ผลของกากไคทินจากฤดูปลูกแรกต่อผลผลิตของผักกาดหอม *Lactuca sativa* L. ในฤดูปลูกที่สอง

นายภัทรพล พลูพัฒน์ธนกิจ

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
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF CHITIN-RICH RESIDUE FROM THE FIRST CROP SEASON ON GROWTH AND PRODUCTIVITY OF LETTUCE *Lactuca sativa* L. DURING THE SECOND CROP SEASON

Mr. Pattarapol Plupattanakit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของกากไคทินจากฤดูปลูกแรกต่อผลผลิตของผักกาดหอม *Lactuca sativa* L. ในฤดูปลูกที่สอง
โดย	นายภัทรพล พลูพัฒน์ธนกิจ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ)

.....กรรมการ

(ดร.ยุพิน จินตภากร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลนาถ อบสุวรรณ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภัทรพล พลูพัฒน์ธนกิจ : ผลของกากไคทินจากฤดูปลูกแรกต่อผลผลิตของผักกาดหอม *Lactuca sativa* L. ในฤดูปลูกที่สอง (EFFECTS OF CHITIN-RICH RESIDUE FROM THE FIRST CROP SEASON ON GROWTH AND PRODUCTIVITY OF LETTUCE *Lactuca sativa* L. DURING THE SECOND CROP SEASON) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ, 71 หน้า.

กากไคทินเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่เกิดจากกระบวนการดีอะซิทิเลชัน (deacetylation) ของไคทินในการผลิตไคโทซาน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของกากไคทินจากเปลือกกุ้งต่อผลผลิตและการเติบโตของผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) 2 ฤดูปลูก โดยวัดผลผลิตของผักกาดหอม ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบต่อต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น รวมทั้งวัดความเขียว (SPAD) ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลรวม กรดแอสคอร์บิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักที่ให้กากไคทินเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่ให้ปุ๋ยคอกอย่างเดียว และศึกษาผลของกากไคทินในฤดูปลูกที่สองที่คงเหลือในดินจากฤดูปลูกแรก จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินมีผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบต่อต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 2 ฤดูปลูก อีกทั้งมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลรวม กรดแอสคอร์บิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในฤดูปลูกที่สองเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม ดังนั้น กากไคทินที่ให้กับพืชสามารถกระตุ้นการเติบโตของผักกาดหอมได้อย่างน้อย 2 ฤดูปลูก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5872112623 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEYWORDS: CHITIN-RICH RESIDUE / YIELDS / LETTUCE

PATTARAPOL PLUPATTANAKIT: EFFECTS OF CHITIN-RICH RESIDUE FROM THE FIRST CROP SEASON ON GROWTH AND PRODUCTIVITY OF LETTUCE *Lactuca sativa* L. DURING THE SECOND CROP SEASON. ADVISOR: ASST. PROF.KANOGWAN SERAYPHEAP, Ph.D., 71 pp.

Chitin–rich residue (CRR), a natural polysaccharide derived from deacetylation process of chitosan production from chitin. Effects of CRR on growth and productivity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) were investigated during two crop seasons. Growth, yield and some physiological characteristics including chlorophyll content, carotenoid content, SPAD, total phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of CRR treated lettuce were determined in comparison with control plant with only cow manure addition. During the second crop, a remained CRR from the first crop was determined. Plant supplemented with CRR resulted in significant increases of chlorophyll content, carotenoid content, SPAD, phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity during the second crop and yield productivity in term of fresh weight, dry weight, leaf number and stem diameter during both crop seasons. Therefore, CRR treatment can stimulate lettuce growth for at least 2 crop seasons.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Biotechnology Student's Signature .....

Academic Year: 2016 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ ที่มีส่วนทำให้เกิดหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ขึ้น รวมทั้งให้ความช่วยเหลือ แก้ไขปัญหา และให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัยรวมถึงการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ตลอดจนแก้ไขปรับปรุงและตรวจทานข้อบกพร่องต่างๆ ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งให้ความกรุณา ดูแลเอาใจใส่และให้กำลังใจในการทำการวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ยุพิน จินตภากร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลนาถ อบสุวรรณ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. วันเพ็ญ วิริยกิจนทีกุล กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ดิน และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ และหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำวิจัยและเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา รวมถึง พ่อ แม่ ญาติพี่น้อง พี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา สำหรับเงินอุดหนุนสำหรับการศึกษาปริญญาโท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 1
2.1 ความสำคัญของผักกาดหอม 1
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดหอม 3
2.3 ไคทินและกากไคทิน 4
2.4 ผลของไคโทซานต่อการเพิ่มผลผลิตพืช 6
2.5 ผลของไคโทซานต่อคลอโรฟิลล์ ความเขียว และแคโรทีนอยด์ของพืช 7
2.6 ผลของของไคโทซานต่อสารประกอบฟีนอล 8
2.7 ผลของของไคโทซานต่อปริมาณแอสคอร์บิก 9
2.8 ผลของไคโทซานต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 10
2.9 ผลของไคโทซานต่อสมบัติของดิน 11
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.1 ผักกาดหอมที่ใช้ในการศึกษา 14
3.2 กากไคทิน 14
3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา 14
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 15
3.5 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 15
3.5.1 สารเคมีที่ใช้ในการหมักกากไคทิน 15
3.5.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 16
3.5.3.สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอบิก (ascorbic acid) 16
3.5.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*) คลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll *b*) แคโรทีนอยด์ (corotenoids) 16
3.5.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล (phenolic content) 16
3.6 วิธีดำเนินการศึกษา 17
3.6.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 17
3.6.2 ศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่หนึ่ง 17
3.6.2.1 การเตรียมแปลงปลูก 17
3.6.2.2 การเตรียมพืชทดลองและการศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่หนึ่ง 17
3.6.3 ศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตและลักษณะทางทางสรีรวิทยาของผักสลัดฤดูปลูกที่สอง 18
3.6.3.1 การเตรียมแปลงปลูก 18
3.6.3.2 การเตรียมพืชทดลองและการศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักสลัดฤดูปลูกที่สอง 18

หน้า

3.6.3.2.5.1 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*) คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll *b*) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) 20
3.6.3.2.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล (phenolic content) 20
3.6.3.2.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอบิก (ascorbic acid) 21
3.6.3.2.5.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH 21
3.6.4 วิเคราะห์ดิน 22
บทที่ 4 ผลการทดลอง 24
4.1 ผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่หนึ่ง 24
4.1.1 ผลของกากไคทินต่อน้ำหนักสดของผักกาดหอม 24
4.1.2 ผลของกากไคทินต่อน้ำหนักแห้งของผักกาดหอม 25
4.1.3 ผลของกากไคทินต่อจำนวนใบของผักกาดหอม 25
4.1.4 ผลของกากไคทินต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักกาดหอม 26
4.2 ผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่สอง 27
4.2.1 ผลของกากไคทินต่อน้ำหนักสดของผักกาดหอม 27
4.2.2 ผลของกากไคทินต่อน้ำหนักสดของผักกาดหอม 28
4.2.3 ผลของกากไคทินต่อจำนวนใบของผักกาดหอม 29
4.2.4 ผลของกากไคทินต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักกาดหอม 30
4.2.5 ผลของกากไคทินต่อค่าดัชนีความเขียวใบ (SPAD) 31
4.2.6 ผลของกากไคทินต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll *a*) 32
4.2.7 ผลของกากไคทินต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll *b*) 33
4.2.8 ผลของกากไคทินต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) 34

หน้า

4.2.9 ผลของกากไคทินต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล (total phenolic compounds).... 35
4.2.10 ผลของกากไคทินต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)..... 36
4.2.11 ผลของกากไคทินต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)..... 37
4.3 ผลการวิเคราะห์ดิน 38
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง 41
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 48
รายการอ้างอิง 49
ภาคผนวก ก 63
ภาคผนวก ข 67
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของแร่ธาตุ วิตามิน น้ำ และใยอาหารในผักสลัดบางพันธุ์..... 1

ตารางที่ 4. 1สมบัติทางเคมีของดิน ก่อนปลูกฤดูที่หนึ่ง หลังปลูกฤดูที่หนึ่ง และหลังปลูกฤดูที่สอง.. 40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส (A) ไคทิน (B) และไคโทซาน (C) (Ramírez et al., 2010)..... 5

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของ Bacillus licheniformis strain SK–1 (Kudan and Pichyangkura, 2009)..... 6

ภาพที่ 4.1 น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 24

ภาพที่ 4.2 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 25

ภาพที่ 4.3 จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) และจำนวนใบเฉลี่ยของผักสลัดในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 26

ภาพที่ 4.4 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% 27

ภาพที่ 4.5 น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 28

ภาพที่ 4.6 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 29

ภาพที่ 4.7 จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 30

ภาพที่ 4.8 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 31

ภาพที่ 4.9 ค่าความเขียวเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 32

ภาพที่ 4.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 33

ภาพที่ 4.11 ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 34

ภาพที่ 4.12 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูก

ที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 35

ภาพที่ 4.13 ปริมาณสารประกอบฟีนอลเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 36

ภาพที่ 4.14 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 37

ภาพที่ 4.15 ร้อยละของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 38

ภาพที่ ก.1 แปลงปลูกผักกาดหอม แบ่งออกเป็น 6 แปลง ขนาดแปลง 1 x 10 เมตรระยะห่างระหว่างแปลง 1 เมตร แต่ละแปลงปลูกผักกาดหอมจำนวน 90 ต้น ในระหว่างเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 และมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ณ โครงการพัฒนาพื้นที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี 63

ภาพที่ ก.2 ผักกาดหอมในชุดการทดลองปกติ ซึ่งไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแปลงที่ 1 (A) และแปลงที่ 2 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน 64

ภาพที่ ก.3 ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) แปลงที่ 3 (A) และแปลงที่ 5 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน 64

ภาพที่ ก.4 ผักกาดหอมในชุดการทดลองปกติ ซึ่งไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สองอายุ 55 วัน แปลงที่ 1 (A) และแปลงที่ 2 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน..... 65

ภาพที่ ก.5 ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) แปลงที่ 3 (A) และแปลงที่ 4 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน 65

ภาพที่ ก.6 ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งและในฤดูปลูกที่สอง (CRR2) แปลงที่ 5 (A) และแปลงที่ 6 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการมีสุขภาพดีและหันมาใส่ใจดูแลสุขภาพกันมากขึ้น สังเกตได้จากความใส่ใจในการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนการเลือกรับประทานอาหารที่ลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในกระบวนการผลิตหรือปราศจากจากสารเคมีสังเคราะห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรับประทานอาหารประเภทผักปลอดสารพิษซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เกษตรกรที่ปลูกผักปลอดสารพิษหรือผักอินทรีย์จะขายได้ราคาที่สูงกว่าผักทั่วไป การบริโภคผักของผู้รักสุขภาพมักนิยมรับประทานผักประเภทผักบริโภคสดและผักกินใบเป็นส่วนใหญ่ ผักกินใบที่เป็นที่นิยมของคนทั่วไปที่รู้จักกันดีคือ ผักสลัด (*Lactuca sativa* L.) ซึ่งสามารถรับประทานได้หลากหลาย เช่น รับประทานสด หรือเป็นส่วนผสมในการทำสลัดผักหรือใช้ประดับตกแต่งประกอบอาหารอื่น ๆ ผักสลัดมีพลังงานต่ำและอุดมไปด้วย เกลือแร่ วิตามิน ใยอาหาร และน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีน้ำถึงประมาณร้อยละ 95 ของน้ำหนักสด (Rubatzky and Yamaguchi, 1997) อีกทั้งยังมีรายงานพบว่าผักสลัดมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และสารประกอบฟีนอล (phenolic components) ในปริมาณมากอย่างมีนัยสำคัญ (Caldwell and Britz, 2006)

อย่างไรก็ตาม ผักสลัดเป็นพืชที่มีความต้องการธาตุอาหารในการเติบโตในปริมาณสูง ซึ่งธาตุอาหารหลักที่ต้องการ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจน เนื่องจากนำไปใช้ในการเจริญเติบโตทางใบ โดยธาตุไนโตรเจนได้มาจากสารประกอบอนินทรีย์ของไนโตรเจน ในรูปของแอมโมเนียม ไนไตรท์และไนเตรต ซึ่งมีปริมาณเพียงร้อยละ 5 ของไนโตรเจนในดิน (Brady and Weil, 2008) ในทางการเกษตรจึงมีการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน (Ginting et al., 2003) แต่ปริมาณธาตุอาหารในดินถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายปัจจัย เช่น การจัดการทางการเกษตร จุลินทรีย์ในดิน สมบัติของดิน และปริมาณน้ำ (Griffin et al., 2007) เช่นเดียวกันกับชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ (Lobell, 2007) แต่ปุ๋ยอินทรีย์มีการปลดปล่อยธาตุอาหารต่ำและค่อนข้างช้า ซึ่งอาจไม่เพียงพอและทันต่อความต้องการในการเติบโตของพืชโดยเฉพาะผักที่มีอายุสั้น เช่น ผักสลัด ดังนั้น เกษตรกรจึงมักใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกพืชมากกว่า เนื่องจากมีธาตุอาหารที่เพียงพอและมีการปลดปล่อยธาตุอาหารสู่ดินที่ดีกว่าปุ๋ยอินทรีย์ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตได้สูง แต่ปุ๋ยเคมีก็ส่งผลระยะยาวต่อโครงสร้างของดินโดยมีผลต่อการลดช่องว่างในดิน ทำให้ดินไม่ดูดซับน้ำและสูญเสียกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์ในดิน (Rice et al., 2004) ส่งผลให้เมื่อเพาะปลูกฤดูกาลถัดไปปริมาณผลผลิตที่ได้มักลดลง นอกจากความต้องการ

ปุ๋ยในการเติบโตแล้ว ผักสลัดยังมีโรคและแมลงที่เป็นปัจจัยรบกวนอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคจากราในดิน ทำให้เกษตรกรนิยมใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและยาฆ่าราในดิน แต่การใช้สารเคมีดังกล่าวมักก่อให้เกิดสารพิษตกค้างในดิน ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

จากรายงานวิจัยในปัจจุบัน พบว่า ในการเกษตรมีการใช้ไคโทซาน (chitosan) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากกระบวนการ deacetylation ของไคทินอย่างกว้างขวางในการเพิ่มผลผลิตพืชและลักษณะทางสรีรวิทยา (Imeri and Knorr, 1988) ไคทินพบมากในเปลือกของสิ่งมีชีวิตกลุ่มอาร์โทรพอด (arthropods) เช่น เปลือกกุ้ง เปลือกปู อีกทั้งพบมากในผนังเซลล์ของเห็ดและรา (Muzzarelli, 2011) ไคโทซานและสารอนุพันธ์ของไคทินส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยช่วยเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจน แคลเซียม (Boßelmann et al., 2007) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารประกอบอินทรีย์ในดิน ส่วนการใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.1 และ 0.5% สามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งของข้าว (Chibu and Shibayama, 1999) ไคโทซานความเข้มข้น 0.1% ส่งเสริมให้ *Eustoma grandiflorum* มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนดอกและน้ำหนักดอกเพิ่มขึ้น (Ohta et al., 2004) ส่วนไคโทซานที่ความเข้มข้น 1, 10, 50 และ 100 ppm สามารถชักนำกล้วยไม้สกุล *Dendrobium* ให้ออกดอกเร็วขึ้นและมีจำนวนช่อดอกมากขึ้น (Limpanavech et al., 2008) ไคโทซานความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเพิ่มจำนวนใบของ *Phaseolus vulgaris* (Abu-Muriefah, 2013) ไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 50 และ 970 kDa เพิ่มความเขียว (SPAD) ของต้นฟรีเซีย ‘Gompey’ มากกว่าปกติ 13.4% รวมทั้งการฉีดไคโทซานน้ำหนักโมเลกุล 2 kDa ทำให้ต้นกล้ากาแฟมีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดการทดลองปกติ 15.36% ในแปลงปลูกและ 46.38-73.5% ในเรือนกระจก (Dzung et al., 2011) ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการที่ไคโทซานกระตุ้นการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของคลอโรพลาสต์ จึงส่งเสริมให้เกิดการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์มากขึ้น (Limpanavech et al., 2008) จากรายงาน Kim et al. (2007) พบว่า ไคโทซานช่วยส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารฟีนอลในผักสลัดพันธุ์โรเมน นอกจากนี้ไคโทซานส่งเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ *Ocimum basillicum* มากกว่าชุดการทดลองควบคุม (Kim et al., 2005) อย่างไรก็ตาม Pongprayoon et al. (2013) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟีนอลกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งไคโทซานทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดการป้องกันตนเองของพืชมากขึ้นจากภาวะเครียดและโรคแมลงผ่านสัญญาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยไคโทซานช่วยส่งเสริมให้พืชมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอล นอกจากจากนี้ ไคโทซานยังช่วยกระตุ้นการสร้างฮอร์โมนพืชทั้งออกซิน (auxin) ไซโทไคนิน (cytokinin) จิบเบอเรลลิน (gibberellin) (Gatot, 2008) และกรดแอบไซซิก (ABA) (Srivastava et al., 2009) รวมทั้งเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) มากกว่าปกติ 14% (No et al., 2003)

ไคโทซานยังสามารถยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ก่อโรค (Ramírez et al., 2010) ควบคุมประชากรของหนอนตัวกลม (phathogenic nematode) ที่ก่อโรคชนิด Meloidogyne arenaria (Godoy et al., 1983) และเป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืชในพืชบางชนิด (Rabea et al., 2003) รวมทั้งช่วยในการควบคุมโรคที่เกิดจากรา โดยเฉพาะอย่างยิ่งราที่ทำให้เกิดโรคชนิด *Fusarium* wilts (Laflamme et al., 2000) และ ราสีเทา (grey mold) (Aziz et al., 2006)

นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้กากไคทิน (chitin-rich residue) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตไคโทซานสามารถส่งเสริมการเติบโตและทำให้พืชมีผลผลิตมากขึ้น จากรายงานของ Muymas et al. (2015) พบว่า กากไคทินส่งเสริมให้ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดและเรดโอ๊คมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าชุดการทดลองควบคุม มีรงควัตถุสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มมากขึ้น รวมถึงส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ชักนำการเปิดปากใบ เพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ตลอดจนทำให้ปริมาณจุลชีพที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งมีส่วนในการสลายกากไคทินให้เป็นธาตุอาหารมากขึ้น อีกทั้งรายงานของ Kananont et al. (2016) ยังพบว่า กากไคทินทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีผลผลิต รงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ เพิ่มขึ้น รวมทั้งทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น ตลอดจนทำให้ธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น

อนึ่ง (Kudan and Pichyangkura, 2009) พบว่า แบคทีเรียชนิด *Bacillus licheniformis* strain SK-1 สามารถผลิต extracellular chitinolytic enzyme ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยไคทินให้เป็นไคโทซานหรืออนุพันธ์ของไคทินที่มีขนาดเล็กลงได้ ดังนั้น *B. licheniformis* จึงเป็นแบคทีเรียที่สามารถนำมาใช้ในการหมักไคทินเพื่อให้ได้อนุพันธ์ของไคทินที่สนใจได้ Muymas et al. (2015) ได้ใช้ *B. licheniformis* strain SK-1 ในการเตรียมกากไคทินและรายงานการนำกากไคทินมาใช้เพื่อการเพิ่มผลผลิตและการเติบโตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค (Red Oak) และบัตเตอร์เฮด (Butterhead) ในกระถางและในแปลง (Muymas, 2014) แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงผลของกากไคทินที่คงเหลือในดินจากการปลูกรอบแรกต่อผลผลิตของผักสลัดที่ปลูกในรอบที่สองโดยไม่มีการเติมกากไคทินเพิ่มในการปลูก ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของกากไคทินซึ่งเป็นวัสดุชีวภาพที่ได้จากการหมักเปลือกกุ้งโดยใช้แบคทีเรีย *B. licheniformis* strain SK-1 ที่มีการใช้เพิ่มผลผลิตของผักกาดหอมไปแล้วหนึ่งรอบการปลูกต่อปริมาณผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบต่อต้น เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ดัชนีความเขียว รวมทั้งปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และธาตุอาหารในดินในการปลูกซ้ำรอบที่สองโดยไม่มีการเติมกากไคทินเพิ่มใน การปลูกผักกาดหอม

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของกากไคทินที่คงเหลือในดินจากฤดูปลูกแรกต่อผลผลิตของผักกาดหอมในฤดูปลูกที่สอง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ค้นคว้า ศึกษา และรวบรวมสำหรับการทำวิจัย
2. ผลิตกากไคทิน
3. ศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่หนึ่ง
4. ศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมฤดูปลูกที่สอง
5. วิเคราะห์ดิน
6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง เผยแพร่ผลงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบวิธีใช้กากไคทินเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตของผักกาดหอมโดยการลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เพิ่มธาตุอาหารในดินและลดการทำลายโครงสร้างของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ความสำคัญของผักกาดหอม

ผักกาดหอม (*L. sativa* L.) เป็นสายพันธุ์หนึ่งของผักสลัดที่มีการบริโภคอย่างแพร่หลายทั้งผู้บริโภคชาวไทยและทั่วโลกเนื่องจากมีพลังงานต่ำ อุดมไปด้วยใยอาหาร แร่ธาตุ วิตามิน (ตารางที่ 1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารต้านอนุมูลอิสระที่มีปริมาณมาก (Rubatzky and Yamaguchi, 1997) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ การเพาะปลูกผักสลัดสามารถทำได้หลากหลายวิธีทั้งในเรือนกระจกและในแปลงปลูก ประเทศจีนเป็นประเทศที่มีการผลิตผักสลัดมากที่สุดในโลก แต่โดยส่วนใหญ่เป็นผักสลัดพันธุ์ที่ไม่เป็นที่นิยมในสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตก (Mou, 2008) การผลิตผักสลัดในสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตกคิดเป็นร้อยละ 22 และ 13 ของการผลิตผักสลัดทั่วโลกตามลำดับ (Mou, 2008) ในสหรัฐอเมริกาพบว่าผักสลัดเป็นผักที่มีผู้คนนิยมบริโภคมากเป็นอันดับที่ 3 รองจากมะเขือเทศและมันฝรั่ง (USDA, 2015)

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของแร่ธาตุ วิตามิน น้ำ และใยอาหารในผักสลัดบางพันธุ์

พันธุ์	แร่ธาตุ (กรัม)					วิตามิน		น้ำ	ใยอาหาร
	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	เหล็ก	โซเดียม	โพแทสเซียม	เอ (IU)	ซี (กรัม)	(%)	(กรัม)
Crisp	22.0	26.0	1.5	7.0	166.0	470	7.0	95.5	0.5
Butterhead	35.0	26.0	1.8	7.0	260.0	1065.0	8.0	95.1	0.5
Romaine	44.0	35.0	1.3	9.0	277.0	1925.0	22.0	94.9	0.7
Leaf and cutting	68.0	25.0	1.4	9.0	264.0	1900.0	18.0	94.0	0.7

(Rubatzky and Yamaguchi, 1997)

ผักสลัดมีความหลากหลายของขนาด รูปร่าง และสี ทำให้การจัดจำแนกประเภทของผักสลัดมีความหลากหลายและไม่มีระบบการจัดจำแนกที่เป็นมาตรฐาน โดยอาจจัดจำแนกจากความคล้ายคลึงกันของลักษณะทางสัณฐานวิทยา ลักษณะที่พัฒนามาเพื่อการเพาะปลูก ลักษณะของรูปวิธานในระดับชนิด (species) และต่ำกว่าชนิด (subspecies) (Lebeda et al., 2007) อย่างไรก็ดี จากรายงานของ Mou (2008) สามารถจำแนกผักสลัดออกเป็น 6 กลุ่ม โดยใช้ลักษณะของรูปร่าง ขนาด การห่อหัว และระบบลำต้นเป็นเกณฑ์การจำแนก ได้แก่ พันธุ์ Romaine หรือ Cos พันธุ์ Crisp head หรือ Iceberg พันธุ์ Butterhead พันธุ์ที่กินใบ (leaf or cutting lettuce) พันธุ์ที่กินลำต้น (stem or stalk lettuce) และพันธุ์ละติน (Latin lettuce) ทั้งนี้ ผักสลัดพันธุ์ที่มีการห่อหัว พันธุ์ Romaine และ พันธุ์ที่กินใบ เป็นที่นิยมบริโภคในสหรัฐอเมริกามากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 54.10, 30.10 และ 15.80 ตามลำดับ (USDA, 2014) อนึ่ง ด้วยความหลากหลายทางสายพันธุ์ซึ่งเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศที่แตกต่างกันส่งผลให้ผักสลัดมีผลผลิตได้ตลอดทั้งปี (Baslam et al., 2013) อย่างไรก็ดี ผักสลัดที่ผ่านการปลูกโดยวิธีอินทรีย์ได้เปรียบกว่าวิธีการปลูกอื่นๆ อีกทั้งยังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคในตลาด (Heimler et al., 2012) เนื่องจากมีการสะสมของสารเคมีตกค้างรวมถึงสารปราบศัตรูพืชที่น้อยกว่า (Smith-Spangler et al., 2012)

อย่างไรก็ตาม ผักกาดหอมเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารในการเจริญเติบโตสูง อีกทั้ง ความไม่สมดุลของแร่ธาตุในดิน ปริมาณเกลือ ความเป็นกรดด่าง และความเครียดเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ผักสลัดมีผลผลิตตกต่ำได้ (Bashan and Bashan, 2010) อีกทั้งการปลูกผักสลัดโดยไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยมูลสัตว์ ทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารต่ำและค่อนข้างช้า ซึ่งอาจไม่เพียงพอและทันต่อความต้องการในการเติบโตของผักสลัดซึ่งเป็นผักที่มีอายุสั้น ดังนั้นเกษตรกรจึงนิยมใช้ปุ๋ยเคมีเร่งการเจริญเติบโตเพื่อเพิ่มผลผลิตของผักสลัดให้มากขึ้นเนื่องจากมีธาตุอาหารที่เพียงพอและมีการปลดปล่อยธาตุอาหารสู่ดินที่ดีกว่าปุ๋ยอินทรีย์ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยเคมีส่งผลระยะยาวต่อโครงสร้างของดิน โดยมีผลต่อการลดช่องว่างในดิน ทำให้ดินไม่ดูดซับน้ำและการสูญเสียกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์ในดิน (Rice et al., 2001) ส่งผลให้ เมื่อเพาะปลูกฤดูกาลถัดไปปริมาณผลผลิตที่ได้มักลดลง อีกทั้งแมลงศัตรูพืช รา และเชื้อก่อโรคยังเป็นปัญหาที่สำคัญ เกษตรกรจึงมักใช้สารปราบศัตรูพืช ทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีดังกล่าวซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดหอม

ผักกาดหอม (*L. sativa* L.) เป็นสายพันธุ์หนึ่งของผักสลัดจัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae ในปัจจุบันผักสลัดที่มีการเพาะปลูกทั่วโลกมีต้นกำเนิดมาจากแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนตะวันออก (Rubatzky and Yamaguchi, 1997) มีลักษณะเป็นพืชปีเดียว (annual plant) ซึ่งการเป็นพืชปีเดียวทำให้ผักสลัดมีอายุขัยการเติบโต 1 ปี ซึ่งสามารถปลูกทดแทนได้ทุกปีขึ้นอยู่กับการพัฒนาสายพันธุ์ สำหรับการปลูกผักสลัดมีความหลากหลายทั้งสี การเติบโตและลักษณะสัณฐาน ทำให้การจัดจำแนกกลุ่มของผักสลัดมีความแตกต่างกันในแต่ละแหล่ง จากรายงานของ Mou (2008) สามารถจำแนกผักสลัดออกเป็น 6 กลุ่ม โดยใช้ลักษณะของรูปร่าง ขนาด การห่อหัว และระบบลำต้นเป็นเกณฑ์การจำแนก ได้แก่ พันธุ์ Romaine หรือ Cos พันธุ์ Crisp head หรือ Iceberg พันธุ์ Butterhead พันธุ์ที่กินใบ (leaf or cutting lettuce) พันธุ์ที่กินลำต้น (stem or stalk lettuce) และพันธุ์ละติน (Latin lettuce) และรายงานของ Kiple (2001) สามารถจำแนกผักสลัดออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ พันธุ์ garden lettuce พันธุ์ Romaine หรือ Cos พันธุ์ Butterhead และพันธุ์ Iceberg อย่างไรก็ตาม ผักสลัดทุกพันธุ์จะมีลักษณะร่วมกันคือใบมีขนน้อย ซึ่งอาจมีลักษณะใบเรียบ หรือรอยย่นซ้อนพับที่มีความแตกต่างของแต่ละพันธุ์ (Rubatzky and Yamaguchi, 1997) นอกจากนี้ ใบของผักสลัดยังมีความหลากหลายของเฉดสีตั้งแต่สีเขียวเข้มไปจนถึงเขียวอ่อนหรือแม้กระทั่งสีม่วง มีระบบรากตื้น รากเจริญเติบโตในแนวแผ่กว้าง โดยไม่หยั่งรากลึกลงไปในดินยกเว้นบริเวณรากแก้ว ทำให้รากของผักสลัดมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและธาตุอาหารในดินน้อยกว่าพืชชนิดอื่น (Rubatzky and Yamaguchi, 1997)

การปลูกผักสลัดในทวีปอเมริกาเหนือและยุโรปให้ได้คุณภาพและผลผลิตสูงต้องคำนึงถึงประเภทของผักสลัดที่ใช้ปลูกในแต่ละฤดู ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผักสลัดฤดูหนาว ฤดูใบไม้ผลิ และฤดูร้อนผักสลัดที่ปลูกในฤดูหนาวสามารถปลูกได้ในเดือนสิงหาคมหรือกันยายน เนื่องจากปริมาณหิมะไม่มากจึงส่งผลปกคลุมการเติบโตของผักสลัดค่อนข้างน้อย และเมื่อหิมะละลายในเดือนเมษายนหรือพฤษภาคมจะเป็นช่วงที่เหมาะต่อการห่อหัว ผักสลัดที่ปลูกในฤดูใบไม้ผลิสามารถปลูกได้ในเดือนมีนาคมซึ่งเหมาะต่อการเจริญเติบโตและเก็บเกี่ยวได้ในเดือนพฤษภาคม ผักสลัดที่ปลูกในฤดูร้อนสามารถปลูกได้ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม ซึ่งผักสลัดที่ปลูกในฤดูนี้ต้องรดน้ำบ่อย อีกทั้งต้องมีวัสดุคลุมดินเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและป้องกันความร้อน (Rubatzky and Yamaguchi, 1997) ผักสลัดที่นิยมนำมาปลูกในประเทศไทยเป็นผักสลัดพันธุ์ใบกว้าง (broad leaf) เป็นสายพันธุ์หนึ่งของผักคะน้าจีน (Chinese kale) เช่น พันธุ์ใบกว้างที่พัฒนาโดยบริษัทเจียไต๋ซึ่งถูกพัฒนาสายพันธุ์ให้สามารถปลูกได้ดีภายใต้สภาพอากาศในประเทศไทย โดยลักษณะของผักสลัดสายพันธุ์นี้จะมีลำต้นใหญ่ ปล้องลำต้นสั้น ใบกว้างหนากรอบ (FAO, 1999)

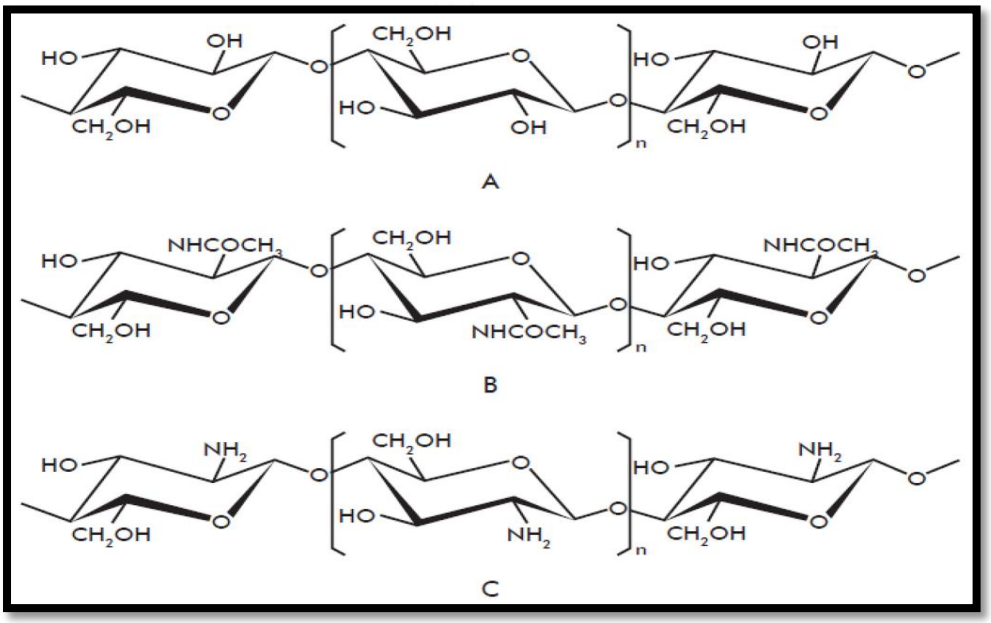
2.3 ไคทินและกากไคทิน

ไคทิน เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ประกอบขึ้นจากน้ำตาล *N*-acetyl-D-glucosamine (GlcNAc) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกลูโคสโดยมีหมู่อะมิโน (amino group) เกาะอยู่ที่ธาตุคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (ภาพที่ 2.1) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-1,4 glycosidic เป็นสารพอลิเมอร์ที่พบมากเป็นอันสองรองจากเซลลูโลส (Gooday, 1990) พบเป็นส่วนประกอบหลักของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น โครงร่างภายนอกของแมลงหรือ สิ่งมีชีวิตกลุ่ม crustacean เช่น กุ้ง กั้ง ปู และ แกนปลาหมึก (Gohel et al., 2006) อีกทั้ง จุลินทรีย์หลายชนิดยังพบการสร้างไคทินที่สปอร์ (เช่น เห็ด และรา) เยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์ (Castro and Paulín, 2012) รวมทั้ง หนามของไดอะตอม (Bartnicki-Garcia and Lippman, 1982) มีลักษณะเป็นสายโซ่ตรงยาวและเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีประจุเป็นกลาง อีกทั้งยังทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงและป้องกันโครงสร้างภายในของสิ่งมีชีวิต

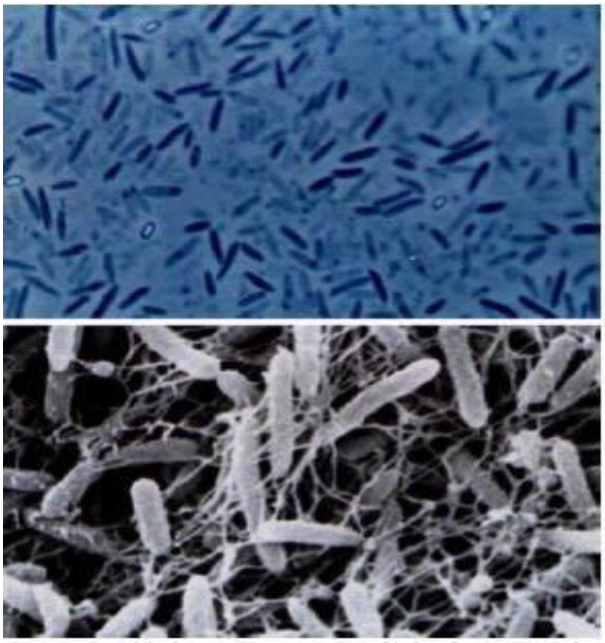
การสลายของไคทินจะได้สารอนุพันธ์ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตสายสั้น (oligosaccharide) (Ramírez et al., 2010) การเกิดกระบวนการ deacetylation ของคาร์โบไฮเดรตสายสั้นนี้โดยการดึงหมู่ acetyl ออกจากโมเลกุลของไคทิน (Hayes et al., 2008) และนำไปย่อยสลายโดยเอนไซม์จะทำให้ได้สารอนุพันธ์เรียกว่าไคโทซาน ในเชิงพาณิชย์การผลิตไคโทซานผลิตได้จากเปลือกของสิ่งมีชีวิตในกลุ่มครัสเตเชียน (crustacean) ในภาวะด่างและอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นการกำจัดสิ่งเจือปน โปรตีน แคลเซียมและแร่ธาตุออกจากเปลือกของสิ่งมีชีวิตได้ไคทิน จากนั้นนำไคทินไปย่อยสลายด้วยเอนไซม์ chitinase หรือ chitosanase จะได้สารอนุพันธ์ไคโทซาน (Hoell et al., 2010) (ภาพที่ 2.1) ทั้งนี้จากรายงานของ Kudan and Pichyangkura (2009) พบว่า เอนไซม์ chitinase ผลิตได้จาก *Bacillus licheniformis* SK–1 สามารย่อยไคทินให้เป็นไคโทซานได้ อย่างไรก็ดี โครงสร้างของไคโทซานประกอบด้วยน้ำตาล glucosamine (GlcN) และ GlcNAc สามารถจำแนกได้จากเปอร์เซ็นต์การดึงหมู่ acetyl (deacetylation) ระดับการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) น้ำหนักโมเลกุล และรูปแบบของหมู่ acetylation ในสายพอลิเมอร์ (Aam et al., 2010) จากกระบวนการ protonation ของหมู่อะมิโนในโมเลกุลของไคโทซาน ทำให้ไคโทซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเป็นประจุบวก (Ramírez et al., 2010) และละลายได้ในสารละลายกรดอ่อนในช่วง pH ≤ 6.5 และจัดเป็นสารชีวภาพที่มีคุณสมบัติย่อยสลายได้ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงพบการนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายทั้งทางการแพทย์ เภสัช และการเกษตร เป็นต้น

B. licheniformis strain SK–1 ที่ใช้ในการหมักกากไคทินเพื่อใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้อาศัยวิธีของ Muymas et al. (2015) *B. licheniformis* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีขนาด 0.4 x 1.3 ไมโครเมตร (ภาพที่ 2.2) สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในสารละลายอาหารที่มีออกซิเจนและไม่มี

ออกซิเจน โดยแบคทีเรียชนิดนี้มีความสามารถสูงในการสร้างกรดจากน้ำตาลและแตกสลายโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตด้วยเอนไซม์ chitinase ซึ่งสร้างได้ในปริมาณมากเมื่อแบคทีเรียเติบโตที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากรายงานของ Kudan and Pichyangkura (2009) ที่พบความสามารถของ *B. licheniformis* strain SK–1 ในการสร้างเอนไซม์ chitinase งานวิจัยนี้จึงเป็นการประยุกต์ใช้แบคทีเรีย *B. licheniformis* strain SK–1 ในการย่อยสลายไคทินจากเปลือกกุ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วให้กลายเป็นไคโทซาน อย่างไรก็ดี งานวิจัยนี้ใช้เฉพาะกากเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตไคโทซานในการทดลองเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า กากไคทิน (chitin–rich residue)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส (A) ไคทิน (B) และไคโทซาน (C) (Ramírez et al., 2010)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของ Bacillus licheniformis strain SK–1 (Kudan and Pichyangkura, 2009)

2.4 ผลของไคโทซานต่อการเพิ่มผลผลิตพืช

มีรายงานทางวิชาการอย่างแพร่หลายที่อธิบายเกี่ยวกับความสามารถของไคโทซานในการเพิ่มปริมาณผลผลิตของพืช El-Tanahy et al. (2012) รายงานว่า ไคโทซานสามารถใช้เป็นปุ๋ยในการเพิ่มผลผลิตของถั่วฝักยาวโดยเป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจน Wanichpongpan et al. (2001) พบว่าไคโทซานสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวในแปลงปลูกได้มากกว่าชุดการทดลองปกติ โดยไคโทซานมีสมบัติเป็นประจุบวกสามารถยึดเกาะกับธาตุอาหารของพืชที่มีประจุลบได้ ทำให้ธาตุอาหารที่ยึดเกาะกับไคโทซานเกิดการปลดปล่อยออกมาช้าและยึดเกาะได้ยาวนานจึงส่งผลให้รากของข้าวดูดซึมธาตุอาหารที่ยึดเกาะกับไคโทซานได้นานขึ้น ซึ่งทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดี ปริมาณผลผลิตของพืชที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการที่พืชสามารถต้านทานหรือพืชมีระบบภูมิคุ้มกันต่อเชื้อก่อโรคได้ดี จึงส่งผลให้การเติบโตของพืชเป็นไปในแนวทางที่ดีทำให้ผลผลิตสูงขึ้น จากรายงานของ (Doares et al., 1995) พบว่า ไคโทซานสามารถควบคุมระบบภูมิคุ้มกันและชักนำการปลดปล่อยเอนไซม์ในการต่อต้านเชื้อก่อโรคและการบุกรุกของแมลง ไคโทซานส่งผลโดยตรงในทางเกษตรกรรมโดยทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ในดิน รวมทั้งกระตุ้นให้จุลินทรีย์ในดินเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอาหารโดยการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์และช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมธาตุอาหารของรากในดินมากขึ้น (Somashekar and Joseph, 1996) สอดคล้องกับรายงานของ Van et al. (2013)

พบว่า ไคโทซานมีความสามารถในการเพิ่มปริมาณไนเตรท ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ของกาแฟมากขึ้นและเพิ่มการสะสม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากขึ้นในถั่วฝักยาว (El-Tanahy et al., 2012) รายงานของ Ohta et al. (2004) พบว่า ไคโทซานความเข้มข้น 1% โดยมวลต่อมวลในดินปลูกทำให้ต้นไลเซนทัส (*Eustoma grandiflorum*) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น น้ำหนักดอกและจำนวนดอกมากกว่าชุดการทดลองควบคุมและ Boonlertnirun et al. (2017) รายงานว่าไคโทซานช่วยในการเพิ่มผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ได้มากกว่าชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับไคโทซาน ทั้งนี้ การที่ไคโทซานทำให้พืชมีความสามารถในการต้านทานต่อเชื้อก่อโรคได้มากขึ้น ส่งเสริมให้รากพืชดูดซึมธาตุอาหารมากขึ้น ตลอดจนต้านทานภาวะเครียดได้ดีนี้ จึงส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและส่งเสริมผลผลิตให้มากขึ้น (Cantos et al., 2003)

2.5 ผลของไคโทซานต่อคลอโรฟิลล์ ความเขียว และแคโรทีนอยด์ของพืช

คลอโรฟิลล์มีหน้าที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงและชั่วโมงการได้รับแสง หากปัจจัยดังกล่าวลดลงจะส่งผลให้การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ลดลงด้วย (Alkema and Seager, 1982) ส่วนแคโรทีนอยด์ ไม่จำเป็นต้องใช้แสงในการกระตุ้นการสังเคราะห์แตกต่างจากคลอโรฟิลล์ที่จำเป็นต้องใช้แสงกระตุ้นการสังเคราะห์ แคโรทีนอยด์ไม่ถูกสลายได้ง่าย อีกทั้งทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากแสง (Alkema and Seager, 1982) ผักกินใบทุกชนิดประกอบด้วยสารสีที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (Kimura and Rodriguez-Amaya, 2002) ซึ่งไม่เพียงเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสร้างอาหารของพืช แต่ยังเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Liu et al., 2007) เช่น แคโรทีนเป็นแหล่งของวิตามินเอ (Olson, 1994) ลูทีน (leutein) และซีแซนทิน (zeaxanthin) เป็นปัจจัยสำคัญในการมองเห็นของมนุษย์ (Wisniewska and Subczynski, 2006) อีกทั้งคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ยังช่วยป้องกันโรคที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ เช่น มะเร็ง โรคจากระบบไหลเวียนโลหิต และโรคเรื้อรังต่าง ๆ (Sangeetha and Baskaran, 2010)

จากรายงานผลการวิจัย พบความสัมพันธ์ของไคโทซานต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของพืชอย่างแพร่หลาย Dzung et al. (2011) รายงานว่า ต้นกล้ากาแฟที่ได้รับการฉีดด้วยไคโทซานมวลโมเลกุล 2 kDa สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ได้มากกว่าชุดการทดลองควบคุม15.36% ในแปลงปลูกและมากกว่า 46.38-73.5 % ในเรือนกระจก อีกทั้ง Limpanavech et al. (2008) รายงานว่า ไคโทซานสามารถกระตุ้นการทำงานของ chloroplast gene ซึ่งทำให้มีการสร้างสารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์มากกว่าปกติและส่งเสริมให้คลอโรพลาสต์มีขนาดใหญ่และยาวขึ้นในกล้วยไม้สกุล *Dendrobium* ในทำนองเดียวกับรายงานของ Chibu and Shibayama (1999) พบว่า

ไคโทซานสามารถกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในผักสลัด ถั่วเหลือง ข้าว และมะเขือเทศ และทำให้พืชดังกล่าวมีสีเขียวเข้มมากกว่าชุดการทดลองควบคุมอีกทั้ง การเพิ่มปริมาณไคโทซานในดินปลูกทำให้ใบมะเขือเทศและผักสลัดมีความเขียวมากขึ้น (Chibu and Shibayama, 1999) การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ทำให้พืชมีค่าดัชนีความเขียว (SPAD) เพิ่มขึ้นด้วยดังรายงานของ Salachna and Zawadzińska (2014) พบว่า ไคโทซานมวลโมเลกุล 50 kDa และ 970 kDaสามารถเพิ่มดัชนีความเขียว (SPAD) ของฟรีเซีย ‘Gompey’ ได้มากกว่าชุดการทดลองควบคุม 13.4 % และการใช้ส่วนผสมระหว่างมูลแกะกับไคโทซานความเข้มข้น 800 ppm เป็นปุ๋ยทำให้โทงเทงฝรั่งมีดัชนีความเขียวมากขึ้น (Kamal and Ghanem, 2011)

2.6 ผลของของไคโทซานต่อสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลพบได้แพร่หลายในพืช จัดเป็นสารเมทาบอไลท์ขั้นทุติยภูมิของพืช และเป็นสารอนุพันธ์ที่สำคัญในวิถีเพนโทสฟอสเฟต (pentose phosphate) ชิคิเมท (shikimate) และฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid) (Randhir et al., 2004) สารประกอบฟีนอลมีหน้าที่สำคัญในกระบวนการต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ส่งเสริมการเจริญเติบโต ต้านทานเชื้อก่อโรคและส่งเสริมการสืบพันธุ์ของพืช (Bravo, 1998) อีกทั้งทำให้ผลของพืชและผักมีสีที่แตกต่างกัน (Alasalvar et al., 2001) นอกจากหน้าที่ที่หลากหลายของสารประกอบฟีนอลที่มีต่อพืชแล้ว สารประกอบฟีนอลยังเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Hertog et al., 1993) โดยเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Heimler et al., 2012) อีกทั้งรายงานของ Parr and Bolwell (2000) พบว่าสารประกอบฟีนอลเป็นสารประกอบหลักที่สำคัญที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหาร ทั้งนี้ หากพืชมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากย่อมส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชในแง่ของการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระ ต้านทานต่อเชื้อก่อโรค และส่งผลให้ผลผลิตของพืชสูงขึ้น รวมทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคด้วย

จากรายงานผลการวิจัยพบความสัมพันธ์ของไคโทซานต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลของพืชอย่างแพร่หลาย Bautista-Banos et al. (2006) รายงานว่า ไคโทซานส่งเสริมการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลรวมไปถึงสามารถชักนำให้กล้วยไม้สร้างสารเมทาบอไลท์ทุติยภูมิและมีความสามารถต้านทานต่อเชื้อก่อโรคได้มากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Srisornkompon et al. (2014) พบว่า ไคโทซานมวลโมเลกุล 8,000 Da ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้ใบอ่อนของชา (*Camellia sinensis*) มีการสะสมสารฟีนอลมากกว่าชุดการทดลองปกติ 16% และไคโทซานสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลในโหระพามากกว่าชุดการทดลองปกติ (Kim et al., 2005) ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลเนื่องจากไคโทซานกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์

phenylalanine ammonium lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล (Camm and Towers, 1973)

2.7 ผลของของไคโทซานต่อปริมาณแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีเป็นสารอินทรีย์ที่สลายมาจากวิตามินบี 12 (Sweetman, 2009) พบมากในทุกส่วนของพืช เช่น ผนังเซลล์ และคลอโรพลาสต์ ซึ่งคาดว่ามีปริมาณมากกว่า 20 mM ในคลอโรพลาสต์ (Smirnoff and Wheeler, 2000) มีความสำคัญในการส่งเสริมกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยเป็นสารโคแฟกเตอร์ (cofactor) ของเอนไซม์ (ประกอบด้วยการสังเคราะห์เอทิลีน จิบเบอเรลลิน แอนโธไซยานิน) และควบคุมการเติบโตของเซลล์ นอกจากนี้ เอนไซม์ที่สำคัญของกรดแอสคอร์บิกยังพบในปริมาณมากบริเวณผนังเซลล์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการขยายตัวทางใบ (Smirnoff and Wheeler, 2000)

กรดแอสคอร์บิกมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ กรดแอสคอร์บิกเป็นสารสำคัญสำหรับการสังเคราะห์คอลลาเจน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ส่งเสริมให้เกิดความเกี่ยวพันธ์กันของเนื้อเยื่อในร่างกาย เช่น เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระดูก ฟัน และเนื้อเยื่อผิว เป็นต้น อีกทั้ง ยังทำหน้าที่สำคัญในการสังเคราะห์ฮอร์โมนและสารสื่อประสาท (neurotransmitter) รวมถึงการทำงานของกรดอะมิโนบางชนิด นอกจากนี้ กรดแอสคอร์บิกยังมีส่วนสำคัญในการช่วยตับกำจัดสารพิษ สารติดเชื้อในกระแสเลือด และลดภาวะการเกิดมะเร็ง โดยการลดการอักเสบของเนื้อเยื่อลงเนื่องจากกรดแอสคอร์บิกเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Lupulescu, 1996)

รายงานผลการวิจัย พบว่า ถั่วเหลืองที่แช่ด้วยไคโทซานความเข้มข้น 0.05% มวลโมเลกุล 493 kDa เป็นเวลา 8 ชั่วโมงช่วยเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกในต้นกล้าถั่วเหลืองมากกว่าชุดการทดลองควบคุม 14% (No et al., 2003) นอกจากนี้ การฉีดพ่นไคโทซานความเข้มข้น 800 ppm บริเวณใบช่วยเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผลโทงเทงฝรั่ง (Kamal and Ghanem, 2011) อีกทั้งการฉีดพ่นไคโทซานความเข้มข้น 0.05% บริเวณใบทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นในพริกหยวก (Ghoname et al., 2010) แตงกวา (Farouk et al., 2008) สตรอวเบอรี (Abdel-Mawgoud et al., 2010) การใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.1% ช่วยเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกในมะเขือเทศ (Jabnoun-Khiareddine et al**.,** 2015) นอกจากนี้ Pérez-Balibrea et al. (2011) พบว่า ไคโทซานความเข้มข้น 0.01% ชักนำให้บร็อคโคลีเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกมากขึ้น 54% และ 44% เมื่อฉีดพ่นไคโทซานให้กับต้นบร็อคโคลีเป็นเวลา 5 และ 7 วัน ตามลำดับ

2.8 ผลของไคโทซานต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารยับยั้งกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งทำหน้าที่ดักจับอนุมูลอิสระ (free radical) และช่วยลดความเป็นพิษจากสารอนุมูลอิสระในพืช รวมถึงช่วยให้พืชป้องกันตนเองจากการบุกรุกของเชื้อก่อโรค พบมากในผลไม้ ผักและชา (Hall, 2001) สารอนุมูลอิสระเกิดจากอะตอมหรือโมเลกุลที่ได้รับอิเล็กตรอนมากทำให้อะตอมหรือโมเลกุลนั้นไม่เสถียรจนทำลายเนื้อเยื่อ โครงสร้างภายใน รวมไปถึงทำลาย DNA ซึ่งทำให้เกิดความชรา ก่อโรค ทั้งในพืชและสัตว์ (Eds Satyavati et al., 1976) ระบบการต้านสารอนุมูลอิสระ จำแนกได้ 2 ประเภท ได้แก่ ระบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์และระบบที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ระบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ประกอบด้วย กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) แอลฟาโทโคฟีรอล (alpha-tocopherol) (Garcia et al., 2012) ฟีนอล (phenolic compound) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) คาร์ทีน (catene) (Larson, 1988) เป็นต้น และระบบที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ประกอบด้วย ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase: SOD) คาทาเลส (catalase: CAT) เพอร์รอกซิเดส (peroxidase: POX) กลูตาไธโอนรีดักเทส (glutathione reductase: GR) (Satyavati et al., 1976) สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหารตามธรรมชาติมีส่วนสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพของมนุษย์โดยเป็นสารที่มีศักยภาพสูงในการบำบัดโรค (Satyavati et al., 1976)

จากรายงานผลการวิจัยพบความสัมพันธ์ของไคโทซานต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างแพร่หลายดังรายงานของ Kim et al. (2005) พบว่า ไคโทซานกระตุ้นให้โหระพา (*Ocimum basillicum* L.) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าโหระพาชุดการทดลองควบคุม ในทำนองเดียวกับ Singh et al. (1999) รายงานว่า การใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรสามารถกระตุ้นให้ผักโขมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าชุดการทดลองควบคุม รายงานของ Pongprayoon et al. (2013) พบว่า ไคโทซานสามารถชักนำให้พืชมีการป้องกันตนเองผ่านสัญญาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยไคโทซานทำหน้าที่ส่งเสริมให้พืชมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเนื่องจากการมีปริมาณสารฟีนอลที่เพิ่มมากขึ้น (Lim et al., 2013) และรายงานของ Parr and Bolwell (2000) พบว่า สารประกอบฟีนอลเป็นสารประกอบหลักที่สำคัญที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหาร

2.9 ผลของไคโทซานต่อสมบัติของดิน

ดินเป็นวัสดุปลูกที่มีความสำคัญทางการเกษตร เนื่องจากเป็นแหล่งธาตุอาหารและโครงสร้างค้ำจุนลำต้นพืชโดยรากทำหน้าที่ยึดเกาะดินดูดซึมน้ำและธาตุอาหารสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช องค์ประกอบภายในของดินที่เหมาะแก่การเพาะปลูกต้องมีช่องว่างสำหรับเป็นที่อยู่ของอากาศที่พืชใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สและน้ำที่พืชนำไปใช้ในกระบวนการเติบโต นอกจากดินจะมีประโยชน์โดยเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชแล้ว ดินยังเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์โดยส่งเสริมการเติบโตของพืชให้มีผลผลิตที่มีคุณภาพ จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดินมีหลากหลายชนิดและขนาดซึ่งมีส่วนในการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ให้เป็นปุ๋ยแก่พืช ดังนั้น ดินที่ดีจะส่งเสริมการเติบโตของพืชและให้ผลผลิตที่มีคุณภาพอย่างไรก็ตาม ธาตุอาหารในดินสำหรับการเพาะปลูกตามธรรมชาติมีการปลดปล่อยธาตุอาหารต่ำและใช้เวลานาน ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูกพืชเพื่อให้มีผลผลิตที่มีคุณภาพและทันต่อความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น เกษตรกรจึงนิยมใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อเร่งการเติบโตของพืชและใช้สารปราบศัตรูพืชแทนการใช้ชีววิธีในการกำจัดศัตรูพืช ซึ่งล้วนแต่ส่งผลเสียต่อดินและจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน

ไคทินและสารอนุพันธ์ เช่น ไคโทซาน มีไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของพืชอยู่ประมาณ 6.1%-8.3% อีกทั้งไคทินยังทำหน้าที่เป็นแหล่งไนโตรเจน คาร์บอน และแหล่งพลังงานสำหรับพืชและแบคทีเรียเมื่อเติมลงในดินปลูก (Yen and Mau, 2007) พืชสามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนในไคทินได้ผ่านการปลดปล่อยไนโตรเจนจากการย่อยสลายไคทินโดยแบคทีเรียหรือดูดซึมไนโตรเจนได้โดยตรงผ่านสารประกอบอินทรีย์หน่วยเล็ก (organic monomer) (Spiegel et al., 1988) จากสมบัติของไคโทซานที่เป็นประจุบวกจึงทำให้สามารถยึดติดกับธาตุอาหารพืชได้ดี อีกทั้งหมู่อะมิโนที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของไคโทซานยังสามารถยึดติดกับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกได้ดี เช่น ทองแดง สังกะสี เหล็ก เป็นต้น แต่จะไม่ยึดติดกับธาตุอาหารที่เป็นโลหะอัลคาไลน์ เช่น โพแทสเซียม และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธ เช่น แคลเซียมหรือแมกนีเซียม เป็นต้น (Ramírez et al., 2010) ดังนั้นจากสมบัติการเป็นประจุบวกของไคโทซานส่งผลให้ธาตุอาหารพืชที่เป็นสารประกอบที่มีขั้วลบสามารถยึดติดได้ดีและไม่ถูกชะล้างออกไปจากดิน จึงทำให้พืชดูดซึมสารประกอบดังกล่าวไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ เช่น สารประกอบไนเตรท และฟอสเฟต เป็นต้น (Uragami et al., 2001) อย่างไรก็ดีไคโทซานมีกลไกการออกฤทธิ์ทำลายเชื้อก่อโรคโดยทำหน้าที่เป็นสารกำจัดแบคทีเรีย (bactericide) ซึ่งเป็นการทำลายสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งแตกต่างจากสารที่มีโมเลกุลเป็นขั้วบวก (polycationic) อื่น ๆ ที่ออกฤทธิ์ต่อการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell permeability) แต่ปราศจากการออกฤทธิ์ที่เป็นสารกำจัดแบคทีเรียโดยตรง นอกจากนี้ ไคโทซานยังช่วยส่งเสริมการต่อต้านแบคทีเรียก่อโรคได้ เนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิตย์ (Mansilla et al., 2013) นอกจากนี้ ไคทิน

และไคโทซานยังทำหน้าที่กระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในดินมากกว่าการเป็นจุลชีพที่ทำหน้าที่ย่อยสลายไคทิน อีกทั้งยังถูกใช้เป็นสารในการเร่งการสังเคราะห์เอนไซม์ chitinase ในแบคทีเรียเพื่อควบคุมปริมาณแมลงศัตรูพืชผ่าน Cry-protein toxins และมีศักยภาพในการควบคุมปริมาณจุลชีพก่อโรคผ่านวิถีของเอนไซม์ chitinase (Arora et al., 2013)

จากรายงานผลการวิจัยพบความสัมพันธ์ของไคโทซานและสารอนุพันธุ์ต่อสมบัติของดินอย่างแพร่หลายดังรายงานของ Muymas et al. (2015) พบว่า กากไคทิน ช่วยเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และสารอินทรีย์ สอดคล้องกับรายงานของ Kananont et al. (2016) พบว่า กากไคทินช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สารอินทรีย์ และ pH ในดิน ในทำนองเดียวกันไคโทซานช่วยส่งเสริมการทำงานของ *Bacillus subtilis* ซึ่งเป็นแบคทีเรียธรรมชาติในดินที่สามารถสร้างเอนไซม์ chitinase กำจัดราก่อโรคพืช เช่น *Aspergillus niger* ที่ก่อโรคในถั่วลิสงและรา *Fusarium* sp. ที่ก่อโรคในถั่วแระ (Lowe et al., 2012) มะเขือเทศ (Toyoda, 1996) แตงกวา (Singh et al., 1999) อีกทั้ง Kishore et al. (2005) พบว่าการเติมไคทินในดินปลูกช่วยควบคุมรา *Phaeoisariopsis personata* ที่ก่อโรคใบด่างในถั่วลิสง โดยส่งเสริมการทำงานของแบคทีเรีย *Serratia marcescens* อีกทั้ง ไคโทซานยังส่งเสริมการผลิตเอนไซม์ chitinase ของ *Trichoderma* sp. เพื่อต้านทานราก่อโรคในพืช (Lorito et al., 1993)

2.10 ผลของไคโตซานต่ออายุหลังการเก็บเกี่ยว

คุณภาพของพืชผักที่ดีต้องมีความสมบูรณ์ทั้งลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของ ลำต้น ผล หรือใบเพื่อให้มีราคาและคุณค่าทางโภชนาการที่สูง ทว่า พืชผักและผลไม้ส่วนใหญ่มักสูญเสียคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวไปบางส่วน เนื่องจากการบุกรุกของรา ความผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืช และความเสียหายจากการขนส่ง (Ghaouth et al., 1991) ดังนั้น การป้องกันการสูญเสียคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีการประยุกต์ใช้สารห่อหุ้มที่สามารถรับประทานได้เคลือบผิวพืช และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (Park et al., 2005) นอกจากนี้สารห่อหุ้มพืชยังถูกใช้เป็นสิ่งป้องกันพืชโดยลดอัตราการหายใจและอัตราการคายน้ำลงผ่านผิวของใบ และผล ต่อต้านการเติบโตของจุลินทรีย์และคงสภาพสีของใบและผล (Kester and Fennema, 1986) การเคลือบผิวพืชด้วยไคโทซานเป็นวิธีการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวโดยการควบคุมการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งไคโทซานจะมีผลต่อการกีดกันแก๊สออกซิเจนในการผ่านเข้าออกในพืชมากกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Bai et al., 1988) ดังนั้น การเคลือบไคโทซานที่ผิวพืชสามารถยับยั้งการเติบโตของราก่อโรค ตลอดจนช่วยควบคุมการเน่าเสียของผลผลิตและยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของพืชได้นานขึ้น

จากรายงานผลการวิจัยพบความสัมพันธ์ของไคโทซานต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวอย่างแพร่หลายดังรายงานของ Han et al. (2014) พบว่า มะระที่เคลือบผิวด้วยไคโทซานความเข้มข้น 1.0% มีอัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำหนักต่ำลง ผลมีลักษณะสมบูรณ์ อีกทั้งยังสามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณคลอโรฟิลล์ และสารประกอบฟีนอลรวมให้คงเดิม ตลอดจนช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของเซลลูโลสและลดกิจกรรมของ phenylalanine ammonium lyase ทั้งหมดนี้จึงทำให้ไคโทซานที่เคลือบผิวมะระช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะระให้ยาวนานขึ้นอีก Ghaouth et al. (1991) พบว่า สตรอว์เบอรีที่เคลือบผิวด้วยไคโทซานความเข้มข้น 1% และ 1.5% มีการเติบโตของรา Botrytis cinerea น้อยกว่าชุดการทดลองควบคุมซึ่งการที่ไคโทซานสามารถยับยั้งการเติบโตของราก่อโรคได้ เนื่องจากไคโทซานชักนำพืชให้สร้างเอนไซม์ chitinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกลไกการป้องกันตนเองของพืช อีกทั้งยังส่งเสริมการสังเคราะห์ phytoalexin ในพืช (Ghaouth et al., 1991)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ

3.1 ผักกาดหอมที่ใช้ในการศึกษา

ผักกาดหอมตราศรแดง ของบริษัท อีสท์ เวสท์ ซีด จำกัด

3.2 กากไคทิน

กากไคทินที่ใช้ในการศึกษาเตรียมโดยหมักเปลือกกุ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วกับเชื้อ *B. licheniformis* strain SK-1 ตามวิธีของ Muymas et al. (2015) โดยเขี่ยเชื้อ *B. licheniformis* strain SK-1 บนจานเลี้ยงเชื้อที่มีวุ้นอาหารบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน เพื่อแยกโคโลนีเดี่ยว (single colony) ของแบคทีเรียออกมา จากนั้นเขี่ยโคโลนีเดี่ยวของแบคทีเรียลงในขวดรูปชมพู่ (flask) ที่บรรจุสารละลายอาหาร LB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้น ถ่ายสารละลายอาหาร LB ที่มีเชื้อ *B. licheniformis* strain SK-1 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในสารละลายอาหาร LB ปริมาตร 200 มิลลิลิตร (ครั้งที่ 2) บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน แล้วผสมสารละลายอาหาร LB (ครั้งที่ 2) ปริมาตร 200 มิลลิลิตรกับสารละลายอาหาร MM ปริมาตร 2500 มิลลิลิตร และไคทินบด ปริมาณ 500 กรัม คลุกส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นแยกส่วนผสมออกจากกันเป็นส่วนของของเหลวและส่วนของกากที่เกิดจากการหมักไคทิน โดยของเหลวคือส่วนของไคโทซานซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และส่วนของกากไคทินที่เหลือจากการหมักนำมาใช้ในการทดลอง โดยตากให้แห้งและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 ถาดปลูกจำนวน 104 หลุม

3.3.2 ดินปลูก

3.3.3 บัวรดน้ำ

3.3.4 ถุงพลาสติก

3.3.5 ไนโตรเจนเหลว

3.3.6 หลอดทดลอง

3.3.7 เข็มเขี่ย

3.3.8 ขวดรูปชมพู่

3.3.9 ถาดแก้ว

3.3.10 แผ่นฟรอยด์

3.3.11 กระบะอะลูมิเนียม

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.4.2 เครื่อง SPAD – 502

3.4.3 เครื่องวัด pH

3.4.4 เครื่อง Spectrophotometer

3.5 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 สารเคมีที่ใช้ในการหมักกากไคทิน

3.5.1.1 สารละลายอาหาร LB

3.5.1.1.1 Tryptone 1.00%

3.5.1.1.2 NaCl 0.50%

3.5.1.1.3 Yeast extract 0.50%

3.5.1.2 สารละลายอาหาร MM

3.5.1.2.1Yeast extract 0.25%

3.5.1.2.2 $MgSO_4$ 0.03%

3.5.1.2.3 $(NH_4)2SO_4$ 0.50%

3.5.1.2.4 KH_2PO_4 0.60%

3.5.1.2.5 K_2HPO_4 1.00%

3.5.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ (Agar media)

3.5.1.3.1Tryptone 1.00%

3.5.1.3.2 NaCl 0.50%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.1.3.3 Yeast extract 0.50%

3.5.1.3.4 Agar 2%

3.5.1.3.5 Distilled water

3.5.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.5.2.1 Ethanol 80 %

3.5.2.2 DPPH 0.2 mM

3.5.3.สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอบิก (ascorbic acid)

3.5.3.1 Metaphosphoric acid 6%

3.5.3.2 Acetic acid 2 M

3.5.3.3 2,6-Dichlophenolhydrophenol (DCIP) 0.2%

3.5.3.4 Thiourea 2%

3.5.3.5 Metaphosphoric acid 5%

3.5.3.6 2,4 - Dinitrophenyl hydrazine (DNPH) 2%

3.5.3.7 Sulfuric acid 4.5 M

3.5.3.8 Sulfuric acid 90%

3.5.3.9 Standard ascorbic acid

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*) คลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll *b*) แคโรทีนอยด์ (corotenoids)

3.5.4.1 Acetone 80 %

3.5.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล (phenolic content)

3.5.5.1 Ethanol 80 %

3.5.5.2 Folin-Ciocateu's reagent 50 %

3.5.5.3 $NaCO_3$ 2 %

5.4 Standard gallic acid

3.6 วิธีดำเนินการศึกษา

3.6.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3.6.2 ศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่หนึ่ง

3.6.2.1 การเตรียมแปลงปลูก

เตรียมแปลงปลูกทั้งหมด 6 แปลง แต่ละแปลงกว้าง 1 เมตร ยาว 10 เมตร ระยะห่างระหว่างแปลง 1 เมตร เพื่อปลูกผักทดลองแปลงละ 3 แถว แถวละ 30 ต้น โดยเตรียมแปลงปลูก ณ พื้นที่ของโครงการพัฒนาที่ดินของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ซึ่งแปลงปลูกทั้ง 6 แปลงใช้ตาข่ายกรองแสงปกคลุม เพื่อป้องกันฝนตกและป้องกันความร้อนจากแสง

3.6.2.2 การเตรียมพืชทดลองและการศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่หนึ่ง

เพาะเมล็ดผักกาดหอม (Lactuca sativa L.) ในถาดปลูกจำนวน 104 หลุม และย้ายปลูกต้นกล้าอายุ 3 สัปดาห์ลงแปลงปลูกทั้งหมด 6 แปลงโดยแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ แปลงที่ 1 และ 2 กำหนดให้เป็นแปลงทดลองควบคุม ใส่เฉพาะปุ๋ยคอก ส่วนแปลงที่ 3, 4, 5 และ 6 กำหนดให้เป็นแปลงทดลองที่ใส่ปุ๋ยคอกและกากไคทิน แต่ละแปลงปลูกผักทดสอบจำนวน 90 ต้น การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 (สัปดาห์ที่ 3) ใส่ปุ๋ยคอกแปลงละ 100 กรัมต่อต้น และใส่กากไคทิน 20 กรัม ตามวิธีของ Muymas et al. (2015) ต่อต้นการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 (สัปดาห์ที่ 4) ใส่ปุ๋ยคอกและกากไคทินเช่นเดียวกันกับการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1และการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 (สัปดาห์ที่ 6) ใส่เฉพาะปุ๋ยคอกในทุกๆ แปลง แปลงละ 50 กรัมต่อต้น และรดน้ำทุกวันเช้าและเย็นจนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิต (สัปดาห์ที่ 8)

ในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต แต่ละแปลงเก็บเกี่ยวผลผลิตของผักกาดหอม เฉพาะแถวกลางจำนวน 28 ต้น ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบต่อต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น โดยวิเคราะห์ผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุม (control) จำนวน 56 ต้น (ในแปลงที่ 1 และ 2) และในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทิน (CRR1) จำนวน 112 ต้น (ในแปลงที่ 1, 2, 3, 4 5, และ 6) ดังนี้

3.6.2.2.1 น้ำหนักสด โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.6.2.2.2 น้ำหนักแห้ง โดยนำผักสลัดไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แล้วชั่งน้ำหนักเช่นเดียวกับการชั่งน้ำหนักสด

3.6.2.2.3 จำนวนใบต่อต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น โดยนับจำนวนใบ (เฉพาะใบที่คลี่ออก) และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนลำต้นบริเวณที่ติดกับรากโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

3.6.3 ศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตและลักษณะทางทางสรีรวิทยาของผักสลัดฤดูปลูกที่สอง

3.6.3.1 การเตรียมแปลงปลูก

เตรียมแปลงปลูกเช่นเดียวกับข้อ 2.1

3.6.3.2 การเตรียมพืชทดลองและการศึกษาผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักสลัดฤดูปลูกที่สอง

ในฤดูปลูกที่สอง เตรียมพืชทดลองเช่นเดียวกับฤดูปลูกที่หนึ่ง พักแปลงเป็นเวลาประมาณ 1 เดือนก่อนย้ายปลูกโดยแปลงทดลองแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ แปลงที่ 1 และ 2 กำหนดให้เป็นแปลงทดลองควบคุมใส่เฉพาะปุ๋ยคอก แปลงที่ 3 และ 4 กำหนดให้เป็นแปลงที่ใส่กากไคทินครั้งเดียวในฤดูปลูกที่หนึ่งและไม่ใส่กากไคทินในฤดูปลูกที่สอง ส่วนแปลงที่ 5 และ 6 กำหนดให้เป็นแปลงทดลองที่ใส่กากไคทินทั้งสองฤดูปลูก โดยแปลงทดลองทุกแปลงใส่ปุ๋ยเช่นเดียวกับการปลูกฤดูที่หนึ่ง รดน้ำทุกวันเช้าและเย็นจนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิต (สัปดาห์ที่ 8)

ในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต แปลงทดลองแต่ละแปลงเก็บเกี่ยวผลผลิตของผักกาดหอมเฉพาะแถวกลางจำนวน 23 โดยวิเคราะห์ผลผลิตและค่าดัชนีความเขียวของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุม (control) จำนวน 46 ต้น (ในแปลงที่ 1 และ 2) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) จำนวน 46 ต้น และในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้ง 2 ฤดูปลูก (CRR2) จำนวน 46 ต้น (ในแปลงที่ 1, 2, 3, 4 5, และ 6) วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอล กรดแอสคอร์บิก

และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์ในใบผักกาดหอมที่เผ็นส่นผสมระหว่างใบอ่อนและใบที่เติบโตเต็มที่ แปลงละ 5 ต้น ต้นละ 3 ซ้ำ ในชุดการทดลองควบคุม (control) (แปลงที่1 และแปลงที่ 2) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) (แปลงที่3 และแปลงที่ 4) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้ง 2 ฤดูปลูก (CRR2) (แปลงที่5 และแปลงที่ 6) เพื่อบันทึกข้อมูลดังในข้อ 3.6.3.2.1–3.6.3.2.4

3.6.3.2.1 น้ำหนักสด

เช่นเดียวกับข้อ 3.6.2.2.1

3.6.3.2.2 น้ำหนักแห้ง

เช่นเดียวกับข้อ 3.6.2.2.2

3.6.3.2.3 จำนวนใบต่อต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

เช่นเดียวกับข้อ 3.6.2.2.3

3.6.3.2.4 ค่าดัชนีความเขียว

โดยใช้เครื่อง SPAD – 502 โดยวัดค่าที่ใบที่ 3 ที่แผ่เต็มที่ (นับจากยอดอ่อน)

3.6.3.2.5 บันทึกข้อมูลจากตัวอย่างผักกาดหอมโดยวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll *a*) คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll *b*) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) (Kirk and Allen, 1965) สารประกอบฟีนอล (phenolic content) ด้วยวิธี Folin-Ciocateu colorimeter method (Choi et al., 2006) กรดแอสคอบิก (ascorbicacid) ด้วยวิธี Dinitrophenylhydrazine (DNPH) (Shin et al., 2007) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH วิเคราะห์ปริมาณ ดังนี้

3.6.3.2.5.1 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*) คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll *b*) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids)

บดใบผักสลัดปริมาณ 0.5 กรัม (ส่วนผสมระหว่างใบอ่อนและใบที่เติบโตเต็มที่) ในโกร่งบดด้วยไนโตรเจนเหลว เติมสารละลายอะซิโตน (acetone) ความเข้มข้น 80% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เทส่วนผสมทั้งหมดลงในหลอดสำหรับการปั่นเหวี่ยง ขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 4000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที หลังจากปั่นเหวี่ยงแล้วนำสารละลายส่วนใส ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ไปวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 470, 646.8 และ 663.2 นาโนเมตร จากนั้น คำนวณหาจากสมการปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและแคโรทีนอยด์จากสมการ ดังนี้

Chlorophyll *a* (C_a)	=	$12.25(A_{663.2}) - 2.79(A_{646.8})$
Chlorophyll *b* (C_b)	=	$27.50(A_{646.8}) - 5.10(A_{663.2})$
Carotenoids	=	$\frac{1000(A_{470}) - 1.82(C_a) - 85.02(C_b)}{198}$

(Kirk and Allen, 1965)

3.6.3.2.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล (phenolic content)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยการบดใบผักสลัดปริมาณ 2 กรัม (ส่วนผสมระหว่างใบอ่อนและใบที่เติบโตเต็มที่) ในโกร่งบดด้วยไนโตรเจนเหลว เติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 80% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเทส่วนผสมทั้งหมดลงในหลอดสำหรับการปั่นเหวี่ยง ขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 9000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที หลังจากปั่นเหวี่ยงแล้วนำสารละลายส่วนใส ปริมาตร 25 ไมโครลิตร ผสมกับ Follin-Ciocateu' s reagent 50% ปริมาตร 25 ไมโครลิตรและสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 2% ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดการดูดกลืนคลื่นแสง

ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร จากนั้น นำค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้ไปหาปริมาณสารประกอบฟีนอลจากกราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid

3.6.3.2.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอบิก (ascorbic acid)

วิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอบิก (ascorbic acid) ด้วยวิธี Dinitrophenylhydrazine (DNPH) โดยการบดใบผักสลัดปริมาณ 1 กรัม (ส่วนผสมระหว่างใบอ่อนและใบที่เติบโตเต็มที่)ในโกร่งบดด้วยไนโตรเจนเหลว เติมกรดเมทาฟอสฟอริก (metaphosphoric acid) ความเข้มข้น 6% ในกรดอะซีติก (acetic acid) ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเทส่วนผสมทั้งหมดลงในหลอดสำหรับการปั่นเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที หลังจากปั่นเหวี่ยงแล้วนำสารละลายส่วนใส ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DCIP ความเข้มข้น 2% ปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดผสมกับไธโอยูเรีย (thiourea) ความเข้มข้น 2% ในกรดกรดเมทาฟอสฟอริก ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 1 มิลลิลิตรและสารละลาย DNPH ความเข้มข้น 2% ในกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ความเข้มข้น 4.5 โมลาร์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วแช่เย็นทันทีพร้อมเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 90% ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร จากนั้น นำค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้ไปหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกจากกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก

3.6.3.2.5.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยหาร้อยละความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยบดใบผักสลัดปริมาณ 2 กรัม (ส่วนผสมระหว่างใบอ่อนและใบที่เติบโตเต็มที่) ในโกร่งบดด้วยไนโตรเจนเหลว เติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 80% ปริมาตร 10

มิลลิลิตร แล้วเทส่วนผสมทั้งหมดลงในหลอดสำหรับการปั่นเหวี่ยง ขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 9000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที หลังจากปั่นเหวี่ยงแล้วนำสารละลายส่วนใส ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 80% ปริมาตร 300 ไมโครลิตรและสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร จากนั้น คำนวณหาร้อยละความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระจากสมการ ดังนี้

$$\text{ร้อยละความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ} = \frac{(1 - \text{ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}) \times 100}{\text{ค่าดูดกลืนคลื่นแสงของสารละลาย DPPH}}$$

(Shin et al., 2007)

3.6.4 วิเคราะห์ดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนการปลูกและในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนฤดูปลูกที่หนึ่ง หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตในฤดูปลูกที่หนึ่งหรือก่อนปลูกฤดูที่สอง และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตในฤดูปลูกที่สอง

การเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกในฤดูที่หนึ่งเก็บตัวอย่างดินในชุดการทดลองควบคุม (control) ในแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทิน (CRR1) ในแปลงที่ 3, 4, 5 และ 6 การเก็บดินหลังฤดูปลูกที่หนึ่งหรือก่อนการปลูกฤดูที่สองเก็บตัวอย่างดินในชุดการทดลองควบคุม (control) ในแปลงที่ 1 และ 2 ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินจากฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในการปลูกฤดูที่สอง (CRR1) ในแปลงที่ 3 และ 4 ชุดการทดลองที่จะได้รับกากไคทินเพิ่มในฤดูปลูกที่สอง (CRR2 before 2nd CRR added) ในแปลงที่ 5 และ 6 และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2 after 2nd CRR added) ในแปลงที่ 5 และ 6

การเก็บตัวอย่างดินหลังปลูกในฤดูที่สองจะเก็บตัวอย่างดินในชุดการทดลองควบคุม (control) ในแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินเพียงฤดูปลูกเดียว (CRR1) ในแปลงที่ 3, 4 และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้ง 2 ฤดูปลูก (CRR2) ในแปลงที่ 5 และ 6

ดินที่วิเคราะห์มีการเก็บลักษณะฟันปลาแบบสุ่มทั้ง 6 แปลง แปลงละ 5 ถุง ถุงละ 5 จุด เก็บดินที่ความลึกจากผิวดิน 20 เซนติเมตร รวมน้ำหนักดินถุงละ 500 กรัม โดยเก็บใส่ถุงพลาสติก จากนั้นตากให้แห้ง บดจนเป็นผงละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรง จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ ธาตุอาหารหลักของพืช (N, P, K) โดยวัดไนโตรเจนโดยรวมด้วยวิธี Kjeldahl method (Bremner, 1965) วัดฟอสฟอรัสโดยวัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วย NH_4F และ HCl (Bray and Kurtz, 1945) วัดโพแทสเซียมโดยวัดโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ด้วย NH_4OAc (Jackson, 1958) วัดpH โดยใช้เครื่องวัด pH (Peech, 1965) วัดค่าความสามารถในการนำไฟฟ้า (electrical conductivity :EC) โดยใช้ 1:5 ดิน/น้ำ (Lee et al., 2004) และปริมาณสารอินทรีย์ (organic matter) โดยใช้วิธี Walkley and Black method (Nelson and Sommers, 1996) ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในดินวิเคราะห์ในชุดการทดลองละ 6 ซ้ำ (แปลงทดลองละ 3 ซ้ำ) การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม pH ค่าการนำไฟฟ้า และสารอินทรีย์ในชุดการทดลองละ 8 ซ้ำ (แปลงทดลองละ 4 ซ้ำ)

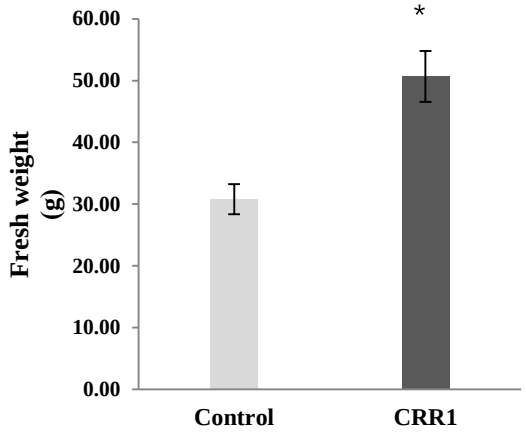
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่หนึ่ง

4.1.1 ผลของกากไคทินต่อน้ำหนักสดของผักกาดหอม

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 30.80 กรัม และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 50.66 กรัม โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 64.48% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.1) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทิน แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

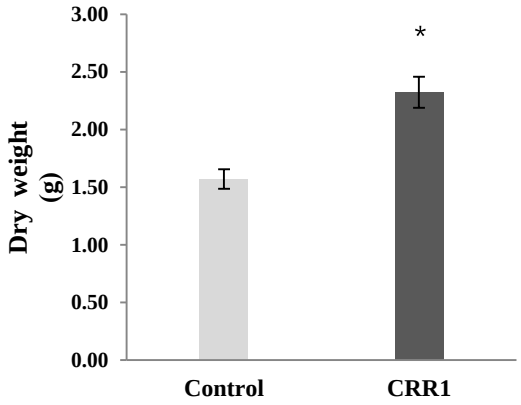


ภาพที่ 4.1 น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

***** หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.2 ผลของกากไคทินต่อน้ำหนักแห้งของผักกาดหอม

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 1.57กรัม และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินมีค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 กรัม โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 47.77% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.2) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทิน แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ควบคุมที่ไม่กากไคทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

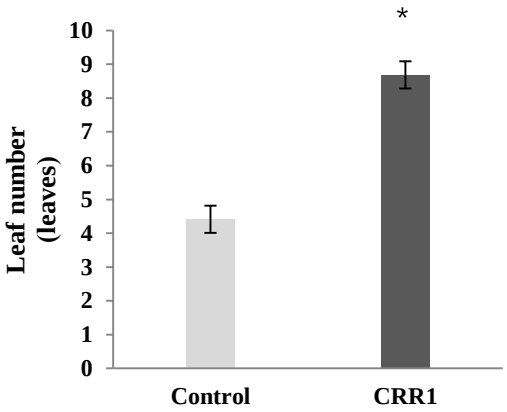


ภาพที่ 4.2 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.3 ผลของกากไคทินต่อจำนวนใบของผักกาดหอม

จากการทดลอง พบว่าผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินมีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 4.41ใบและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินมีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 8.69 ใบ โดยมีจำนวนใบเพิ่มขึ้น 97.05% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.3) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทิน แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

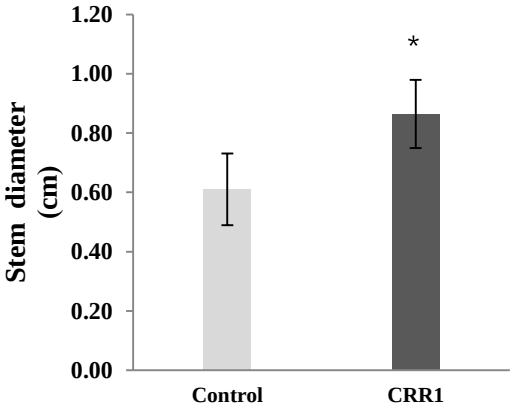


ภาพที่ 4.3 จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) และจำนวนใบเฉลี่ยของผักสลัดในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.4 ผลของกากไคทินต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักกาดหอม

จากการทดลอง พบว่าผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.61 เซนติเมตรและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.86เซนติเมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น 40.98% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.4) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทิน แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



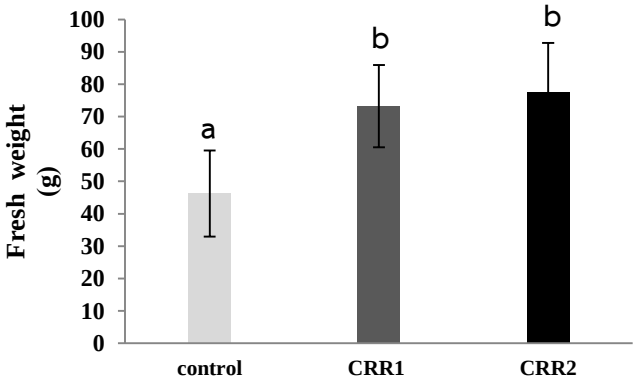
ภาพที่ 4.4 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

* หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2 ผลของกากไคทินต่อผลผลิตของผักกาดหอมฤดูปลูกที่สอง

4.2.1 ผลของกากไคทินต่อน้ำหนักสดของผักกาดหอม

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 42.24 กรัม ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 73.23 กรัม โดยมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 73.37% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 77.58 กรัม โดยมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 83.66% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.5) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินเพียงฤดูเดียวหรือทั้ง 2 ฤดูไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

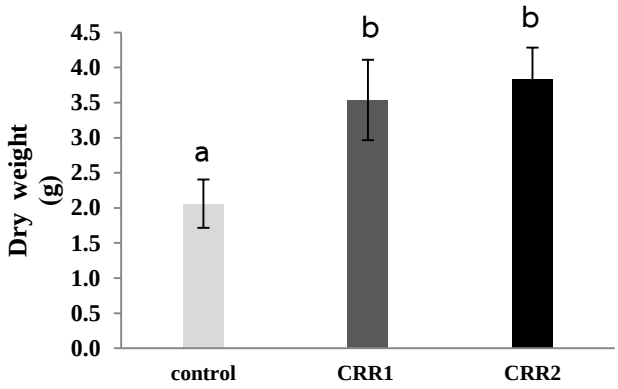


ภาพที่ 4.5 น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.2 ผลของกากไคทินต่อน้ำหนักสดของผักกาดหอม

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 2.06 กรัม ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 3.54 กรัม โดยมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 71.84% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 3.83 กรัม โดยมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 85.92% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.6) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินเพียงฤดูเดียวหรือทั้ง 2 ฤดูไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

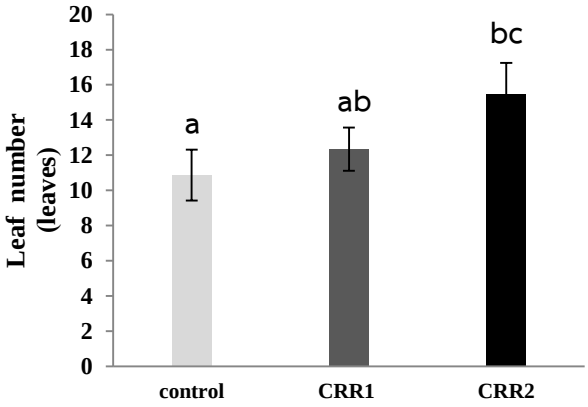


ภาพที่ 4.6 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.3 ผลของกากไคทินต่อจำนวนใบของผักกาดหอม

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 10.87 ใบ ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 12.34 ใบ โดยมีจำนวนใบเพิ่มขึ้น 13.52% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 15.46 ใบโดยมีจำนวนใบเพิ่มขึ้น 42.22% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.7) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตาม จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินเพียงฤดูเดียว (CRR1) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

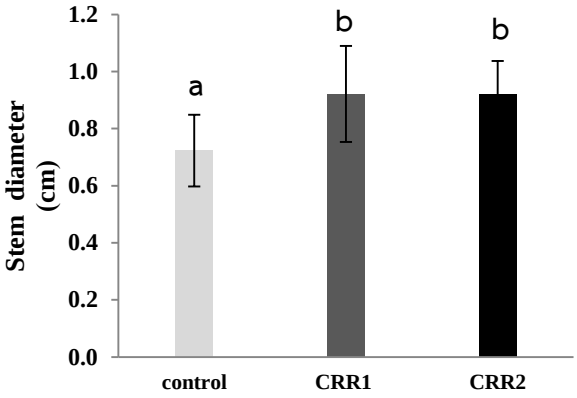


ภาพที่ 4.7 จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b, c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.4 ผลของกากไคทินต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักกาดหอม

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 เซนติเมตร ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 เซนติเมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น 27.78% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 เซนติเมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น 27.78% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.8) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของผักกาดหอมชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินเพียงฤดูเดียวหรือทั้ง 2 ฤดูไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

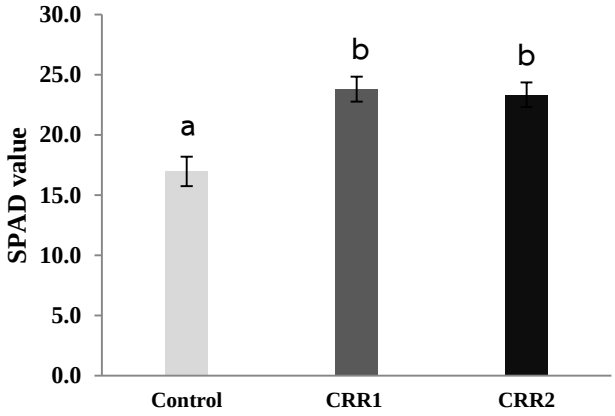


ภาพที่ 4.8 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.5 ผลของกากไคทินต่อค่าดัชนีความเขียวใบ (SPAD)

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีค่าดัชนีความเขียวเฉลี่ยเท่ากับ 19.96 ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีค่าดัชนีความเขียวเฉลี่ยเท่ากับ 23.80 โดยมีค่าดัชนีความเขียวเพิ่มขึ้น 19.24% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีค่าดัชนีความเขียวเฉลี่ยเท่ากับ 23.32 โดยมีค่าดัชนีความเขียวเพิ่มขึ้น 16.83% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.9) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า ดัชนีความเขียวของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ดัชนีความเขียวเฉลี่ยของผักกาดหอมชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินเพียงฤดูเดียวหรือทั้ง 2 ฤดูไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

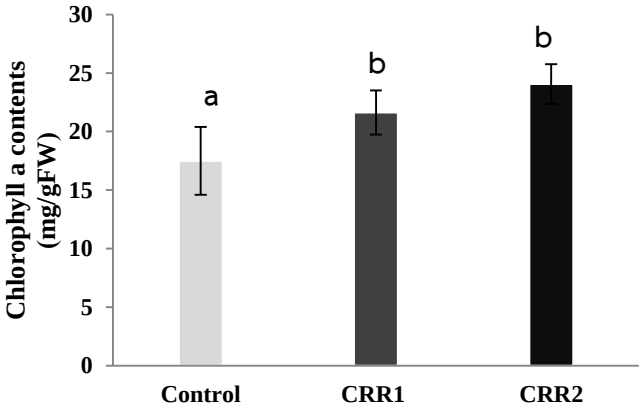


ภาพที่ 4.9 ค่าความเขียวเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.6 ผลของกากไคทินต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll *a*)

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยเท่ากับ 17.49 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยเท่ากับ 21.63 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้น 23.67% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยเท่ากับ 24.06 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้น 37.56% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.10) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

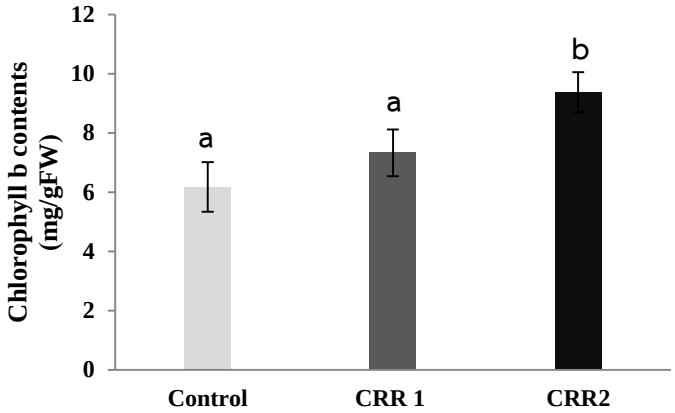


ภาพที่ 4.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.7 ผลของกากไคทินต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll *b*)

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเฉลี่ยเท่ากับ 6.17 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเฉลี่ยเท่ากับ 7.33 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มขึ้น 18.80% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเฉลี่ยเท่ากับ 9.37 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มขึ้น 51.86% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.11) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

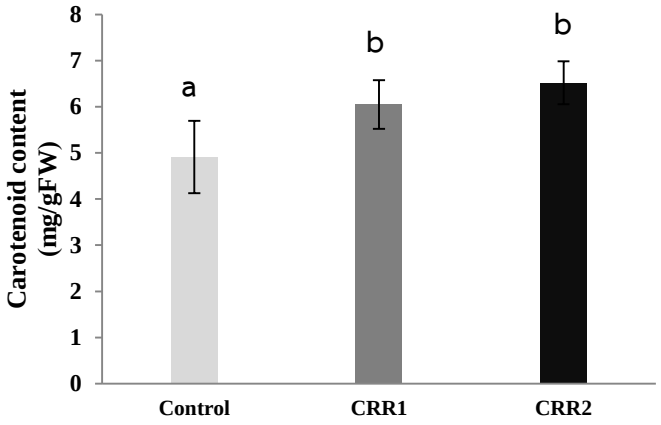


ภาพที่ 4.11 ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.8 ผลของกากไคทินต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids)

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ 4.91 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ 6.05 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดยมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น 23.22% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ 6.52 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดยมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น 32.79% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.12) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

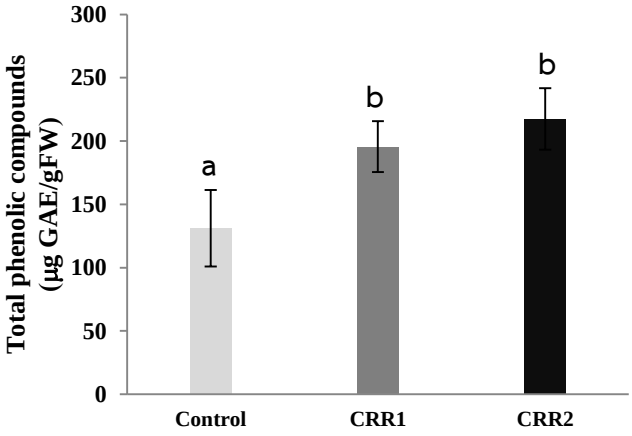


ภาพที่ 4.12 ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.9 ผลของกากไคทินต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล (total phenolic compounds)

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเฉลี่ยเท่ากับ 132.81 µg GAE/กรัมน้ำหนักสด ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเฉลี่ยเท่ากับ 192.03 µg GAE/กรัมน้ำหนักสด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น 44.59% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเฉลี่ยเท่ากับ 217.09 µg GAE/กรัมน้ำหนักสด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น 63.46% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.13) ทั้งนี้ การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลเป็นการเทียบชุดการทดลองกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

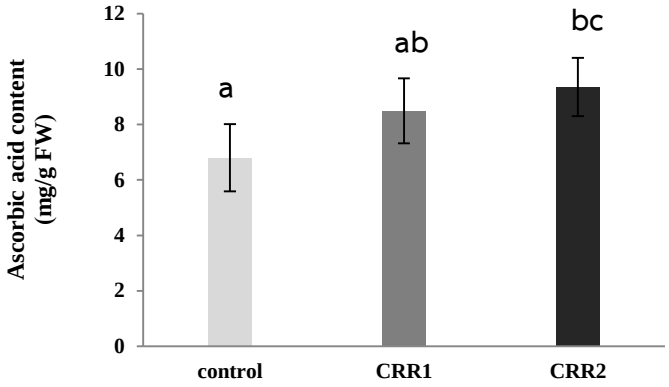


ภาพที่ 4.13 ปริมาณสารประกอบฟีนอลเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.10 ผลของกากไคทินต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเฉลี่ยเท่ากับ 6.80 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเฉลี่ยเท่ากับ 8.49 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดโดยมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น 24.85% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเฉลี่ยเท่ากับ 9.35 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดโดยปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น 37.50% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.14) ทั้งนี้การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเป็นการเทียบชุดการทดลองกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกแต่ไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

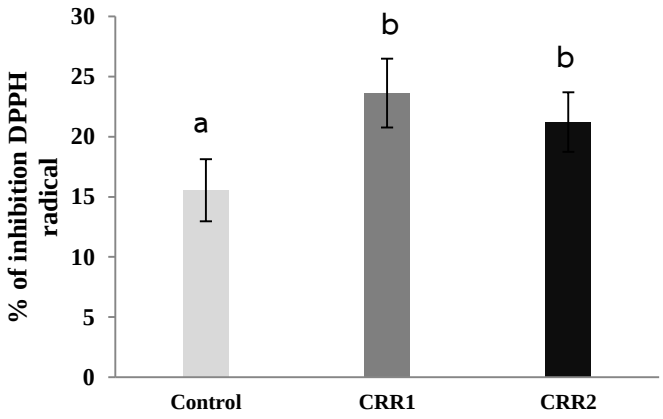


ภาพที่ 4.14 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.11 ผลของกากไคทินต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)

จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก มีร้อยละของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยเท่ากับ 15.54 ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) มีร้อยละของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยเท่ากับ 23.62 โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น 51.99% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) มีร้อยละของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยเท่ากับ 21.22 โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น 36.55% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 4.15) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.15 ร้อยละของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3 ผลการวิเคราะห์ดิน

จากการทดลองการวิเคราะห์สมบัติของดิน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าบ่งชี้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) สารอินทรีย์ (OM) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินก่อนการปลูกพืชในฤดูปลูกที่หนึ่ง แต่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสและสารอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ดินหลังการปลูกฤดูที่หนึ่งหรือก่อนปลูกฤดูที่สอง พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณฟอสฟอรัสและค่าการนำไฟฟ้า โดยพบความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินเพียงฤดูปลูกเดียว (CRR1) ชุดการทดลองที่จะได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR2 before 2nd CRR added) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้ง 2 ฤดูปลูก (CRR2 after 2nd CRR added) เปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น 34.03%, 43.64%, 90.13% ตามลำดับ ส่วนค่าการนำไฟฟ้าพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเพียงชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้ง 2 ฤดูปลูก (CRR2) เท่านั้น โดยค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 72.38% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม อีกทั้งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า pH หลังการปลูกฤดูที่สอง อย่างไรก็ตาม พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ

ปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ปริมาณสารอินทรีย์ และค่าการนำไฟฟ้าของดินหลังการปลูกฤดูที่สองจากชุดการทดลองควบคุม โดยพบว่า ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูกมีปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สารอินทรีย์ และค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากชุดการทดลองควบคุม 153.33%, 166.42%, 82.67%, 53.62% และ 111.54% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีของดิน ก่อนปลูกฤดูที่หนึ่ง หลังปลูกฤดูที่หนึ่ง และหลังปลูกฤดูที่สอง

Crop	Treatment	pH	EC ($mS\ cm^{-1}$)	OM (%)	Total N (%)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)
Before planting	Control	7.7 ± 0.15^{ns}	0.46 ± 0.13^{ns}	3.41 ± 0.18^{ns}	0.27 ± 0.01^{ns}	187 ± 63^{ns}	1091 ± 231^{ns}
	CRR1	7.7 ± 0.12^{ns}	0.43 ± 0.17^{ns}	4.77 ± 0.12^{ns}	0.25 ± 0.07^{ns}	357 ± 95^{ns}	1048 ± 256^{ns}
After harvesting the first crop	Control	6.9 ± 0.14^{ns}	1.05 ± 0.24^{a}	6.39 ± 0.29^{ns}	0.37 ± 0.05^{ns}	385 ± 56^{a}	1292 ± 186^{ns}
	CRR1	6.8 ± 0.12^{ns}	0.93 ± 0.20^{a}	6.43 ± 0.35^{ns}	0.46 ± 0.09^{ns}	516 ± 39^{b}	1253 ± 252^{ns}
	CRR2 (before 2nd CRR added)	6.8 ± 0.42^{ns}	1.02 ± 0.28^{a}	6.99 ± 0.42^{ns}	0.43 ± 0.02^{ns}	553 ± 51^{b}	1303 ± 216^{ns}
	CRR2 (after 2nd CRR added)	6.8 ± 0.47^{ns}	1.81 ± 0.43^{b}	7.78 ± 0.37^{ns}	0.49 ± 0.05^{ns}	732 ± 62^{b}	1335 ± 156^{ns}
After harvesting the second crop	Control	6.7 ± 0.15^{ns}	0.52 ± 0.06^{a}	3.73 ± 0.69^{a}	0.15 ± 0.02^{a}	137 ± 42^{a}	531 ± 69^{a}
	CRR1	7.0 ± 0.36^{ns}	0.43 ± 0.16^{a}	3.40 ± 0.65^{a}	0.16 ± 0.03^{a}	145 ± 37^{a}	526 ± 38^{a}
	CRR2	6.4 ± 0.50^{ns}	1.10 ± 0.19^{b}	5.73 ± 0.44^{b}	0.38 ± 0.05^{b}	365 ± 64^{b}	970 ± 56^{b}

$^{a, b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test) DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น (95%

CRR2)before 2nd CRR added(หมายถึง ดินในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งหลังเก็บเกี่ยวก่อนได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง

CRR2)after 2nd CRR added(หมายถึง ดินในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งและได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง

บทที่ 5
อภิปรายผลการทดลอง

ไคทินเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เป็นอันตรายต่อทางเดินอาหารของสัตว์ และไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป ส่งผลให้ไคทินมีความลำบากในการนำมาใช้ในกระบวนการทางเคมีและบ่งบอกลักษณะต่าง ๆ (Austin, 1984) อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ สามารถอธิบายลักษณะสัณฐานวิทยาของไคทินว่าอยู่ในรูปของของแข็งและมีทั้งโครงสร้างที่เป็นแอลฟาไคทินและบีตาไคทิน (Rudall and Kenchington, 1973) ไคทินสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งลักษณะเส้นใย ฟิล์ม ผง และฟองน้ำ (Yusof et al., 2003) การเตรียมสารอนุพันธ์ของไคทินในรูปต่าง ๆ ทำให้ไคทินสามารถละลายในของเหลวได้ หากไคทินเกิดกระบวนการ deacetylation เกิน 50% ทำให้ไคทินละลายในตัวทำละลายได้ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของไคทินที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ โดยขึ้นอยู่กับชนิดของไคทินในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ (Aiba, 1991) นอกจากนี้ไคทินยังเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ อีกทั้งไคทินยังนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยทำหน้าที่ต่อต้านแบคทีเรีย ยับยั้งกิจกรรมของรา (Rupley, 1964) ส่งเสริมการผลิตเอนไซม์ chitnase ของแบคทีเรียในดิน (Sashiwa et al., 1990) ยับยั้งการบุกรุกของหนอนตัวกลมและเชื้อก่อโรค รวมถึงส่งเสริมความหลากหลายของจุลชีพในดิน เพิ่มธาตุอาหารพืชในดิน (Cretoiu et al., 2014) นอกจากนี้การนำไคทินไปผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ทำให้เกิดสารอนุพันธ์ที่เรียกว่า ไคโทซาน ซึ่งสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายต่าง ๆ และงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่า ไคโทซาน (Aiba, 1991) ทำหน้าที่ส่งเสริมผลผลิตของพืช โดยเป็นสารกระตุ้นการเติบโต ชักนำการป้องกันตนเองผ่านกิจกรรมของเอนไซม์ กระตุ้นการทำงานของของพืชหลากหลายชนิด อย่างไรก็ตาม วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตไคโทซานที่เรียกว่า กากไคทิน (chitin-rich residue) ยังได้นำมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตและการเติบโตของพืช ได้แก่ ข้าว (Kananont et al., 2016) ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดและเรดโอ๊ค (Muymas et al., 2015)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งต่อผลผลิตของผักกาดหอมในฤดูปลูกที่สอง โดยกากไคทินที่ใช้ในการทดลองได้มาจากการหมัก *Bacillus licheniformis* strain SK-1 กับไคทิน (Kudan and Pichyangkura, 2009) Muymas et al. (2015) ได้นำกากไคทินที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมาใช้เพิ่มผลผลิตผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดและเรดโอ๊ค พบว่า กากไคทินช่วยส่งเสริมให้ผักสลัดทั้งสองพันธุ์มีผลผลิตมากขึ้นรวมถึงทำให้สมบัติทางเคมีของดินดีขึ้น ซึ่งคาดว่ากากไคทินทำหน้าที่ทั้งเพิ่มธาตุอาหารในดินและกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช และทำให้ผักสลัดมีการดูดซึมธาตุอาหารได้มากขึ้น ตลอดจนส่งเสริมให้ผักสลัดมีลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการเปลี่ยนแปลง

ไป อย่างไรก็ตาม การใช้กากไคทินในการเพิ่มผลผลิตของผักสลัดในแปลงปลูกของเกษตรกรที่ทดลองปลูก 2 ฤดูปลูกได้มีการเติมกากไคทินเพิ่มในวัสดุปลูกในแปลงก่อนปลูกผักสลัดในฤดูที่ 2 ด้วย ซึ่งกากไคทินที่เติมในฤดูแรกอาจยังหลงเหลืออยู่ในดินและผลของกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งต่อการเติบโตของผักสลัดในฤดูที่สองยังไม่มีการศึกษา โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งศึกษาผลของกากไคทินที่คงเหลือจากการปลูกฤดูที่หนึ่งต่อผลผลิตของผักกาดหอมในฤดูปลูกที่สอง

จากการทดลองใช้กากไคทินเพื่อเป็นวัสดุเสริมสร้างธาตุอาหารและส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอม โดยกากไคทินที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการหมักไคทินบริสุทธิ์จากเปลือกกุ้งกับ *B. licheniformis* strain SK-1 ซึ่งแตกต่างจาก Muymas et al. (2015) ที่ใช้กากไคทินที่ได้จากการหมักกระดองปู พบว่า กากไคทินที่เติมในดินสามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สารอินทรีย์และค่าการนำไฟฟ้าในดินมากกว่าชุดการทดลองควบคุม ส่งเสริมให้ผักกาดหอมมีปริมาณผลผลิตมากกว่าชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่ได้รับกากไคทิน ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบต่อต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นทั้งในฤดูปลูกที่หนึ่งและฤดูปลูกที่สอง อีกทั้งสามารถส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของดัชนีความเขียว (SPAD) คลอโรฟิลล์เอ แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลรวม กรดแอสคอร์บิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกกว่าการใช้เฉพาะปุ๋ยคอกในการเพาะปลูกในฤดูปลูกที่สอง ทั้งชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งและชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก ยกเว้นปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่มากขึ้นเฉพาะชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก

ดินที่ได้รับกากไคทินหลังการเก็บเกี่ยวในฤดูปลูกที่สองมีปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าการนำไฟฟ้าและสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า กากไคทินสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของผักสลัดได้มากกว่าดินที่ไม่ได้รับกากไคทิน ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากการย่อยสลายกากไคทินโดยจุลินทรีย์ในดินซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหารจากไคทินสู่ดินมากกว่าดินที่ไม่ได้รับกากไคทิน เนื่องจากการใส่ไคทินในดินช่วยส่งเสริมความหลากหลายของจุลชีพในดิน (Cretoiu et al., 2014) อีกทั้งรายงานของ Muymas (2014) พบว่า ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คที่ปลูกในดินที่ได้รับกากไคทินแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรจุลชีพที่สามารถย่อยสลายไคทินให้เป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะต่อการเติบโตของพืชได้ นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ในดินยังทำให้ดินมีสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพที่เหมาะสำหรับการเติบโตของพืช และมีส่วนในการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity) ของดินซึ่งส่งเสริมให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ (Farooq et al**.,** 2014) และรายงานของ Muymas et al. (2015) ยังพบว่า ดินที่ได้รับกากไคทินมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและสารอินทรีย์มากกว่าชุดการทดลองควบคุม ในทำนองเดียวกับรายงานของ Kananont et al. (2016) พบว่า ดินที่ได้รับกากไคทินมีค่า pH ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารอินทรีย์มากกว่าชุดการทดลองควบคุม

งานวิจัยนี้พบว่าดินที่ได้รับกากไคทินเพียงฤดูปลูกเดียวมีปริมาณธาตุอาหารดังกล่าวไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมในการปลูกฤดูที่สอง แต่ปริมาณธาตุอาหารลดลงมากหลังจากปลูกผักสลัดไปแล้วสองฤดูในดินที่ไม่มีการเติมกากไคทินในฤดูที่สอง และยังคงทำให้ผลผลิตของผักกาดหอมไม่แตกต่างจากชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก แสดงให้เห็นว่า กากไคทินที่คงเหลือในดินหลังจากการปลูกผัก 1 ฤดูนั้นเพียงพอสำหรับการปลูกผักได้อีกหนึ่งฤดูคือฤดูปลูกที่สอง ดังนั้นการปลูกผักกาดหอมในฤดูปลูกที่สามหรือฤดูปลูกถัดไปควรมีการเติมกากไคทินเพิ่มเพื่อช่วยส่งเสริมการเติบโตของผักกาดหอมให้เทียบเท่ากับการปลูกในครั้งที่หนึ่งหรือครั้งที่สอง อนึ่ง ปริมาณสารอาหารดังกล่าวหลังการปลูกผักในฤดูที่หนึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากดินก่อนปลูกฤดูที่หนึ่ง ทั้งนี้ อาจเกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายกากไคทินเพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารสู่ดินของจุลินทรีย์ดำเนินไปในอัตราที่ต่ำ ประกอบกับปริมาณธาตุอาหารในดินถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายปัจจัย เช่น การจัดการทางการเกษตร จุลินทรีย์ในดิน สมบัติของดิน และปริมาณน้ำ (Griffin et al., 2007) จึงทำให้กากไคทินค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารซึ่งมีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของพืช และยังคงเหลือสำหรับการปลูกในฤดูถัดไป

ผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินมีปริมาณผลผลิตมากกว่าผักกาดหอมที่ไม่ได้รับกากไคทินซึ่งอาจเป็นผลจากการใส่ไคทินในดินทำให้พืชสามารถต่อต้านเชื้อก่อโรคและหนอนตัวกลมได้ดีขึ้น (Cretoiu et al., 2014) หรือส่งเสริมจุลชีพที่เป็นประโยชน์ในดินให้เกิดการย่อยสลายกากไคทินเพื่อเป็นแหล่งอาหารของพืชได้มากขึ้น (Muymas, 2014) การเพิ่มขึ้นของผลผลิตของผักกาดหอมในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของ Muymas et al. (2015) พบว่า กากไคทินสามารถเพิ่มปริมาณน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮดมากกว่าชุดการทดลองควบคุมในทำนองเดียวกับรายงานของ Kananont et al. (2016) พบว่า กากไคทินส่งเสริมให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีผลผลิตเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำไคโทซานซึ่งเป็นสารอนุพันธ์จากการหมักไคทินมาช่วยในการเติบโตของผลผลิตพืชอย่างแพร่หลาย ดังรายงานของ Chibu and Shibayama (1999) พบว่าไคโทซานความเข้มข้น 0.1 และ 0.5% ทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวเพิ่มมากกว่าชุดการทดลองควบคุม และ Luan et al. (2005) รายงานว่า การใช้ไคโทซานที่ความเข้มข้น 20 ppm สามารถเพิ่มน้ำหนักสดของถั่วเหลืองได้มากกว่าปกติ 15.5% และในข้าวบาร์เลย์มากกว่าปกติ 15%-30% หรือรายงานของ Chibu and Shibayama (1999) พบว่า การใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.1% สามารถกระตุ้นการเติบโตและเพิ่มปริมาณผลลิตของผักสลัดได้ ทั้งนี้ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการที่ไคโทซานช่วยในการชักนำให้พืชมีการสร้างฮอร์โมนจิบเบอเรลลินมากขึ้น และส่งเสริมให้พืชมีการเติบโตที่ดีโดยเป็นสัญญาณในบางวิถีของการสังเคราะห์ฮอร์โมนออกซิน (Coqueiro et al., 2015) อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลผลิตที่มากขึ้นของผักสลัดที่ได้รับกากไคทิน ได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนัก

แห้ง อาจเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตทางลำต้นซึ่งวัดได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Ohta et al. (2004) รายงานว่า ไคโทซานความเข้มข้น 1% โดยมวลต่อมวลในดินปลูกทำให้ต้นไลเซนทัส (*Eustoma grandiflorum*) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น น้ำหนักดอกและจำนวนดอกมากกว่าชุดการทดลองควบคุม และจำนวนใบที่เพิ่มมากขึ้น (Abu-Muriefah, 2013) พบว่า ไคโทซานความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถช่วยเพิ่มจำนวนใบต่อต้นของถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris* L.) รายงานของ Prasertsongskun and Purong (2014) พบว่า กล้วยไม้เอื้องเงินหลวงที่ได้รับไคโทซานปริมาตร 5–40 มิลลิกรัมต่อลิตรมีจำนวนราก ความสูง จำนวนหน่อและจำนวนใบสูงกว่าชุดการทดลองปกติ อีกทั้งไคโทซานยังสามารถเพิ่มจำนวนใบของกระเจี๊ยบมอญ (*Hibiscs esculentus* L.) ได้มากกว่าชุดการทดลองควบคุม (Mondal et al., 2012)

ผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินมีรงควัตถุสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ ตลอดจนทำให้ดัชนีความเขียวเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนในดินที่ได้รับกากไคทินมีส่วนสำคัญทำให้มีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ของพืช ดังรายงานของ Wang et al. (2014) และ Zubia et al. (2014) พบว่า ไนโตรเจนทำให้ระดับของรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและสาหร่ายเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ตลอดจนส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ จากการศึกษายังพบว่าดินที่ได้รับกากไคทินมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในดินมีส่วนส่งเสริมให้ผักกาดหอมมีการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นโดยฟอสฟอรัสมีส่วนสำคัญในการส่งเสริมการสังเคราะห์ ATP จากปฏิกิริยาแสง โดย ATP เป็นสารสำคัญในการสังเคราะห์ RuBP ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการรวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ (Lin et al., 2009) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสในดินทำหน้าที่ส่งเสริมการสังเคราะห์สารพันธุกรรมซึ่งมีผลต่อการควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน เป็นสารสำคัญในการแบ่งเซลล์และเติบโตของเนื้อเยื่อใหม่ (Raven, 2013)

การเพิ่มขึ้นของรงควัตถุที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสงจากการที่พืชได้รับกากไคทินนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kananont et al. (2016) รายงานว่า กากไคทินส่งเสริมให้ข้าวมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของรงควัตถุสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ อีกทั้งรายงานของ Muymas (2014) พบว่า กากไคทินส่งเสริมให้ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของรงควัตถุสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ การเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมยังส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและเกี่ยวของกับการควบคุมน้ำ (Farooq et al., 2014) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปิดเปิดของปากใบ (stomatal conductance) ดังรายงานของ Muymas (2014) พบว่า กากไคทินส่งเสริมให้ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีค่าการปิดเปิดปากใบเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้ไคโทซานซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของไคทินที่มีผลต่อรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างแพร่หลาย ดังรายงานของ Salachna and Zawadzińska (2014) พบว่าไคโทซานมวลโมเลกุล 50 kDa และ 970 kDa สามารถเพิ่มดัชนีความเขียว (SPAD) ของฟรีเซีย ‘Gompey’ ได้มากกว่าชุดการทดลองควบคุม 13.4% และ Dzung et al. (2011) ยังพบว่า ต้นกล้ากาแฟที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยไคโทซานมวลโมเลกุล 2 kDa สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ได้มากกว่าชุดการทดลองควบคุม 15.36% ในแปลงปลูกและมากกว่า 46.38–73.5% ในเรือนกระจก อีกทั้ง Limpanavech et al. (2008) รายงานว่า ไคโทซานสามารถกระตุ้นการทำงานของ chloroplast gene ซึ่งทำให้มีการสร้างสารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์มากกว่าปกติและส่งเสริมให้คลอโรพลาสต์มีขนาดใหญ่และยาวขึ้นในกล้วยไม้สกุล *Dendrobium* ในทำนองเดียวกับรายงานของ Chibu and Shibayama (1999) พบว่า การใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.1% - 0.5% ในการปลูกผักสลัด ถั่วเหลือง ข้าว และมะเขือเทศสามารถกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของปริมาณคลอโรฟิลล์ทำให้พืชดังกล่าวมีสีเขียวเข้มมากกว่าชุดการทดลองควบคุม อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชที่ได้รับไคโทซานอาจเป็นผลมาจากความสามารถของไคโทซานในการส่งเสริมการดูดซึมธาตุอาหารของพืช ดังมีในรายงานของ Van et al. (2013) ซึ่งทดลองในต้นกล้ากาแฟ โดยใช้ไคโทซานมวลโมเลกุล 600 kDa พบว่า ต้นกล้ากาแฟมีปริมาณไนเตรท ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพิ่มมากกว่าชุดการทดลองปกติ 9.8-27.4%, 17.3-30.4% และ 30-45% ตามลำดับ

ผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าผักกาดหอมที่ไม่ได้รับกากไคทินซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Muymas et al. (2015) ที่รายงานว่า ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮดที่ได้รับกากไคทินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของสารประกอบฟีนอลจากชุดการทดลองควบคุม

การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลในงานวิจัยนี้อาจเป็นผลมาจากไคโทซานซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของไคทินมีส่วนในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonium lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล (Camm and Towers, 1973) นอกจากนี้ยังมีรายงานการนำไคโทซานมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลในพืชอย่างแพร่หลาย ดังรายงานของ Bautista-Banos et al. (2006) พบว่า ไคโทซานสามารถกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลในกล้วยไม้ ในทำนองเดียวกับ Singh et al. (1999) รายงานว่า การใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรสามารถกระตุ้นให้ผักโขมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าชุดการทดลองควบคุมและรายงานของ Kim et al. (2007) พบว่า ไคโทซานสามารถกระตุ้นให้ผักสลัดพันธุ์ Romaine มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าปกติ และไคโทซาน 0.1% สามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลในโหระพามากกว่าชุดการทดลองควบคุม (Kim et al., 2005) ซึ่งสอดคล้องกับ Köhle et al. (1984) พบว่า ไคโทซานที่ความ

Chulalongkorn University

เข้มข้นต่ำ ๆ สามารถชักนำให้เซลล์ถั่วเหลืองและใบมะเขือเทศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าชุดการทดลองควบคุมหรือรายงานของ Srisornkompon et al. (2014) พบว่า ไคโทซานมวลโมเลกุล 8,000 Da ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถชักนำให้ใบอ่อนของชา (*Camellia sinensis*) มีการสะสมสารประกอบฟีนอลมากกว่าชุดการทดลองควบคุม 16% นอกจากนี้ สารประกอบฟีนอลยังเป็นสารที่พืชใช้ป้องกันตนเองจากการบุกรุกของเชื้อก่อโรคและภาวะเครียด ดังนั้นผักสลัดที่ได้รับกากไคทินมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลที่มากกว่าผักสลัดที่ไม่ได้รับกากไคทินซึ่งชักนำให้พืชมีความสามารถต้านทานต่อเชื้อก่อโรคและต้านทานต่อภาวะเครียดได้ดีกว่า รวมทั้งยังส่งผลถึงการเจริญเติบโตที่ดีและส่งเสริมให้พืชมีผลผลิตมากขึ้น (Cantos et al., 2003)

ผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกมากขึ้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Muymas et al. (2015) รายงานว่า ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮดที่ได้รับกากไคทินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณกรดแอสคอร์บิกจากชุดการทดลองควบคุมอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเปลี่ยนแปลงด้วย (Liu et al., 2007)

อย่างไรก็ตาม จากผลงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการศึกษาผลของไคโทซานที่เป็นสารอนุพันธ์ของไคทินต่อปริมารกรดแอสคอร์บิกของพืชอย่างแพร่หลาย ดังรายงานของ No et al. (2003) พบว่าเมล็ดถั่วเหลืองที่แช่ด้วยไคโทซานความเข้มข้น 0.05% มวลโมเลกุล 493 kDa เป็นเวลา 8 ชั่วโมงช่วยเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกในต้นกล้าถั่วเหลืองมากกว่าชุดการทดลองควบคุม 14% นอกจากนี้การฉีดพ่นไคโทซานความเข้มข้น 800 ppm บริเวณใบช่วยเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผลโทงเทงฝรั่ง (Kamal and Ghanem, 2011) อีกทั้งการฉีดพ่นไคโทซานความเข้มข้น 0.05% บริเวณใบทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นในพริกหยวก (Ghoname et al., 2010) แตงกวา (Farouk et al., 2008) สตรอวเบอรี (Abdel-Mawgoud et al., 2010) การใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.1% ช่วยเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกในมะเขือเทศ (Jabnoun-Khiareddine et al**.,** 2015) นอกจากนี้ Pérez-Balibrea et al. (2011) พบว่า ไคโทซานความเข้มข้น 0.01% ชักนำให้บร็อคโคลีเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกมากขึ้น 54% และ 44% เมื่อฉีดพ่นไคโทซานให้กับต้นบร็อคโคลีเป็นเวลา 5 และ 7 วัน ตามลำดับ

ผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผักกาดหอมที่ไม่ได้รับกากไคทินจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Muymas et al. (2015) รายงานว่า ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮดที่ได้รับกากไคทินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากชุดการทดลองควบคุม นอกจากนี้ งานวิจัยนี้พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณสารประกอบฟีนอล กรดแอสคอร์บิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักกาดหอมที่ได้รับกากไค

ทินซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Muymas et al. (2015) อาจเนื่องมาจากความหลากหลายทางสายพันธุ์ ชนิด และสีของผักสลัด (Liu et al., 2007)

อย่างไรก็ตาม จากผลงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการศึกษาผลไคโทซานที่เป็นสารอนุพันธ์ของไคทินต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกของพืชอย่างแพร่หลาย ดังรายงานของ Kim et al. (2005) พบว่า ไคโทซานสามารถกระตุ้นให้โหระพา (*Ocimum basillicum* L.) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าโหระพาชุดการทดลองควบคุมในทำนองเดียวกับ Singh et al. (1999) รายงานว่า การใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรสามารถกระตุ้นให้ผักโขมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าชุดการทดลองควบคุม ในงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในทำนองเดียวกันระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินสอดคล้องกับรายงานของ Pongprayoon et al. (2013) พบว่า ไคโทซานสามารถชักนำให้พืชมีการป้องกันตนเองผ่านสัญญาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งไคโทซานทำหน้าที่ส่งเสริมให้พืชมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเนื่องจากการมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มมากขึ้น (Lim et al., 2013) และรายงานของ Parr and Bolwell (2000) พบว่า สารประกอบฟีนอลเป็นสารประกอบหลักที่สำคัญที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

ผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินมีการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตมากกว่าผักกาดหอมที่ไม่ได้รับกากไคทิน ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบต่อต้น นอกจากนี้ ผักสลัดที่ได้รับกากไคทินยังมีลักษณะทางสรีรวิทยาแตกต่างจากชุดการทดลองควบคุม ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ ดัชนีความเขียว สารประกอบฟีนอล กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า กากไคทินที่ได้รับในฤดูปลูกที่หนึ่งยังคงเหลืออยู่ในดินหลังจากการปลูกพืชไปแล้ว 1 ฤดูและมีปริมาณเพียงพอส่งผลต่อการเติบโตของผักกาดหอมในฤดูปลูกที่สองได้ จึงทำให้ผักกาดหอมในฤดูปลูกที่สองที่ไม่ได้รับกากไคทินมีการเติบโตและผลผลิตที่ไม่แตกต่างจากผักกาดหอมที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Aam, B. B., Heggset, E. B., Norberg, A. L., Sørlie, M., Vårum, K. M. and Eijsink, V. G. H. 2010. Production of chitooligosaccharides and their potential applications in medicine. *Marine drugs* 8 (5): 1482-1517.

Abdel-Mawgoud, A. M. R., Tantawy, A. S., El-Nemr, M. A. and Sassine, Y. N. 2010. Growth and yield responses of strawberry plants to chitosan application. *European Journal of Scientific Research* 39 (1): 161.

Abu-Muriefah, S. S. 2013. Effect of chitosan on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown under water stress conditions. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 3 (6): 192-199.

Aiba, S. I. 1991. Studies on chitosan: 3. Evidence for the presence of random and block copolymer structures in partially *N*-acetylated chitosans. *International journal of biological macromolecules* 13 (1): 40-44.

Alasalvar, C., Grigor, J. M., Zhang, D., Quantick, P. C. and Shahidi, F. 2001. Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (3): 1410-1416.

Alkema, J. and Seager, S. L. 1982. The chemical pigments of plants. *Journal of Chemical Education* 59 (3): 183.

Arora, N., Sachdev, B., Gupta, R., Vimala, Y. and Bhatnagar, R. K. 2013. Characterization of a chitin-binding protein from *Bacillus thuringiensis* HD-1. *PloS one* 8 (6): e66603.

Austin, P. R. 1984. Chitin solvents and solubility parameters. *Chitin, Chitosan, and Related Enzymes*: 57-75.

Aziz, A., Trotel-Aziz, P., Dhuicq, L., Jeandet, P., Couderchet, M. and Vernet, G. 2006. Chitosan oligomers and copper sulfate induce grapevine defense reactions and resistance to gray mold and downy mildew. *Phytopathology* 96 (11): 1188-1194.

Bai, R. K., Huang, M. Y. and Jiang, Y. Y. 1988. Selective permeabilities of chitosan-acetic acid complex membrane and chitosan-polymer complex membranes for oxygen and carbon dioxide. *Polymer bulletin* 20 (1): 83-88.

Bartnicki-Garcia, S. and Lippman, E. 1982. *Fungal cell wall composition* 2nd ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC press.

Bashan, M. and Bashan, L. E. 2010. The plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth-critical assessment. *Advance Agronomy* 108: 77-136.

Baslam, M., Morales, F., Garmendia, I. and Goicoechea, N. 2013. Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed as salads. *Scientia Horticulturae* 151: 103-111.

Bautista-Banos, S., Hernandez, A. N., Velazquez-del Valle, M. G., Hernandez-Lopez, M., Ait Barka, E., Bosquez-Molina, E. and Wilson, C. L. 2006. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection* 25: 108-118.

Boonlertnirun, S., Boonraung, C. and Suvanasara, R. 2017. Application of chitosan in rice production. *Journal of metals, materials and minerals* 18 (2).

Boßelmann, F., Romano, P., Fabritius, H., Raabe, D. and Epple, M. 2007. The composition of the exoskeleton of two crustacea: The American lobster *Homarus americanus* and the edible crab *Cancer pagurus*. *Thermochimica Acta* 463 (1): 65-68.

Brady, N. C. and Weil, R. R. 2008. Soil colloids: seat of soil chemical and physical acidity. In N. C. Brady and R. R. Weil (Eds.), *The Nature and Properties of Soils* pp. 311-358. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education Inc.

Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews* 56 (11): 317-333.

Bray, R. H. and Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science* 59 (1): 39-46.

Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. In C. A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis* pp. 1149-1178. Madison: American Society of Agronomy.

Caldwell, C. R. and Britz, S. J. 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (Lactuca sativa L.) cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 19 (6): 637-644.

Camm, E. L. and Towers, G. H. N. 1973. Phenylalanine ammonia lyase. *Phytochemistry* 12 (5): 961-973.

Cantos, E., Espín, J. C., Fernández, M. J., Oliva, J. and Tomás-Barberán, F. A. 2003. Postharvest UV-C-irradiated grapes as a potential source for producing stilbene-enriched red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (5): 1208-1214.

Castro, S. P. M. and Paulín, E. G. L. 2012. Is chitosan a new panacea, area of application. In D. N. Karunaratne (Ed.), *The complex world of polysaccharides*. Riceka, Croatia: InTech.

Chibu, H. and Shibayama, H. 1999. Effects of chitosan applications on the early growth of several crops. *Report of Kyushu Branch of the Crop Science Society of Japan* 65: 83-87.

Choi, Y., Lee, S. M., Chun, J., Lee, H. B. and Lee, J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food chemistry* 99 (2): 381-387.

Coqueiro, D. S. O., de Souza, A. A., Takita, M. A., Rodrigues, C. M., Kishi, L. T. and Machado, M. A. 2015. Transcriptional profile of sweet orange in response to chitosan and salicylic acid. *BMC Genomics* 16 (1): 288.

Cretoiu, M. S., Kielak, A. M., Schluter, A. and van Elsas, J. D. 2014. Bacterial communities in chitin-amended soil as revealed by 16S rRNA gene based pyrosequencing. *Soil Biology and Biochemistry* 76: 5-11.

Doares, S. H., Syrovets, T., Weiler, E. W. and Ryan, C. A. 1995. Oligogalacturonides and chitosan activate plant defensive genes through the octadecanoid pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92 (10): 4095-4098.

Dzung, N. A., Khanh, V. T. P. and Dzung, T. T. 2011. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. *Carbohydrate Polymers* 84 (2): 751-755.

Eds Satyavati, G. V., Raina, M. K. and Sharma, M. 1976. Medicinal plants of India Indian council of medical research. *New Delhi* 4.

El-Tanahy, A. M. M., Mahmoud, A. R., Abde-Mouty, M. M. and Ali, A. H. 2012. Effect of chitosan doses and nitrogen sources on the growth, yield and seed quality of cowpea. *Austrialian Journal of Basic and Applied Sciences* 6: 115-121.

FAO. 1999. Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.

Farooq, M., Hussain, M. and Siddique, K. H. M. 2014. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Sciences* 33 (4): 331-349.

Farouk, S., Ghoneem, K. M. and Ali, A. A. 2008. Induction and expression of systemic resistance to Downy Mildew disease in cucumber by elicitors. *Egypt Journal of Phytopathology* 36: 95-111.

Garcia, E. J., Oldoni, T. L. C., Alencar, S. M., Reis, A., Loguercio, A. D. and Grande, R. H. M. 2012. Antioxidant activity by DPPH assay of potential solutions to be applied on bleached teeth. *Brazilian dental journal* 23 (1): 22-27.

Gatot, T. R. 2008. Development of radiation degraded chitosan as plant growth promoter and its economic evaluation. *Proceedings of the FNCA 2007 Workshop on Application of Electron Accelerator, Radiation Processing of Natural Polymer* 41 (18).

Ghaouth, A., Arul, J., Ponnampalam, R. and Boulet, M. 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *Journal of Food Science* 56 (6): 1618-1620.

Ghoname, A. A., El-Nemr, M. A., Abdel-Mawgoud, A. M. R. and El-Tohamy, W. A. 2010. Enhancement of sweet pepper crop growth and production by application of biological, organic and nutritional solutions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 6 (3): 349-355.

Ginting, D., Kessavalou, A., Eghball, B. and Doran, J. W. 2003. Greenhouse gas emissions and soil indicators four years after manure and compost applications. *Journal of Environmental Quality* 32 (1): 23-32.

Godoy, G., Rodriguez-Kabana, R., Shelby, R. A. and Morgan-Jones, G. 1983. Chitin amendments for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil, effects on microbial population. *Nematropica* 13 (1): 63-74.

Gohel, V., Singh, A., Vimal, M., Ashwini, P. and Chhatpar, H. S. 2006. Bioprospecting and antifungal potential of chitinolytic microorganisms. *African Journal of Biotechnology* 5 (2): 54-72.

Gooday, G. W. 1990. The ecology of chitin degradation. In K. C. Marshall (Ed.), *Advances in microbial ecology* pp. 387-430. United State: Springer.

Griffin, T. S., Honeycutt, C. W., Albrecht, S. L., Sistani, K. R., Torbert, H. A., Wienhold, B. J., . . . Powell, J. M. 2007. Nationally coordinated evaluation of soil nitrogen mineralization rate using a standardized aerobic incubation protocol. *Communications in soil science and plant analysis* 39 (1-2): 257-268.

Hall, C. 2001. Sources of natural antioxidants: oilseeds, nuts, cereals, legumes, animal products and microbial sources. In J. Pokorny, N. Yanishleiva and M. Gordon (Eds.), *Antioxidant in Food Practical Applications* pp. 159-209. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.

Han, C., Zuo, J., Wang, Q., Xu, L., Zhai, B., Wang, Z., . . . Gao, L. 2014. Effects of chitosan coating on postharvest quality and shelf life of sponge gourd (*Luffa cylindrica*) during storage. *Scientia Horticulturae* 166: 1-8.

Hayes, M., Carney, B., Slater, J. and Brück, W. 2008. Mining marine shellfish wastes for bioactive molecules: chitin and chitosan–Part B: applications. *Biotechnology journal* 3 (7): 878-889.

Heimler, D., Vignolini, P., Arfaioli, P., Isolani, L. and Romani, A. 2012. Conventional, organic and biodynamic farming: differences in polyphenol content and antioxidant activity of Batavia lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92 (3): 551-556.

Hertog, M. G. L., Feskens, E. J. M., Kromhout, D., Hollman, P. C. H. and Katan, M. B. 1993. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *The Lancet* 342 (8878): 1007-1011.

Hoell, I. A., Vaaje-Kolstad, G. and Eijsink, V. G. H. 2010. Structure and function of enzymes acting on chitin and chitosan. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* 27 (1): 331-366.

Imeri, A. G. and Knorr, D. 1988. Effects of chitosan on yield and compositional data of carrot and apple juice. *Journal of Food Science* 53 (6): 1707-1709.

Jabnoun-Khiareddine, H., El-Mohamedy, R., Abdel-Kareem, F., Aydi Ben Abdallah, R. and Gueddes-Chahed, M. 2015. Variation in chitosan and salicylic acid efficacy towards soil-borne and air-borne fungi and their suppressive effect of tomato wilt severity. *J Plant Pathol Microbiol* 6 (325): 2.

Jackson, K. A. 1958. Mechanism of growth. In R. Maddin (Ed.), *Liquid metals and solidification* pp. 174-186. Cleveland: American Society for Metals.

Kamal, A. M. and Ghanem, K. M. 2011. Response of cape gooseberry plants (*Physalis peruviana* L.) to some organic amendment and foliar spray with chitosan. *Journal of Plant Production* 2: 1741-1759.

Kananont, N., Pichyangkura, R., Kositsup, B., Wiriyakitnateekul, W. and Chadchawan, S. 2016. Improving the rice performance by fermented chitin waste. *International Journal of Agriculture and Biology* 18 (1).

Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1986. Edible films and coatings: a review. *Food technology* 60: 47-59.

Kim, H. J., Chen, F., Wang, X. and Rajapakse, N. C. 2005. Effect of chitosan on the biological properties of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (9): 3696-3701.

Kim, H. J., Fonseca, J. M., Choi, J. H. and Kubota, C. 2007. Effect of methyl jasmonate on phenolic compounds and carotenoids of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 (25): 10366-10372.

Kimura, M. and Rodriguez-Amaya, D. B. 2002. A scheme for obtaining standards and HPLC quantification of leafy vegetable carotenoids. *Food chemistry* 78 (3): 389-398.

Kiple, K. F. 2001. *The Cambridge world history of food. 2* Vol. 2. New York: Cambridge University Press.

Kirk, J. T. O. and Allen, R. L. 1965. Dependence of chloroplast pigment synthesis on protein synthesis: effect of actidione. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 21 (6): 523-530.

Kishore, G. K., Pande, S. and Podile, A. R. 2005. Chitin-supplemented foliar application of Serratia marcescens GPS 5 improves control of late leaf spot disease of groundnut by activating defence-related enzymes. *Journal of Phytopathology* 153 (3): 169-173.

Köhle, H., Young, D. H. and Kauss, H. 1984. Physiological changes in suspension-cultured soybean cells elicited by treatment with chitosan. *Plant Science Letters* 33 (2): 221-230.

Kudan, S. and Pichyangkura, R. 2009. Purification and characterization of thermostable chitinase from *Bacillus licheniformis* SK-1. *Applied biochemistry and biotechnology* 157 (1): 23.

Laflamme, P., Benhamou, N., Bussières, G. and Dessureault, M. 2000. Differential effect of chitosan on root rot fungal pathogens in forest nurseries. *Canadian Journal of Botany* 77 (10): 1460-1468.

Larson, R. A. 1988. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry* 27 (4): 969-978.

Lebeda, A., Ryder, E. J., Grube, R., Dolazalov, A. I. and Kristkov, E. 2007. Lettuce (Asteraceae; *Lactuca* spp.). In R. J. Singh (Ed.), *Genetic Resources Chromosome Engineering and Crop Improvement* 3, pp. 377-472. Vegetable Crops, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA: Tailor and Francis Group.

Lee, J. J., Park, R. D., Kim, Y. H., Shim, J., Chae, D. H., Rim, Y. S., . . . Kim, K. Y. 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technology* 93 (1): 21-28.

Lim, F. L., Yam, M. F., Asmawi, M. Z. and Chan, L. K. 2013. Elicitation of Orthosiphon stamineus cell suspension culture for enhancement of phenolic compounds biosynthesis and antioxidant activity. *Industrial crops and products* 50: 436-442.

Limpanavech, P., Chaiyasuta, S., Vongpromek, R., Pichyangkura, R., Khunwasi, C., Chadchawan, S., . . . Bangyeekhun, T. 2008. Chitosan effects on floral

production, gene expression, and anatomical changes in the *Dendrobium* orchid. *Scientia Horticulturae* 116 (1): 65-72.

Lin, Z. H., Chen, L. S., Chen, R. B., Zhang, F. Z., Jiang, H. X. and Tang, N. 2009. CO_2 assimilation, ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, carbohydrates and photosynthetic electron transport probed by the JIP-test, of tea leaves in response to phosphorus supply. *BMC Plant Biology* 9 (1): 43.

Liu, Y., Perera, C. O. and Suresh, V. 2007. Comparison of three chosen vegetables with others from South East Asia for their lutein and zeaxanthin content. *Food chemistry* 101 (4): 1533-1539.

Lobell, D. B. 2007. The cost of uncertainty for nitrogen fertilizer management: A sensitivity analysis. *Field Crops Research* 100 (2): 210-217.

Lorito, M., Harman, G. E., Hayes, C. K., Broadway, R. M., Tronsmo, A., Woo, S. L. and Di Pietro, A. 1993. Chitinolytic enzymes produced by *Trichoderma harzianum*: antifungal activity of purified endochitinase and chitobiosidase. *Phytopathology* 83 (3): 302-307.

Lowe, A., Rafferty-McArdle, S. M. and Cassells, A. C. 2012. Effects of AMF-and PGPR-root inoculation and a foliar chitosan spray in single and combined treatments on powdery mildew disease in strawberry. *Agricultural and Food Science* 21 (1): 28-38.

Luan, L. Q., Ha, V. T. T., Nagasawa, N., Kume, T., Yoshii, F. and Nakanishi, T. M. 2005. Biological effect of irradiated chitosan on plants *in vitro*. *Biotechnology and applied biochemistry* 41 (1): 49-57.

Lupulescu, A. P. 1996. *Hormones, vitamins, and growth factors in cancer treatment and prevention: A critical appraisal* Vol. 78. CRC, Press, Boca Raton, Boston.

Mansilla, A. Y., Albertengo, L., Rodríguez, M. S., Debbaudt, A., Zúñiga, A. and Casalongué, C. A. 2013. Evidence on antimicrobial properties and mode of action of a chitosan obtained from crustacean exoskeletons on *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000. *Applied microbiology and biotechnology* 97 (15): 6957-6966.

Mondal, M., Malek, M., Puteh, A., Ismail, M., Ashrafuzzaman, M. and Naher, L. 2012. Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra. *Australian Journal of Crop Science* 6 (5): 918.

Mou, B. 2008. Lettuce. In J. Prohens and F. Nuez (Eds.), *Handbook of Plant Breeding* pp. 75-116. New York, USA: Springer.

Muymas, P. 2014. *Effects of biomaterial and semi-biomaterial on growth and postharvest quality of butterhead and red oak lettuce lactuca sativa L.* Ph. D. Thesis, Department of Botany, Facuty of Science, Chulalongkorn University.

Muymas, P., Pichyangkura, R., Wiriyakitnateekul, W., Wangsomboondee, T., Chadchawan, S. and Seraypheap, K. 2015. Effects of chitin-rich residues on growth and postharvest quality of lettuce. *Biological Agriculture and Horticulture* 31 (2): 108-117.

Muzzarelli, R. A. A. 2011. Potential of chitin/chitosan-bearing materials for uranium recovery: An interdisciplinary review. *Carbohydrate Polymers* 84 (1): 54-63.

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis part 3—chemical methods* (methodsofsoilan3): 961-1010.

No, H. K., Lee, K. S., Kim, I. D., Park, M. J., Kim, S. D. and Meyers, S. P. 2003. Chitosan treatment affects yield, ascorbic acid content, and hardness of soybean sprouts. *Journal of Food Science* 68 (2): 680-685.

Ohta, K., Suzuki, M., Matsumoto, S., Hosoki, T. and Kobayashi, N. 2004. Effects of nitrogenous organic compounds on growth and flowering in *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Horticultural Science* 39 (6): 1438-1440.

Olson, J. A. 1994. Absorption, transport and metabolism of carotenoids in humans. *Pure and Applied Chemistry* 66 (5): 1011-1016.

Park, S. I., Stan, S. D., Daeschel, M. A. and Zhao, Y. 2005. Antifungal coatings on fresh strawberries (Fragaria×ananassa) to control mold growth during cold storage. *Journal of Food Science* 70 (4).

Parr, A. J. and Bolwell, G. P. 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols

content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80 (7): 985-1012.

Peech, M. 1965. Lime requirement. In C. A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis* 9, pp. 927-932. Madison: American Society of Agronomy.

Pérez-Balibrea, S., Moreno, D. A. and García-Viguera, C. 2011. Improving the phytochemical composition of broccoli sprouts by elicitation. *Food chemistry* 129 (1): 35-44.

Pongprayoon, W., Roytrakul, S., Pichayangkura, R. and Chadchawan, S. 2013. The role of hydrogen peroxide in chitosan-induced resistance to osmotic stress in rice (Oryza sativa L.). *Plant growth regulation* 70 (2): 159-173.

Prasertsongskun, S. and Purong, H. 2014. Effect of chitosan on *in vitro* growth and development of *Dendrobium formosum* Roxb. *Khon Kaen University Science Journal* 42 (1): 127-134.

Rabea, E. I., Badawy, M. E. T., Stevens, C. V., Smagghe, G. and Steurbaut, W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. *Biomacromolecules* 4 (6): 1457-1465.

Ramírez, M. A., Rodríguez, A. T., Alfonso, L. and Peniche, C. 2010. Chitin and its derivatives as biopolymers with potential agricultural applications. *Biotecnología Aplicada* 27 (4): 270-276.

Randhir, R., Lin, Y. T. and Shetty, K. 2004. Phenolics, their antioxidant and antimicrobial activity in dark germinated fenugreek sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Asia Pacific journal of clinical nutrition* 13 (3).

Raven, J. A. 2013. RNA function and phosphorus use by photosynthetic organisms. *Frontiers in plant science* 4.

Rice, P. J., Harman-Fetcho, J. A., Teasdale, J. R., Sadeghi, A. M., McConnell, L. L., Coffman, C. B., . . . Hapeman, C. J. 2004. Use of vegetative furrows to mitigate copper loads and soil loss in runoff from polyethylene (plastic) mulch vegetable production systems. *Environmental toxicology and chemistry* 23 (3): 719-725.

Rice, P. J., McConnell, L. L., Heighton, L. P., Sadeghi, A. M., Isensee, A. R., Teasdale, J. R., . . . Hapeman, C. J. 2001. Runoff loss of pesticides and soil. *Journal of Environmental Quality* 30 (5): 1808-1821.

Rubatzky, V. E. and Yamaguchi, M. 1997. Principles, production and nutritive values. In V. E. Rubatzk and M. Yamaguchi (Eds.), *World Vegetables* 2, pp. 457-473. New York: Chapman and Hall.

Rudall, K. M. and Kenchington, W. 1973. The chitin system. *Biological Reviews* 48 (4): 597-633.

Rupley, J. A. 1964. The hydrolysis of chitin by concentrated hydrochloric acid, and the preparation of low-molecular-weight substrate for lysozyme. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Specialized Section on Mucoproteins and Mucopolysaccharides* 83 (3): 245-255.

Salachna, P. and Zawadziński, A. 2014. Effect of chitosan on plant growth, flowering and corms yield of potted freesia. *Journal of Ecological Engineering* 15 (3).

Sangeetha, R. K. and Baskaran, V. 2010. Carotenoid composition and retinol equivalent in plants of nutritional and medicinal importance: Efficacy of β-carotene from Chenopodiumalbum in retinol-deficient rats. *Food chemistry* 119 (4): 1584-1590.

Sashiwa, H., Saimoto, H., Shigemasa, Y., Ogawa, R. and Tokura, S. 1990. Lysozyme susceptibility of partially deacetylated chitin. *International journal of biological macromolecules* 12 (5): 295-296.

Satyavati, G. V., Raina, M. K. and Sharma, M. 1976. *Medicinal plants of India*. New Delhi, India: Indian Counsil of Medical Research.

Shin, J. K., Kim, G. N. and Jang, H. D. 2007. Antioxidant and pro-oxidant effects of green tea extracts in oxygen radical absorbance capacity assay. *Journal of medicinal food* 10 (1): 32-40.

Singh, P. P., Shin, Y. C., Park, C. S. and Chung, Y. R. 1999. Biological control of Fusarium wilt of cucumber by chitinolytic bacteria. *Phytopathology* 89 (1): 92-99.

Smirnoff, N. and Wheeler, G. L. 2000. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. *Critical reviews in biochemistry and molecular biology* 35 (4): 291-314.

Smith-Spangler, C., Brandeau, M. L., Hunter, G. E., Bavinger, J. C., Pearson, M., Eschbach, P. J., . . . Stave, C. 2012. Are organic foods safer or healthier than conventional alternatives? A systematic review. *Annals of internal medicine* 157 (5): 348-366.

Somashekar, D. and Joseph, R. 1996. Chitosanases—properties and applications: a review. *Bioresource Technology* 55 (1): 35-45.

Spiegel, Y., Kafkafi, U. and Pressman, E. 1988. Evaluation of a protein-chitin derivative of crustacean shells as a slow-release nitrogen fertilizer on Chinese cabbage. *Journal of Horticultural Science* 63 (4): 621-627.

Srisornkompon, P., Pichyangkura, R. and Chadchawan, S. 2014. Chitosan Increased Phenolic Compound Contents in Tea (Camellia sinensis) Leaves by Pre-and Post-Treatments. *Journal of Chitin and Chitosan Science* 2 (2): 93-98.

Srivastava, N., Gonugunta, V. K., Puli, M. R. and Raghavendra, A. S. 2009. Nitric oxide production occurs downstream of reactive oxygen species in guard cells during stomatal closure induced by chitosan in abaxial epidermis of Pisum sativum. *Planta* 229 (4): 757-765.

Sweetman, S. C. 2009. *The complete drug reference* 36th ed. London, United Kingdom: Pharmaceutical Press.

Toyoda, H. 1996. Application of chitin-and chitosan-degrading microbes to comprehensive biocontrol of fungal wilt pathogen, Fusarium oxysporum. *Chitin enzymology* 2: 359-370.

Uragami, T., Kurita, K. and Fukamizo, T. (2001). *Chitin and chitosan in life science.* Paper presented at the Proceedings of the 8th International Chitin and Chitosan Conference.

USDA. 2014. National Statistics for Lettuce, Washington D.C., USA.

USDA. 2015. National Nutrient Database for Standard Rreference Release 28, Washington D.C., USA.

Van, S. N., Minh, H. D. and Anh, D. N. 2013. Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 2 (4): 289-294.

Wang, W., Yang, C., Tang, X., Gu, X., Zhu, Q., Pan, K., . . . Ma, D. 2014. Effects of high ammonium level on biomass accumulation of common duckweed Lemna minor L. *Environmental Science and Pollution Research* 21 (24): 14202-14210.

Wanichpongpan, P., Suriyachan, K. and Chandrkrachang, S. 2001. Effect of chitosan on the growth of Gerbera flower plant (Gerbera jamesonii). *Chitin and chitosan: Chitin and Chitosan in Life Science, Yamaguchi, Japan*: 198-201.

Wisniewska, A. and Subczynski, W. K. 2006. Accumulation of macular xanthophylls in unsaturated membrane domains. *Free Radical Biology and Medicine* 40 (10): 1820-1826.

Yen, M. T. and Mau, J. L. 2007. Selected physical properties of chitin prepared from shiitake stipes. *LWT-Food Science and Technology* 40 (3): 558-563.

Yusof, N. L. B. M., Wee, A., Lim, L. Y. and Khor, E. 2003. Flexible chitin films as potential wound‐dressing materials: Wound model studies. *Journal of biomedical materials research Part A* 66 (2): 224-232.

Zubia, M., Freile-Pelegrín, Y. and Robledo, D. 2014. Photosynthesis, pigment composition and antioxidant defences in the red alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariales, Rhodophyta) under environmental stress. *Journal of applied phycology* 26 (5): 2001-2010.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

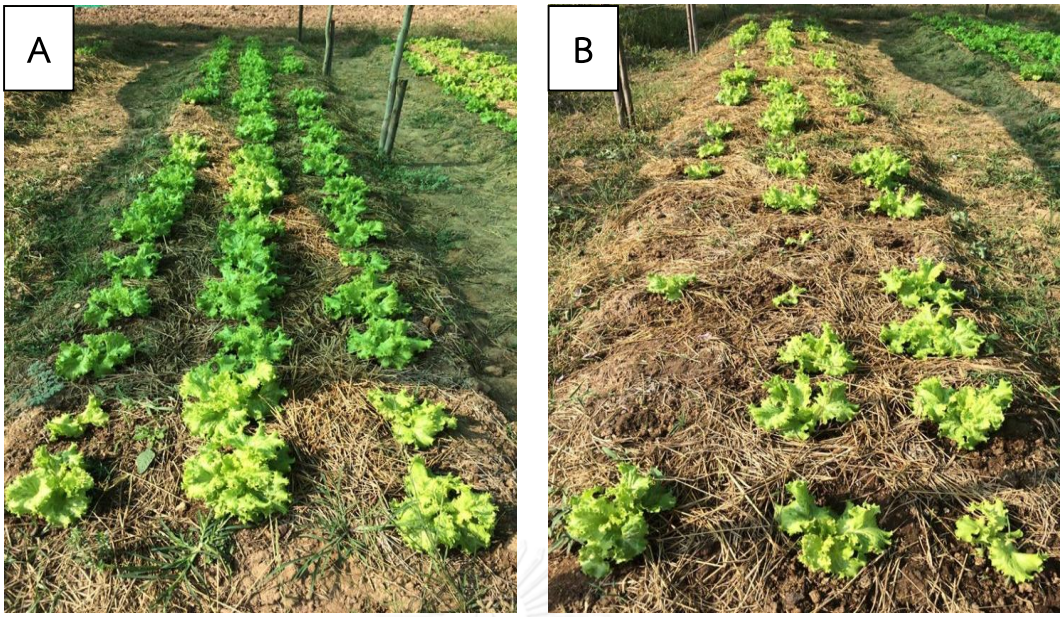
ภาคผนวก ก

ภาพที่ ก 1 แปลงปลูกผักกาดหอม แบ่งออกเป็น 6 แปลง ขนาดแปลง 1 x 10 เมตรระยะห่างระหว่างแปลง 1 เมตร แต่ละแปลงปลูกผักกาดหอมจำนวน 90 ต้น ในระหว่างเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 และมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ณ โครงการพัฒนาพื้นที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

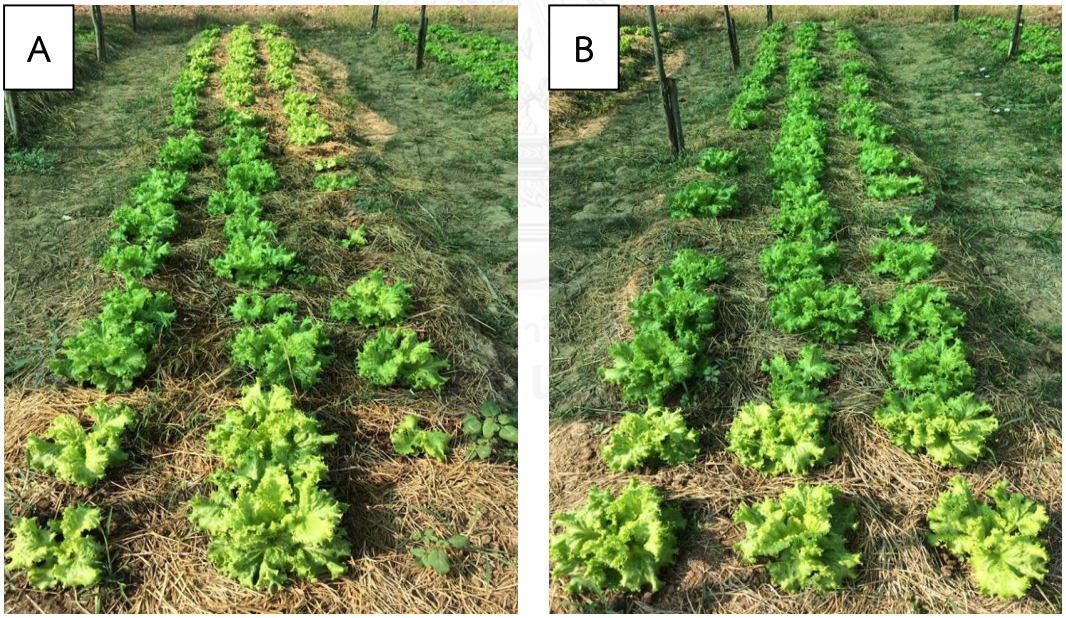
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ ก 2 ผักกาดหอมในชุดการทดลองปกติ ซึ่งไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแปลงที่ 1 (A) และแปลงที่ 2 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน

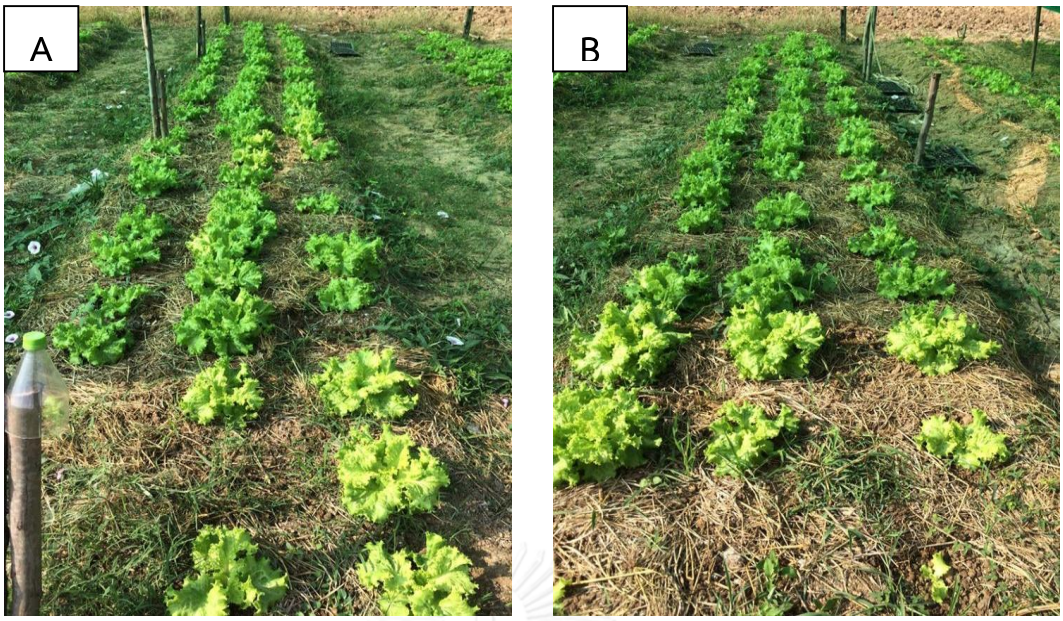
ภาพที่ ก 3 ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) แปลงที่ 3 (A) และแปลงที่ 5 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน



ภาพที่ ก 4 ผักกาดหอมในชุดการทดลองปกติ ซึ่งไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สองอายุ 55 วันแปลงที่ 1 (A) และแปลงที่ 2 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน



ภาพที่ ก 5 ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งแต่ไม่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่สอง (CRR1) แปลงที่ 3 (A) และแปลงที่ 4 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน



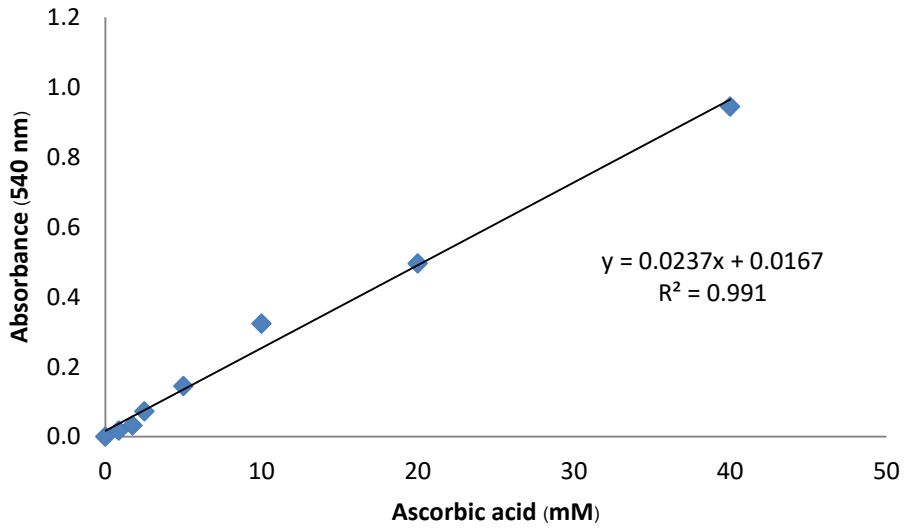
ภาพที่ ก 6 ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่งและในฤดูปลูกที่สอง (CRR2) แปลงที่ 5 (A) และแปลงที่ 6 (B) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 55 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข 1 การหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน

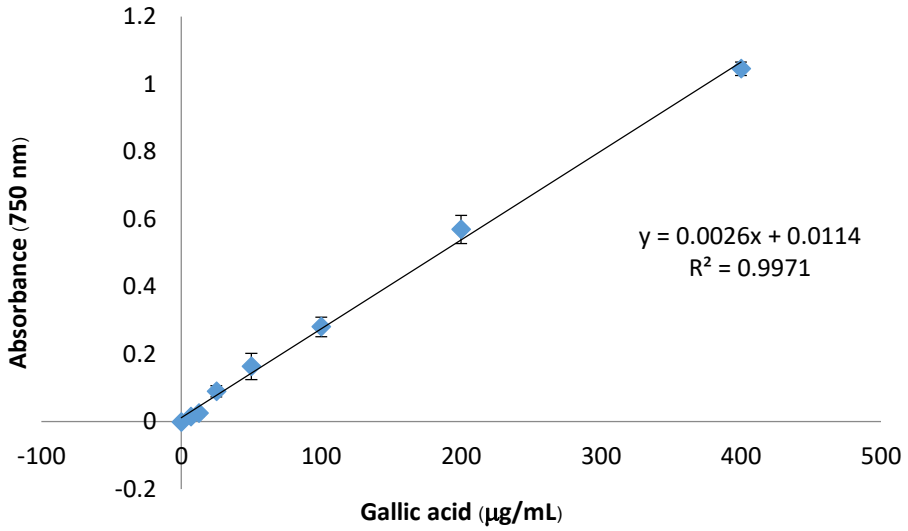
ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (mM)	absorbance (540 nm)
0	0
0.875	0.01728
1.75	0.03248
2.5	0.07260
5	0.14520
10	0.324
20	0.496
40	0.945



ภาพที่ ข 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน (standard curve calibration of ascorbic acid)

ตารางที่ ข 2 การหาปริมาณกรดสารประกอบฟีนอลมาตรฐาน

ความเข้มข้นของ gallic acid (µg/ml)	absorbance (750 nm)
0	-0.00214 ± 0.005
6.75	0.01370 ± 0.005
12.5	0.02435 ± 0.010
25	0.08935 ± 0.017
50	0.16266 ± 0.039
100	0.28034 ± 0.029
200	0.56932 ± 0.042
400	1.045694 ± 0.020



ภาพที่ ข 2 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกมาตรฐาน (standard calibration curve of gallic acid)

ตารางที่ ข 3 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบต่อต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักกาดหอมในฤดูปลูกที่หนึ่งและฤดูปลูกที่สองในชุดการทดลองควบคุม (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2)

Crop	Treatment	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Leaf number (leaves)	Stem diameter (cm)
First	Control	30.80± 2.43[a]	1.57± 0.09 [a]	4.41± 0.40[a]	0.61± 0.12[a]
	CRR1	50.66±4.11[b]	2.32± 0.14[b]	8.69± 0.40[b]	0.86± 0.12[b]
Second	Control	42.24±3.29[a]	2.06± 0.34[a]	10.87±1.45[a]	0.72± 0.13[a]
	CRR1	73.23±3.67[b]	3.54± 0.57[b]	12.34±1.23[b]	0.92± 0.17[b]
	CRR2	77.58± 5.20[b]	3.83± 0.46[b]	15.46±1.79[c]	0.92± 0.12[b]

[a, b] หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข 4 คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์และดัชนีความเขียว (SPAD) ของผักกาดหอมในฤดูปลูกที่สองในชุดการทดลองควบคุม (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2)

Crop	Treatment	Chlorophyll a (mg/g FW)	Chlorophyll b (mg/g FW)	SPAD	Carotenoids (mg/g FW)
Second	Control	17.49± 2.89[a]	6.17± 0.84[a]	19.96±1.24[a]	4.91± 0.79[a]
	CRR1	21.63± 1.89[b]	7.33± 0.79[a]	23.80± 1.03[b]	6.05± 0.53[b]
	CRR2	24.06± 1.70[c]	9.37± 0.68[b]	23.32± 1.03[b]	6.52± 0.47[b]

[a, b, c] หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ข 5 สารประกอบฟีนอล กรดแอสคอร์บิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักกาดหอมในฤดูปลูกที่สอง ในชุดการทดลองควบคุม (control) ชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินในฤดูปลูกที่หนึ่ง (CRR1) และชุดการทดลองที่ได้รับกากไคทินทั้งสองฤดูปลูก (CRR2)

Crop	Treatment	Ascorbic acid (mg/g FW)	Total phenolic content (µg GAE/ g FW)	Percentage inhibition of antioxidant (%)
Second	Control	6.80 ± 1.21[a]	132.81 ±25.47[a]	15.54± 2.58[a]
	CRR1	8.49 ± 1.17[b]	192.03± 49.77[b]	23.62± 2.86[b]
	CRR2	9.35 ± 1.05[b]	217.09± 35.08[b]	21.22± 2.48[b]

[a, b] หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภัทรพล พลูพัฒน์ธนกิจ เกิดวันที่ 16 มกราคม 2534 ที่จังหวัดอำนาจเจริญ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนบุญวัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2558

การนำเสนอผลงาน

- นำเสนอผลงานแบบบรรยายในหัวข้อผลของกากไคทินจากฤดูปลูกแรกต่อผลผลิตของผักสลัด (Lactuca sativa L. ‘Grenn Coral’) ในฤดูปลูกที่สอง ในงานประชุมพฤกษศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 14-16 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ณ มหาวิทยาลัยมหิดล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University