่วยย่อยของหน่วยนี้แทน โดยที่

1 เดซิซีเมนซ์ ต่อเมตร (dS/m) = 1 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร (mS/cm)

1 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเมตร (mS/m) = 1,000 ไมโครซีเมนซ์ ต่อเมตร (microS/m)

ค่าการนำไฟฟ้า อาจระบุในหน่วยโมห์ ต่อเมตร (Mho/meter) หรือมิลลิโมห์ ต่อเซนติเมตร (milliMho/cm) ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้อยู่เดิมก่อนมีการประกาศเป็นหน่วย SI ค่าการนำไฟฟ้าเป็นส่วนผกผันของค่าความต้านทานไฟฟ้าซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm) หน่วยโมห์ (Mho) จึงมีที่มาจากการเรียงตัวอักษรกลับขวาไปซ้ายของคำว่าโอห์มนั่นเอง หน่วยโมห์สามารถแปลงเป็นหน่วยในระบบ SI ได้ดังนี้

1 โมห์ ต่อเมตร (Mho/meter) = 1 ซีเมนซ์ ต่อเมตร (S/m)

1 มิลลิโมห์ ต่อเซนติเมตร (milliMho/cm) = 1 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร (mS/cm)

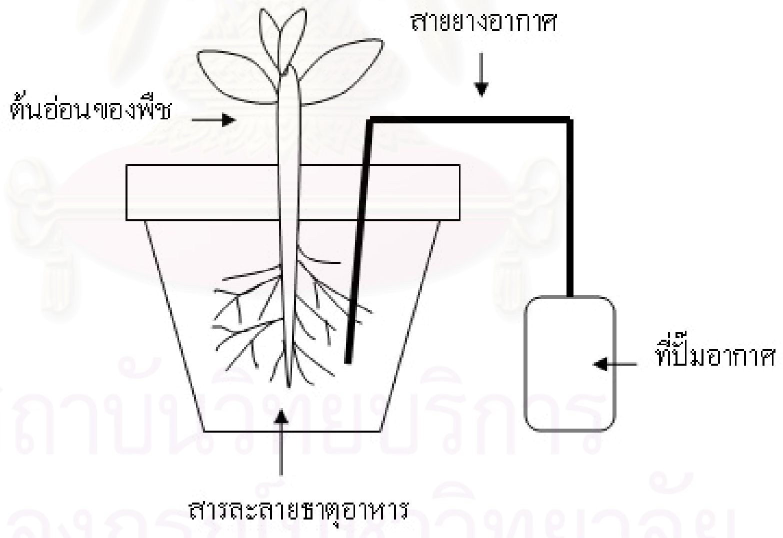
โดยที่ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance; R) มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm) มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทาง L ซม. ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดคู่ที่จุ่มอยู่ในสารละลาย หรือสารละลายดิน และมีค่าผกผันกับพื้นที่หน้าตัด A ตร.ซม. ของสารละลายที่อยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดคู่นั้น ดังนั้น $R = \frac{\rho L}{A}$ เมื่อ ρ คือค่าคงที่ ที่เรียกว่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity) ซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม-เซนติเมตร (ohm-cm) ค่าผกผันของ ρ หรือ $\frac{1}{\rho}$ ก็คือค่าการนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโมห์ต่อเซนติเมตร (mho/cm.)

3.2 ระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics System)

ไฮโดรโปนิกส์ (hydroponics) เป็นคำที่มาจากภาษากรีก 2 คำ คือคำว่า hydro ซึ่งแปลว่าน้ำ และคำว่า ponos แปลว่าทำงานหรือแรงงาน เมื่อรวมกันจึงมีความหมายว่าการทำงานที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ไฮโดรโปนิกส์ เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นในประเทศซึ่งมีปัญหาพื้นที่ทำการเกษตรลดลงเนื่องจากการเจริญเติบโตของชุมชน หรือพื้นที่ที่มีอยู่ไม่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร ไฮโดรโปนิกส์ เป็นวิธีการปลูกพืช ที่อาศัยหลักการคล้ายคลึงกันกับการปลูกพืชแบบธรรมดา แต่จะเป็นการให้พืชเจริญเติบโต โดยให้รากสามารถดูดธาตุอาหารที่ละลายในน้ำได้โดยตรง การปลูกพืชโดยวิธีนี้จึงสามารถทำได้ในทุกพื้นที่ แม้จะไม่มีที่ดินสำหรับปลูกพืช หรือพื้นที่ดินที่มีอยู่ไม่สามารถใช้

ปลูกพืช เพราะมีพื้นที่จำกัด หรือขาดความอุดมสมบูรณ์ เนื่องจากการปลูกพืชแบบนี้เน้นการให้ธาตุอาหารในลักษณะของสารละลายผ่านระบบการปลูกพืชผัก โดยที่ระบบรากพืชไม่ได้สัมผัสกับดินจริงๆ แต่ต้นพืชเจริญเติบโตอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร เพื่อศึกษาว่าธาตุใดบ้างที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการปรับปรุงสูตรของน้ำยาไฮโดรโปนิกส์ให้เหมาะสมกับพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

ในปัจจุบันสูตรสารละลายธาตุอาหารที่นิยมใช้เป็นสูตรของ Hoagland ซึ่งค้นพบโดยนักสรีรวิทยาพืชชาวอเมริกัน ชื่อ Hoagland เมื่อปี ค.ศ.1950 พืชชั้นสูงโดยทั่วไปต้องการธาตุอาหารที่จำเป็นทั้งหมด 16 ธาตุ ประกอบด้วยธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก 9 ธาตุ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P)โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ส่วนธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย 7 ธาตุ คือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) และคลอรีน (Cl) และในการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารนั้นควรตรวจดูปริมาตรของสารละลายในภาชนะทุก ๆ วัน เมื่อปริมาตรสารละลายลดลงควรเติมน้ำกรอง ในแต่ละวันพืชจะดูดธาตุอาหารในสารละลายทำให้ในสารละลายมีธาตุอาหารลดลงไปเรื่อยๆ ดังนั้นเมื่อครบสัปดาห์ควรเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารอยู่เป็นประจำเพื่อให้สารละลายมีธาตุอาหารอยู่ครบ [1]



รูปที่ 3.1 การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร

วัสดุและอุปกรณ์ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

1. ต้นอ่อนของพืช

2. กระถางพลาสติกทึบแสง

3. โฟมสำหรับปิดกระถาง ซึ่งเจาะรูใหญ่ตรงกลางสำหรับต้นอ่อนพืช และรูเล็กด้านข้างสำหรับใส่สายยางเพื่อให้ออกซิเจนแก่ต้นพืช

4. ฟองน้ำ สำหรับยึดลำต้นกับโฟม

5. เครื่องปั๊มอากาศ สายยาง และตัวปรับระดับอากาศ เพื่อให้รากพืชได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ

6. สารละลายเข้มข้น (stock solution) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมสำหรับเป็นสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ซึ่งมีส่วนผสมของสารเคมี ดังตารางที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Stock Solution	สารเคมีที่ใช้	ปริมาณ (กรัม)	ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนเป็น
1 M calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	236.1 กรัม	1 ลิตร
1 M magnesium sulfate	$MgSO_4.7H_2O$	246.5 กรัม	1 ลิตร
1 M potassium dihydrogen phosphate	KH_2PO_4	136.09 กรัม	1 ลิตร
1 M potassium nitrate	KNO_3	101.1 กรัม	1 ลิตร
Fe-EDTA (2.5 mg/ml Fe)	EDTA disodium salt ($C_{10}H_{14}O_8Na_2.2H_2O$)	22.4 กรัม	372 มิลลิลิตร
	$FeCl_3.6H_2O$	13.5 กรัม	728 มิลลิลิตร
			เทสารละลายทั้งสองผสมกันทีละน้อยจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน
Micronutrients	H_3BO_3	2.86 กรัม	1 ลิตร
	$CuCl_2.2H_2O$	0.05 กรัม	
	$MnCl_2.4H_2O$	1.81 กรัม	
	$ZnCl_2$	0.11 กรัม	
	$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.025 กรัม	

ตารางที่ 3.2 วิธีการเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) สำหรับสูตร Hoagland [1]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร

1. เตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) ตามสูตร Hoagland ดังแสดงในตารางที่ 3.2

2. เตรียมสารละลายที่มีธาตุอาหารสมบูรณ์สูตรของ Hoagland จากสารละลายเข้มข้นในข้อ 1 ให้มีปริมาตรของสาร ดังแสดงในตารางที่ 3.3

3. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2 ใส่ลงในกระถางพลาสติกทึบแสง

4. นำต้นอ่อนพืชที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาปลูก โดยใส่ให้รากผ่านรูตรงกลางโฟม ยึดรอบลำต้นด้วยฟองน้ำอย่าให้แน่นหรือหลวมเกินไป นำแผ่นโฟมไปปิดที่ฝากระถาง โดยให้รากของต้นอ่อนของพืช จุ่มลงในสารละลายธาตุอาหาร นำต้นอ่อนพืชใส่ในกระถาง กระถางละ 1 ต้น ตั้งกระถางทั้งหมดในเรือนเพาะปลูก ที่ได้รับแสงอย่างเพียงพอ และมีหลังคากันฝน

5. ใส่สายยางที่ต่อกับเครื่องปั๊มอากาศตรงรูเล็กด้านข้างของแผ่นโฟม เปิดเครื่องปั๊มอากาศและปรับอากาศด้วยตัวปรับระดับอากาศให้พ่นอากาศเพียงเบาๆ เพื่อให้รากได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ

6. ทุกวันตรวจดูปริมาณสารละลายธาตุอาหาร หากพบว่าปริมาณสารละลายธาตุอาหารลดลง ควรเติมน้ำกรอง

7. เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่ทุกสัปดาห์

8. ถ้าต้นพืชมีอายุมากขึ้นแล้วลำต้นพืชโน้มเอียง ต้องหาไม้มาค้ำลำต้นไว้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Stock Solution	ปริมาตร (มิลลิลิตร)
1 M $Ca(NO_3)_2.4H_2O$	10
1 M KNO_3	10
1 M $MgSO_4.7H_2O$	4
1 M KH_2PO_4	2
Fe-EDTA	4
Micronutrients	2

ตารางที่ 3.3 สารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์สูตร Hoagland ต่อน้ำ 2 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Decay)

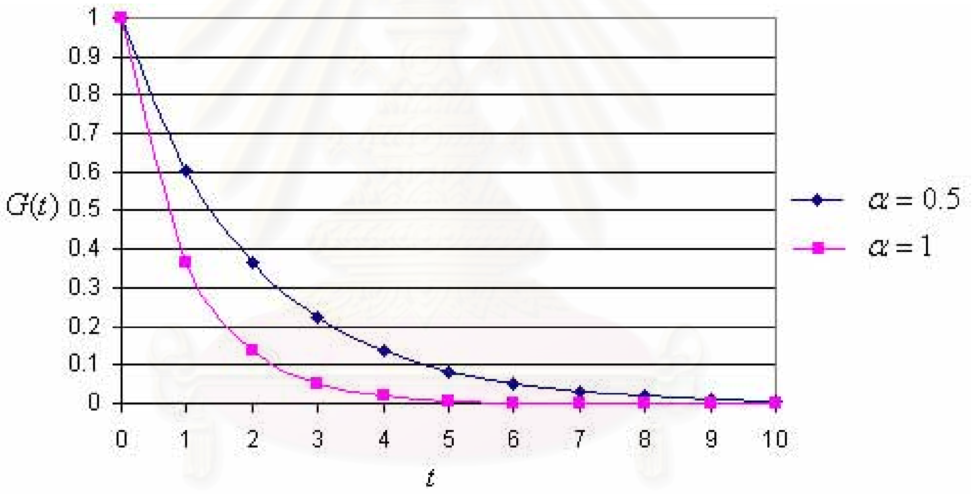
ในการพิจารณาอัตราลดลงของปริมาณของค่าใดๆ หรือปริมาณของสิ่งของ สามารถพิจารณาได้ในรูปแบบที่เรียกว่า การลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียล (exponential decay) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{d}{dt}G(t) = -\alpha G(t) \tag{3.1}$$

เมื่อ $G(t)$ คือปริมาณเมื่อเวลา t และ α เป็นจำนวนบวกที่เรียกว่าค่าคงที่ลด ผลเฉลยของสมการคือ

$$G(t) = \beta e^{-\alpha t} \tag{3.2}$$

โดยที่ β คือ ปริมาณค่าเริ่มต้น $G(0)$



รูปที่ 3.2 การลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียล

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าถ้าค่าคงที่ลดมีค่ามาก ปริมาณจะลดลงอย่างรวดเร็ว

3.4 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 กลุ่ม คือ ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (independent variable) และตัวแปรตาม (dependent variable) บางครั้งความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้นอาจจะอยู่ในลักษณะที่ง่าย ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ทั่วไปโดยอาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แต่ส่วนมากความสัมพันธ์ของตัวแปรจะอยู่ในลักษณะที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน จึงต้องมีการตั้งสมมุติฐานและประมาณความสัมพันธ์ของตัวแปรว่าลักษณะความสัมพันธ์ ควรอยู่ในรูปแบบสมการแบบใด

3.4.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Regression Analysis)

โดยทั่วไปแล้วความสัมพันธ์ของข้อมูลในงานวิจัยต่างๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ และด้านเกษตรศาสตร์ มักมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เชิงเส้น

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์ในรูปแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบสมการถดถอยได้ดังสมการที่ 3.3

$$y = y(x; a) \tag{3.3}$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตามของสมการถดถอย

x คือ ตัวแปรอิสระของสมการถดถอย

a คือ พารามิเตอร์ของสมการถดถอย

3.4.2 การหาค่าพารามิเตอร์ของสมการการถดถอย

ในการวิเคราะห์การถดถอย นอกจากต้องทราบว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม และตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระแล้ว ผู้วิเคราะห์จะต้องกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวทั้งสองให้ถูกต้องตามความเป็นจริง หลังจากที่ผู้วิเคราะห์ได้กำหนดความสัมพันธ์ของข้อมูลได้แล้ว ผู้วิเคราะห์ต้องประมาณค่าคงตัวความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองนั้น ซึ่งเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย หรือค่าพารามิเตอร์ของสมการการถดถอย

3.4.3 วิธีกำลังสองน้อยสุดไม่เชิงเส้น (Non-Linear Least Square Regression)

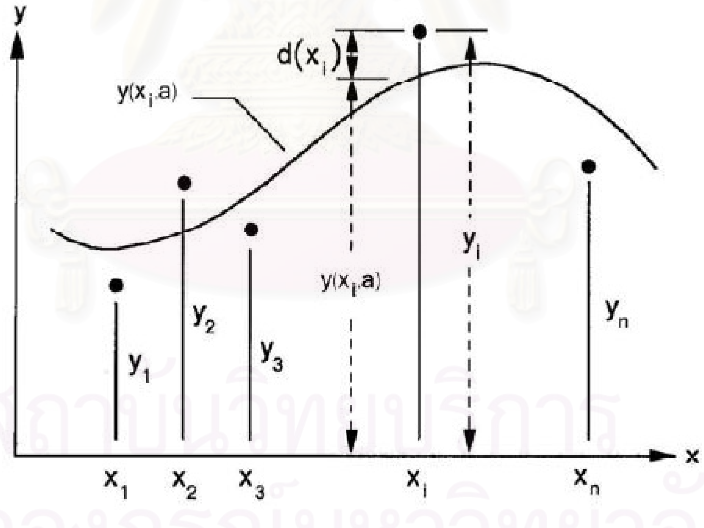
การหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย หรือค่าพารามิเตอร์ของสมการการถดถอย โดยวิธีกำลังสองน้อยสุด เป็นการพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้มีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยสุด ซึ่งทำได้ดังนี้

สมมุติว่า ต้องการหาสมการที่แทน n จุด $(x_i, y_i); i = 1, 2, ..., n$ โดยมีพารามิเตอร์ที่หา m ตัว คือ $a_j; j = 1, 2, ..., m$ เพื่อที่จะหาสมการการถดถอยที่แทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ x และตัวแปรตาม y จากสมการที่ 3.3

$$y = y(x_i; a) \tag{3.4}$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ a ในสมการที่ 3.3 แล้วนำสมการที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่กำหนดให้ พบว่าเกิดค่าคลาดเคลื่อน $d(x_i)$ ที่จุด x_i ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยที่ค่า $d(x_i)$ คือ

$$d(x_i) = y_i - y(x_i; a) \tag{3.5}$$



รูปที่ 3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุด (x_i, y_i)

สมการที่หาได้ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด จากข้อมูลทั้งหมดที่กำหนดให้ ในการหาค่าสมการถดถอยไม่เชิงเส้นนี้ เริ่มจากการหาค่าความคลาดเคลื่อน E ที่เกิดขึ้นจากข้อมูลทั้งหมดที่กำหนดให้จำนวน n ข้อมูล ดังนี้

$$E = \sum_{i=1}^{n} \left[d(x_i) \right]^2 \tag{3.6}$$

ซึ่งสามารถเขียนให้ประกอบด้วยฟังก์ชันไม่เชิงเส้น ดังนี้

$$E(a)=\sum_{i=1}^{n}\left[y_i-y(x_i;a)\right]^2 \tag{3.7}$$

โดยที่ y_i เป็นตัวแปรตามที่ได้จากข้อมูลตัวที่ i

x_i เป็นตัวแปรอิสระที่ได้จากข้อมูลตัวที่ i

y เป็นตัวแปรตามที่ได้จากสมการถดถอยโดยมีพารามิเตอร์ a

a เป็นพารามิเตอร์การถดถอย

3.4.4 วิธีทรัสท์-รีเจียน (Trust-Region Method)

การแก้สมการไม่เชิงเส้นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ $a_1,a_2,...,a_m$ รวมทั้งสิ้น m ค่านั้นสามารถทำได้โดยหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีทรัสท์-รีเจียน (trust-region)

วิธีทรัสท์-รีเจียน เป็นวิธีที่เหมาะสมและนิยมใช้สำหรับการแก้สมการไม่เชิงเส้นเพื่อหาพารามิเตอร์ที่ต้องการ มีวิธีดังนี้

กำหนดฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนคือ $E(a)$ เขียนอยู่ในอนุกรมเทร์เลอร์อันดับสองรอบจุด a_k โดยที่ k คือแต่ละรอบของการทำซ้ำ จะได้

$$E(a_{k+1})\approx E(a_k)+\nabla E(a_k)^T\cdot(a_{k+1}-a_k)+\frac{1}{2}(a_{k+1}-a_k)^T\cdot\nabla^2E(a_k)\cdot(a_{k+1}-a_k)+\dots$$

(3.8)

$$\text{โดยที่ }\nabla E(a_k)=\begin{bmatrix}\dfrac{\partial E(a_k)}{\partial a_{1k}}\\ \dfrac{\partial E(a_k)}{\partial a_{2k}}\\ \vdots\\ \dfrac{\partial E(a_k)}{\partial a_{mk}}\end{bmatrix}$$

$$\nabla^2 E(a_k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{1k}\partial a_{1k}} & \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{1k}\partial a_{2k}} & \cdots & \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{1k}\partial a_{mk}} \\ \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{2k}\partial a_{1k}} & \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{1k}\partial a_{1k}} & \cdots & \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{2k}\partial a_{mk}} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{mk}\partial a_{1k}} & \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{mk}\partial a_{2k}} & \cdots & \frac{\partial^2 E(a_k)}{\partial a_{mk}\partial a_{mk}} \end{bmatrix}$$

จากสมการเขียนให้อยู่ในรูปเกรเดียนต์เวกเตอร์ (gradient vector) g และเฮสเซียนเมตริกซ์ (hessian matrix) H ได้ดังนี้ [2]

$$E(a_{k+1}) = E(a_k) + g^T \cdot (a_{k+1} - a_k) + \frac{1}{2}(a_{k+1} - a_k)^T \cdot H \cdot (a_{k+1} - a_k) \qquad (3.9)$$

โดยที่ g คือเวกเตอร์อนุพันธ์ย่อยอันดับหนึ่งของ $E(a_k)$

H คือเวกเตอร์อนุพันธ์ย่อยอันดับสองของ $E(a_k)$

กำหนดฟังก์ชัน $q(s)$ แทนการประมาณด้วยฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนคือ $E(a_{k+1})$ ซึ่งเขียนอยู่ในอนุกรมเทร์เลอร์อันดับสอง โดยที่ s คือ step size หรือขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของค่าพารามิเตอร์ a ในแต่ละรอบการทำซ้ำ โดยที่ $s = a_{k+1} - a_k$ จากสมการที่ 3.9 จะได้

$$q(s) = g^T \cdot s + \frac{1}{2}s^T \cdot H \cdot s \qquad (3.10)$$

วิธีทรัสท์-รีเจียน เป็นวิธีที่หาค่าคลาดเคลื่อน $E(a)$ ที่มีค่าน้อยที่สุด จะได้

$$\min_a \{E(a)\} \qquad (3.11)$$

เมื่อต้องการปรับค่าความคลาดเคลื่อน $E(a)$ ให้มีค่าที่น้อยที่สุด โดยการย้ายพารามิเตอร์ a ไปอยู่ในฟังก์ชันที่ให้ค่าต่ำสุด ซึ่งประมาณค่าความคลาดเคลื่อน $E(a)$ ด้วยฟังก์ชัน $q(s)$ โดยมี N เป็นพื้นที่รอบๆ จุด s จะเรียก N ว่าทรัสท์-รีเจียน ดังนั้น

$$\min_s \{q(s), s \in N\} \qquad (3.12)$$

จากสมการที่ 3.10 ประมาณค่าต่ำสุดของ $q_k(s)$ ได้ดังนี้ [5]

$$\min_{s}\left\{ q_k(s) \stackrel{\text{def}}{=} g_k^T s + \frac{1}{2} s^T H_k s \text{ such that } \left\| \overline{D_k} s \right\|_2 \le \Delta_k \right\} \quad (3.13)$$

โดยที่ Δ_k มีค่าเป็นจำนวนบวก ที่แสดงขนาดของทรัสท์-รีเจียน (trust-region)

$\overline{D}_k$ เป็นเมตริกซ์เปลี่ยนสัดส่วน (scaling matrix) ของ s

$\| . \|$ เป็นยูคลิเดียนนอร์ม (euclidean norm)

สำหรับการประมาณค่าต่ำสุดของ $q_k(s)$ ทำได้โดยการหาอนุพันธ์เทียบกับ s จากสมการที่ 3.13 จะได้

$$\frac{\partial q_k(s_k)}{\partial s_k} = \frac{\partial g_k^T \cdot s_k}{\partial s_k} + \frac{\partial \frac{1}{2} s_k^T \cdot H_k \cdot s_k}{\partial s_k} = 0$$

$$g_k + H_k s_k = 0$$

$$s_k = -H_k^{-1} g_k$$

ในวิธีทรัสท์-รีเจียน จำเป็นต้องหาอัตราส่วนระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนาย เพื่อดูว่าค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้มีค่าใกล้เคียงมากเพียงใด และทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด ซึ่งจะนำอัตราส่วนที่ได้ไปปรับขนาดของทรัสท์-รีเจียน

กำหนดให้ ρ_k เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าจริง และค่าที่ทำนาย ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้ [4]

$$\rho_k = \frac{E(a_k + s_k) - E(a_k)}{q_k(s_k)} \quad (3.14)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนวิธีของทรัสท์-รีเจียน

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น a_0

2. คำนวณค่าความคลาดเคลื่อน $E(a_k)$ ตามสมการที่ 3.7 และค่าประมาณ $q(s_k)$ จากสมการที่ 3.10

3. คำนวณค่า s_k ตามสมการที่ 3.13

4. คำนวณค่า ρ_k ตามสมการที่ 3.14

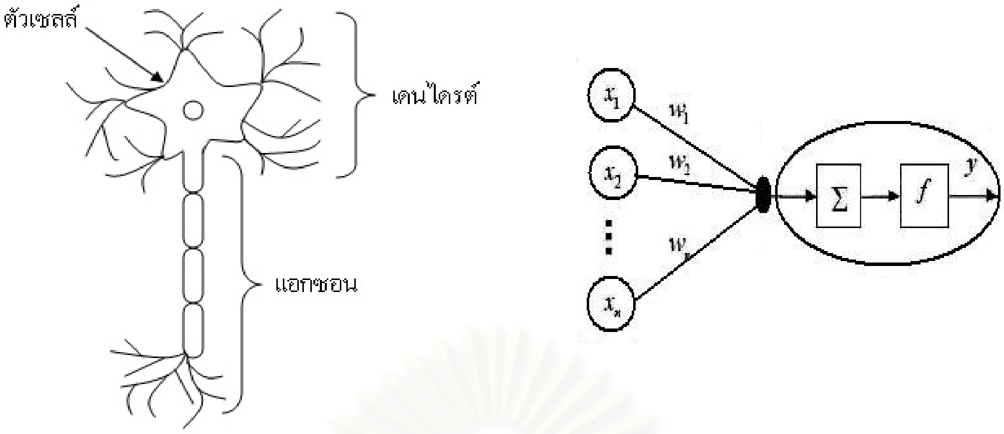
5. ถ้า $p_k > 0.25$ ดังนั้น $a_{k+1} = a_k + s_k$ แต่ถ้า $p_k \leq 0.25$ ดังนั้น $a_{k+1} = a_k$

6. ปรับค่า $q(s)_k$ และ Δ_k

7. เพิ่มแต่ละรอบของการทำซ้ำ จะได้ $k = k + 1$

3.5 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

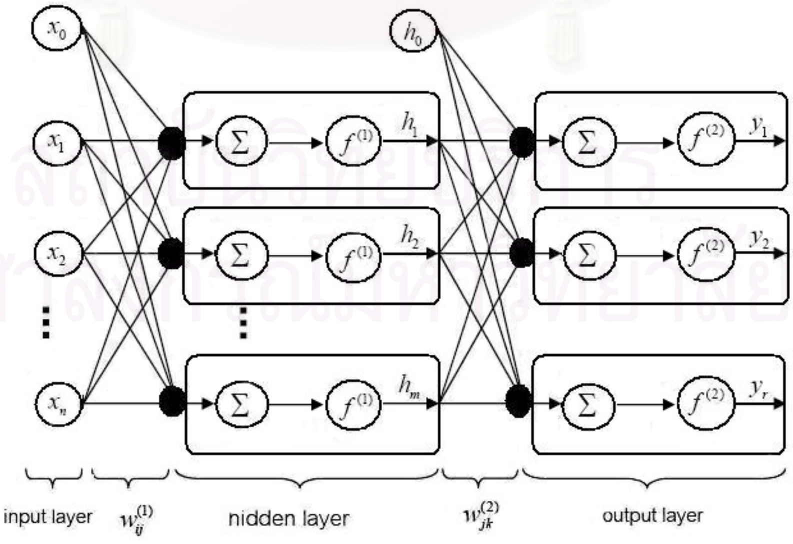
โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural networks) คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณ เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายระบบประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักคิดและจดจำรูปแบบ (pattern recognition) และการสร้างความรู้ใหม่ (knowledge extraction) เช่นเดียวกับความสามารถในโครงข่ายประสาทของมนุษย์ ซึ่งเซลล์ประสาทเทียมถูกจำลองให้มีลักษณะโครงสร้าง และการทำงานเช่นเดียวกับเซลล์ประสาทในโครงข่ายประสาทของสมองมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยที่เซลล์ประสาทเทียมมีข้อมูลนำเข้าคือ $x_1, x_2, ..., x_n$ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับสัญญาณกระแสประสาท ที่ส่งเข้ามายังแต่ละเดนไดรต์ในสมองมนุษย์ แต่ละข้อมูลนำเข้าถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1, w_2, ..., w_n$ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับค่าความแข็งแรงของไซแนปส์ โดยที่ผลรวมของข้อมูลนำเข้าและค่าถ่วงน้ำหนัก ถูกรวมเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อกำหนดระดับการกระตุ้นของเซลล์ประสาท ซึ่งเปรียบเทียบได้กับกระแสประสาทผ่านตัวเซลล์ จากนั้นผลรวมของข้อมูลนำเข้าและค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จะถูกผ่าน activate function ได้แก่ ฟังก์ชันลอจิสติก (logistic function) ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) หรือ ฟังก์ชันเส้นตรง (linear function) เป็นต้น หลังจากนั้นจะได้ข้อมูลนำออกมีค่าเป็น y ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับสัญญาณกระแสประสาทออกจากปลายแอกซอน [3]



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเซลล์ประสาทและโครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียม

3.5.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron Network)

เป็นแบบจำลองที่แต่ละ layer ของ hidden layer จะมีฟังก์ชันที่เอาไว้คำนวณ ซึ่งเรียกว่า activate function ซึ่งฟังก์ชันนี้จะได้รับค่าที่ได้จาก output ของ layer ก่อนหน้า โดยที่แต่ละ layer ไม่จำเป็นต้องมีฟังก์ชันแบบเดียวกันก็ได้ hidden layer ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีหน้าที่ในการแปลงข้อมูลที่เข้ามาใน layer นั้นๆ ให้เป็น linearly separable คือสามารถแยกแยะความแตกต่างได้โดยใช้เส้นตรง ก่อนที่ข้อมูลจะถูกส่งไปยัง output layer ในส่วนของ hidden layer สามารถมีได้มากกว่า 1 hidden layer ซึ่งโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น เริ่มต้นด้วยมีข้อมูลนำเข้า $x_0, x_1, ..., x_n$ แล้วถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(1)}$ ระหว่าง input layer กับ hidden layer หลังจากนั้นจึงส่งค่าไปแต่ละ hidden node ซึ่งแต่ละ hidden node จะรวมค่าผลคูณ แล้วส่งค่าผลรวมผ่าน activate function $f^{(1)}(a)$ ได้ผลลัพธ์เป็น $h_1, h_2, ..., h_m$ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$h_j = f^{(1)}(\sum_{i=0}^{n} w_{ij}^{(1)} x_i) \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } j = 1, 2, ..., m$$

จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละ hidden node จะถูกคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{jk}^{(2)}$ ระหว่าง input layer กับ hidden layer แล้วจึงส่งค่าเข้าไปยังแต่ละ output node เพื่อรวมค่าผลคูณเข้าไว้ด้วยกัน แล้วจึงส่งค่าผลรวมผ่าน activate function $f^{(2)}(a)$ ได้ผลลัพธ์เป็น $y_1, y_2, ..., y_r$ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$y_k = f^{(2)}(\sum_{j=0}^{m} w_{jk}^{(2)} h_j) \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } k = 1, 2, ..., r$$

3.5.2 วิธีการแบคพรอพพาเกชัน (Backpropagation Algorithm)

ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการแบบแบคพรอพพาเกชัน ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่นิยมใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer perceptron networks) ในการเรียนรู้ และปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่าขึ้นอยู่กับความแตกต่างของข้อมูลนำเข้า และข้อมูลนำออก

ขั้นตอนการเรียนรู้แบบแบคพรอพพาเกชัน

1. ทำการสุ่มค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(1)}, w_{jk}^{(2)}$
2. กำหนดค่าสูงสุดของการเรียนรู้ (MaxEpoce) ค่าผิดพลาดรวมสูงสุด (E) และกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (η)
3. ใส่ข้อมูลนำเข้า $x_0 = 1, x_1, x_2, ..., x_n$ และ ข้อมูลนำออก $d_1, d_2, ..., d_r$
4. คำนวณค่า $net_j^{(1)}, h_j$ ในรูปสมการดังนี้

$$net_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n} w_{ij}^{(1)} x_i \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } j = 1, 2, ..., n$$

$$h_j = f^{(1)}(net_j^{(1)}) \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } j = 1, 2, ..., n$$

5. คำนวณค่า $net_k^{(2)}, y_k$ ในรูปสมการดังนี้

$$net_k^{(2)} = \sum_{j=0}^{m} w_{jk}^{(2)} h_j \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } k = 1, 2, ..., r$$

$$y_k = f^{(2)}(net_k^{(2)}) \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } k = 1, 2, ..., r$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. คำนวณค่าผิดพลาดของ output layer ในรูปสมการดังนี้

$$\delta_k^{(2)} = (d_k - y_k) f'^{(2)}(net_k^{(2)}) \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } k = 1, 2, \ldots, r$$

7. คำนวณค่าผิดพลาดของ hidden layer ในรูปสมการดังนี้

$$\delta_j^{(1)} = f'^{(1)}(net_j^{(1)}) \sum_{k=1}^{r} \delta_k^{(2)} w_{jk}^{(2)} \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } j = 1, 2, \ldots, m$$

8. ปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{jk}^{(2)}$ ในแต่ละรอบ t ในรูปสมการดังนี้

$$w_{jk}^{(2)}(t+1) = w_{jk}^{(2)}(t) + \eta \delta_k^{(2)} h_j \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } j = 1, 2, \ldots, m$$

และสำหรับทุกๆ ค่า $k = 1, 2, \ldots, r$

9. ปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{ij}^{(1)}$ ในรูปสมการดังนี้

$$w_{ij}^{(1)}(t+1) = w_{ij}^{(1)}(t) + \eta \delta_j^{(1)} x_i \qquad \text{สำหรับทุกๆ ค่า } i = 1, 2, \ldots, n$$

และสำหรับทุกๆ ค่า $j = 1, 2, \ldots, m$

10. ทำการเรียนรู้จนครบชุดข้อมูลนำเข้า ให้นับจำนวนรอบของการเรียนรู้เพิ่มทีละหนึ่ง และถ้ายังไม่ครบให้กลับไปทำข้อ 3

11. คำนวณค่าผิดพลาดรวม ในรูปสมการดังนี้

$$e = \frac{1}{2P} \sum_{p=1}^{P} \sum_{k=1}^{r} (d_{pk} - y_{pk})^2 \quad \text{เมื่อ } P \text{ คือจำนวนชุดข้อมูลนำเข้า}$$

12. ตรวจสอบค่าผิดพลาดรวม ถ้าค่า e < E แสดงว่าการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมสมบูรณ์ ถ้ามากกว่าให้กลับไปทำข้อ 3 ใหม่โดยเริ่มต้นที่ชุดข้อมูลนำเข้าชุดแรก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การออกแบบการทดลอง

การศึกษาผลผลิตของถั่วเหลืองที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มในระดับต่างๆ ในสารละลายธาตุอาหาร เริ่มต้นด้วยการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม.60) ในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่กล่าวมาในบทที่ 3 โดยให้สารละลายมีระดับความเค็มในการทดลองช่วงที่หนึ่ง ดังนี้ 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ส่วนในการทดลองช่วงที่สอง มีระดับความเค็มดังนี้ 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ โดยในแต่ละวันจะปรับค่าความเค็มและระดับ pH ให้คงที่ ซึ่งระดับ pH ที่ใช้ในการทดลองคือ 5.7 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองคือ บริเวณดาดฟ้า ตึกอัญมณี คณะวิทยาศาสตร์ มีการทดลองปลูก 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551 และช่วงที่สองตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551

4.1.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

ในการทดลองปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร จำเป็นต้องเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) เพื่อนำมาผสมกับน้ำกรอง ซึ่งมีปริมาตรสารละลายเข้มข้น ที่กำหนดในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland

4.1.1.1 การเตรียมสารละลายเข้มข้น (Stock Solution)

ในการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มในระดับต่างๆ ในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland มีการเตรียมสารละลายเข้มข้น ดังแสดงในตาราง 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากเตรียมสารสารลายเข้มข้น ที่มีปริมาตรที่แสดงในตารางที่ 4.1 แล้วจึงนำสารละลายเข้มข้นมาผสมกับน้ำกรองให้มีปริมาตรของสารละลายเข้มข้นดังแสดงในตารางที่ 3.3

4.1.2 การเตรียมระดับความเค็มของสารละลายธาตุอาหาร

ในการศึกษาผลผลิตของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มในระดับต่างๆ ในการทดลองครั้งที่ 1 ใช้ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ คือ 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ และในการทดลองครั้งที่ 2 ใช้ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ คือ 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์

เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ตามที่กำหนด นำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.3 สำหรับการทดลองช่วงที่ 1 และแสดงในตารางที่ 4.4 สำหรับการทดลองช่วงที่ 2 ซึ่งระดับความเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช จะมีค่า EC มากกว่า 4 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร

ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (mM NaCl)	**ค่าการนำไฟฟ้า** (mS/cm)
0 mM NaCl	2.6 mS/cm
15 mM NaCl	4.1 mS/cm
30 mM NaCl	5.6 mS/cm

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เมื่อเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าในการทดลองครั้งที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (mM NaCl)	**ค่าการนำไฟฟ้า** (mS/cm)
0 mM NaCl	2.6 mS/cm
10 mM NaCl	3.6 mS/cm
15 mM NaCl	4.1 mS/cm
20 mM NaCl	4.6 mS/cm
30 mM NaCl	5.6 mS/cm

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เมื่อเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าในการทดลองครั้งที่ 2

4.1.3 การเพาะปลูกต้นถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร

1. นำเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 จำนวน 100 เมล็ด มาทำการเพาะ

2. นำกระบะเพาะถั่วเหลือง มาใส่ทิชชู พรมน้ำให้ชุ่ม แล้ววางเมล็ดถั่วเหลืองลงไป โดยใช้เวลาเพาะถั่วเหลืองประมาณ 5-7 วัน

3. เมื่อทำการเพาะถั่วเหลืองจนมีอายุได้ 5-7 วัน จึงทำการคัดต้นถั่วเหลืองที่มีความสมบูรณ์ของระดับความสูง จำนวนใบ และลักษณะใบ ที่ใกล้เคียงกัน มาทำการทดลอง ซึ่งในการทดลองครั้งที่ 1 เลือกต้นถั่วเหลืองมาจำนวน 12 ต้น จากนั้นจึงแบ่งกลุ่มถั่วเหลือง กลุ่มละ 4 ต้น ทำการเพาะปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร ที่มีระดับความเค็มเป็น 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ และในการทดลองครั้งที่ 2 เลือกต้นถั่วเหลืองมาจำนวน 20 ต้น จากนั้นจึงแบ่งกลุ่มถั่วเหลือง กลุ่มละ 4 ต้น ทำการเพาะปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร ที่มีระดับความเค็มเป็น 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland พร้อมกับให้ออกซิเจนแก่ต้นถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องปั๊มอากาศพ่นอากาศเบาๆ แล้วปรับอากาศด้วยตัวปรับแรงดันอากาศ

4. ทุกๆ วัน วัดความสูงของต้นถั่วเหลือง จำนวนใบ จำนวนดอก จำนวนช่อดอก จำนวนฝัก ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งต้องตรวจวัดค่า pH และปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 5.7 สำหรับการควบคุมความเค็ม จะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยต้องรักษาระดับการนำไฟฟ้าให้คงที่ โดยการเติมน้ำ

กรอง สำหรับการทดลองครั้งที่ 1 ควบคุมระดับการนำไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 4.1 สำหรับการทดลองครั้งที่ 2 ควบคุมระดับการนำไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 4.2

5. ทุกๆ สัปดาห์ทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 80 วัน

4.2 การเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่เก็บรวบรวม เพื่อใช้ในการทำนายน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง ที่ระดับความเค็มต่างๆ ในสารละลายธาตุอาหาร ประกอบด้วย น้ำหนักแห้ง จำนวนดอก จำนวนช่อดอก จำนวนฝัก ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของถั่วเหลือง ที่ได้รับความเค็มในระดับต่างๆ กัน การทดลองจะมีการปลูกถั่วเหลือง 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551 และช่วงที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551 มีการทดลอง 4 ซ้ำ ในแต่ละการทดลองมีการแบ่งระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่แตกต่างกัน ในการทดลองครั้งที่ 1 ประกอบด้วยระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ คือ 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ และในการทดลองครั้งที่ 2 ประกอบด้วยระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ คือ 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ เมื่อถั่วเหลืองอายุครบ 80 วัน จะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตของถั่วเหลือง โดยแยกเป็นส่วนลำต้น, ราก และจำนวนฝัก หลังจากนั้นนำราก ลำต้น และจำนวนฝัก ไปตากแดดให้แห้ง นำส่วนที่เป็นลำต้นและรากเอาใบออกให้หมด แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบตัวอย่างพืช (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้เป็นค่าน้ำหนักแห้ง ในส่วนที่เป็นจำนวนฝักของถั่วเหลือง แกะฝักออกจะได้เป็นเมล็ดของถั่วเหลือง แล้วนำเมล็ดไปอบแห้งในตู้อบตัวอย่างพืช ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้เป็นน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง

4.3 การจำลองแบบ

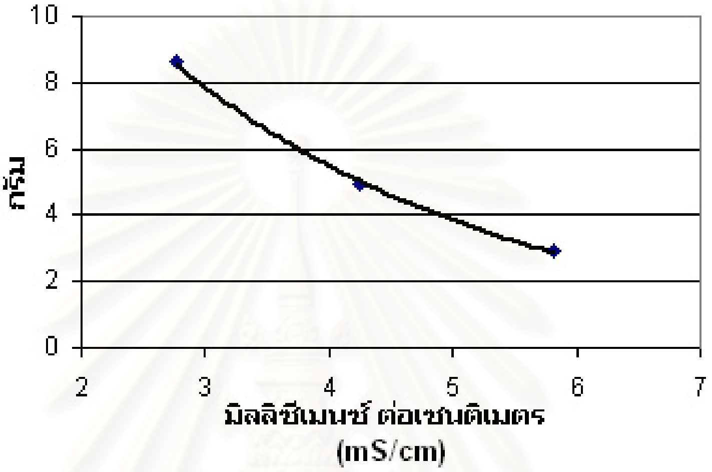
การจำลองแบบ คือ กระบวนการสร้างแบบจำลองของปัญหา ดำเนินการทดลองเพื่อเรียนรู้พฤติกรรมของปัญหานั้นๆ ภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ

ในงานวิจัยแบบจำลองน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเครียดที่เกิดจากความเค็มในระดับต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยจะแบ่งเป็นการแสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นถั่วเหลือง และอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง เมื่อถั่วเหลืองได้รับผลกระทบจากความเค็มในระดับต่างๆ หลังจากนั้น จึงวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อหาน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร

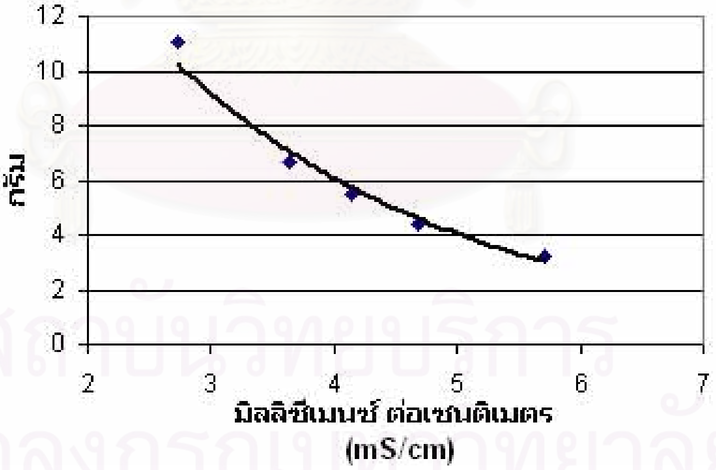
4.3.1 แบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลนำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารทั้งสองช่วง โดยที่ช่วงแรกทดลองที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น 2.7669, 4.2436 และ 5.8162 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร ใน

การทดลองช่วงที่ 2 ทดลองที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น 2.7298, 3.6459, 4.1407, 4.6793 และ 5.7094 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเค็มที่มากขึ้น มีผลกับปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.1 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองจากการทดลองช่วงที่ 1



รูปที่ 4.2 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองจากการทดลองช่วงที่ 2

จากข้อมูลน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง พบว่าน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง มีค่าลดลงเมื่อถั่วเหลืองได้รับความเค็มมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะของฟังก์ชันลด (decreasing function) ดังนั้นจึงใช้แบบจำลองแบบเอกซ์โปเนนเชียล ในการแสดงถึงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$D(x) = e^{-k_1 x} \quad (4.1)$$

โดยที่

$D(x)$ คือ น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง

x คือ ระดับค่าการนำไฟฟ้า

k_1 คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง และระดับค่าการนำไฟฟ้า พบว่าสมการของการทดลองครั้งที่ 1 เป็นสมการ $d(x) = 22.964e^{-0.3574x}$ และการทดลองครั้งที่ 2 เป็นสมการ $d(x) = 31.41e^{-0.4102x}$

จากข้อมูลการทดลองในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 แสดงให้เห็นว่ากราฟมีลักษณะรูปแบบที่คล้ายกัน ดังนั้นจึงสามารถรวมสมการของการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เข้าไว้ด้วยกันได้ดังนี้

$$D(x;s) = k_1 e^{(-k_2 x + k_3 s)} + k_4 \quad (4.2)$$

โดยที่

$D(x;s)$ คือ น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง

x คือ ระดับค่าการนำไฟฟ้า

s คือ ช่วงในการทดลองปลูกถั่วเหลือง

k_1, k_2, k_3, k_4 คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

4.3.1.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง

แบบจำลองเอกซ์โปเนนเชียลดังสมการที่ 4.2 มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว คือ k_1, k_2, k_3 และ k_4 การหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ ทำได้โดยการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีทรัสท์-รีเจียน ดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.4.4 เพื่อให้ได้สมการที่สอดคล้องกับผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ซึ่งพารามิเตอร์ของน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง แต่ละฤดูกาลการทดลอง และแต่ละระดับค่าการนำไฟฟ้า โดยกำหนด $D(x_i;s_j)$ แทนข้อมูลนำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ระดับค่าการนำ

ไฟฟ้า x_i และ s_j แทนฤดูกาลที่ปลูกถั่วเหลือง หรือช่วงของการปลูกถั่วเหลืองครั้งที่ j ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$D(x_i;s_j) = k_1 e^{(-k_2 x_i + k_3 s_j)} + k_4 \quad (4.3)$$

จากการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีทรัสท์-รีเจียน เพื่อให้ได้สมการที่สอดคล้องกับผลการทดลองช่วงที่ 1 และผลในการทดลองช่วงที่ 2 ได้สมการของแบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองตามสมการที่ 4.4 ดังนี้

$$D(x_i;s_j) = 31.4619 e^{(-0.65 x_i + 0.2553 s_j)} + 2.0001 \quad (4.4)$$

โดยที่ D คือ น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง

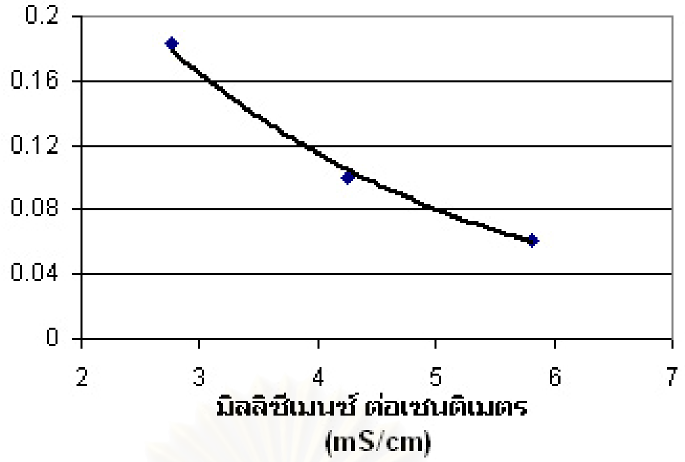
x คือ ระดับค่าการนำไฟฟ้า

s คือ ช่วงในการทดลองปลูกถั่วเหลือง

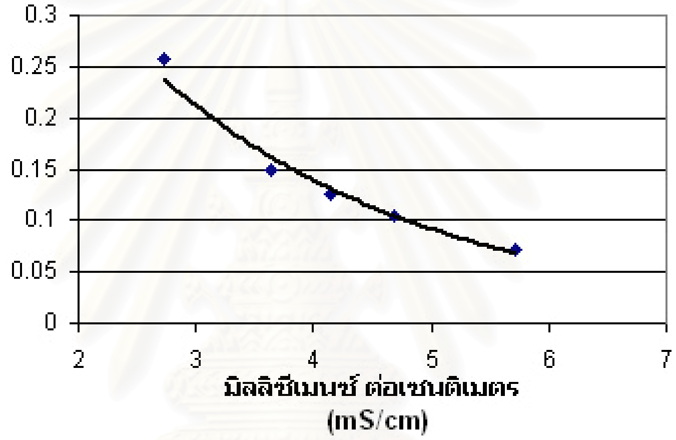
4.3.2 แบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง

อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง พิจารณาจากอัตราส่วนของจำนวนฝัก ต่อจำนวนดอกทั้งหมดของถั่วเหลือง ซึ่งข้อมูลได้จากการนับจำนวนดอกที่เกิดขึ้นมา และจำนวนฝักที่เหลืออยู่ในช่วงสุดท้ายของอายุถั่วเหลือง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารทั้งสองช่วง โดยที่ช่วงแรกทดลองที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น 2.7669, 4.2436 และ 5.8162 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร ในการทดลองช่วงที่ 2 ทดลองที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น 2.7298, 3.6459, 4.1407, 4.6793 และ 5.7094 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเค็มที่มากขึ้น มีผลกับอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.3 อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองจากการทดลองช่วงที่ 1



รูปที่ 4.4 อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองจากการทดลองช่วงที่ 2

จากข้อมูลอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง พบว่าอัตราการติดฝักของถั่วเหลืองจะมีค่าลดลงเมื่อถั่วเหลืองได้รับความเค็มมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะของฟังก์ชันลด (decreasing function) ดังนั้นจึงใช้แบบจำลองแบบเอกซ์โปเนนเชียล ในการแสดงถึงอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$R(x) = e^{-k_1 x} \tag{4.5}$$

โดยที่

$R(x)$ คือ อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง

x คือ ระดับค่าการนำไฟฟ้า

k_1 คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง และระดับค่าการนำไฟฟ้า พบว่าสมการของการทดลองครั้งที่ 1 เป็นสมการ $r(x) = 0.4801e^{-0.3572x}$ และการทดลองครั้งที่ 2 เป็นสมการ $r(x) = 0.7441e^{-0.4189x}$

จากข้อมูลการทดลองในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 กราฟมีลักษณะรูปแบบคล้ายกัน ดังนั้นจึงสามารถรวมสมการของการทดลองช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 เข้าไว้ด้วยกัน

$$R(x;s) = k_1 e^{(-k_2 x + k_3 s)} + k_4 \quad (4.6)$$

โดยที่

$R(x;s)$ คือ อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง

x คือ ระดับค่าการนำไฟฟ้า

s คือ ช่วงในการทดลองปลูกถั่วเหลือง

k_1, k_2, k_3, k_4 คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

4.3.2.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง

แบบจำลองเอกซ์โปเนนเชียลดังสมการที่ 4.6 มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว คือ k_1, k_2, k_3 และ k_4 การหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ ทำได้โดยวิเคราะห์การถดถอยโดยวิธีทรัสท์-รีเจียน ดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.4.4 ซึ่งพารามิเตอร์ของอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง แต่ละฤดูกาลการทดลอง และแต่ละระดับค่าการนำไฟฟ้า โดยกำหนด $R(x_i;s_j)$ แทนข้อมูลอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ระดับค่าการนำไฟฟ้า x_i และ s_j แทนฤดูกาลที่ปลูกถั่วเหลือง หรือช่วงของการปลูกถั่วเหลืองครั้งที่ j ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$R(x_i;s_j) = k_1 e^{(-k_2 x_i + k_3 s_j)} + k_4 \quad (4.7)$$

จากการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีทรัสท์-รีเจียน เพื่อให้ได้สมการที่สอดคล้องกับผลการทดลองช่วงที่ 1 และผลการทดลองช่วงที่ 2 ได้สมการของแบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ตามสมการที่ 4.8 ดังนี้

$$R(x_i;s_j) = 0.6302e^{(-0.6847x_i + 0.3787s_j)} + 0.046 \quad (4.8)$$

โดยที่ R คือ อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง

x คือ ระดับค่าการนำไฟฟ้า

s คือ ช่วงในการทดลองปลูกถั่วเหลือง

4.3.3 แบบจำลองน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบที่เกิดจากความเครียดที่เกิดจากความเค็มที่ระดับต่างๆ

ในงานวิจัยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) เพื่อทำนายน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารในระดับความเค็มต่างๆ โดยกำหนดให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบแบคพรอพพาเกชัน (backpropagation algorithm) โดยข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยข้อมูลถั่วเหลืองทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 1 และการทดลองช่วงที่ 2 รวมทั้งหมด 32 ต้น และได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ ชุดฝึกสอน (training set) และชุดทดสอบ (test set) โดยที่ชุดฝึกสอนประกอบด้วยข้อมูลถั่วเหลืองจำนวน 24 ต้น และชุดทดสอบประกอบด้วยข้อมูลถั่วเหลืองจำนวน 8 ต้น หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ด้วยข้อมูลชุดทดสอบทั้งหมด 500 รอบโดยที่แต่ละรอบของการทดสอบ กำหนดให้สุ่มค่าน้ำหนักเริ่มต้นใหม่ทุกครั้ง แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีข้อมูลนำเข้า (input) ประกอบด้วย ระดับค่าการนำไฟฟ้า น้ำหนักแห้ง อัตราการติดฝัก และฤดูกาลที่ปลูก โดยที่ฤดูกาลที่ปลูกคือช่วงการทดลองการปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งประกอบด้วยช่วงการทดลองที่ 1 และช่วงการทดลองที่ 2 แบบจำลองกำหนดข้อมูลนำออก (output) คือ น้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง

$$y_k = f^{(2)}\left(\sum_{j=0}^{m} w_{jk}^{(2)} h_{jk}\right) \text{ สำหรับทุกๆ } k = 1, 2, \ldots, r$$

$$h_j = f^{(1)}\left(\sum_{i=0}^{4} w_{ij}^{(1)} x_i\right) \quad \text{สำหรับทุกๆ } j = 1, 2, \ldots, m$$

โดยที่

h_{jk} คือ hidden layer

w_{ij}, w_{jk} คือ weight

$\sum$ คือ ผลรวมของสัญญาณที่เข้ามา

x_0, h_0 คือ bias มีค่าเท่ากับ 1

x_1 คือ ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

x_2 คือ น้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง

x_3 คือ อัตราการติดฝักของถั่วเหลือง

x_4 คือ ช่วงในการทดลองปลูกถั่วเหลือง

y_k คือ น้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง

M คือ จำนวน hidden node เท่ากับ 14 hidden node

$f^{(1)}$ คือ activate function ที่มีรูปแบบ $f^{(1)}(a) = \dfrac{1}{1+e^{-a}}$

$f^{(2)}$ คือ activate function ที่มีรูปแบบ $f^{(2)}(a) = a$

หลังจากให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ทำการเรียนรู้แบบแบคพรอพพาเกชัน ซึ่งข้อมูลที่ใช้ทดสอบประกอบข้อมูลนำเข้าและข้อมูลนำออก ผลที่ได้จากชุดทดสอบที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ในรอบที่ดีที่สุดดังนี้

$$w_{ij}^{(1)} = \begin{bmatrix} -0.6663 & 1.9609 & 3.2985 & 4.4718 \\ 3.7706 & -2.1320 & 1.4128 & 3.3929 \\ -3.0793 & 5.0973 & 1.4999 & -0.2193 \\ 3.9774 & -2.0677 & 2.2218 & -2.4007 \\ -1.6331 & -3.4386 & -2.1882 & -1.1287 \\ -0.8414 & -3.1405 & -2.1805 & 4.2454 \\ 1.2923 & 0.7791 & -4.5553 & 1.6254 \\ -4.1965 & 2.5248 & -0.8126 & 1.2301 \\ -1.6780 & 2.7792 & 2.6140 & 4.0513 \\ -3.0986 & -0.1535 & 3.2668 & -0.7299 \\ 0.8480 & -2.6010 & -1.1354 & 4.6833 \\ 1.1402 & 4.0018 & -4.0387 & 0.0540 \\ -4.8706 & -0.0058 & 1.4209 & -2.6193 \\ -1.6667 & 2.7191 & 1.7440 & -3.7505 \end{bmatrix} \quad w_{j}^{(2)} = \begin{bmatrix} -0.6606 \\ -0.5547 \\ -1.3031 \\ -0.6717 \\ 2.2222 \\ 1.5220 \\ 1.7083 \\ 1.3042 \\ -1.5886 \\ -1.3393 \\ -1.3617 \\ -1.3874 \\ -0.0758 \\ -0.3055 \end{bmatrix}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้ จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการวิจัย คือ น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นถั่วเหลือง อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง และน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มในระดับต่างๆ ในสารละลายธาตุอาหาร การทดลองปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหารใช้ระยะเวลา 80 วัน มีการทดลองปลูก 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงแรกตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551 และช่วงที่สองตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551 ระดับความเค็มที่ใช้ในการเพาะปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหาร ช่วงแรกจะใช้ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ระดับละ 4 ซ้ำ และช่วงที่สองจะใช้ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ระดับละ 4 ซ้ำ

5.1 แบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นถั่วเหลือง

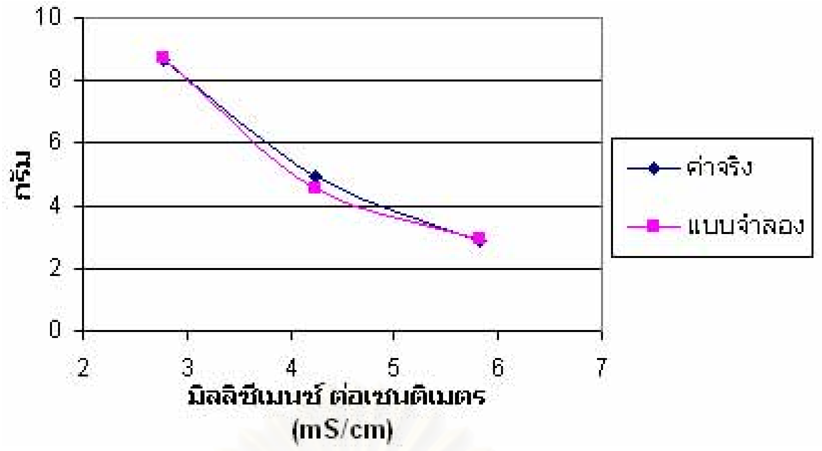
เมื่อนำข้อมูลน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มในระดับต่างๆ ในสารละลายธาตุอาหาร ในการทดลองช่วงที่ 1 ทดลองที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น 2.7669, 4.2436 และ 5.8162 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร ในการทดลองช่วงที่ 2 ทดลองที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น 2.7298, 3.6459, 4.1407, 4.6793 และ 5.7094 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร พบว่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองมีค่าลดลงเมื่อถั่วเหลืองได้รับความเค็มมากขึ้นตามสมการที่ 5.1 โดยที่การทดลองช่วงที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของสมการในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 5.1 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 7% ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ในส่วนของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของสมการในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 5.2 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 4% ดังแสดงในตารางที่ 5.2

$$D(x;s) = 31.4619e^{(-0.65x+0.2553s)} + 2.0001 \qquad (5.1)$$

โดยที่ D คือ น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง

x คือ ระดับค่าการนำไฟฟ้า

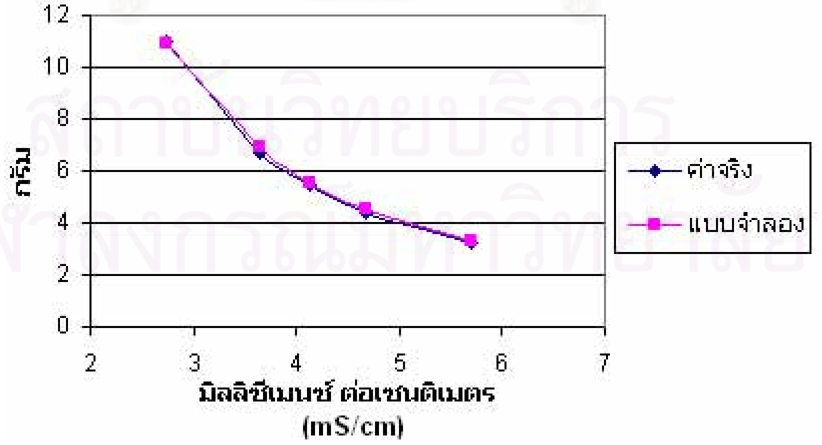
s คือ ช่วงในการทดลองปลูกถั่วเหลือง



รูปที่ 5.1 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองในการทดลองช่วงที่ 1

ความเค็ม (mS/cm)	น้ำหนักแห้งเฉลี่ยจากการทดลอง	น้ำหนักแห้งเฉลี่ยจากแบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%)
2.7669	8.6484	8.7235	0.8688
4.2436	4.9190	4.5748	6.9962
5.8162	2.9058	2.9265	0.7123

ตารางที่ 5.1 แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลองในการทดลองช่วงที่ 1



รูปที่ 5.2 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองในการทดลองช่วงที่ 2

ความเค็ม (mS/cm)	น้ำหนักแห้งเฉลี่ยจากการทดลอง	น้ำหนักแห้งเฉลี่ยจากแบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%)
2.7298	11.0321	10.8908	1.2809
3.6459	6.6954	6.9016	3.0798
4.1407	5.4918	5.5536	1.1250
4.6793	4.4193	4.5039	1.9152
5.7094	3.2215	3.2819	1.8740

ตารางที่ 5.2 แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลองในการทดลองช่วงที่ 2

5.2 แบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง

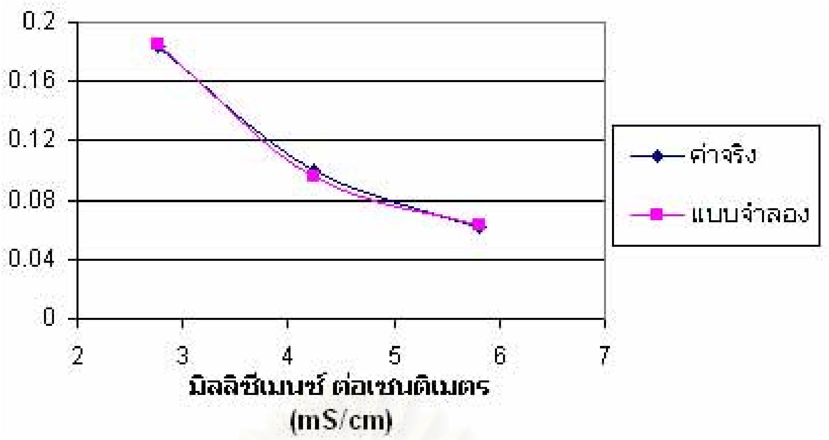
อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง คำนวณจากค่าอัตราส่วนของจำนวนฝักต่อจำนวนดอกทั้งหมด เมื่อนำข้อมูลอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มในระดับต่างๆ ในสารละลายธาตุอาหาร ในการทดลองช่วงที่ 1 ทดลองที่ระดับความเค็ม 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น 2.7669, 4.2436 และ 5.8162 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร ในการทดลองช่วงที่ 2 ทดลองที่ระดับความเค็ม 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเป็น 2.7298, 3.6459, 4.1407, 4.6793 และ 5.7094 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร พบว่าอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองมีค่าลดลงเมื่อถั่วเหลืองได้รับความเค็มมากขึ้นตามสมการที่ 5.2 โดยที่การทดลองช่วงที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของสมการในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 5.3 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 4% ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ในส่วนของการทดลองช่วงที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของสมการในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 5.4 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 5% ดังแสดงในตารางที่ 5.4

$$R(x;s) = 0.6302e^{(-0.6847x+0.3787s)} + 0.046 \qquad (5.2)$$

โดยที่ R คือ อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง

x คือ ระดับค่าการนำไฟฟ้า

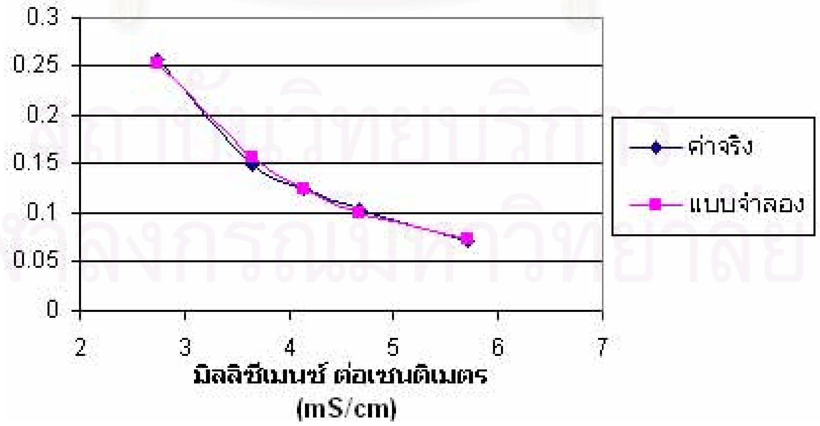
s คือ ช่วงในการทดลองปลูกถั่วเหลือง



รูปที่ 5.3 อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองในการทดลองช่วงที่ 1

ความเค็ม (mS/cm)	การติดฝักเฉลี่ยจากการทดลอง	การติดฝักเฉลี่ยจากแบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%)
2.7669	0.1835	0.1844	0.5113
4.2436	0.1001	0.0964	3.7619
5.8162	0.0616	0.0632	2.4820

ตารางที่ 5.3 แสดงอัตราการติดฝักเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลองในการทดลองช่วงที่ 1



รูปที่ 5.4 อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองในการทดลองช่วงที่ 2

ความเค็ม (mS/cm)	การติดฝักเฉลี่ย จากการทดลอง	การติดฝักเฉลี่ย จากแบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (%)
2.7298	0.2565	0.2533	1.2278
3.6459	0.1494	0.1567	4.9310
4.1407	0.1254	0.1249	0.4100
4.6793	0.1049	0.1006	4.1488
5.7094	0.0712	0.0730	2.4165

ตารางที่ 5.4 แสดงอัตราการติดฝักเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแบบจำลองในการทดลองช่วงที่ 2

5.3 แบบจำลองน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง

ในงานวิจัยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารในระดับความเค็มต่างๆ จากข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลองรอบที่ดีที่สุดในชุดทดสอบ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 4% ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และจากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ด้วยข้อมูลชุดทดสอบทั้งหมด 500 รอบ โดยที่แต่ละรอบของการทดสอบกำหนดให้สุ่มค่าน้ำหนักเริ่มต้นใหม่ทุกครั้ง แสดงค่าทางสถิติซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) และสัมประสิทธ์ของการตัดสินใจ (R Square) แสดงดังตารางที่ 5.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเค็ม (mS/cm)	น้ำหนักเมล็ดจากการทดลอง	น้ำหนักเมล็ดจากแบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%)
2.7875	11.1061	11.1659	0.5386
2.6667	18.2535	17.9343	1.7488
3.7093	6.4258	6.6727	3.8424
4.2308	4.8930	4.9770	1.7161
4.0884	4.0929	4.0990	0.1486
4.7838	2.5356	2.5476	0.4718
5.7842	1.0873	1.0456	3.8339
5.7970	0.5590	0.5485	1.8794

ตารางที่ 5.5 แสดงน้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ที่ได้จากแบบจำลองจากชุดข้อมูลสำหรับทดสอบรอบที่ดีที่สุด

	MAPE	Correlation	R Square
รอบที่ดีที่สุด	1.7724	0.9997	0.9993
รอบที่แย่ที่สุด	54.6439	0.9882	0.9701
ค่าเฉลี่ย	16.2892	0.9938	0.9860

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ สหสัมพันธ์ และสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ที่ได้จากแบบจำลองจากชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้งหมด 500 ครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการหาน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง และน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารในช่วงความเค็ม 0-30 มิลลิโมลาร์ หรือที่ระดับค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 2.6900-5.8756 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร สำหรับการทดลองช่วงที่ 1 และที่ระดับค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 2.6667-5.7970 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร สำหรับการทดลองช่วงที่ 2 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดลองปลูกถั่วเหลือง ได้เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต และน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยทำการปลูกถั่วเหลืองในระดับความเค็มต่างๆ จากการทดลองปลูกถั่วเหลืองในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 พบว่า น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง อัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง และน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง จะมีค่าลดลงเมื่อถั่วเหลืองได้รับความเค็มมากขึ้น และจะให้ค่ามากที่สุดที่ระดับความเค็ม 0 มิลลิโมลาร์ หรือที่ระดับค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 2.7669 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร สำหรับการทดลองช่วงที่ 1 และที่ระดับค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 2.7298 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร สำหรับการทดลองช่วงที่ 2

2. แบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารในช่วงความเค็มระหว่าง 0-30 มิลลิโมลาร์ พบว่าแบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 7% สำหรับการทดลองช่วงที่ 1 และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 4% สำหรับการทดลองช่วงที่ 2 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลือง มีประสิทธิภาพเพียงพอ ที่จะนำไปใช้ทำนายน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร

3. แบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารในช่วงความเค็มระหว่าง 0-30 มิลลิโมลาร์ พบว่าแบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 4% สำหรับการทดลองช่วงที่ 1 และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 5% สำหรับการทดลองช่วงที่ 2 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลือง มีประสิทธิภาพเพียงพอ ที่จะนำไปใช้ทำนายอัตราการติดฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. แบบจำลองน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ในช่วงความเค็มระหว่าง 0-30 มิลลิโมลาร์ ค่าของแบบจำลองรอบที่ดีที่สุดของชุดทดสอบ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่า 4% แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการทำนายน้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพเพียงพอ ที่จะนำไปใช้ทำนายน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร

5. ข้อจำกัดของแบบจำลองนี้คือ ใช้ได้ในถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร ในช่วงความเค็ม 0-30 มิลลิโมลาร์ หรือที่ระดับค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 2.6900-5.8756 มิลลิซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร สำหรับการทดลองช่วงที่ 1 และที่ระดับค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 2.6667-5.7970 มิลลิซีเมนซ์ ต่อเซนติเมตร สำหรับการทดลองช่วงที่ 2 และในการทดลองไม่ได้ควบคุมปัจจัยบางอย่างที่มีผลต่อการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด อุณหภูมิ และความชื้น ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

6. ผลที่ได้จากการทำนายน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลือง สามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในประกอบการวางแผนและการตัดสินใจในการปลูกถั่วเหลือง อีกทั้งช่วยในการพิจารณาหาวิธีแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับปริมาณผลผลิตของถั่วเหลือง ที่เพาะปลูกในสภาวะดินเค็มให้สามารถมีผลผลิตที่ดีขึ้นได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำไปเป็นแนวทาง สำหรับการแก้ปัญหาการปลูกพืชชนิดอื่นๆ ในพื้นที่ดินเค็มได้เช่นกัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยทำให้พบว่า สามารถพัฒนางานต่อไปได้อีก ในส่วนของการศึกษาน้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มในดิน รวมถึงผลผลิตของพืชชนิดอื่น ที่เพาะปลูกในสภาวะดินเค็ม และสามารถเพิ่มปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการวิเคราะห์น้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง เช่น ปริมาณแสงที่ได้รับในแต่ละวัน ความเข้มแสง อุณหภูมิ และความชื้น เพื่อปรับปรุงแบบจำลองน้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง ให้มีประสิทธิภาพและมีความสมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะสามารถอธิบายปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และน้ำหนักผลผลิตในรูปเมล็ดของถั่วเหลืองที่เปลี่ยนแปลงไปได้ ทำให้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อเกษตรกร เพื่อที่จะสามารถนำไปเป็นแนวทางสำหรับการแก้ปัญหาการปลูกพืชชนิดอื่นๆในพื้นที่ดินเค็ม

รายการอ้างอิง

[1] นันทนา อังกินันท์ และศุภจิตรา ชัชวาลย์. ปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช. 300. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2000.

[2] Bazaraa, M.S., Sherali, H.D. and Shetty, C.M. Nonlinear Programming. 2 nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1993.

[3] Haykin, S. Neural Network a comprehensive foundation. 2 nd ed. New Jersey : Prentice-Hall, 1999.

[4] Coleman, T.F. and LI, Y. An Interior Trust Region Approach for Nonlinear Minimization Subject to Bounds. SIAM Journal on Optimization 6 (1993) : 418-445.

[5] Soussi, M., Ocaña, A. and Lluch, C. Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Experimental Botany 49 (August 1998) : 1329-1337.

[6] Eassa, T.A. and Al-Ani, D.H. Effect of Salt Stress on the Performance of Six Soybean Genotypes. Pakistan Journal of Biological Sciences 4 (2001) : 175-177.

[7] Meloni, D.A., Gulotta, M.R., Martínez, C.A. and Antoni, M. The effrcts of salt stress on growth, nitrate reduction and praline and glycinebetaine accumulation in Prosopis alba. Brazilian Journal of Plant Physiology 16 (2004) : 39-46.

[8] Sheldon, A., Menzies, N.W., So H.B. and Dalal, R. The effect of salinity on plant available water. Australian New Zealand Soils Conference 3 (December 2004).

[9] Stoeva, N. and Kaymakanova, M. Effect of salt stress on the growth and photosynthesis rate of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal Central European Agriculture 9 (2008) : 385-392.

[10] Manchanda, G. and Garg, N. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. Acta Physiol Plant 30 (2008) : 595-618.

[11] Phang, T., Shao, G. and Lam, H. Salt Tolerance in Soybean. Journal of Integrative Plant Biology 50 (2008) : 1196-1212.

[12] Kaul, M., Hill, R.L. and Walthall, C. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. Agricultural System 85 (2005) : 1-18.

[13] Khamis, A., Ismail, Z., Haron, K. and Mohammed, A.T. Neural Network Model for Oil Palm Yield Modeling. Journal of Applied Science 6 (2006) : 391-399.

[14] FAO. Prognosis of salinity and alkalinity. FAO Soil Bulletin 31 (1976).

[15] ประเทือง เชื้อสะอาด. การพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับทำนายผลผลิตของต้นถั่วเหลืองเมื่อปลูกที่ระดับ pH ช่วง 4-8. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคณนา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ภาคผนวกนี้ แสดงถึงลักษณะโดยทั่วไปของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และแสดงข้อมูลที่เก็บจากการทดลองจากการทดลองที่ 1 ที่ระดับความเค็มที่ 0, 15 และ 30 มิลลิโมลาร์ และจากการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับความเค็มที่ 0, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิโมลาร์ โดยแสดงข้อมูลอยู่ในลักษณะตาราง ในรูปแบบของระดับความเค็ม น้ำหนักแห้ง อัตราการติดฝัก และน้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลืองของแต่ละต้น และอธิบายถึงวิธีการใช้เครื่องมือวัดค่า pH (pH Meter) และเครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC Meter)

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

ลำต้นมีลักษณะไม่ทอดยอด ต้นอ่อนโคนต้นมีสีเขียว ขนสีน้ำตาล ความสูงประมาณ 60-80 ซม. ลักษณะของลำต้น มีลักษณะแตกกิ่งน้อย ใบสีเขียวเข้ม ใบกว้าง และหนา ตามีสีน้ำตาล มีขนสีน้ำตาลที่ลำต้น ใบและฝัก ดอกมีสีขาว ออกดอกเมื่ออายุประมาณ 25 วัน เป็นพันธุ์ที่มีอายุปานกลาง อายุประมาณ 97 วัน มีจำนวนฝักมาก ฝักสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม ฝักเมื่อแก่จัดมีสีน้ำตาลเข้ม ฝักไม่แตกง่าย เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเหลือง ขั้วเมล็ดสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลดำ ให้ผลผลิตประมาณ 300 กก./ไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ดประมาณ 15-17 กรัม มีน้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ ต้านทานต่อโรคใบจุดนูน, ไวรัสใบด่าง และทนทานต่อโรคราสนิม ปลูกได้ทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน เหมาะสำหรับปลูกทุกภาคของประเทศไทยได้ดี

ข้อมูลผลผลิตจากการทดลองปลูกถั่วเหลือง ในช่วงการทดลองครั้งที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม 2551 – 26 มีนาคม 2551

ระดับความเค็มและต้นที่	ระดับค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (grams)	อัตราการติดฝัก	น้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง (grams)
0 mM NaCl ต้นที่ 1	2.7875	8.7314	0.1923	11.1061
0 mM NaCl ต้นที่ 2	2.8000	10.0136	0.1813	11.9041
0 mM NaCl ต้นที่ 3	2.6900	7.3514	0.1765	9.0240
0 mM NaCl ต้นที่ 4	2.7900	8.4970	0.1839	10.4302
ค่าเฉลี่ย	2.7669	8.6484	0.1835	10.6161

ระดับความเค็มและต้นที่	ระดับค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (grams)	อัตราการติดฝัก	น้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง (grams)
15 mM NaCl ต้นที่ 1	4.2308	4.6092	0.1050	4.8930
15 mM NaCl ต้นที่ 2	4.1949	5.9460	0.0977	5.1445
15 mM NaCl ต้นที่ 3	4.2974	4.9627	0.0941	4.2273
15 mM NaCl ต้นที่ 4	4.2513	4.1579	0.1037	4.3997
ค่าเฉลี่ย	4.2436	4.9190	0.1001	4.6661
30 mM NaCl ต้นที่ 1	5.7842	4.1579	0.0483	1.0873
30 mM NaCl ต้นที่ 2	5.8756	3.0764	0.0750	1.7461
30 mM NaCl ต้นที่ 3	5.7500	1.7589	0.0788	1.0806
30 mM NaCl ต้นที่ 4	5.8551	2.6300	0.0444	0.1205
ค่าเฉลี่ย	5.8162	2.9058	0.0616	1.0086

ข้อมูลผลผลิตจากการทดลองปลูกถั่วเหลือง ในช่วงการทดลองครั้งที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 14 เมษายน 2551 – 2 กรกฎาคม 2551

ระดับความเค็มและต้นที่	ระดับค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (grams)	อัตราการติดฝัก	น้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง (grams)
0 mM NaCl ต้นที่ 1	2.7535	10.3868	0.2571	18.5675
0 mM NaCl ต้นที่ 2	2.7488	12.2432	0.2595	21.9958
0 mM NaCl ต้นที่ 3	2.7500	11.3150	0.2548	20.2817
0 mM NaCl ต้นที่ 4	2.6667	10.1835	0.2546	18.2535
ค่าเฉลี่ย	2.7298	11.0321	0.2565	19.7746
10 mM NaCl ต้นที่ 1	3.5837	10.9910	0.1253	8.0205
10 mM NaCl ต้นที่ 2	3.6209	5.0897	0.1359	4.6872
10 mM NaCl ต้นที่ 3	3.6698	4.0093	0.1833	6.5668
10 mM NaCl ต้นที่ 4	3.7093	6.6916	0.1529	6.4258
ค่าเฉลี่ย	3.6459	6.6954	0.1494	6.4251

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระดับความเค็มและต้นที่	ระดับค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (grams)	อัตราการติดฝัก	น้ำหนักผลผลิตของถั่วเหลือง (grams)
15 mM NaCl ต้นที่ 1	4.1767	7.5173	0.1125	5.6277
15 mM NaCl ต้นที่ 2	4.1651	4.4235	0.1357	4.5159
15 mM NaCl ต้นที่ 3	4.1326	5.0148	0.1381	5.5222
15 mM NaCl ต้นที่ 4	4.0884	5.0115	0.1154	4.0929
ค่าเฉลี่ย	4.1407	5.4918	0.1254	4.9397
30 mM NaCl ต้นที่ 1	5.6195	5.1692	0.0326	0.8196
30 mM NaCl ต้นที่ 2	5.6581	1.9031	0.0857	0.6706
30 mM NaCl ต้นที่ 3	5.7628	4.3732	0.0778	2.2202
30 mM NaCl ต้นที่ 4	5.7970	1.4406	0.0889	0.5590
ค่าเฉลี่ย	5.7094	3.2215	0.0712	1.0674

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิรินันท์ วันทอง เกิดวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2526 ที่อำเภอเมืองฯ จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา พ.ศ. 2549 และเข้าศึกษาต่อในสาขาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย