โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโทซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*)
Effects of chitosan coating on quality and storage life of snap bean (*Phaseolus vulgaris*)

ชื่อนิสิต นางสาววรรณภา ตันติเตชา **เลขประจำตัว** 5932138523

ภาควิชา พฤกษศาสตร์

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโทซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*)

นางสาววรรณภา ตันติเตชา

วิทยาปฏิบัตินี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

Effects of chitosan coating on quality and storage life of snap bean (*Phaseolus vulgaris*)

Wannapa Tantitecha

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment
of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Botany Program, Department of Botany
Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2019

ชื่อโครงงานวิทยาศาสตร์	ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโทซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*)
ชื่อนิสิต	วรรณภา ตันติเตชา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
ภาควิชา	พฤกษศาสตร์
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
ปีการศึกษา	2562

ภาควิชาพฤกษศาสตร์อนุมัติให้โครงงานวิทยาศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของภาคการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์

คณะกรรมการสอบโครงงานวิทยาศาสตร์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญธิตา โฆษิตทรัพย์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ยุพิน จินตภากร)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงงานวิทยาศาสตร์ ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโทซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*)

ชื่อนิสิต วรรณภา ตันติเตชา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ

ภาควิชา พฤกษศาสตร์

สาขาวิชา พฤกษศาสตร์

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยไคโทซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*) หลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้ไคโทซานที่ความเข้มข้น 0, 0.25, 0.5 และ 1% ในสารละลายกรดแอซิติก 0.5% จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 และ 20 วัน ตามลำดับ จากผลการศึกษา พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การใช้ไคโทซาน 0.25% เคลือบฝักถั่วแขกทำให้ฝักถั่วแขกมีลักษณะภายนอกที่ปรากฏดีที่สุดและยังช่วยในการรักษาน้ำหนักสดของฝักไว้ได้มากที่สุด คือ มีการลดลงของน้ำหนักสดในวันที่ 5 และ 10 ของการเก็บรักษาเพียงร้อยละ 12.28 และ 28.75 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณวิตามินซี ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน นอกจากนี้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าทั้งลักษณะภายนอก การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณวิตามินซี และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดทดลอง การใช้ไคโทซานในการเคลือบผิวฝักถั่วแขกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจึงไม่สามารถช่วยคงคุณภาพและยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของฝักถั่วแขกได้ โดยการเคลือบผิวด้วยไคโทซานความเข้มข้น 1% นั้นมีการลอกของไคโทซานที่เคลือบไว้และที่ความเข้มข้นนี้ยังมีการสูญเสียน้ำหนักสดที่มากที่สุด ทั้งนี้ ความเข้มข้นของไคโทซานที่ใช้อาจเป็นความเข้มข้นที่สูงเกินไปสำหรับการเคลือบผิวฝักถั่วแขก

คำสำคัญ : ไคโทซาน, ถั่วแขก, การเก็บรักษา

Senior project title	Effects of chitosan coating on quality and storage life of snap bean (*Phaseolus vulgaris*)
Student name	Wannapa Tantitecha
Senior project advisor	Assist. Prof. Dr. Kanogwan Seraypheap
Program	Botany
Department	Botany
Academic Year	2019

Abstract

The effects of chitosan coating on quality and storage life of snap beans were investigated. The snap beans were treated with 0, 0.25, 0.5 and 1% chitosan in 0.5% acetic acid and then stored at 25°C and 10°C for 10 and 20 days, respectively. It was found that during storage at 25°C, 0.25% chitosan coating resulted in the best appearance of snap beans and the lowest weight loss which were 12.28 and 28.75% on day 5 and day 10, respectively. However, there were no significant differences in electrolyte leakage, chlorophyll content, vitamin C content and DPPH inhibition. Moreover, chitosan coating and storage at 10°C showed no significant differences in appearance, percentage of weight loss, electrolyte leakage, chlorophyll content, vitamin C content and DPPH inhibition. Therefore, chitosan coating at 10°C cannot prolong the quality and shelf life of snap beans. It was observed that 1% chitosan that coated on snap bean had peeled off while keeping at this temperature and resulted in the highest percentage of weight loss. The concentration of chitosan used in this experiment may be too high for snap bean coating.

Keyword; chitosan, snap bean, postharvest management, Phaseolus vulgaris

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และช่วยตรวจสอบแก้ไขโครงงานวิทยาศาสตร์เรื่องนี้ ทำให้โครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญธิดา โฆษิตทรัพย์ และอาจารย์ ดร. ยุพิน จินตภากร กรรมการผู้ตรวจแก้ไขโครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ประจำปีการศึกษา 2562 รวมทั้งสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และเคมีภัณฑ์ และขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืชที่เอื้ออำนวยสถานที่ในการทดลอง

ขอขอบคุณพี่ ๆ ระดับชั้นบัณฑิตศึกษาในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืชทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจระหว่างทำการทดลอง จนโครงงานวิทยาศาสตร์เรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวที่คอยสนับสนุนทั้งด้านการเรียน การใช้ชีวิต ทั้งยังแสดงความห่วงใย และให้กำลังใจอยู่เสมอ

ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อน ๆ ในภาควิชาพฤกษศาสตร์ และเพื่อน ๆ พี่ ๆ ชมรมดนตรีและแสงเสียง คณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้กำลังใจและให้คำปรึกษาซึ่งกันและกันเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....จ

สารบัญภาพ.....ช

บทที่ 1 บทนำ.....1

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร.....3

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....10

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....15

บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง.....29

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....31

รายการอ้างอิง.....32

ภาคผนวก.....37

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 คุณค่าทางโภชนาการของฝักถั่วแขกต่อ 100 กรัม.....3

2 ปริมาณการส่งออกถั่วแขกของประเทศไทยตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 ถึง ปี ค.ศ. 2017.....4

1ผ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซาน ความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....37

2ผ เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วย ไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....37

3ผ ปริมาณคลอโรฟิลล์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....38

4ผ ปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....38

5ผ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....39

6ผ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซาน ความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....39

7ผ เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซาน ความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....40

8ผ ปริมาณคลอโรฟิลล์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....40

ตารางที่ **หน้า**

9ผ ปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....41

10ผ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....41

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคโทซานและไคทิน....8

4.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขก ระหว่างการเก็บรักษา
ด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส....16

4.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซาน
ความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส....17

4.3 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซาน
ความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส....18

4.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส....19

4.5 ปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส....20

4.6 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ
ระหว่างการเก็บรักษาทีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส....21

4.7 การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขก ระหว่างการเก็บรักษา
ด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส....23

4.8 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซาน
ความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส....24

4.9 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซาน
ความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส....25

4.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส....26

รูปที่ **หน้า**

4.11 ปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ
ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....27

4.12 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....28

1ผ กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก.....54

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*) เป็นพืชผักที่ปัจจุบันมีการบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลาย อีกทั้งยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยอุดมไปด้วยโปรตีน สารต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งเป็นแหล่งสำคัญของวิตามินและแร่ธาตุ เช่น วิตามินซี วิตามินเค และแมงกานีส เป็นต้น (Serrano and Rolle, 2018) ปริมาณการส่งออกถั่วแขกของประเทศไทยในพ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2561 มีปริมาณที่สูงขึ้นเป็นจำนวน 104,281 และ 126,842 กิโลกรัม ตามลำดับ (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2561: ออนไลน์) แต่อย่างไรก็ตาม ถั่วแขกยังประสบปัญหาหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากฝักถั่วแขกมีผิวบางทำให้มีการสูญเสียน้ำได้ง่าย และส่งผลกระทบต่อความสดของฝักที่ลดลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งถั่วแขกยังมีอัตราการหายใจที่สูง และไวต่อแก๊สเอทิลีน ทำให้ถั่วแขกมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวที่สั้น และง่ายต่อการเสื่อมสลาย เช่น สีของฝักเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองอย่างรวดเร็ว ฝักมีรอยช้ำง่าย เป็นต้น (Serrano and Rolle, 2018) ดังนั้นเพื่อเพิ่มมูลค่าและปริมาณการส่งออกของถั่วแขก การยืดอายุฝักถั่วแขกระหว่างการส่งออกและวิธีการเก็บรักษาเพื่อลดความเสียหายของถั่วแขกหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีความสำคัญและเป็นที่ต้องการของทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค

ไคโทซานเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ใกล้เคียงกับเซลลูโลส สามารถพบได้ในธรรมชาติ โดยพบมากในเปลือกของสัตว์น้ำ เช่น กุ้งและปู ไคโทซานไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต อีกทั้งจากการศึกษาและทดลองที่ผ่านมาพบว่าไคโทซานมีความสามารถในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว ลดความเสื่อมสภาพของผลผลิต ลดอัตราการหายใจ รวมถึงยับยั้งการเจริญของเชื้อโรค ทำให้ในปัจจุบันมีการนำไคโทซานมาใช้ในการเคลือบผลผลิตอย่างผักและผลไม้สดอย่างแพร่หลาย เพื่อยืดอายุให้นานขึ้นและเพื่อเก็บรักษาผลผลิตให้มีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมากที่สุด (Zhang, Li, and Liu, 2011) โดยในลำไย พบว่าการเคลือบผลด้วยไคโทซานและนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ช่วยชะลอการเปลี่ยนสีเปลือก ลดอัตราการหายใจ และมีการสูญเสียน้ำที่ลดลง (Jiang and Li., 2001) เช่นเดียวกับผลมะเขือเทศที่พบว่า ผลการทดลองเมื่อเคลือบด้วยไคโทซานนั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือมีการลดลงของแก๊สเอทิลีน ลดอัตราการหายใจ ชะลอการเปลี่ยนสีและการเสื่อมสลายของผล (Ghaouth et al., 1992) นอกจากนี้ มีรายงานว่าอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการยืดอายุฝักถั่วแขก

โดยสามารถคงคุณภาพของฝักถั่วแขกไว้ได้มากที่สุด และยังมีการรายงานเพิ่มเติมอีกว่าหากอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสจะทำให้ฝักถั่วแขกเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) และมีคุณภาพที่ลดลง (Proulx et al., 2010) จึงเป็นที่มาของการศึกษาผลของสารเคลือบผิวไคโทซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขก โดยเปรียบเทียบการเคลือบผิวฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1.0 ในสารละลายกรดแอซิติกร้อยละ 0.5 (Jiang and Li, 2001) จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส (Kinyuru et al., 2011) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภายนอกของฝัก น้ำหนักสด การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณคลอโรฟิลล์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ข้อมูลจากการทดลองในโครงงานวิทยาศาสตร์เรื่องนี้จะนำไปสู่การพัฒนาการเก็บรักษาของถั่วแขกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกันต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขก

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ความเข้มข้นของไคโทซานที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของฝักถั่วแขก

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ถั่วแขก

1.1 สถานการณ์ทั่วไปของถั่วแขก

ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น จึงปฏิเสธไม่ได้ว่าพืชผักจึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความสนใจการบริโภคพืชผักที่หลากหลายและให้ความสำคัญกับคุณค่าทางโภชนาการของพืชผักที่บริโภคเป็นอันมาก

ถั่วแขกเป็นผักรับประทานผลที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ให้พลังงานต่ำ ประกอบด้วยโปรตีน ธาตุอาหาร และวิตามินหลากหลายชนิดทั้งวิตามินเค แคลเซียม และธาตุเหล็ก เป็นต้น (ตารางที่ 1) ซึ่งล้วนมีประโยชน์ในการเสริมสร้างสุขภาพ ทั้งกระดูก กล้ามเนื้อ หรืออวัยวะต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาสุขภาพต่าง ๆ รวมทั้งเป็นสาเหตุของริ้วรอยบนผิวหนัง จึงทำให้ถั่วแขกเริ่มเป็นที่สนใจในกลุ่มผู้บริโภคอาหารสุขภาพ

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของฝักถั่วแขกต่อ 100 กรัม (U.S. Department of Agriculture, 2019: ออนไลน์)

สารอาหาร	ปริมาณ
น้ำ (กรัม)	90.32
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	31
โปรตีน (กรัม)	1.83
ไขมัน (กรัม)	0.22
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	6.97
ไฟเบอร์ (กรัม)	2.7
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	37
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.03
แม็กนีเซียม (มิลลิกรัม)	25

สารอาหาร	ปริมาณ
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	38
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	211
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	12.2
วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	0.141
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	35

จากคุณค่าทางโภชนาการดังกล่าวข้างต้นที่ทำให้ถั่วแขกเป็นที่นิยมในการบริโภค ถั่วแขกยังเป็นพืชที่มีขั้นตอนการปลูกเลี้ยงดูแลรักษาที่ไม่ยุ่งยาก เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส และชอบแสงแดด ด้วยลักษณะทางภูมิประเทศของประเทศไทยบางพื้นที่ที่มีอากาศเย็น จึงทำให้สามารถปลูกถั่วแขกได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ทำให้เกษตรกรหันมาเพาะปลูกถั่วแขกกันมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2559: ออนไลน์) จากข้อมูลการส่งออกถั่วแขกของประเทศไทยที่รายงานโดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAO) ตั้งแต่ปี ค.ศ.2010 – ค.ศ. 2017 พบว่าการส่งออกถั่วแขกของประเทศไทยยังคงมีปริมาณที่สูงแม้ว่าในช่วงปีหลัง ๆ มีปริมาณที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจเกิดจากคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของถั่วแขก

ตารางที่ 2 ปริมาณการส่งออกถั่วแขกของประเทศไทยตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 ถึง ปี ค.ศ. 2017 (Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAO, 2019: ออนไลน์)

ปี ค.ศ.	ปริมาณที่ส่งออก (ตัน)
2010	14
2011	47
2012	431
2013	211
2014	219

ปี ค.ศ.	ปริมาณที่ส่งออก (ตัน)
2015	151
2016	173
2017	104

1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris*) เป็นพืชในวงศ์ Fabaceae เป็นไม้เลื้อยล้มลุกปีเดียว (annual plant) มีการจัดเรียงใบแบบสลับ ลักษณะใบอ่อนเป็นสีเขียว มีรูปทรงไข่ จำนวน 3 ใบ แต่ละใบกว้างประมาณ 3-15 เซนติเมตร และยาวประมาณ 6-15 เซนติเมตร ลักษณะของดอกมีทั้งสีขาว สีชมพู ไปจนถึงสีม่วง และมีความยาวดอกประมาณ 1 เซนติเมตร เมล็ดถั่วมีลักษณะคล้ายไต ส่วนลักษณะฝักจะเป็นแบบถั่ว (legume) คือ เมื่อฝักแก่จะมีการแตกของแนวตะเข็บทั้ง 2 ข้างของฝัก สีของฝักมีทั้งสีเขียว สีเหลือง และสีม่วง เมื่อฝักโตเต็มที่อาจมีขนาดกว้างและยาวถึง 1.5 และ 20 เซนติเมตร ฝักที่เป็นที่ต้องการของตลาดจะเป็นฝักที่อวบ ผิวเรียบ และไม่โค้งงอ (Preedy, Patel, and Watson, 2011)

1.3 การเก็บเกี่ยวและกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว

ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะเป็นขั้นตอนที่กำหนดคุณภาพและอายุหลังการเก็บเกี่ยวของฝักถั่วแขก การเก็บเกี่ยวฝักถั่วแขกจะเริ่มเก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 12-14 นับตั้งแต่วันที่ติดผล โดยลักษณะของฝักที่ได้มาตรฐานจะเป็นฝักที่ตรง เนื้อแน่น มีสีเขียวสว่าง และเมล็ดอ่อน (Watada and Morris, 1967) ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวควรเป็นช่วงเช้า เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของฝักที่จะสูญเสียน้ำจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องจากแสงแดด และเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วควรรีบนำฝักเข้าสู่ที่ร่มเพื่อป้องกันการเหี่ยวจากการสูญเสียน้ำ ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป (Prusky, 2011)

โดยทั่วไปแล้วผลผลิตที่เก็บเกี่ยวแล้วควรรีบนำเข้าสู่กระบวนการลดอุณหภูมิภายใน 1 ชั่วโมง เพื่อลดอัตราการหายใจและชะลอการเหี่ยวของฝัก อีกทั้งยังช่วยลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพ หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการคัดเลือก ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ เพราะเป็นกระบวนการที่ช่วยลดการแพร่กระจายของโรคหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยจะคัดเลือกฝักที่ไม่ได้คุณภาพออก เช่น

ฝักที่ไม่ได้ขนาด ฝักที่เป็นโรค ไปจนถึงฝักที่มีรอยช้ำ รอยหัก เป็นต้น เมื่อคัดเลือกฝักที่มีคุณภาพดีแล้ว จะนำมาเข้าสู่กระบวนการบรรจุ ซึ่งการเลือกภาชนะที่เหมาะสมจะช่วยลดการสูญเสียของน้ำหนักสด ชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และลดการสูญเสียของวิตามินซีได้ เช่น การใช้ถุงพอลิเอทิลีน เป็นต้น (Watada et al., 1987) หลังจากนั้นจึงนำบรรจุภัณฑ์ที่ได้ไปบรรจุในภาชนะที่เป็นทรงเหลี่ยม เพื่อลดการกระแทกอันนำมาซึ่งรอยช้ำของฝัก ก่อนที่จะขนส่งต่อไป

1.4 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว

หลังจากผลผลิตถูกเก็บเกี่ยวจากลำต้น ผลของพืชแต่ละชนิดไม่ได้หยุดการพัฒนา เพราะผลเหล่านี้ยังคงเกิดกระบวนการทางเคมี และมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอยู่ โดยผลจะมีการพัฒนาเข้าสู่ระยะต่างๆ ตั้งแต่ระยะที่เจริญเต็มที่เมื่อเก็บเกี่ยว ระยะที่ผลสุก ไปจนถึงระยะที่ผลหมดอายุการเก็บรักษา หรือสามารถอธิบายได้ว่า ทุกระยะของผลล้วนเกิดภาวะเสื่อมตามอายุหรือการวาย (senescence) ทำให้ลักษณะทางสรีรวิทยามีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การเปลี่ยนสี กลิ่น ความนิ่มของผล ไปจนถึงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายในผล เพราะมีการสลายหรือการเปลี่ยนรูปของสารบางชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการทางเคมีที่จะเกิดขึ้น เช่น การสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคสเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ เป็นต้น

ถั่วแขกถูกจัดให้เป็นผักที่รับประทานผล ซึ่งก็คือส่วนฝัก โดยการเปลี่ยนแปลงของฝักถั่วนับจากการเก็บเกี่ยวเมื่อฝักเจริญเต็มที่คือ จากฝักสดที่ ไม่นิ่ม ไม่มีรอยช้ำ และมีสีเขียวสม่ำเสมอทั่วทั้งฝัก เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าฝักเริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักสด เพราะมีการสูญเสียน้ำภายในเซลล์ นอกจากนี้ยังพบการงอของฝักที่มากขึ้น ฝักนิ่มมากขึ้น สีเขียวของฝักจางลงเพราะมีการสลายของคลอโรฟิลล์ เมล็ดมีการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วง อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี (Proulx et al., 2010)

1.5 แนวทางอื่นๆ ที่ใช้ยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว

แนวทางที่สามารถใช้ในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวสามารถทำได้หลากหลายวิธี โดยวิธีที่เป็นที่นิยม มีดังนี้

1.5.1 การใช้แก๊สโอโซน

โอโซนเป็นหนึ่งในแนวทางที่นำมาใช้ โดยมีความสามารถในการกำจัดเชื้อโรคจำพวกแบคทีเรีย รา ไปจนถึงสปอร์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Horvitz and Cantalejo, 2014)

1.5.2 การฉายรังสี UV-C

การฉายรังสี UV-C ช่วยชะลอการเสื่อมถอยของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ฝักยังมีความเต่งตึง และลดการสูญเสียของคลอโรฟิลล์ได้ (Allende and Artès, 2003)

1.5.3 การใช้แคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมมีบทบาทสำคัญในการคงไว้ซึ่งความแข็งแรงของผนังเซลล์ โดยจะประสานกับเพกตินที่บริเวณ middle lamella เมื่อนำถั่วแขกไปจุ่มในแคลเซียมคลอไรด์จึงทำให้ฝักถั่วแขกยังคงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้นานขึ้น (Kasim and Kasim, 2015)

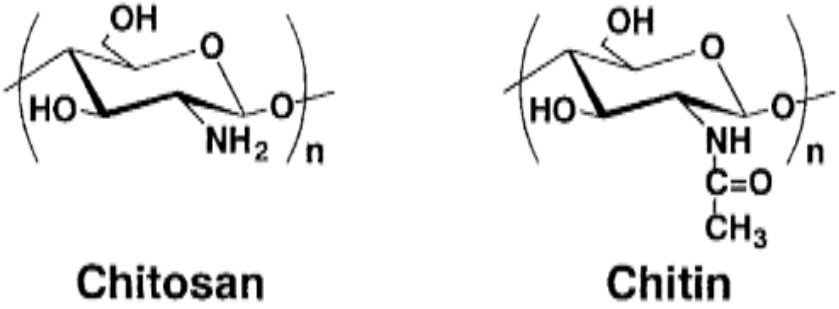
1.5.4 การใช้ไคโทซาน

การใช้ไคโทซานในการเคลือบผิวผลไม้สามารถช่วยยืดอายุของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวได้ อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถรับประทานได้โดยไม่ส่งผลข้างเคียงแก่ผู้บริโภค และเนื่องจากคุณสมบัติของไคโทซานที่สามารถเคลือบผิวของผลผลิตเอาไว้ได้ จึงสามารถชะลอการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำของผลผลิต ชะลอการเปลี่ยนสีของผลผลิต ชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เป็นต้น โดยการทดลองในฝรั่ง พบว่าการใช้ไคโทซานช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักสด ชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และวิตามินซี เป็นต้น (Hong et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไคโทซานกับสตรอวเบอร์รี่ยังให้ผลที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และไคโทซานยังมีส่วนช่วยในการชะลอการสลายตัวของสารจำพวกแอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์อีกด้วย (Petriccione et al., 2015)

ไคทิน-ไคโทซาน

2.1 ที่มาของไคทิน-ไคโทซาน

ไคทินเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับเซลลูโลส คือ มีโมโนเมอร์เป็น 2-acetamido-2-deoxy-β-D-glucose (NAG) (รูปที่ 2.1) ไคทินสามารถพบได้มากในธรรมชาติ โดยพบได้ทั่วไปในโครงสร้างของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น กุ้ง ปู แมลง รวมถึง ผนังเซลล์ของเห็ด และยีสต์ โครงสร้างของไคทินประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเล็ก ๆ เรียกว่า N-Acetylglucosamine ต่อกันเป็นโครงสร้างสายยาวที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในกรดอนินทรีย์ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน เป็นต้น (วราวุฒิ พุทธให้, 2546)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคโทซานและไคทิน (Hirano, 1999)

ไคโทซาน (2-amino-2-deoxy-β-D-glucose) คืออนุพันธ์ของไคทินที่มีหมู่อะซิติลต่อโมเลกุลในปริมาณน้อย (รูปที่ 2.1) เนื่องจากมีผ่านปฏิกิริยา deacetylation ทำให้โครงสร้างของไคโทซานมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้มากกว่าไคทินและยังสามารถละลายได้ในกรดอ่อน (วราวุฒิ พุทธให้, 2546)

2.2 การผลิตไคโทซาน (สุธิดา คงทอง, 2552)

การผลิตไคโทซานจากวัตถุดิบธรรมชาติต่าง ๆ เช่น เปลือกกุ้ง หรือกระดองปูให้ได้เป็นไคโทซานจะต้องผ่านกระบวนการหลัก ๆ ดังนี้

2.2.1 กระบวนการกำจัดโปรตีน (deproteination) เป็นกระบวนการกำจัดโปรตีนออกโดยทำปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งนิยมใช้โซดาไฟ (NaOH) ซึ่งในกระบวนการนี้ไขมันและรงควัตถุบางชนิดอาจถูกกำจัดออกไปด้วย

2.2.2 กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (demineralization) คือการนำวัตถุดิบที่ผ่านการกำจัดโปรตีนแล้ว มาทำปฏิกิริยากับกรด เช่น กรดเกลือ (HCl) เพื่อเป็นการกำจัดเกลือแร่ ได้แก่ หินปูน โดยหินปูนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ

2.2.3 กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซิติล (deacetylation) เป็นการกำจัด หรือลดหมู่ acetyl ของไคทิน เพื่อเกิดเป็นไคโทซาน ทำให้ไคโทซานมีความสามารถในการละลายได้ดีกว่าไคทิน

2.3 ผลของไคโทซานต่อการเปลี่ยนแปลงหลังเก็บเกี่ยว

ไคโทซานได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวในผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิดทั้งผัก ผลไม้ รวมไปถึงดอกไม้ โดยอาจใช้เพียงไคโทซานเพียงอย่างเดียวหรืออาจมีการนำไปใช้ร่วมกับวิธีที่ช่วยยืดอายุวิธีอื่นด้วยก็ได้ เช่น นำไปใช้ร่วมกับวิธีการจุ่มน้ำร้อน (Elsayed et al., 2019) หรือใช้ร่วมกับวิธีการเก็บรักษาแบบดัดแปลง (Candir et al., 2018) เป็นต้น การนำมาใช้ร่วมกับวิธีอื่น ๆ มีส่วนช่วยในการพัฒนาประสิทธิภาพของการจัดการผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีขึ้นและช่วยให้ผลของการใช้ไคโทซานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การใช้ไคโทซานกับผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวมีส่วนช่วยในการชะลอความเสื่อมสลายของผลผลิต ทั้งลดการสูญเสียน้ำหนักสดของผลผลิตโดยพบว่าในการทดลองในผลผลิตหลายชนิดนั้นมีการสูญเสียน้ำหนักสดที่น้อยลง เพราะไคโทซานที่เคลือบผิวจะช่วยลดการสูญเสียน้ำ การใช้ไคโทซานสามารถช่วยลดการหายใจของผลผลิต ชะลอการสลายของคลอโรฟิลล์ทำให้ผลผลิตยังมีสีสันที่ดูสดใหม่ ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตเกิดการเน่า เช่น แบคทีเรียและรา เป็นต้น อีกทั้งช่วยยังลดการเกิดรอยสีน้ำตาลของผลผลิต โดยการยับยั้งการเกิดเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ที่ตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ผลผลิตเกิดสีน้ำตาล (Dong et al., 2004)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์

1.1 พืชทดลอง

ฝักถั่วแขกอินทรีย์ เก็บเกี่ยวจากแหล่งเพาะปลูกที่ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา ขนส่งถึงห้องปฏิบัติการภายใน 4 ชั่วโมงหลังเก็บเกี่ยว นำมาคัดเลือก โดยใช้ฝักที่มีขนาดความกว้างและความยาวของฝักที่เท่า ๆ กัน เลือกฝักที่มีสีเขียวสม่ำเสมอ ไม่มีรอยช้ำหรือรอยแมลงกัด

1.2 อุปกรณ์

ภาชนะสำหรับจุ่มไคโทซาน

เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ถุงซิปล็อคขนาด 9x11 นิ้ว

เครื่องคนสาร

โกร่งและสาก

เครื่องวัดค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องปั่นเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ

สเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (Aligent 8453)

1.3 สารเคมี

ผงไคโทซาน (265 kDa) (Marine Bio Resources Co., Ltd)

80% Acetone

80% Ethanol

2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

0.5% Acetic acid

2, 4-Dinitrophenylhydrazine (DNPH)

Metaphosphoric acid

2, 6-Dichlorophenolindolphenol (DCIP)

Thiourea

Sulfuric acid

Ascorbic acid

วิธีการทดลอง

2.1 การทดลองเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

นำฝักถั่วแขกที่ผ่านการคัดเลือกแล้วไปเคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้น 0, 0.25, 0.5 และ 1.0% ในสารละลายกรดแอซิติก 0.5% เป็นเวลา 1 นาที โดยดัดแปลงจากวิธีของ Jiang และ Li (2001) และวิธีของ Eryani และคณะ (2008) โดยการทดลองชุดควบคุมเคลือบผิวฝักถั่วแขกด้วยน้ำกลั่น หลังจากจุ่มในไคโทซานแล้ว ผึ่งให้แห้งและนำไปบรรจุในถุงซิปล็อค จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ถุง แต่ละถุงประกอบด้วยถั่วแขก 4 ฝัก เก็บผลการทดลองทุก 5 วัน เป็นเวลา 10 วัน โดยจะเลือกฝักถั่วแขกในแต่ละฝักของถุงไปทำการทดลองเพื่อรักษาคุณภาพและศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาด้วยวิธีการสุ่ม ดังนี้

2.1.1 ลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขก

สังเกตรอยสีน้ำตาลและการเหี่ยวของฝักถั่วแขก โดยประเมินเป็น 5 ระดับ คือ แย่มาก แย่ ยอมรับได้ ดี และดีมาก (Kasim and Kasim, 2015) โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขกของ Proulx และคณะ (2010)

5 คะแนน สำหรับฝักที่ไม่มีตำหนิ เช่น รอยช้ำ รอยน้ำตาล หรือฝักนิ่ม เป็นต้น

4 คะแนน สำหรับฝักที่มีตำหนิประมาณ 25% ของฝัก

3 คะแนน สำหรับฝักที่มีตำหนิประมาณ 50% ของฝัก

2 คะแนน สำหรับฝักที่มีตำหนิ มากกว่า 50% ของฝัก

1 คะแนน สำหรับฝักที่หมดอายุการเก็บรักษา

โดยฝักที่มีคะแนนต่ำกว่า 3 คะแนน คือฝักที่ไม่สามารถยอมรับได้

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

ชั่งน้ำหนักของฝักถั่วแขกด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทุกครั้งที่มีการเก็บผลการทดลอง และนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา})}{\text{น้ำหนักก่อนเก็บรักษา}} \times 100$$

2.1.3 การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (คงเอก สิริงาม, 2558)

ตัดส่วนเปลือกของฝักถั่วแขก ขนาดความกว้างและยาว 0.5 เซนติเมตร โดยตัดบริเวณตำแหน่งที่ห่างจากปลายฝัก 5 เซนติเมตร นำชิ้นส่วนที่ตัดแล้วไปแช่ในน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องซาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ค่าที่ 1 (EC_1) จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที รอให้เย็น แล้วนำไปวัดค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ค่าที่ 2 (EC_2) นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการของ Dionisio-Sese and Tobita (1998)

$$\text{การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์} = \frac{\text{ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ค่าที่ 1}}{\text{ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ค่าที่ 2}} \times 100$$

2.1.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ดัดแปลงจาก Kinyuru et al, 2011)

บดถั่วแขก 1 กรัม ด้วยไนโตรเจนเหลว และเติม 80% acetone ให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ใช้ส่วนใสไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 และ 645 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วย MacKinney's Coefficients โดยปริมาณคลอโรฟิลล์สุทธิ (µg/g) เท่ากับ $20.2A_{645} + 8.02A_{663}$ ใช้ 80% acetone เป็น Blank

2.1.5 ปริมาณวิตามินซี (ดัดแปลงจาก Rahman, Khan and Hasain, 2007)

วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี Dinitrophenylhydrazine (DNPH) โดยบดฝักถั่วแขก 1 กรัม ด้วยไนโตรเจนเหลว และเติม 5% metaphoric acid ใน 10% acetic acid จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ใช้ส่วนใส 0.6 มิลลิลิตร และเติม 0.2% 2, 6-dichlorophenolindolphenol (DCIP) 0.1 มิลลิลิตร แล้วบ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นใส่ 2% thiourea ใน 5% metaphosphoric acid 0.2 มิลลิลิตร และเติม 2% DNPH ใน 85% sulfuric acid 0.1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยนำหลอดทดลองแช่ในน้ำแข็ง และค่อย ๆ ใส่ 85% sulfuric acid ที่อยู่ในน้ำแข็ง 0.1 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 521 นาโนเมตร แล้วนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน

2.1.6 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (ดัดแปลงจาก Choi et al, 2006)

บดฝักถั่วแขก 0.5 กรัม ด้วยไนโตรเจนเหลว และเติม 80% ethanol 3.5 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ใช้ส่วนใส 40 ไมโครลิตร มาเติมด้วย 0.2 mM DPPH 160 ไมโครลิตร ทิ้งในที่มืด 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ใช้ 80% ethanol เป็น control นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ ดังนี้

$$\text{DPPH inhibition (\%)} = \frac{\text{Abs control-Abs Sample}}{\text{Abs control}} \times 100$$

2.2 ทดลองเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ทดลองเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ดังข้อ 2.1 นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสและวัดคุณภาพของฝักถั่วแขก โดยเก็บข้อมูลทุก 5 วัน เป็นเวลา 20 วัน หรือจนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา

2.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย One-Way ANOVA ยกเว้นการทดลองในข้อ 2.1.1 ที่จะวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี Nonparametric Statistics จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดทดลองด้วยวิธี LSD ด้วยโปรแกรม SPSS 22.0 (SPSS Inc, USA) (Eryani et al., 2008)

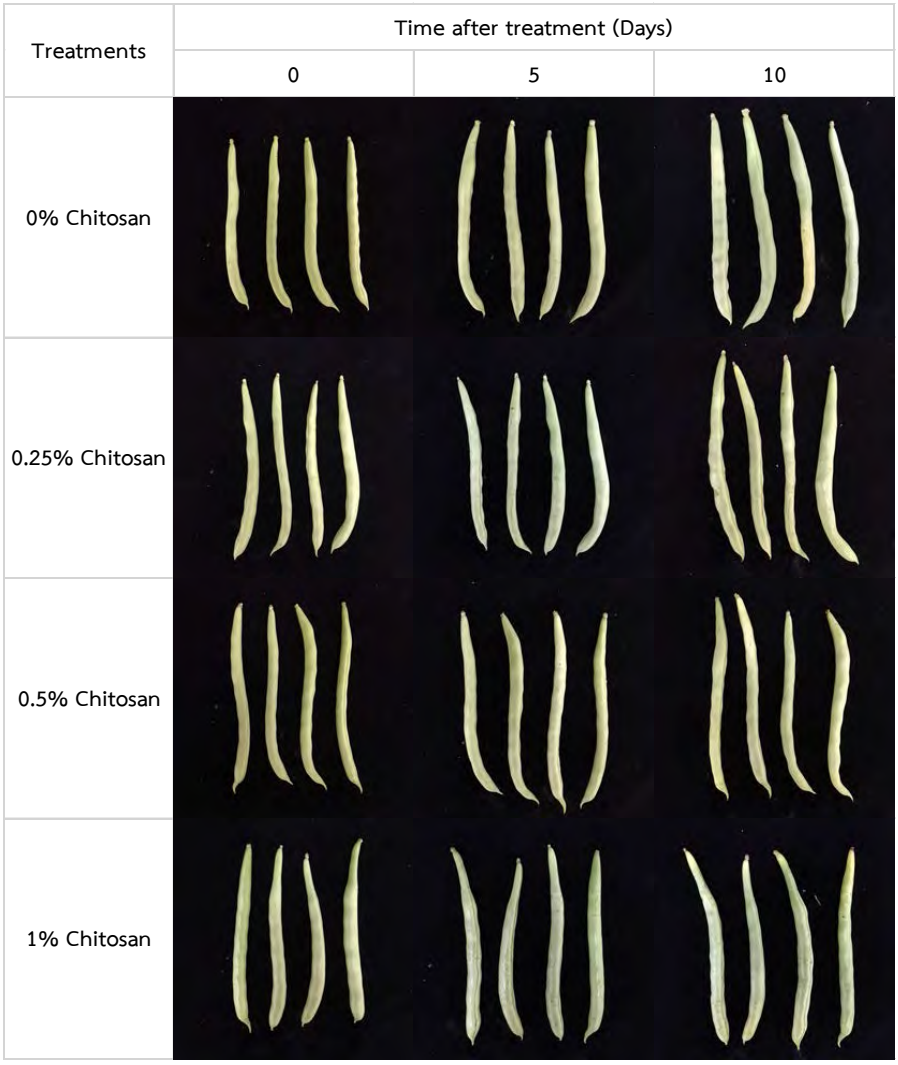
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

1. ลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขก

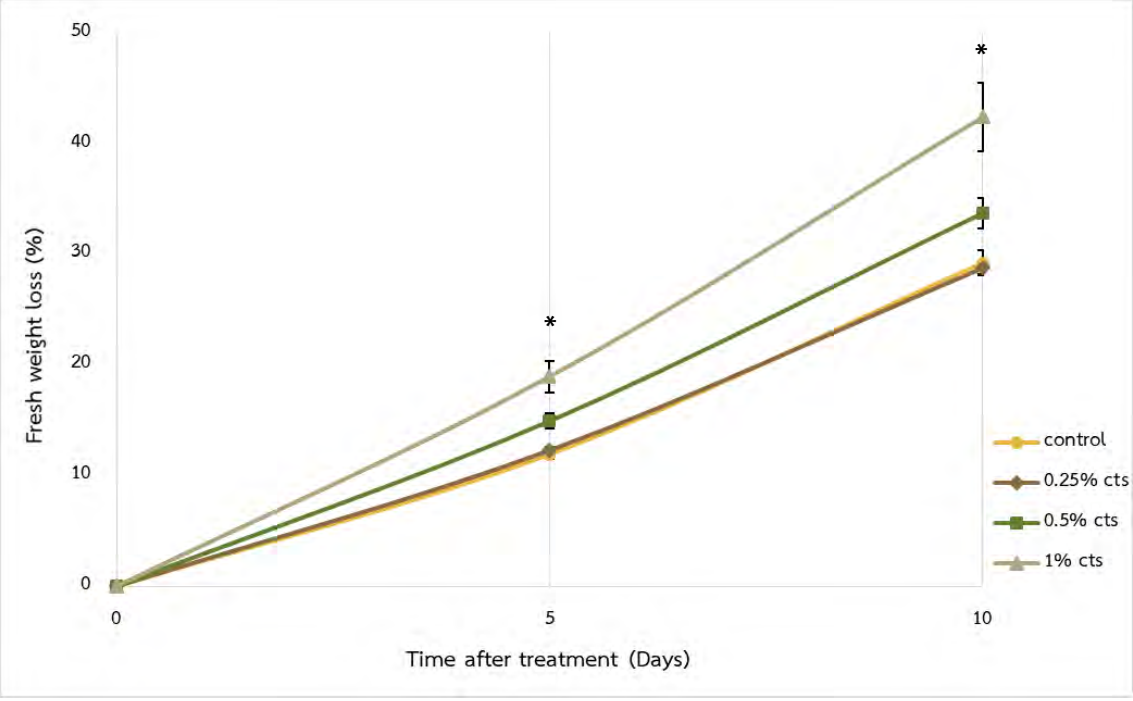
ลักษณะภายนอกของถั่วแขกขณะทำการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ระหว่างชุดการทดลองควบคุมกับชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 1% และระหว่างชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซาน 0.25% กับชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 1% โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซาน 1% คือ เกิดจุดสีน้ำตาลเล็ก ๆ ทั่วทั้งฝัก และมีรอยเหี่ยวจากการสูญเสียน้ำ ส่วนในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ระหว่างชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 0.25% กับ ชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 1% โดยฝักถั่วที่ทดลองเคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้น 1% พบว่าฝักเหี่ยวมาก มีสีฝักที่เหลืองขึ้น อีกทั้งยังเริ่มแสดงอาการเน่าบริเวณปลายฝัก (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขกระหว่างการเก็บรักษาด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2. การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด

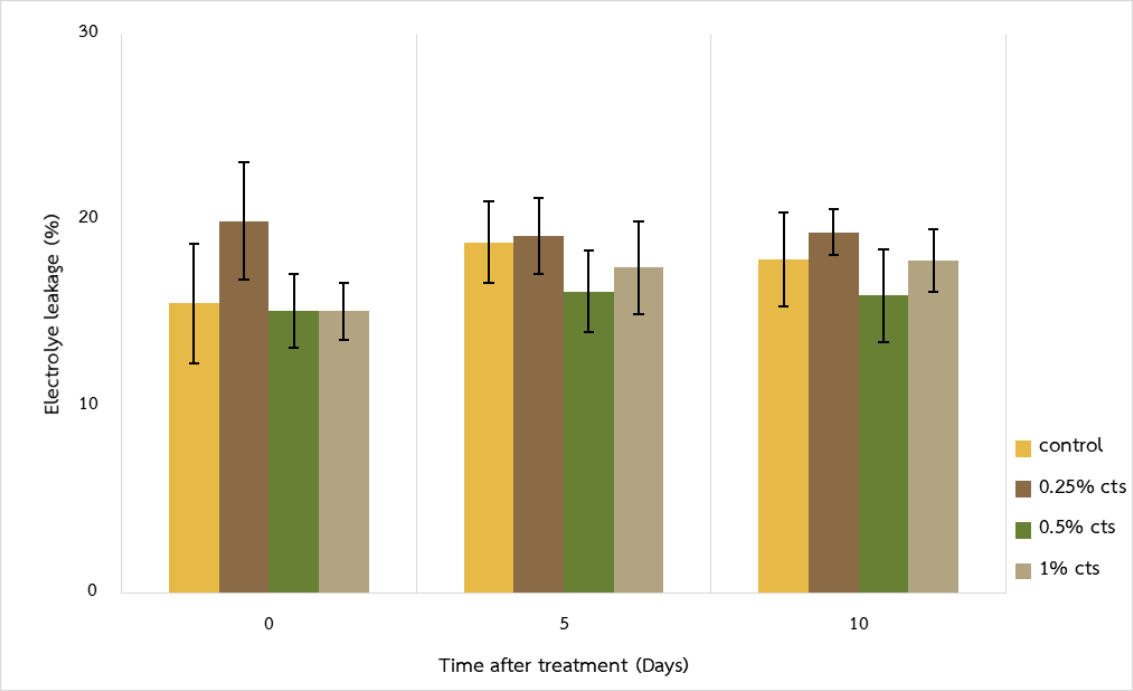
น้ำหนักสดของถั่วแขกหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มการทดลอง โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในระหว่างที่มีการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง โดยการเก็บรักษาในวันที่ 5 พบว่า ชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซาน 0.25% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 0.5% และ 1% คือ 11.94% และ 12.28% ตามลำดับ (เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%) ส่วนการเก็บรักษาในวันที่ 10 พบว่าชุดการทดลองควบคุม ชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 0.25% และ 0.5% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 1% คือ 29.21%, 28.75% และ 33.71% ตามลำดับ (เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3. การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

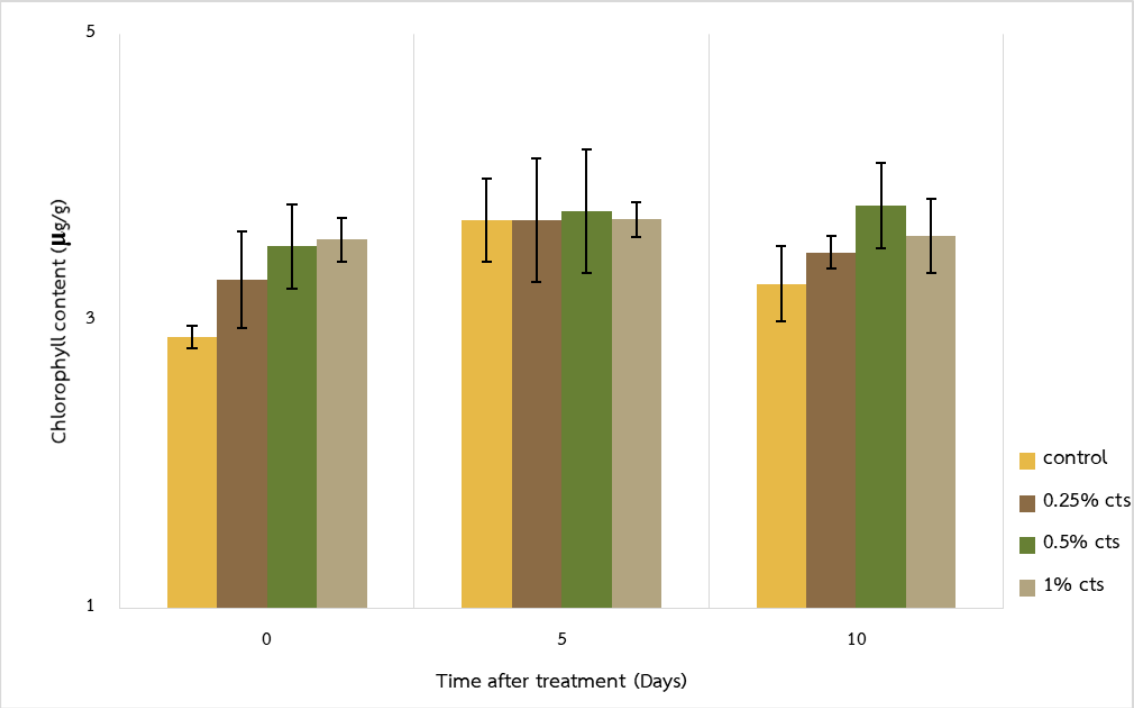
เมื่อเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4. ปริมาณคลอโรฟิลล์

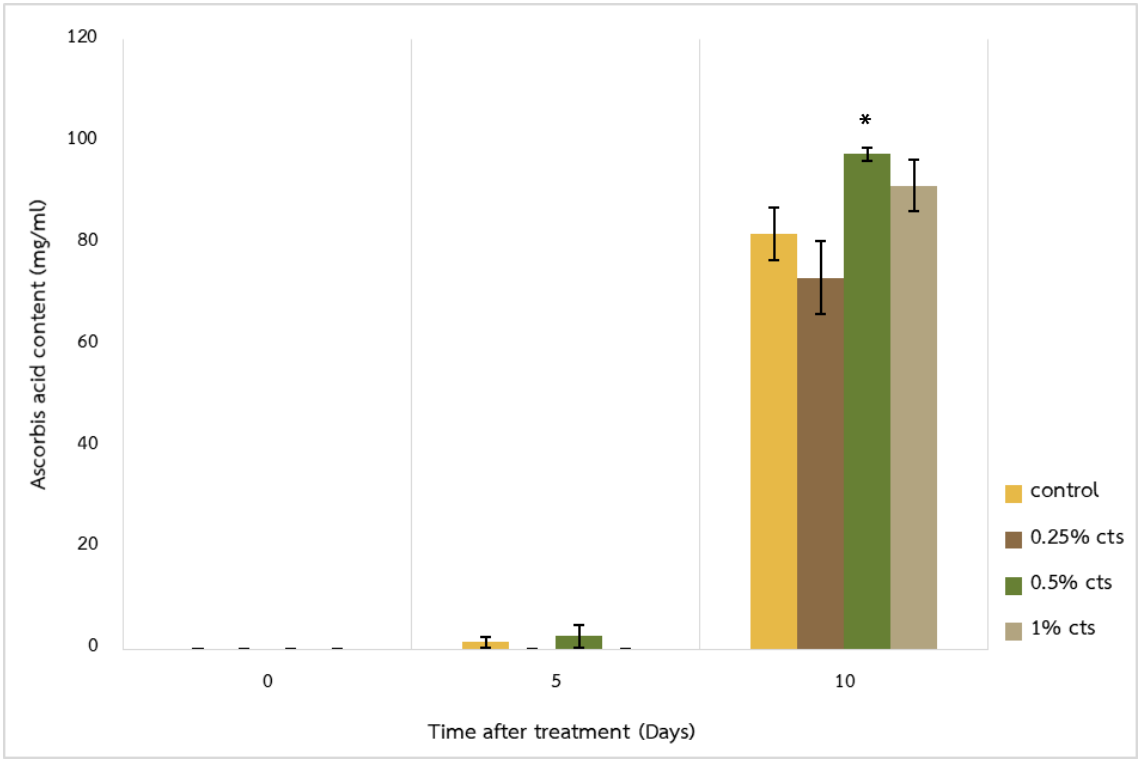
เมื่อเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

5. ปริมาณวิตามินซี

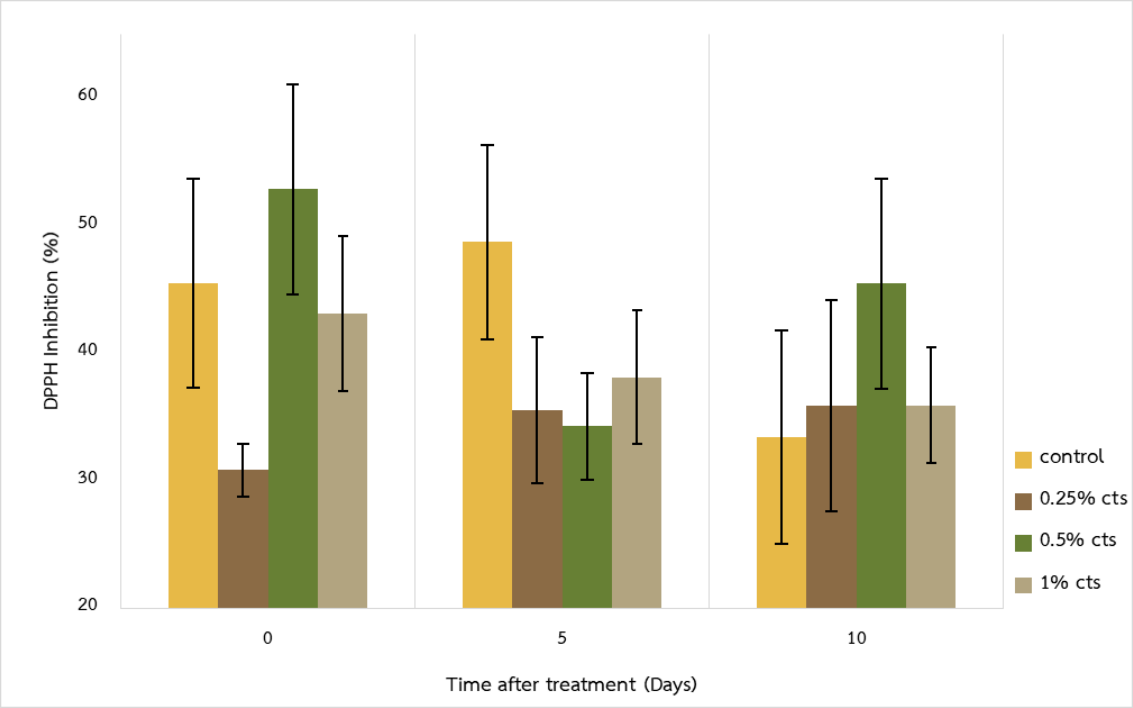
จากการทดลองเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าในวันที่ 0 และ 5 ของการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซีของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% คือ พบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองควบคุม และไคโทซานเข้มข้น 0.5% นอกจากนี้ จากรูปที่ 4.5 พบว่าปริมาณวิตามินซีของทุกชุดการทดลองมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา โดยในวันแรกของการทดลองนั้นไม่สามารถวัดค่าได้ และในวันที่ผ่านการเก็บรักษาวันที่ 5 นั้นพบว่ามีเพียงการทดลองชุดควบคุมและการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 0.5% ที่มีปริมาณของวิตามินซีที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 4.5 ปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

6. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

เมื่อเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บเกี่ยวมีชุดการทดลองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซาน 0.25% และ 0.5% นอกจากนั้น ที่ระหว่างการเก็บรักษาในวันอื่นๆ นั้น ในทุกชุดการทดลองพบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังรูปที่ 4.6

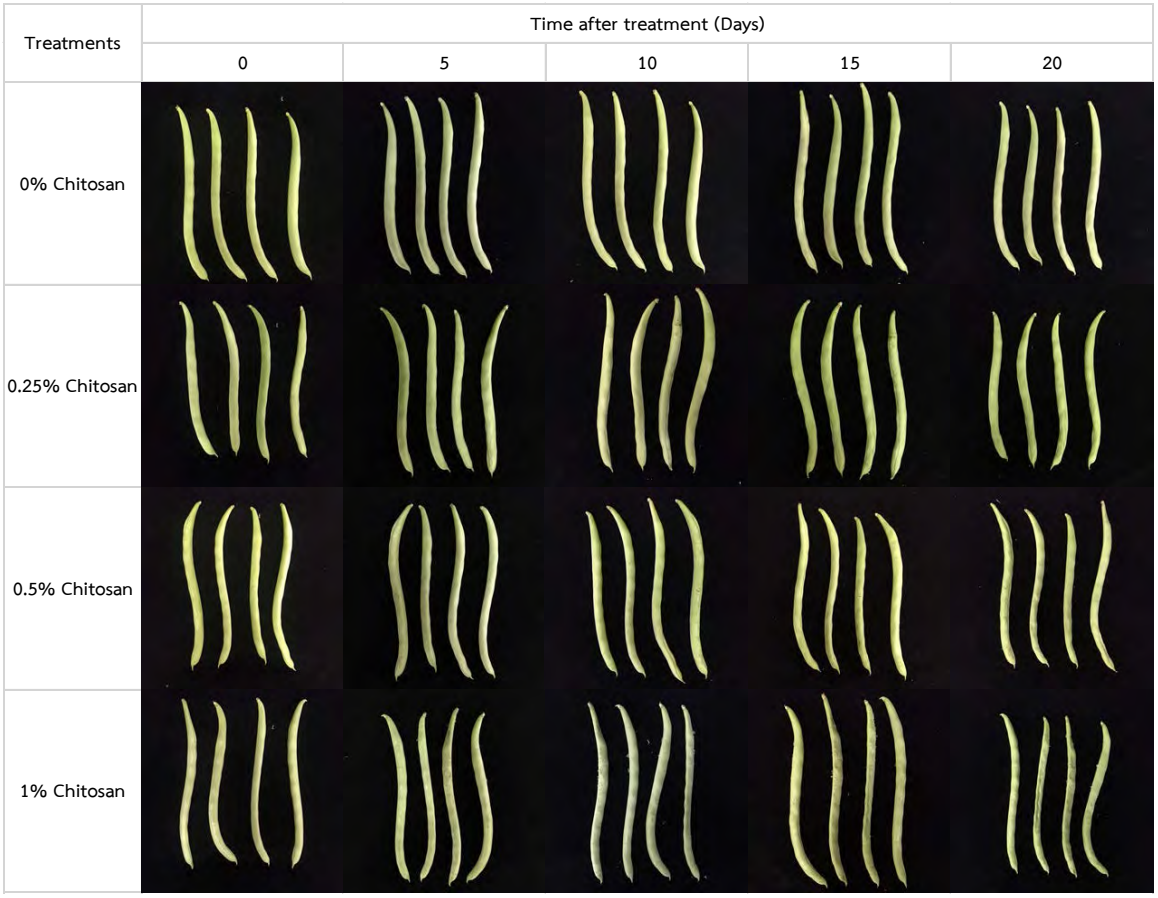


รูปที่ 4.6 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

1. ลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขก

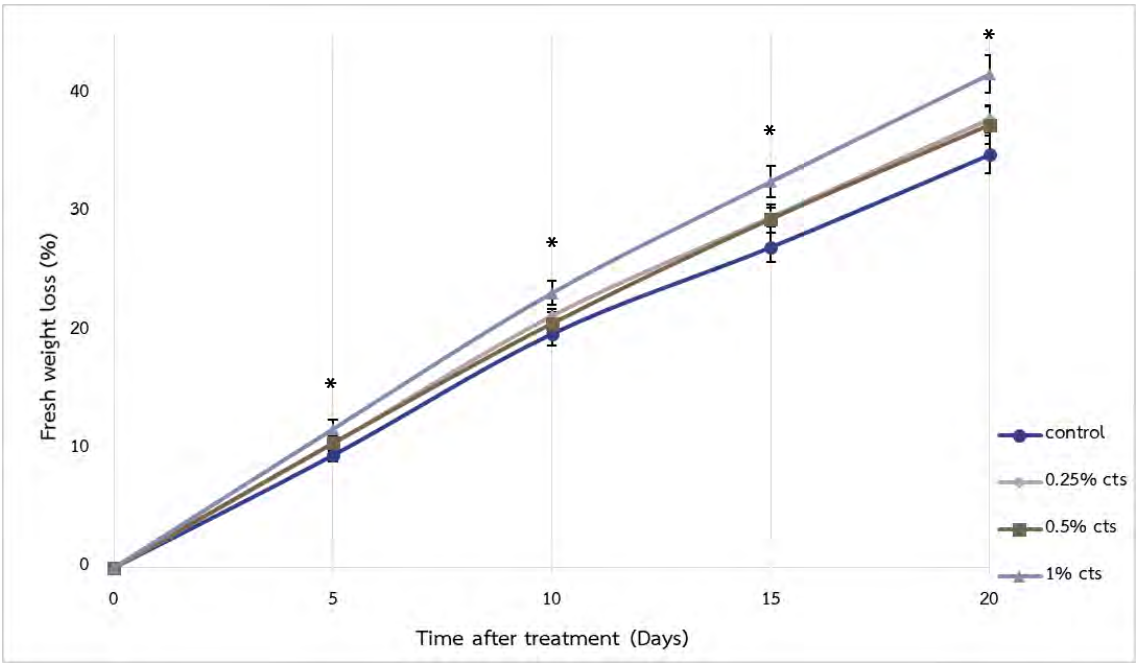
ลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขกมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 5 และวันที่ 10 ของการเก็บรักษาพบว่าชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 1% มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยลักษณะความแตกต่างที่ปรากฏคือ ฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 1% มีจุดสีน้ำตาลกระจายทั่วฝัก ฝักนิ่ม เหี่ยวจนเห็นเป็นรอยนูนของเมล็ดภายในฝัก และมีการลอกของไคโทซานที่เคลือบไว้ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นลักษณะของถั่วแขกที่หมดอายุการเก็บรักษา ส่วนในวันที่ 15 และ 20 ของการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างทางสถิติของทุกชุดการทดลอง คือ ฝักถั่วแขกของทุกชุดการทดลองมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ 4.7)



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของฝักถั่วแขกระหว่างการเก็บรักษาด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

2. การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด

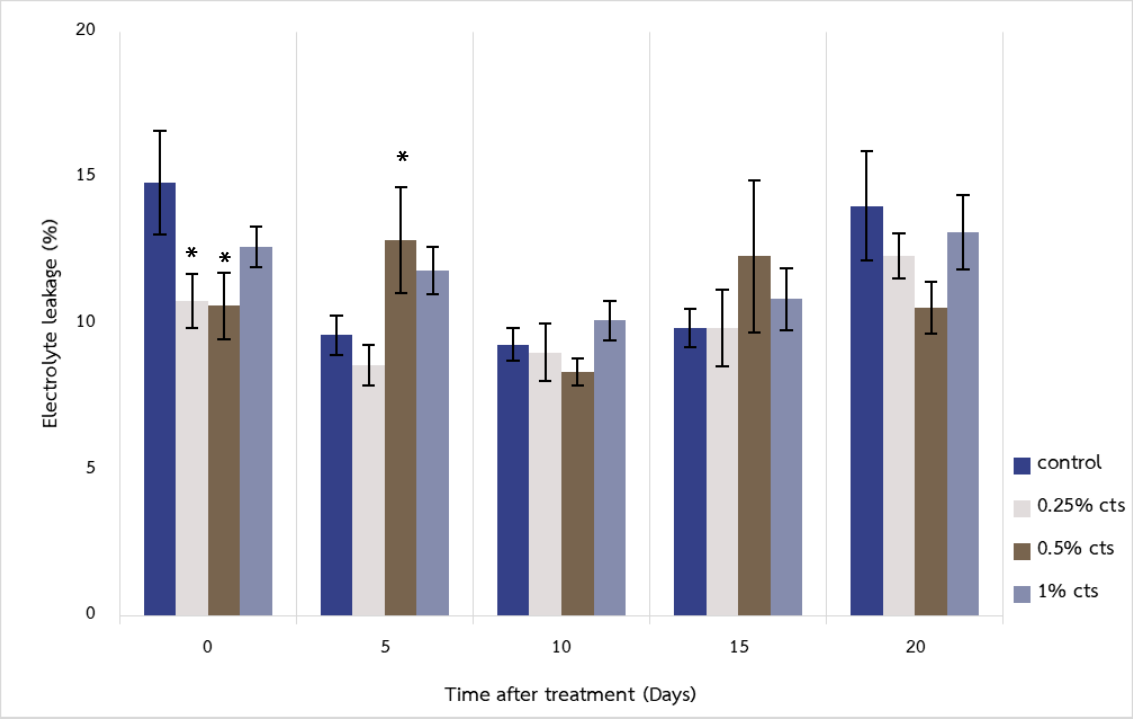
น้ำหนักสดของถั่วแขกหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างที่มีการเก็บรักษา และพบว่าในการเก็บรักษาระหว่างวันที่ 5 ถึง 20 ชุดการทดลองที่เคลือบไคโทซาน 1% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 4.8) โดยชุดการทดลองชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดที่น้อยที่สุด และชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 1% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด



รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

3. การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

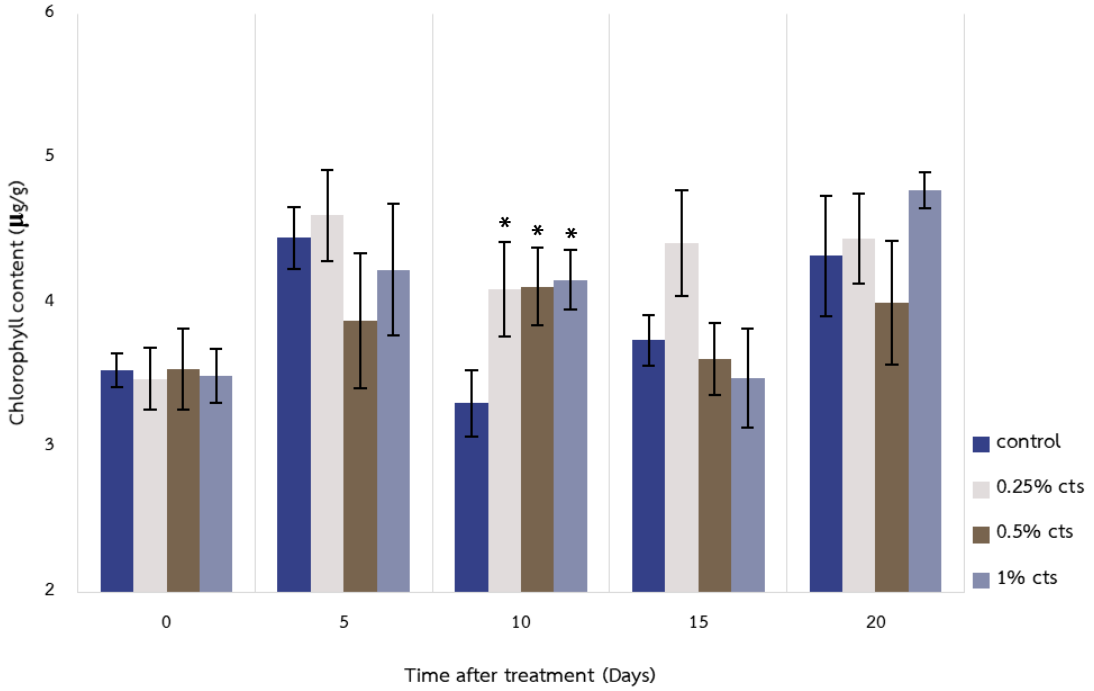
จากการทดลองเคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในวันที่ 0 และวันที่ 5 ชุดการทดลองควบคุม ชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซาน 0.25% และ 0.5% มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ในช่วงการเก็บรักษาระหว่างวันที่ 10 และวันที่ 20 มีแนวโน้มการเพิ่มการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

4. ปริมาณคลอโรฟิลล์

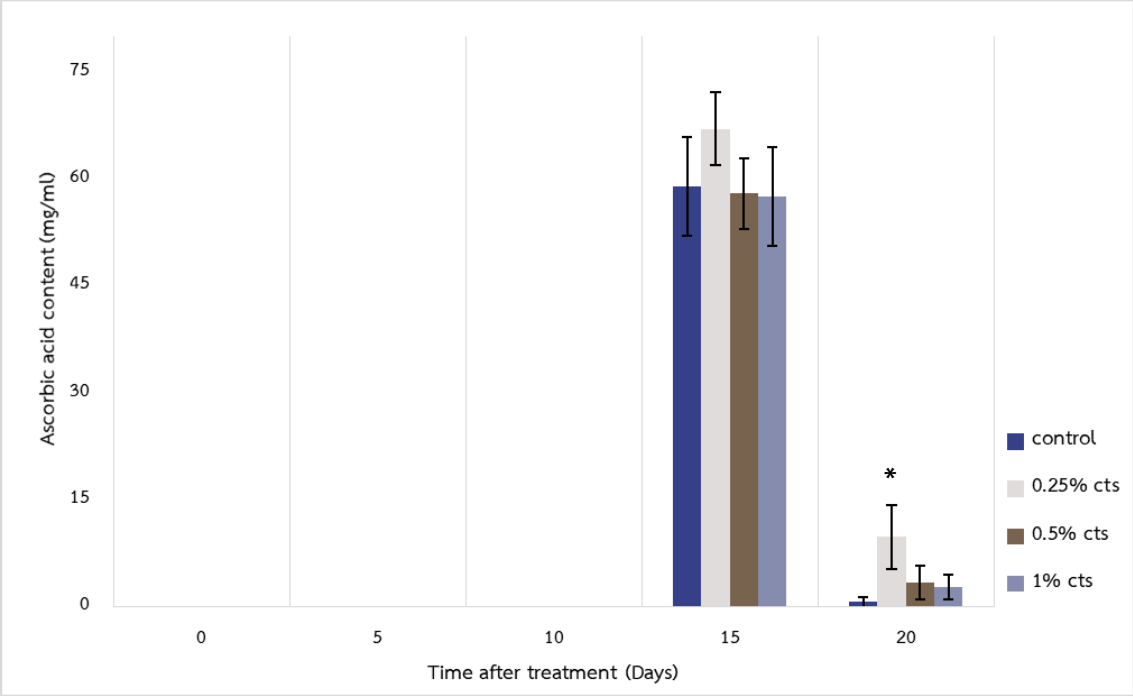
จากการทดลองเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ในการทดลองที่ผ่านการเก็บรักษาในวันที่ 10 และ 15 โดยวันที่ 10 ของการเก็บรักษาพบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองอื่น ๆ ส่วนในวันที่ 15 ของการเก็บรักษานั้นพบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองที่ใช้ไคโทซานเข้มข้น 0.25% และ 1% (รูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

5. ปริมาณวิตามินซี

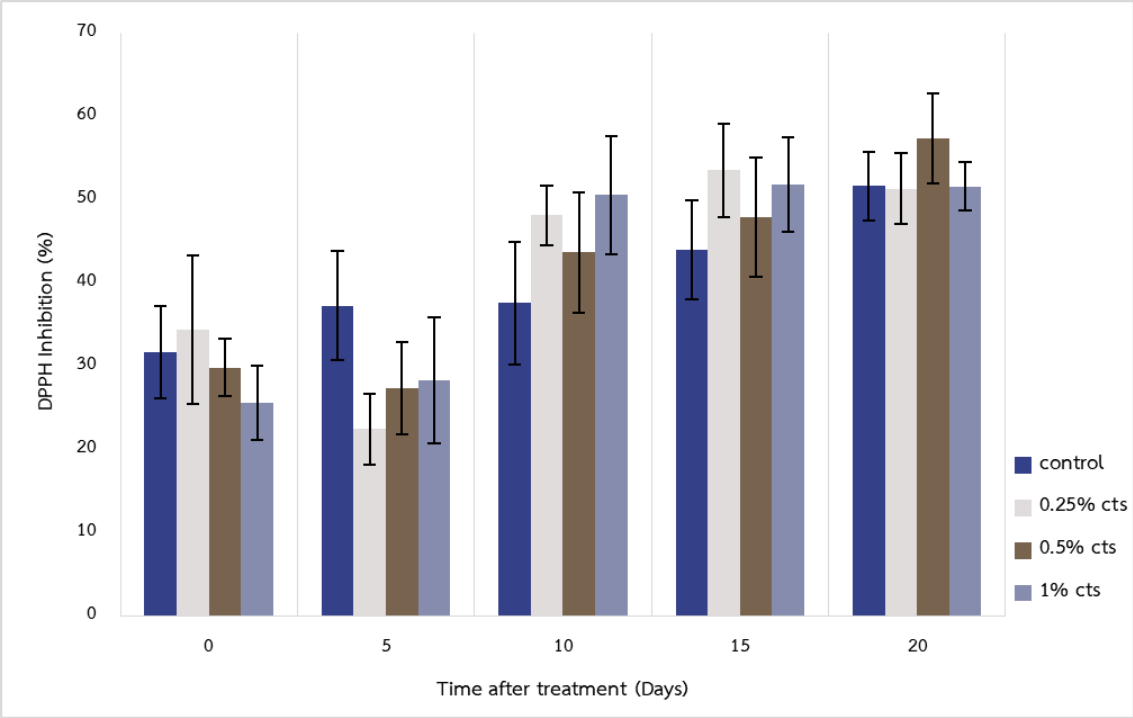
จากการทดลองเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าหลังผ่านการเก็บรักษาในวันที่ 20 ที่ชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซาน 0.25% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยพบว่าปริมาณวิตามินซีของทุกการทดลองมีค่าสูงที่สุดในวันที่ผ่านการเก็บรักษาวันที่ 15 และมีจะปริมาณลดลงในวันที่ 20 ส่วนในระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 10 ของการทดลองนั้นไม่สามารถวัดค่าได้ (รูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 ปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

6. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

จากการทดลองเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปถึงวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ฝักถั่วแขกมีแนวโน้มที่จะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นไปจนถึงการเก็บรักษาในวันที่ 20 (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.12 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองเบื้องต้น ได้ฝักถั่วแขกที่มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอจึงคัดเลือกฝักถั่วแขกที่มีตำหนิไม่เกิน 2 จุดมาทำการทดลอง เนื่องจากฝักถั่วแขกที่นำมาทดลองเป็นฝักถั่วแขกที่มีการปลูกแบบอินทรีย์จึงมีความสม่ำเสมอน้อยและมีคุณภาพแตกต่างกันค่อนข้างมาก นอกจากนี้ จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าความเข้มข้น 2% เป็นความเข้มข้นที่สูงเกินไป เพราะไคโทซานที่ความเข้มข้น 2% ไม่สามารถละลายได้ทั้งหมดใน 0.5% acetic acid จึงได้ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของไคโทซานจากเดิม 2% ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ในการทดลองเป็นความเข้มข้น 1% และเพิ่มชุดทดลองที่ใช้ไคโทซานความเข้มข้น 0.25% ในการทดลอง ทั้งนี้ ผลการทดลองส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของฝักถั่วแขกซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการติดโรคของฝักจากในแปลงรวมทั้งความเข้มข้นของไคโทซานที่ใช้ซึ่งอาจจะยังเป็นความเข้มข้นที่สูงเกินไปแม้จะได้ปรับลดลงมาแล้ว

การทดลองเคลือบฝักถั่วแขกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ถั่วแขกที่ทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้เพียง 10 วัน เนื่องจากหมดอายุการเก็บรักษา โดยแสดงอาการต่าง ๆ ได้แก่ ฝักนิ่ม งอ สีของฝักเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และฝักเหี่ยวลงอย่างเห็นได้ชัด จากการทดลองและการสังเกตลักษณะภายนอกพบว่าการใช้ไคโทซานเข้มข้น 0.25% นั้นสามารถช่วยให้ถั่วแขกมีลักษณะภายนอกที่ดีที่สุด และที่ความเข้มข้นนี้ยังสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ก็แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมเพียงเล็กน้อย ส่วนผลการทดลองอื่น ๆ พบว่าการใช้ไคโทซานไม่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขก ซึ่งอาจเป็นเพราะความเข้มข้นของไคโทซานที่ใช้ไม่เหมาะสมต่อการนำไปเก็บรักษา ซึ่งคาดว่าหากลดความเข้มข้นของไคโทซานให้ต่ำกว่านี้อาจจะช่วยรักษาคุณภาพของฝักถั่วแขกไว้ได้ดีกว่านี้โดยสังเกตจากแนวโน้มการใช้ความเข้มข้นต่ำที่ให้ผลการลดการสูญเสียน้ำหนักสดได้ดีที่สุด นอกจากนี้ ความเข้มข้นของไคโทซานที่ใช้นั้นเป็นความเข้มข้นที่ใช้ได้ดีในการเคลือบผักผลไม้ชนิดอื่น เช่น ฝรั่ง (Hong et al., 2012) ลำไย (Jiang and Li., 2001) และสตรอว์เบอร์รี่ (Petriccione et al., 2015) เป็นต้น แต่พบว่าไม่เหมาะกับการใช้เคลือบฝักถั่วแขก ซึ่งฝักถั่วแขกมีผิวที่บอบบางและไวต่อการเน่าเสียได้ง่ายกว่าผักผลไม้ทั่วไป ไคโทซานที่มีความเข้มข้นมากเกินไปอาจจะเป็นพิษกับผิวของฝักถั่วแขก

ในส่วนของการทดลองวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี พบว่าในวันแรกและวันที่ 5 หลังการเก็บรักษานั้นมีปริมาณวิตามินซีน้อยมากจนไม่สามารถวัดได้ ส่วนในวันที่ 10 ของการเก็บรักษานั้นพบว่าเป็นวันที่มี

ปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด อาจเป็นเพราะว่าการหายใจของฝักถั่วแขกที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นทำให้มีปริมาณของอนุมูลอิสระ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนเพิ่มมากขึ้นภายในถุงที่เก็บรักษา ทำให้ฝักถั่วแขกเกิดภาวะ oxidative stress จึงมีการสังเคราะห์วิตามินซีเพิ่มขึ้นเพื่อช่วยในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากภาวะนี้ (Tudela et al., 2002)

จากการทดลองหาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันพบว่า ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในแต่ละวันของการเก็บรักษานั้นไม่สอดคล้องกับปริมาณวิตามินซีที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นเพราะฝักถั่วแขกนั้นประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น เช่น สารฟีนอลิก วิตามินเอ และวิตามินเค เป็นต้น (U.S. Department of Agriculture, 2019: ออนไลน์)

การทดลองเคลือบฝักถั่วแขกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ในการทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าช่วยให้เก็บฝักถั่วแขกได้นานขึ้นคือ 20 วัน แต่อย่างไรก็ตาม ทุกความเข้มข้นของไคโทซานที่ใช้ในการเคลือบและเก็บรักษาที่อุณหภูมินี้ไม่สามารถช่วยในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวได้ แม้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของชุดการทดลองที่ใช้ไคโทซานเข้มข้น 0.25% จะมีปริมาณที่สูงกว่าชุดการทดลองชุดควบคุม อันเป็นผลมาจากการยับยั้งการสลายคลอโรฟิลล์ของไคโทซานก็ตาม (Dong et al., 2004) นอกจากนี้พบว่าการใช้ไคโทซานเข้มข้น 1% มีการลอกออกของไคโทซานที่เคลือบอยู่บนผิวของฝักถั่วแขกเป็นแผ่น ๆ ทั่วทั้งฝัก ทำให้ที่ความเข้มข้นนี้มีลักษณะภายนอกที่ปรากฏแย่ที่สุดและมีการสูญเสียน้ำหนักสดที่มากที่สุด เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สและการสูญเสียน้ำเนื่องจากการคายน้ำออกจากผิวของฝักถั่วแขกได้มากกว่าชุดการทดลองอื่น นอกจากนี้ ความเข้มข้นที่สูงถึง 1% อาจจะเป็นความเข้มข้นที่สูงเกินไปเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วในการทดลองก่อนหน้าที่เก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียสซึ่งทำให้เกิดความเสียหายของฝักถั่วแขก และจากการทดลองศึกษาปริมาณของวิตามินซีก็พบว่า ฝักถั่วแขกมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา และมีปริมาณที่ลดลงในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา โดยอาจอธิบายได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปฝักถั่วแขกมีการหายใจที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ภายในถุงที่บรรจุมีปริมาณอนุมูลอิสระ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิด oxidative stress เช่นเดียวกับที่เกิดในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนี้สามารถชะลอการเกิด oxidation stress ออกไปได้ 5 วัน โดยดูจากปริมาณวิตามินซีที่แสดงดังรูปที่ 4.9 จากนั้นวิตามินซีก็มีการสลายตัวในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา โดยมีสาเหตุมาจากการเสื่อมคุณภาพของฝัก และฝักหมดอายุการเก็บรักษา (Tudela et al., 2002) อย่างไรก็ตาม ในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา ที่ 25 องศาเซลเซียส การใช้ไคโทซานเข้มข้น 0.5% พบว่าฝักถั่วแขกมีปริมาณวิตามินซีสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส การใช้ไคโท

ซานเข้มข้น 0.25% ทำให้มีปริมาณวิตามินซีสูงสุด แสดงว่าสำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ความเข้มข้นของไคโทซาน 0.25% ก็เพียงพอที่จะรักษาปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกไว้ได้

นอกจากนี้จากการทดลองหาฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน พบว่าผลการทดลองไม่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินซี โดยอาจเป็นเพราะฝักถั่วแขกนั้นยังประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น ๆ ดังที่อภิปรายในหัวข้อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และสาเหตุที่ทำให้การใช้ไคโทซานส่งผลในทางลบกับฝักถั่วแขกอาจเป็นเพราะการใช้ไคโทซานที่มีความเข้มข้นสูงสามารถไปขัดขวางการแลกเปลี่ยนแก๊สและการหายใจของฝักถั่วแขก ทำให้ฝักถั่วแขกขาดแก๊สออกซิเจนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ จึงชักนำให้เกิดภาวะเครียดภายในฝักขึ้น

ดังนั้น การยืดอายุการเก็บรักษาของฝักถั่วแขกโดยการเคลือบผิวด้วยไคโทซานจึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมโดยลดความเข้มข้นของไคโทซานที่ใช้ให้ต่ำกว่า 0.25% รวมทั้งควรศึกษาสารเคลือบผิวชนิดอื่นที่อาจจะมีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของฝักถั่วแขกได้ดีกว่าและมีความเป็นพิษต่อฝักถั่วแขกน้อยกว่าไคโทซาน

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

1. ผลการเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซาน 0.25% เป็นชุดการทดลองที่ทำให้ฝักถั่วแขกมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่น้อยที่สุด คือฝักถั่วมีรอยตำหนิน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ โดยพบว่าสามารถยับยั้งการเกิดรอยสีน้ำตาลบนฝักได้ และยังทำให้ฝักถั่วมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดที่น้อยจึงทำให้ฝักนั้นยังเต่งตึงในขณะที่ทำการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณวิตามินซี และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน เมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม

2. ผลการเคลือบฝักถั่วแขกด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

การทดลองเคลือบด้วยไคโทซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่สามารถช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุของฝักถั่วแขกได้ โดยชุดการทดลองควบคุมมีคะแนนลักษณะภายนอกที่ปรากฏสูงที่สุด คือฝักสมบูรณ์ที่สุด อีกทั้งเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของชุดการทดลองที่เคลือบด้วยไคโทซานเข้มข้น 0.25% และ 0.5% ยังไม่แตกต่างจากชุดการทดลองควบคุม แม้จะพบความแตกต่างในการใช้ไคโทซาน 1% ที่มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดก็ตาม ในส่วนของค่าการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์พบว่าที่วันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างการทดลองควบคุมและการทดลองใช้ไคโทซานเข้มข้น 0.25% และ 0.5% โดยชุดการทดลองควบคุมมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์มากที่สุด และในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา พบความแตกทางทางสถิติระหว่างการทดลองควบคุมและการทดลองใช้ไคโทซานเข้มข้น 0.5% นอกจากนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์เมื่อผ่านการเก็บรักษา 10 วัน พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองควบคุมและทุกชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุดในวันนี้ จากการทดลองหาปริมาณวิตามินซี พบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองใช้ไคโทซานเข้มข้น 0.25% ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา และไม่พบความแตกต่างทางสถิติของฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

รายการอ้างอิง

คงเอก สิริงาม. 2558. ผลของสภาวะขาดน้ำต่อการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีน และการเจริญเติบโตของข้าว. Thai Journal of Science and Technology 4: 133-146.

วราวุฒิ พุทธให้. 2546. การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของเยื่อบางไคโตซานและเยื่อประกอบโพลิอีเทอร์ซัลไฟน์/ไคโตซานเพื่อทำเป็นเยื่อกรองระดับอัลตรา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2561. สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?ReportHarmonizeCommodity&Lang=Th&ImExType=2&Option=6&hscode=070820. [24 มีนาคม 2562]

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. 2559. ถั่วแขก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://hkm.hrdi.or.th/media/. [15 กุมภาพันธ์ 2563]

สุธิดา คงทอง. 2552. ไคติน-ไคโตซาน. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา. 1: 1-7.

Allende, A., and Artès, F. 2003. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. Food Research International 36: 739-746.

Candir, E., Erhan, A., and Aksoy, M. C. 2018. Effects of chitosan coating and modified atmosphere packaging on postharvest quality and bioactive compounds of pomegranate fruit cv. 'Hicaznar'. Scientia Horticulturae 235: 235-243.

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: 381-387.

Dionisio-Sese, M. L. and Tobita, S. 1998, Antioxidant responses of rice seedling to salinity stress, PlantSci. 135: 1-9.

Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng, K., and Jiang, Y. 2004. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. Journal of Food Engineering 64: 355-358.

Elsayed, A. I., Mohamed, A. H., Odero, D. C., and Gomaa, A. M. 2019. Biochemical effects of chitosan coating and hot water dipping on green bean decay during cold storage. Journal of Apply Sciences 19: 101-108.

Eryani, A. R. A., Mahmud, T. M. M., Omar, S. R. S., Mohamed Zaki, A. R. and Ali, H. I. 2008. Effect of different concentrations of chitosan coating on storage life and quality characteristics of papaya (*Carica Papaya* L.). Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences 10: 1-9.

Food and agriculture organization of the united nation. 2019. Crops and live stock products. [ออนไลน์]. Crops and Livestock Products. แหล่งที่มา: http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP. [15 กุมภาพันธ์ 2563]

Ghaouth, A. E., Ponnampalam, R., Castaigne, F., and Arul, J. 1992. Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes. HortScience 27: 1016-1018.

Hirano, S. 1999. Chitin and chitosan as novel biotechnological materials. Polymer International 48: 732-734.

Hong, K., Xie, J., Zhang, L., Sun, D., and Gong, D. 2012. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidum guajava* L.) fruit during cold storage. Scientia Horticulturae 144: 172-178

Horvitz, S. and Cantalejo, M.J. 2014. Application of ozone for the postharvest treatment of fruits and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 54: 312-339.

Jiang, Y., and Li, Y. 2001. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. Food Chemistry 73: 139-143.

Kasim, R., and Kasim, M. U. 2015. Biochemical changes and color properties of fresh-cut green bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv.gina) treated with calcium chloride during storage. Food Science and Technology 35: 266-272.

Kinyuru, J. N., Kahenya, K. P., Muchui, M., and Mungai, H. 2011. Influence of post-harvest handling on the quality of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agriculture and Food Technology 1: 43-46.

Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G., and Scortichini, M. 2015. Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. Foods 4: 501-523.

Preedy, V. R., Patel, V. B., and Watson, R. R. 2011. Nuts and seeds in health and disease prevention. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2011

Proulx, E., Yagiz, Y., Nunes, M. C. N., and Emond, J. P. 2010. Quality attributes limitting snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) postharvest life at chilling and non-chilling temperatures. HortScience 45: 1238-1249.

Prusky, D. 2011. Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects. Food Security 3: 463-474.

Rahman, M. M., Khan, M. M. R., and Hosain, M. M. 2007. Analysis of vitamin C (ascorbic acid) contents in various fruits and vegetables by UV-spectrophotometry. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research 42: 417-424.

Serrano, E. P., and Rolle, R. 2018. Post-harvest management of snap bean for quality and safety assurance guidance for horticultural supply chain stakeholders. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Tudela, J. A., Espin, E. C., and Gil, M. I. 2002. Vitamin C retention in fresh-cut potatoes. Postharvest Biology and Technology 26: 75-84.

U.S. Dapartment of Agriculture. 2019. Food data central. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169961/nutrients. [15 กุมภาพันธ์ 2563]

Watada, A. E., and Morris, L. L. 1967. Growth and respiration patterns of green bean fruits. Plant Physiology 42: 757-761.

Watada, A. E., Kim, S. D., Kim, K. S., and Harris. T. C. 1987. Quality of Green Beans, Bell Peppers and Spinach stored in polyethylene bags. Journal of Food Science 52: 1637-1641.

Zhang, H., Li, R., and Liu, W. 2011. Effects of chitin and its derivative chitosan on postharvest decay of fruits. International Journal of Molecular Science 12: 917-934.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1ผ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Treatments	Weight loss, %±SE		
	Time after treatment (Days)		
	0	5	10
Control	0.00±0.00	11.94±0.42[a]	29.21±1.12[a]
0.25% Chitosan	0.00±0.00	12.28±0.32[a]	28.75±0.59[a]
0.5% Chitosan	0.00±0.00	14.93±0.71[b]	33.71±1.34[a]
1% Chitosan	0.00±0.00	18.94±1.43[c]	42.39±3.07[b]
	ns	*	*

ตารางที่ 2ผ เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Treatments	Electrolyte leakage, %±SE		
	Time after treatment (Days)		
	0	5	10
Control	15.55±3.21	18.83±2.20	17.90±2.53
0.25% Chitosan	19.98±3.17	19.16±2.02	19.37±1.24
0.5% Chitosan	15.16±1.98	16.20±2.19	15.98±2.48
1% Chitosan	15.13±1.53	17.47±2.51	17.85±1.67
	ns	ns	ns

ตารางที่ 3ผ ปริมาณคลอโรฟิลล์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Treatments	Chlorophyll Content (μg/g), Score±SE		
	Time after treatment (Days)		
	0	5	10
Control	2.89±0.08	3.71±0.29	3.26±0.26
0.25% Chitosan	3.29±0.4	3.70±0.43	3.48±0.11
0.5% Chitosan	3.52±.29	3.76±0.43	3.81±0.30
1% Chitosan	3.57±0.15	3.71±0.12	3.59±0.26
	ns	ns	ns

ตารางที่ 4ผ ปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Treatments	Vitamin C Content (mg/ml), Score±SE		
	Time after treatment (Days)		
	0	5	10
Control	0.00±0.00	1.35±1.02	81.77±5.18^{a}
0.25% Chitosan	0.00±0.00	0.00±0.00	73.11±7.13^{ab}
0.5% Chitosan	0.00±0.00	2.54±2.21	97.46±1.32^{c}
1% Chitosan	0.00±0.00	0.00±0.00	91.23±5.08^{ac}
	ns	ns	*

ตารางที่ 5ผ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Treatments	DPPH inhibition, %±SE		
	Time after treatment (Days)		
	0	5	10
Control	45.45±8.16[a]	48.69±7.59	33.38±8.34
0.25% Chitosan	30.81±2.09[ab]	35.54±5.73	35.84±8.28
0.5% Chitosan	52.82±8.26[ac]	34.25±4.18	45.43±8.23
1% Chitosan	43.11±6.09[a]	38.10±5.26	35.90±4.55
	*	ns	ns

ตารางที่ 6ผ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Treatments	Weight loss, %±SE				
	Time after treatment (Days)				
	0	5	10	15	20
Control	0.00±0.00	9.49±0.53[a]	19.75±0.98[a]	27.07±1.25[a]	34.88±1.59[a]
0.25% Chitosan	0.00±0.00	10.49±0.41[a]	21.27±0061[a]	29.62±0.80[a]	37.89±1.09[a]
0.5% Chitosan	0.00±0.00	10.52±0.66[a]	20.63±0.91[a]	29.47±1.19[a]	37.41±1.65[a]
1% Chitosan	0.00±0.00	11.72±0.79[b]	23.19±1.01[b]	32.61±1.32[b]	41.69±1.60[b]
	ns	*	*	*	*

ตารางที่ 7ผ เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Treatments	Electrolyte leakage, %±SE				
	Time after treatment (Days)				
	0	5	10	15	20
Control	14.84±1.78[a]	9.62±0.66[a]	9.30±0.55	9.87±0.66	14.05±1.87
0.25% Chitosan	10.79±0.91[b]	8.60±0.69[ab]	9.04±0.99	9.87±1.30	12.32±0.77
0.5% Chitosan	10.63±1.14[b]	12.89±1.80[c]	8.37±0.45	12.33±2.60	10.57±0.88
1% Chitosan	12.65±0.69[ab]	11.84±0.79[ac]	10.13±0.67	10.86±1.05	13.15±1.26
	*	*	ns	ns	ns

ตารางที่ 8ผ ปริมาณคลอโรฟิลล์ของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

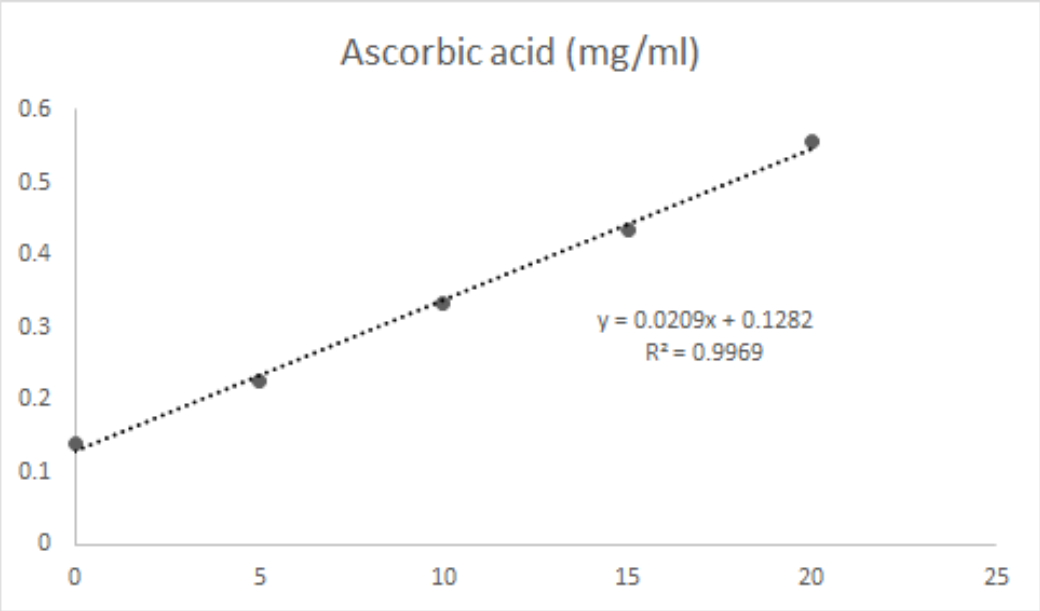
Treatments	Chlorophyll Content (μg/g), Score±SE				
	Time after treatment (Days)				
	0	5	10	15	20
Control	3.54±0.12	4.45±0.21	3.31±0.23[a]	3.75±0.18[a]	4.33±0.42
0.25% Chitosan	3.48±0.22	4.61±0.31	4.10±0.33[b]	4.42±0.37[ab]	4.45±0.31
0.5% Chitosan	3.55±0.28	3.88±0.47	4.12±0.27[b]	3.61±0.25[a]	4.01±0.43
1% Chitosan	3.50±0.19	4.23±0.45	4.16±0.21[b]	3.48±0.34[ac]	4.79±0.12
	ns	ns	*	*	ns

ตารางที่ 9ผ ปริมาณวิตามินซีของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Treatments	Vitamin C Content (mg/ml), Score±SE				
	Time after treatment (Days)				
	0	5	10	15	20
Control	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	59.01±6.96	0.71±0.71[a]
0.25% Chitosan	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	67.14±5.07	9.81±4.46[b]
0.5% Chitosan	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	58.02±5.02	3.45±2.31[ab]
1% Chitosan	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	57.63±6.96	2.76±1.75[ab]
	ns	ns	ns	ns	*

ตารางที่ 10ผ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฝักถั่วแขกที่เคลือบด้วยไคโทซานความเข้มข้นต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Treatments	DPPH inhibition, %±SE				
	Time after treatment (Days)				
	0	5	10	15	20
Control	31.66±5.58	37.27±6.54	37.58±7.38	43.96±5.90	51.63±4.15
0.25% Chitosan	34.42±8.93	22.42±4.30	48.09±3.55	53.51±5.60	51.30±4.27
0.5% Chitosan	29.83±3.42	27.33±5.51	43.66±7.24	47.90±7.12	57.29±5.40
1% Chitosan	25.60±4.48	28.26±7.58	50.54±7.06	51.82±5.69	51.59±2.87
	ns	ns	ns	ns	ns



รูปที่ 1ผ กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก