

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของเพกทิน
ในฝักวานิลลา (*Vanilla planifolia*)

CHANGES IN PHYSIOLOGY AND PECTIN COMPOSITION
IN VANILLA PODS (*Vanilla planifolia*)



T132338



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...132338...
วัน,เดือน,ปี...17...ก.ค...2557

.b. 1261960x
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพืชสวน

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-AG-M-021-162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CHANGES IN PHYSIOLOGY AND PECTIN COMPOSITION
IN VANILLA PODS (*Vanilla planifolia*)**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2014

KMITL-2014-AG-M-021-162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของเพกทินในฝักวานิลลา
(*Vanilla planifolia*)
Changes in Physiology and Pectin Composition in Vanilla Pods (*Vanilla planifolia*)

นักศึกษา นางสาวพรพรรณ นุชโพธิ์พันธุ์
รหัสประจำตัว 54640305
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา พืชสวน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ลำแพน ขวัญพูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมชาย กล้าหาญ	
ผศ.ดร.เฉลิมชัย วงษ์อารี	
ผศ.ดร.กัญจนา แซ่เตียว	
ผศ.ดร.ศรายุทธ ผลโพธิ์	
ดร.ลำแพน ขวัญพูล	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 15 พฤษภาคม 2557

สถานที่สอบ ห้องประชุม 1 (ชั้น 1 ตึกบุนนาค L)

คณบดีรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชัย ชูโชติ)

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการค้นคว้าวิจัยเท่านั้น วันที่ 27 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของเพกทินในฝักวานิลลา (*Vanilla planifolia*)

ชื่อนักศึกษา นางสาวพรพรรณ นุชโพธิ์พันธุ์

รหัสนักศึกษา 54640305

ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา พืชสวน

พ.ศ. 2557

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ลำแพน ขวัญพูล

บทคัดย่อ

การศึกษาเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของเพกทินในฝักวานิลลา (*Vanilla planifolia*) นี้ พบว่าฝักวานิลลาในระยะฝักแก่มีการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก และเปอร์เซ็นต์การแตกของฝักมากกว่าระยะอื่น ในขณะที่ระยะฝักอ่อนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าระยะอื่น แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเพกทินของฝักวานิลลาในระยะฝักอ่อนมีปริมาณเพกทินทั้งหมดมากที่สุด คือ 54.90 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ส่วนบริเวณที่เกิดรอยแยกมีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ CDTA, Na_2CO_3 และ KOH มากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก และพบความแตกต่างทางสถิติระหว่างบริเวณรอยแยกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน พบว่าบริเวณรอยแยกมีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในสารละลายชนิดต่างๆ ไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงมากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยก โดยในระยะฝักแก่มีขนาดโมเลกุลของเพกทินเล็กกว่าระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและฝักอ่อน

สำหรับการศึกษาบทบาทของเอทิลีน และสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีน (1-MCP) ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา พบว่าฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก การสูญเสียน้ำหนักสด การแตกของฝัก ชะลอการลดลงของปริมาณเพกทิน และการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินได้ ในขณะที่สารละลายเอทิลีนเร่งการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก การสูญเสียน้ำหนักสด การแตกของฝัก รวมทั้งมีการกระจายตัวของเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลลดลงมากกว่าชุดควบคุม ส่วนการรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง ก่อนการจุ่มด้วยสารละลายเอทิลีน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก การสูญเสียน้ำหนักสด การแตกของฝัก ชะลอการลดลงของปริมาณเพกทินทั้งหมด โดยมีปริมาณเพกทินทั้งหมดเท่ากับ 60.53, 37.98 และ 48.27

ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ในทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ร่วมกับการจุ่มด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปขอรับใช้เป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายเอทิลฟอน จับด้วยสารละลายเอทิลฟอนเพียงอย่างเดียว และชุดควบคุม ตามลำดับ มีปริมาณ เพกทินที่ละลายได้ในสารละลายต่างๆ มีการกระจายตัวของขนาด โมเลกุลของเพกทินลดลง รวมทั้งเมื่อ วัตถุประสงค์ของเอนไซม์ PG โดยวิธี gel diffusion พบว่าทริคเมนต์ที่จับสารละลายเอทิลฟอนมีขอบเขต (zone) ของกิจกรรมของเอนไซม์ PG (1.62 เซนติเมตร) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่พบในทริคเมนต์อื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Changes in physiology and pectin composition in vanilla pods (<i>Vanilla planifolia</i>)
Student	Miss Pornphan Nuchpohan
Student ID	54640305
Degree	Master of Science
Programme	Horticulture
Year	2014
Advisor name	Dr. Lampan Khurnpoon

Abstract

Changes in physiological and pectin composition in vanilla pods (*Vanilla planifolia*) was determined. The results showed that vanilla pods in over mature was higher in pod color change and percentage of pod shattered than other stages. While vanilla pods in immature green stage was higher in percentage of weight loss than other stages but non significantly difference between immature green and mature stage. Change in pectin composition showed that total pectin in the immature green pods was the highest at 54.90 μg galacturonic acid/mg AIS. There was higher soluble pectin content in water, 1,2-cyclohexanediamine tetraacetic acid (CDTA), sodium carbonate (Na_2CO_3) and potassium hydroxide (KOH) in the shattering zone with significant difference between the shattering zone and non-shattering zone. The study of molecular size distribution of water, CDTA, Na_2CO_3 and KOH soluble pectin showed that pectin molecules in the shattering zone was distribute to smaller size than that found in the non-shattering zone. In addition, the molecular size distribution of pectin from the pods at over mature stage decreased more rapidly than that in the mature and immature stages.

The effect of ethylene and ethylene inhibitor (1-MCP) on the changes in physiological and biochemical of vanilla pods at mature stage were also studied and the shattering zone tissue was collected. The results showed that, vanilla pods treated with 300 ppb 1-MCP for 6 hours could delayed the change in pod color, weight loss and pod shattered, delayed the decrease of pectin to smaller molecular weight in vanilla pods. Ethephon solution enhanced the increase in pod color, weight loss and pod shattered and the pectin molecules shifted downward to smaller size than control treatment. Treatment of fumigation with 300 ppb 1-MCP for 6 hours then dipped in

500 ppm ethephon solution for 5 minutes could delayed the change in pod color, weight loss and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา III. ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pod shattered. The decrease of total pectin was also delay by this treatment, it were about 60.53, 37.98 and 48.27 μg galacturonic acid/mg AIS in treatment of 300 ppb 1-MCP and 500 ppm ethephon, 500 ppm ethephon and control treatment, respectively. The results of polygalacturonase (PG) activity by gel diffusion method showed that the size of activity zone in ethephon treatment (1.62 centimeter of diameter) was bigger than other treatment.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **IV** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของเพกทินในฝักวานิลลา (*Vanilla planifolia*) นี้ สำเร็จลุล่วงเนื่องจากความอนุเคราะห์จาก ดร.ลำแพน ขวัญพูล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาและความรู้ พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางให้ปฏิบัติอย่างถูกต้องตามขั้นตอนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. สมชาย กล้าหาญ ผศ. ดร. กัญจนา แซ่เตียว ผศ. ดร. ศรายุทธ ผลโพธิ์ และ ผศ. ดร. เฉลิมชัย วงษ์อารี ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมทั้งห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว หลักสูตรพืชสวน สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ พร้อมทั้งอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อบรมเลี้ยงดู สนับสนุนในด้านการศึกษา และให้กำลังใจจนกระทั่งบรรลุในสิ่งที่มุ่งหวังไว้ รวมทั้งขอขอบคุณ คุณกันตธีร์ สิริเวชพันธุ์ คุณจุฑามาศ แสงสว่าง พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ คณะเทคโนโลยีการเกษตรทุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ บิดา มารดา และผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน

พรพรรณ นุชโพธิ์พันธุ์

พฤษภาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ลักษณะทั่วไปของวานิลลา.....	3
2.2 วานิลลาพันธุ์การค้า (<i>Vanilla Planifolia</i>).....	7
2.3 การแตกของฝัก.....	7
2.4 กลไกการแตกของฝัก.....	12
2.5 การลดความเสียหายจากการแตกของฝัก.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 อุปกรณ์และวิธีการ.....	26
3.2 วิธีดำเนินงานและการวางแผนการทดลอง.....	27
3.3 การบันทึกข้อมูล.....	31
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	35
3.5 สถานที่ดำเนินงาน.....	35
3.6 ระยะเวลาดำเนินงาน.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	36
ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและ คุณสมบัติของเพกทินในระยะความบริบูรณ์ต่างๆ ของฝักวานิลลา.....	36
ผลการทดลองที่ 1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของฝักวานิลลา.....	36
- การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก.....	36
- การสูญเสียน้ำหนักสด.....	39
- การแตกของฝัก.....	39
ผลการทดลองที่ 1.2 ศึกษาคุณสมบัติของเพกทินของฝักวานิลลา.....	41
- ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin).....	41
- การละลายของเพกทิน (pectin solubilization).....	41
- การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน (pectin depolymerization).....	44
ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาบทบาทของเอทิลีน และสารยับยั้งการทำงานของ เอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา.....	49
ผลการทดลองที่ 2.1 ศึกษาผลของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลง ทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา.....	49
- การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก.....	49
- การสูญเสียน้ำหนักสด.....	52
- การแตกของฝัก.....	52
- ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin).....	54
- การละลายของเพกทิน (pectin solubilization).....	54
- การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน (pectin depolymerization).....	57
ผลการทดลองที่ 2.2 ศึกษาผลของสารยับยั้งการทำงานของ เอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา.....	60
- การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก.....	60
- การสูญเสียน้ำหนักสด.....	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
- การแตกของฝัก.....	63
- ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin).....	65
- การละลายของเพกติน (pectin solubilization).....	65
- การกระจายตัวของขนาด โมเลกุลของเพกติน (pectin depolymerization).....	68
ผลการทดลองที่ 2.3 ศึกษาผลของสาร 1-MCP และสารละลายเอทิลฟอน	
ต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา.....	71
- การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก.....	71
- การสูญเสียน้ำหนักสด.....	74
- การแตกของฝัก.....	74
- ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin).....	76
- การละลายของเพกติน (pectin solubilization).....	76
- การกระจายตัวของขนาด โมเลกุลของเพกติน (pectin depolymerization).....	79
- กิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase (PG).....	82
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	84
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	88
บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก.....	95
ประวัติผู้เขียน.....	123

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ลักษณะทางกายภาพของ polydextran gel (Pharmacia Products).....18
2	ลักษณะทางกายภาพของ polyacrylamide gel (Bio-Rad Products).....18
3	ลักษณะทางกายภาพของ agarose gel (Bio-Rad Products).....18
4	ลักษณะทางกายภาพของ sepharose gel.....19

ตารางภาคผนวกที่

1	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝัควานิลลา ระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....99
2	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝัควานิลลา ระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....100
3	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝัควานิลลา ระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....101
4	การสูญเสียน้ำหนักสดของฝัควานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....102
5	การแตกของฝัควานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....103
6	ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin) และการละลายของเพกติน (pectin solubilization) โดยแบ่งตามปัจจัย A (stages of harvest) และ ปัจจัย B (zone types) หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....104
7	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝัควานิลลา ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
8 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a^*) ของฝักวานิลลา ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	106
9 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b^*) ของฝักวานิลลา ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	107
10 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้จุ่ม และที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	108
11 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่ม สารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	109
12 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) และการละลายของเพกทิน (pectin solubilization) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	110
13 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L^*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	111
14 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a^*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	112
15 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b^*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	113
16 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้รม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
17 การแตกของฝัควานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ไ้รรม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	115
18 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin) และการละลายของเพกติน (pectin solubilization) ของฝัควานิลลาที่ไม่ไ้รรมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	116
19 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L^*) ของฝัควานิลลาที่ไม่ไ้รรมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม้จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	117
20 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a^*) ของฝัควานิลลาที่ไม่ไ้รรมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม้จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	118
21 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b^*) ของฝัควานิลลาที่ไม่ไ้รรมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม้จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	119
22 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝัควานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ไ้รรมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม้จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	120
23 การแตกของฝัควานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ไ้รรมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม้จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	121
24 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin) และการละลายของเพกติน (pectin solubilization) ของฝัควานิลลาที่ไม่ไ้รรมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม้จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	122

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ดอกของวานิลลา.....	4
2 ลำต้นและฝักวานิลลา.....	4
3 กระบวนการบ่มฝักวานิลลาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การหยุดการเจริญเติบโตของฝัก (A) ขั้นตอนที่ 2 การกระตุ้นให้เกิด สารหอม (B) ขั้นตอนที่ 3 การทำแห้ง (C) และขั้นตอนที่ 4 การฟักตัว (D).....	6
4 กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน.....	11
5 กลไกการทำงานของเอทิลีน.....	11
6 องค์ประกอบของผนังเซลล์.....	12
7 โครงสร้างของ homogalacturonan.....	13
8 การจับเรียงตัวของ homogalacturonan ด้วยพันธะ ไอออนิก โดยมี Ca^{2+} เป็นตัวกลาง (egg-box).....	14
9 โครงสร้างของ Rhamnogalacturonan I.....	14
10 โครงสร้างของ Rhamnogalacturonan II ซึ่งมีแขนงแตกต่างกัน แต่ละแขนงประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ	15
11 ขั้นตอนของ gel filtration chromatography โดยยอมให้สารที่มีโมเลกุล ขนาดใหญ่ออกมาก่อน จากนั้นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก จึงออกตามมาทีหลัง.....	17
12 บทบาทของเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) และ polygalacturonase (PG).....	20
13 โครงสร้างทางเคมีของสาร 1-MCP.....	21
14 ลักษณะทางกายภาพของฝักวานิลลาในระยะฝักอ่อน (A) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (B) และระยะฝักแก่ (C)	28
15 ฝักวานิลลาบริเวณรอบรอยแยกของฝัก (SZ) และบริเวณที่ไม่เกิด รอยแยกของฝัก (NSZ)	29
16 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L^*) ของฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....	37
18	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....	38
19	การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....	40
20	การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน.....	40
21	ปริมาณเพกทินทั้งหมด (A) ปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (B), CDTA (C), Na ₂ CO ₃ (D) และ KOH (E) ของฝักวานิลลา 3 ระยะการเก็บเกี่ยว.....	42
22	ปริมาณเพกทินทั้งหมด (A) ปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (B), CDTA (C), Na ₂ CO ₃ (D) และ KOH (E) ของฝักวานิลลาบริเวณรอยแยก (SZ) และไม่เกิดรอยแยก (NSZ).....	43
23	การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na ₂ CO ₃ (C) และ KOH (D) บริเวณรอยแยก (SZ) และไม่เกิดรอยแยก (NSZ) ของฝักวานิลลาแต่ละระยะการเก็บเกี่ยว.....	48
24	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลาย เอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	50
25	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลาย เอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	50
26	การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลาย เอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	51

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
27 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	53
28 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	53
29 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	55
30 ปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na ₂ CO ₃ (C) และ KOH (D) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	56
31 การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na ₂ CO ₃ (C) และ KOH (D) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	59
32 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	61
33 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	61
34 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	62
35 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	64
36 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	64
37 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	66

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
38 ปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na ₂ CO ₃ (C) และ KOH (D) ของฝัควานิลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	67
39 การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na ₂ CO ₃ (C) และ KOH (D) ของฝัควานิลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	70
40 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝัควานิลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	72
41 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝัควานิลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	72
42 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝัควานิลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	73
43 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝัควานิลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	75
44 การแตกของฝัควานิลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	75
45 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) ของฝัควานิลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	77
46 ปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na ₂ CO ₃ (C) และ KOH (D) ของฝัควานิลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	78
47 การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na ₂ CO ₃ (C) และ KOH (D) ของฝัควานิลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
48	กิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase (PG) ของฝัควานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน (A) ฝัควานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม (B) และฝัควานิลลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีเอ็ม ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน (C) หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน.....83
ภาพภาคผนวกที่	
1	กราฟมาตรฐานของ galacturonic acid.....96
2	กราฟมาตรฐานของ polygalacturonic acid สำหรับการวิเคราะห์ การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน.....97
3	กราฟมาตรฐานของ galacturonic acid สำหรับการวิเคราะห์ การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน.....98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วานิลลา (Vanilla) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์กล้วยไม้ (Orchidaceae) ซึ่งเป็นกล้วยไม้เลื้อยที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศเม็กซิโก (Minoo *et al.* 2006; สุทธิคมน์ สุกสีเหลือง และ สมราน สุดดี. 2552) ผลของวานิลลาเป็นแบบ capsule ทางการค้ามักเรียกว่า ฝักวานิลลา (vanilla pod) ซึ่งวานิลลาที่นิยมปลูกเป็นการค้ามากที่สุดในโลก รวมทั้งในประเทศไทย คือ *Vanilla planifolia* เป็นพืชเครื่องเทศที่มีการใช้ประโยชน์โดยการนำฝักมาหมัก และบ่มให้เกิดกลิ่น จากนั้นนำไปสกัดสารที่ให้กลิ่นและรสชาติ นำมาปรุงแต่งรสอาหาร โดยเฉพาะไอศกรีม ขนมหวาน ลูกกวาด รวมทั้งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยา และน้ำหอม แหล่งผลิตวานิลลาที่สำคัญ 3 อันดับ ได้แก่ มาดากัสการ์ อินโดนีเซีย จีน โดยผลิตได้ 3,500, 3,400 และ 1,350 ตันต่อปี ตามลำดับ ส่วนประเทศผู้นำเข้าที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา เยอรมนี แคนาดา อังกฤษ ญี่ปุ่น และออสเตรเลีย ฝักวานิลลาจะมีราคาสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับคุณภาพของฝัก ส่วนประเทศไทยมีพื้นที่การผลิตวานิลลามาก โดยส่วนใหญ่อยู่ในหน่วยงานภาครัฐในภาคเหนือ จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในปี 2542-2551 ประมาณ 3 ตัน มูลค่า 4.34 ล้านบาท และจากข้อมูลราคาขายฝักวานิลลาของ โครงการวานิลลา สถานีเกษตรหลวงขุนวาง จังหวัดเชียงใหม่ จำหน่ายฝักที่บ่มแล้ว ฝักละ 35-50 บาท ตลาดสำหรับ โรงงานอุตสาหกรรมหรือธุรกิจโรงแรม ก็โลกรัมละ 5,000-7,000 บาท และปัจจุบันพบว่าความต้องการผลิตวานิลลามีแนวโน้มสูงขึ้น (สิริพร สีแดง และคณะ. 2553)

เกษตรกรส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวฝักวานิลลา โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีฝัก คือฝักมีสีเขียวอมเหลือง เมื่อฝักเริ่มสุกปลายฝักจะมีสีเหลืองเล็กน้อย โดยทั่วไปจะทำการเก็บเกี่ยวเมื่อฝักอายุประมาณ 8 เดือนหลังจากติดฝัก (Minoo *et al.* 2006) ถ้าเก็บเกี่ยวฝักที่แก่เกินไปฝักจะแตก ทำให้กลิ่นหอมของวานิลลาลดลง เนื่องจากฝักวานิลลาที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมกับการแปรรูป คือ ฝักแก่ (over mature) ซึ่งฝักมีสีเหลืองเข้มมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวฝัก แต่ฝักในระยะนี้มักเกิดการแตกทำให้เกิดความเสียหาย ซึ่งพบว่าการแตกของฝักเป็นปัญหาในทางการเกษตรอย่างมาก เช่น การแตกของธัญพืช โดยเฉพาะพืชวงศ์ถั่ว และฝักกาด นอกจากนี้การแตกของผล เช่น ในผลทุเรียน เมื่อผลสุกมักเกิดการแตก ทำให้มีอายุการวางจำหน่ายและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบริโภคสั้น (จริงแท้ สิริพานิช และ ลำแพน ขวัญพูล. 2548) ซึ่งการแตกเกิดจากการย่อยสลายของผนังเซลล์ มีความสัมพันธ์กับการสุกของผล ซึ่งฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องและมีบทบาทสำคัญ คือ เอทิลีน โดยกระตุ้นให้มีการสร้างและปลดปล่อยเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเซลล์ ไลสและเพกทิน ทำให้เกิดการหลุดร่วงและการแตกของฝักในพืชบางชนิด ทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหาย มูลค่าต่อหน่วยลดลง (จริงแท้ สิริพานิช. 2549)

สำหรับเอนไซม์ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น polygalacturonase เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(PG), pectin methylsterase (PME) และ cellulase เป็นต้น โดยเฉพาะ PG มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายผนังเซลล์ในบริเวณการหลุดร่วงและการแตกของฝัก โดยไปกระตุ้นการย่อยสลายโมเลกุลของเพกทินตรงตำแหน่ง α -1,4 glycosidic bond (Huber. 1983) ดังนั้นการยับยั้งการตอบสนองต่อเอทิลีนจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว รวมทั้งควบคุมการสุกของผลไม้และการแตกของฝักบางชนิด ซึ่งสารยับยั้งเอทิลีนที่สนใจศึกษาในการทดลองครั้งนี้คือสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) เนื่องจากไม่มีความเป็นพิษและไม่มีผลตกค้างในฝักและผลไม้สด และมีประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้นต่ำ (จริงแท้ ศิริพานิช. 2549; มาระตรี เป็ถียนศิริชัย และ อุษณา ไตรนอก. 2550) จึงได้ทำการศึกษาในฝักวานิลลา โดยศึกษาระยะความบริบูรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และคุณสมบัติของเพกทินของฝักวานิลลา รวมทั้งบทบาทของเอทิลีน และสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาระยะความบริบูรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และคุณสมบัติของเพกทินของฝักวานิลลา

1.2.2 เพื่อศึกษาบทบาทของเอทิลีน และสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของฝักวานิลลาในระยะฝักอ่อน ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก และระยะฝักแก่ และศึกษาคุณสมบัติของเพกทินในรูปที่ละลายได้ในสารละลายชนิดต่างๆ และการกระจายตัวของขนาด โมเลกุล

1.3.2 ศึกษาบทบาทของเอทิลีนในรูปของสารละลายเอทิลีน และสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยการรมด้วยสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของฝักวานิลลาในระยะฝักอ่อน ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก และระยะฝักแก่ และคุณสมบัติของเพกทินในรูปที่ละลายได้ในสารละลายชนิดต่างๆ และการกระจายตัวของขนาด โมเลกุล

1.4.2 ทราบถึงบทบาทของเอทิลีน และสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของวานิลลา

วานิลลา (vanilla) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์กล้วยไม้ (Orchidaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vanilla planifolia* มีถิ่นกำเนิดในประเทศเม็กซิโก เป็นพืชเถาเลื้อย เถาจะเลื้อยพันไปบนค้างหรือไม้ยืนต้น โดยธรรมชาติจะอาศัยรากเป็นตัวยึดเกาะ วานิลลาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้น ต้องการการกระจายตัวของฝนอย่างสม่ำเสมอสำหรับการออกดอก อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของวานิลลาอยู่ที่ 21-23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-80 เปอร์เซ็นต์ ต้องการแสงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต โดยวานิลลาต้องการแสงเพียง 30-50 เปอร์เซ็นต์ วานิลลาชอบดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง ระบายน้ำดี ความเป็นกรดต่างของดิน ควรอยู่ระหว่าง 6-7 วานิลลา มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 2-3 ปี หลังปลูก และจะให้ผลผลิตสูงเมื่ออายุ 7 ปี จนถึง 15 ปี จึงต้องปลูกทดแทน การเก็บเกี่ยวฝักจะเก็บเกี่ยวหลังจากออกดอกติดผลแล้วประมาณ 8 เดือน หรือในระยะฝักแก่ โดยสังเกตจากปลายฝักซึ่งเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (สีเหลืองมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวฝัก) วานิลลา 1 ต้น จะให้ผลผลิตฝักสดประมาณ 30-150 กิโลกรัม นำฝักมาใช้ประโยชน์โดยผ่านกระบวนการหมักและบ่มให้เกิดกลิ่นหอมซึ่งเกิดจากสารวานิลลิน (vanillin) เพื่อใช้ในการปรุงแต่งรสอาหาร อุตสาหกรรมยาและน้ำหอม โดยฝักสด 5-6 กิโลกรัม เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งน้ำหนักของฝักจะลดลงเหลือเพียงประมาณ 1 กิโลกรัม ทำให้ผลผลิตฝักสด รวมทั้งผลิตภัณฑ์จากวานิลลามีราคาสูง โดยประเทศมาดากัสการ์ เป็นแหล่งผลิตวานิลลาที่ใหญ่ที่สุดในโลก (Minoo *et al.*, 2006)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของวานิลลา

ลำต้น ลำต้นของวานิลลามีลักษณะเป็นเถาวัลสีเขียว อวบน้ำ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 เซนติเมตร ปล้องยาว 5-15 เซนติเมตร ขนาดของลำต้นขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของเถา เถาเมื่อไต่กิ่งจะหักง่าย

ใบ ใบมีลักษณะแบน อวบน้ำ ใบกว้าง ปลายใบเรียว ก้านใบสั้น

ราก รากเป็นรากอากาศสีขาว รากค่อนข้างยาว โดยแตกออกตรงข้ามกับใบ รากบริเวณโคนจะแตกออกเป็นแขนง

ช่อดอก ช่อดอกจะออกตรงซอกใบ ช่อดอกแต่ละต้นมีประมาณ 4 ช่อ ซึ่งแต่ละช่อจะมีดอกเฉลี่ย 15 ดอก

ดอก ดอกมีสีเหลืองอมเขียว กลีบดอกหนา ดอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร ก้านดอกสั้นหรือแทบไม่มี กลีบเลี้ยงมี 3 กลีบ รูปร่างยาวรี กลีบดอกมี 3 กลีบ สองกลีบ ด้านบนมีลักษณะคล้ายกลีบเลี้ยง อีกกลีบหนึ่งเปลี่ยนเป็นรูปปากแตร มีขนาดสั้นกว่ากลีบดอกอื่น ปลายปากแตรแยกเป็น 3 ส่วน และขอบหยักไม่สม่ำเสมอ มีเกสรตัวผู้ 1 อัน ประกอบด้วย อับละออง เกสรตัวผู้อยู่ 2 อัน ส่วนของเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียจะแยกออกจากกัน โดยมีเยื่อบางๆ กั้นอยู่ เยื่อนี้ เรียกว่า โรสเทลลัม (rosetellum) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ละอองเกสรตัวผู้ไม่สามารถถ่ายลงไปยังเกสรตัวเมียได้ตามธรรมชาติ จึงต้องช่วยผสมเกสร



ภาพที่ 1 ดอกของวานิลลา

ที่มา: Carol (2012)

ฝัก ผลของวานิลลาเป็นแบบ capsule ซึ่งในทางการค้ามักเรียกว่า ฝักวานิลลา (vanilla pod) ฝักมีลักษณะเรียวยาว โค้งตรงปลาย ฝักมี 3 มม ยาว 9.5-20 เซนติเมตร กว้าง 1.2-1.4 เซนติเมตร ภายในฝักจะมีเมล็ดอยู่จำนวนมาก โดยฝักจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วภายใน 2 สัปดาห์หลังการผสมติด จากนั้นการเจริญเติบโตจะค่อนข้างคงที่ (Purseglowe *et al.* 1981)



ภาพที่ 2 ลำต้นและฝักวานิลลา

ที่มา: Carol (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 พันธุ์

พันธุ์วานิลลาที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันมีอยู่ 3 พันธุ์คือ

1. วานิลลาแพลนนิโฟเลีย (*Vanilla planifolia*) ปลูกทางแถบตะวันออกเฉียงใต้ของเม็กซิโก มีคุณภาพฝักดีที่สุด
2. วานิลลาปอมโปมา (*Vanilla pompona*) หรือวานิลลอน (vanillon) ปลูกในอเมริกากลาง ต้านทานโรคเน่าได้ดี
3. วานิลลาตาฮาเทนซิส (*Vanilla tahatensis*) หรือวานิลลาตาฮิติ ปลูกมากในประเทศตาฮิติ กลิ่นและรสชาติคล้ายดอกไม้และผลไม้ ให้รสนุ่มละมุน

2.1.3 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

กระบวนการบ่มฝักวานิลลาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การหยุดการเจริญเติบโตของฝัก (killing)

การหยุดการเจริญเติบโตทำให้ฝักมีสีน้ำตาล โดยนำฝักมาตากแดดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง หรือแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 วินาที

ขั้นตอนที่ 2 การกระตุ้นให้เกิดสารหอม (sweating)

เป็นขั้นตอนที่ทำให้เอนไซม์ทำงานผลิตสารหอมและป้องกันการเกิดการหมัก โดยนำฝักวานิลลาไปให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว เช่น นำฝักมาตากแดดบนผ้าสีดำในช่วงที่มีแดดร้อนจัด 2-3 ชั่วโมง ในแต่ละวัน แล้วห่อฝักวานิลลาด้วยผ้าสีดำนำไปใส่ลังไม้ หลังจากนั้น 24 ชั่วโมง นำฝักออกมาตรวจสอบ ถ้ามีฝักที่ไม่เปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล ต้องแยกไปผ่านขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง ส่วนฝักที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแล้วนำมาผึ่งแดด นาน 2-3 ชั่วโมง และผึ่งในร่ม ทำเช่นนี้ทุกวัน เป็นเวลา 5-6 วัน

ขั้นตอนที่ 3 การทำแห้ง (drying)

ผึ่งฝักในร่มหรือในห้องที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เป็นเวลา 2-3 เดือน หรืออาจทำแห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส น้ำหนักของฝักจะลดลงเหลือเพียงหนึ่งในสาม

ขั้นตอนที่ 4 การฟักตัว (conditioning)

เก็บฝักไว้ในลังไม้ เป็นเวลา 3 เดือน หรือมากกว่า เพื่อให้เกิดกลิ่นหอมอย่างเต็มที่ (ภาพที่ 3)

คุณภาพของฝักวานิลลาขึ้นอยู่กับกระบวนการบ่ม โดยคุณภาพฝักวานิลลาที่ดี จะเกิดขึ้นเมื่อผ่านการบ่มและหมักแล้ว ฝักต้องมีกลิ่นและรสชาติดี มีความยาวฝักมากกว่า 20 เซนติเมตร ฝักอ่อนนิ่ม สีออกดำ มีน้ำมันเยิ้ม มีกลิ่นแรง ไม่มีรอยแผล ความชื้นของฝัก 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฝักที่มีคุณภาพต่ำจะมีลักษณะแข็งและแห้งเกินไป ฝักพอมมีสีน้ำตาล มีกลิ่นน้อย (Purselove *et al.* 1981)



ภาพที่ 3 กระบวนการบ่มฝักวานิลลาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การหยุดการเจริญเติบโตของฝัก (A) ขั้นตอนที่ 2 การกระตุ้นให้เกิดสารหอม (B) ขั้นตอนที่ 3 การทำแห้ง (C) และขั้นตอนที่ 4 การฟักตัว (D)
ที่มา: Purseglove *et al.* (1981)

กลิ่นหอมจากฝักวานิลลาเป็นกลิ่นของสารประกอบซึ่งเป็นสารหอมหลายๆ ชนิด เกิดขึ้นในระหว่างการบ่มฝักวานิลลา สารที่พบมากคือ วานิลลิน (Weiss, 2002; Nicholas *et al.* 2003) ซึ่งวานิลลินเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีสูตร โมเลกุล $C_8H_8O_2$ ในธรรมชาติสามารถสกัดได้จากเมล็ดภายในฝักวานิลลา ทำให้วานิลลินที่ได้จากธรรมชาติมีราคาสูงมาก ดังนั้นวานิลลินที่ใช้ในการปรุงแต่งรสชาติอาหาร เครื่องดื่ม และอุตสาหกรรมยา จึงได้มาจากการสังเคราะห์ที่เป็นส่วนใหญ่ แม้จะพบว่าต้นทุนการสังเคราะห์วานิลลินมีราคาถูกกว่าวานิลลาธรรมชาติอยู่มาก แต่วานิลลินที่ได้จากธรรมชาติมีสารหอมอื่นๆ ปนอยู่ ทำให้มีกลิ่นหอมกว่าวานิลลินที่ได้จากการสังเคราะห์ (Purseglove *et al.* 1981)

2.1.4 การใช้ประโยชน์จากวานิลลา

ผลิตภัณฑ์จากวานิลลาที่จำหน่ายในตลาดโลกมีหลายชนิดแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้ โดยส่วนใหญ่จะใช้วานิลลาในการปรุงแต่งกลิ่นรสของอาหาร รวมทั้งเครื่องดื่ม โดยสามารถแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. สารสกัดวานิลลา (vanilla extract) เป็นสารละลายน้ำผสมแอลกอฮอล์ ที่ประกอบด้วยกลิ่นและรสชาติจากฝักวานิลลา อาจมีการเพิ่มความหวานจากน้ำตาลบ้าง
2. วานิลลาทิงเจอร์ (vanilla tincture) วิธีการสกัดด้วยวานิลลาสกัดแต่แตกต่างกันที่วานิลลาทิงเจอร์มีปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์มากกว่า 38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วานิลลาโอโรโอเรซิน (vanilla oleoresin) เป็นของเหลวข้นที่ได้จากการสกัดด้วยสารอื่นแทนที่ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ มีกลิ่นและรสชาติดีกว่าสารสกัดวานิลลา นำไปใช้ในการปรุงแต่งกลิ่น

4. วานิลลาผง (vanilla powder) ได้จากการเอาฝักวานิลลาที่ผ่านการหมักบ่มแล้ว มาทำให้แห้งบดเป็นผงละเอียด ใช้สำหรับผสมอาหารและยา (Weiss, 2002)

2.2 วานิลลาพันธุ์การค้า (*Vanilla planifolia*)

วานิลลาพันธุ์การค้าหรือ *Vanilla planifolia* มีชื่อสามัญว่า vanilla หรือ flat plane-leaved vanilla มีถิ่นดั้งเดิมมาจาก Gulf Coast of Mexico สายพันธุ์นี้เมื่อเจริญเติบโตในประเทศเม็กซิโกเรียกว่า Maxico beans ถ้าเจริญเติบโตในประเทศมาดากัสการ์และอินโดนีเซีย จะเรียกว่า Bourbon beans เป็นวานิลลาที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางค์

ลักษณะเด่นของสายพันธุ์นี้คือ ฝักจะเรียวยาว (ประมาณ 15-20 เซนติเมตร) ผิวของฝักจะชุ่มฉ่ำ มันขลับ ภายในฝักจะประกอบด้วยเมล็ดเล็กๆ สีดำจำนวนมาก ฝักที่ผ่านกระบวนการบ่มแล้วจะมีคุณภาพดี มีกลิ่นและรสชาติที่เข้มข้นกว่าพันธุ์อื่นๆ การดูแลทำได้ง่ายเพียงควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม โดยปกติวานิลลาสามารถทนอุณหภูมิสูงได้ หากอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตจะไม่ดีนัก เครื่องปลูกที่สำคัญ ได้แก่ เปลือกไม้ พีทมอส และเพอร์ไรท์ครึ่งส่วนสำหรับปลูกไม้และกิ่งชำ เมื่อโตแล้วอาจใช้เปลือกไม้เป็นเครื่องปลูกเพียงอย่างเดียว หากปลูกในเขตร้อนชื้นสามารถปลูกลงบนพื้นหรือสามารถปลูกแบบเกาะต้นไม้ใหญ่ ข้อสำคัญคือ พื้นปลูกต้องระบายน้ำได้ดี วานิลลาพันธุ์นี้ต้องการแสงประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2,000-3,000 แสงเทียนต่อฟุต ถ้าได้รับแสงมากหรือน้อยเกินไป วานิลลาพันธุ์นี้จะไม่ออกดอก การให้น้ำวานิลลาจะใช้ปุ๋ยสูตรเสมอตลอดทั้งปี อาจให้น้ำทางใบเสริมได้บ้าง ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสใช้เร่งการออกดอกในฤดูใบไม้ผลิเท่านั้น (Mino et al. 2006)

2.3 การแตกของฝัก

การแตก (dehiscence หรือ shattering) เป็นกระบวนการซึ่งเกิดขึ้นเมื่อผลและอับเรณูมีความบริบูรณ์ เพื่อปลดปล่อยเมล็ดและเรณูออกไป การแตกของผลที่พบว่าเป็นปัญหาในทางการเกษตรอย่างมาก เช่น การแตกของธัญพืชโดยเฉพาะพืชวงศ์ถั่ว และฝักกาด ซึ่งผลมีลักษณะเป็นฝัก เมื่อเมล็ดภายในเจริญเติบโตเต็มที่แล้วฝักจะเหี่ยวและแตกในที่สุด การแตกในพืชส่วนใหญ่เป็นข้อเสีย เช่น การแตกของผลทุเรียน เมื่อผลสุกผลมักจะแตก ทำให้ขายไม่ได้ราคา แต่บางครั้งการแตกก็เป็นข้อดี เช่น การแตกของ pistachio ซึ่งเป็นเมล็ดเคี้ยวมันชนิดหนึ่ง ทำให้สะดวกในการบริโภค ส่วนการแตกของอับเรณูเป็นกระบวนการที่จำเป็นสำหรับการสืบพันธุ์ของพืช หากกระบวนการนี้บกพร่อง พืชก็ไม่อาจขยายพันธุ์ต่อไปได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กระบวนการแตกของฝัก

กระบวนการแตกของฝัก แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. ขั้นตอนการเจริญของฝักและการพัฒนาเปลี่ยนแปลงจากเซลล์พารังโคมา ในบริเวณระหว่างขอบของฝักทั้ง 2 ด้าน เป็นบริเวณการแตก (dehiscence zone) มีลักษณะเช่นเดียวกับเซลล์ในบริเวณการร่วง (abscission zone) คือมีลักษณะเป็นเซลล์กลมแบน มีไซโตพลาสซึมหนาแน่น แวกิวโอลน้อยกว่าเซลล์บริเวณใกล้เคียง โดยสัญญาณที่ก่อให้เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์คือฮอร์โมนเอทิลีน

2. สะสมลิกนินในผนังเซลล์บริเวณขอบของฝักทั้ง 2 ด้าน และในผนังกั้นระหว่างช่องของฝัก (replum) แต่ไม่มีการสะสมในบริเวณการแตก และเริ่มเกิดการย่อยสลายผนังเซลล์บริเวณ middle lamella ในส่วนบริเวณการแตกนี้

3. เซลล์ที่ไม่มีการสะสมลิกนินเกิดการวาย ฝักสูญเสียน้ำออกไปมากและแห้งลง ก่อให้เกิดการหดตัวของเปลือกฝักทั้ง 2 ด้าน ทำให้บริเวณการแตกแยกออกจากกัน

ในผลทุกชนิดที่มีการแตกอย่างเป็นระเบียบ ภายหลังการพัฒนาจนถึงระยะบรรจบจะมีการพัฒนาบริเวณการแตกขึ้นมาอย่างชัดเจน แต่การแตกของผลในระยะการพัฒนาดังกล่าว และไม่มีบริเวณการแตกนั้น ไม่เรียกว่า dehiscence แต่เป็นการแตกที่เรียกว่า crack หรือ break ซึ่งไม่ใช่กระบวนการวาย แต่มักเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น ในช่วงฝนตกชุก ผลมีงู๊ดงู๊ดน้ำเข้ามามากเกินไปทำให้ผลแตกออกตามแนวขวาง เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550)

2.3.2 บทบาทของเอทิลีนต่อการแตกของฝักวานิลลา

เอทิลีนมีสถานะเป็นฮอร์โมนที่พืชสามารถผลิตขึ้นได้เอง อยู่ในสถานะแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย จัดเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอนมีสูตรทางเคมีคือ $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการชราภาพ การสุก การหลุดร่วงของผล และการแตกของฝัก แม้มีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 พีพีเอ็ม (สัมฤทธิ์ เศรษฐศาสตร์. 2547; จริงแท้ ศิริพานิช. 2549) แต่การตอบสนองทางสรีระของพืชต่อเอทิลีนจากแหล่งภายนอกมีความหลากหลาย ได้แก่ การทำลายการพักตัว การเจริญและพัฒนาของรากและยอด การหลุดร่วงของใบ ดอก และผล ชักนำการสร้างดอก การเหนี่ยวนำการสุกของผลไม้ รวมทั้งกระตุ้นการแตกของฝักวานิลลาได้ โดยมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการตอบสนองต่อเอทิลีนในการเร่งการสุก ได้แก่ ระยะพัฒนาหรือการสุกของฝักผลไม้ ระดับความเข้มข้นของสาร ผลที่มีอายุการเก็บเกี่ยวหรือสีผลที่แตกต่างกัน รวมทั้งกรรมวิธีต่างๆ เช่น การห่อผล มีผลให้การผลิตเอทิลีนและพฤติกรรมสุกต่างกัน (จริงแท้ ศิริพานิช. 2549) เอทิลีนมีผลต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวทั้งผลกระทบในแง่บวกและแง่ลบขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล ระยะสุกของผลิตผล และการนำไปใช้งาน (Saltveit. 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลไม้ ลักษณะการผลิตเอทิลีนและปริมาณความเข้มข้นภายในมีความสัมพันธ์กับการหายใจ ผลไม้ประเภท climacteric มีการผลิตและความเข้มข้นของเอทิลีนภายในระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ จนกระทั่งผลไม้เริ่มสุกการผลิตเอทิลีนจึงเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว ความเข้มข้นภายในก็สูงขึ้นด้วย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณการผลิตเอทิลีนอาจเกิดขึ้นก่อน หรือหลังการเพิ่มขึ้นของอัตราหายใจก็ได้ (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550) โดยการเพิ่มขึ้นของเอทิลีนที่ผลิตจากตัวผลิตผลเอง (endogenous ethylene) นี้เป็นส่วนสำคัญกระบวนการสุกของผลไม้จำพวก climacteric และอาจทำหน้าที่เหมือนตัวปรับกระแสไฟฟ้า ในทางการค้าสำหรับผลิตผลทางการเกษตรที่นิยมใช้ คือ การหลีกเลี่ยงการเกิดเอทิลีน หรือพยายามให้เกิดเอทิลีนน้อยที่สุด และป้องกันการทำงานของเอทิลีนในระหว่างการสุก การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา การขนส่ง และการจัดจำหน่าย โดยการควบคุมอุณหภูมิและสภาพบรรยากาศ ส่วนเอทิลีนที่ผลิตผลได้รับจากภายนอก (exogenous ethylene) ใช้ในการช่วยให้ผลไม้เกิดการสุกอย่างสม่ำเสมอ โดยสารสังเคราะห์ที่นิยมใช้ คือ สารเอทธิฟอน มีชื่อทางเคมีว่า 2-chloroethylphosphonic acid ซึ่งเป็นสารที่ปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนขณะเอทธิฟอนบริสุทธิ์ เป็นสารกึ่งแข็งคล้ายขี้ผึ้งสีขาว ละลายได้ทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ไม่ระเหยและไม่ติดไฟ มีจำหน่ายภายใต้ชื่อการค้าต่างๆ กัน เช่น Ethrel[®], Cepha[®], Ethrel[®] Latex เป็นต้น มีความคงตัวที่สภาพเป็นกรด หรือมี pH ต่ำกว่า 4 เมื่อนำมาละลายน้ำหรือเมื่อซึมเข้าไปในเซลล์พืชจะสลายตัวให้เอทิลีน สารเอทธิฟอนจัดว่าเป็นสารที่มีพิษน้อยและสลายตัวได้ง่าย ส่วนมากนิยมให้สารนี้ก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น ใช้เพื่อเร่งการสุกหรือการเปลี่ยนแปลงสีในองุ่น พริกหวาน มะเขือเทศ สับปะรด ส้ม ทุเรียน เป็นต้น (Saltveit. 1999)

สาริต พสุวิทย์กุล (2531) ได้ทำการศึกษาผลของเอทธิฟอนที่มีต่อสีผลและคุณภาพของผลองุ่นพันธุ์ Beauty Seedless โดยใช้สารเอทธิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0, 250 และ 500 พีพีเอ็ม กับช่วงระยะเวลาการให้สารเมื่อจำนวนผลในช่อเปลี่ยนสีได้ประมาณ 30 และ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม ให้เปอร์เซ็นต์การหลุดจากขั้วต่ำสุด และที่ระดับความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ให้เปอร์เซ็นต์การหลุดจากขั้วสูงสุดและมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำสุด และการให้เอทธิฟอนเมื่อจำนวนผลในช่อเปลี่ยนสีได้ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณแอนโทไซยานินและเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำสูง ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และเปอร์เซ็นต์กรดต่ำ มีแนวโน้มการเปลี่ยนสีผิวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอในช่อ และรสชาติดีกว่าการให้เอทธิฟอนเมื่อจำนวนผลในช่อเปลี่ยนสีได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ ธีรวิภา ภาประชา (2535) ได้ทำการศึกษาผลของเอทธิฟอนและ โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟตต่อการออกช่อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยใช้โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ร่วมกับเอทธิฟอน ความเข้มข้น 0, 250, 500 และ 750 พีพีเอ็ม ต่อการออกช่อดอกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยพ่นสารสัปดาห์ละครั้งต่อเนื่องกัน 4 ครั้ง พบว่าเอทธิฟอนความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม สามารถชักนำให้เกิดช่อดอกดีที่สุด รองลงมาคือความเข้มข้น 750 พีพีเอ็ม ส่วนการใช้โมโนโพแทสเซียมผสมกับเอทธิฟอนมีผลทำให้ต้นมะม่วงออกดอกช้าลง และมีแนวโน้มชักนำให้เกิดช่อดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้น เมื่อใช้ระดับความเข้มข้นของเอทิลีนสูงขึ้น แต่ต้นมะม่วงที่ปนด้วยเอทิลีน มีผลข้างเคียงที่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษกับพืช คือทำให้ใบร่วงและเกิดอาการยางไหลตามลำต้น กิ่ง และส่วนยอด อาการจะเกิดรุนแรงยิ่งขึ้นตามความเข้มข้นของเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้น และความรุนแรงของอาการจะมากขึ้นเมื่อผสมร่วมกับปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต

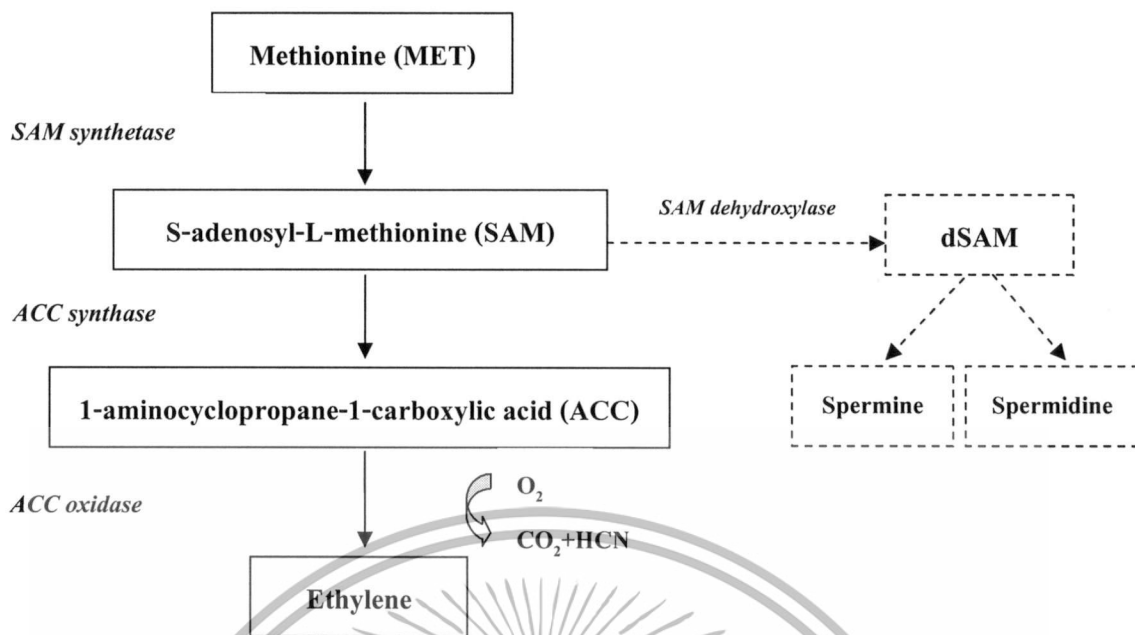
การสังเคราะห์เอทิลีน

เอทิลีนถูกสร้างขึ้นจากกรดอะมิโน methionine ผ่าน S-adenosyl-Lmethionine (SAM) และกรดอะมิโนวงแหวนที่ไม่ได้เป็นส่วนประกอบของโปรตีน 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) และมีเอนไซม์ช่วยเร่งปฏิกิริยาในวิถีการสังเคราะห์เอทิลีน ได้แก่ SAM synthetase, ACC synthase และ ACC oxidase สำหรับผลไม้ประเภท climacteric การสังเคราะห์เอทิลีนแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ system I เป็นการสร้างเอทิลีนตามปกติที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อทั่วไป และ system II จะเกิดขึ้นเมื่อการสังเคราะห์เอทิลีน ACC synthase และ ethylene forming enzyme (EFE) ถูกกระตุ้นขึ้นโดยตัวเอทิลีนเอง ในขณะที่ลักษณะด้านทานต่ออิทธิพลของเอทิลีนลดลง ทำให้ความไวต่อเอทิลีนเพิ่มขึ้น ส่วนผลไม้ประเภท non-climacteric และเนื้อเยื่ออื่นๆ มีการผลิตเอทิลีนใน system I เท่านั้น ไม่มีการเร่งปฏิกิริยาเอง (autocatalysis) เกิดขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช. 2549) นอกจากนี้พบว่ามีการสังเคราะห์เอทิลีนอีกกระบวนการหนึ่งซึ่งเกิดในผลผลิตทุกประเภท คือ การสังเคราะห์ในลักษณะ stressed synthesis เมื่อพืชเกิดสภาวะเครียดทางสรีรวิทยา เช่น การได้รับบาดเจ็บ เกิดรอยแผล ได้รับการกระแทก เกิดการบอบช้ำ หรือถูกรุกรานจากเชื้อจุลินทรีย์ พืชจะตอบสนองต่อสภาวะเครียดนี้โดยการผลิตเอทิลีนขึ้นเพื่อส่งสัญญาณให้ระบบป้องกันซ่อมแซมตัวของพืชทำงาน (ภาพที่ 4) (ธนະบูลย์ สัจจาอนันตกุล. 2548)

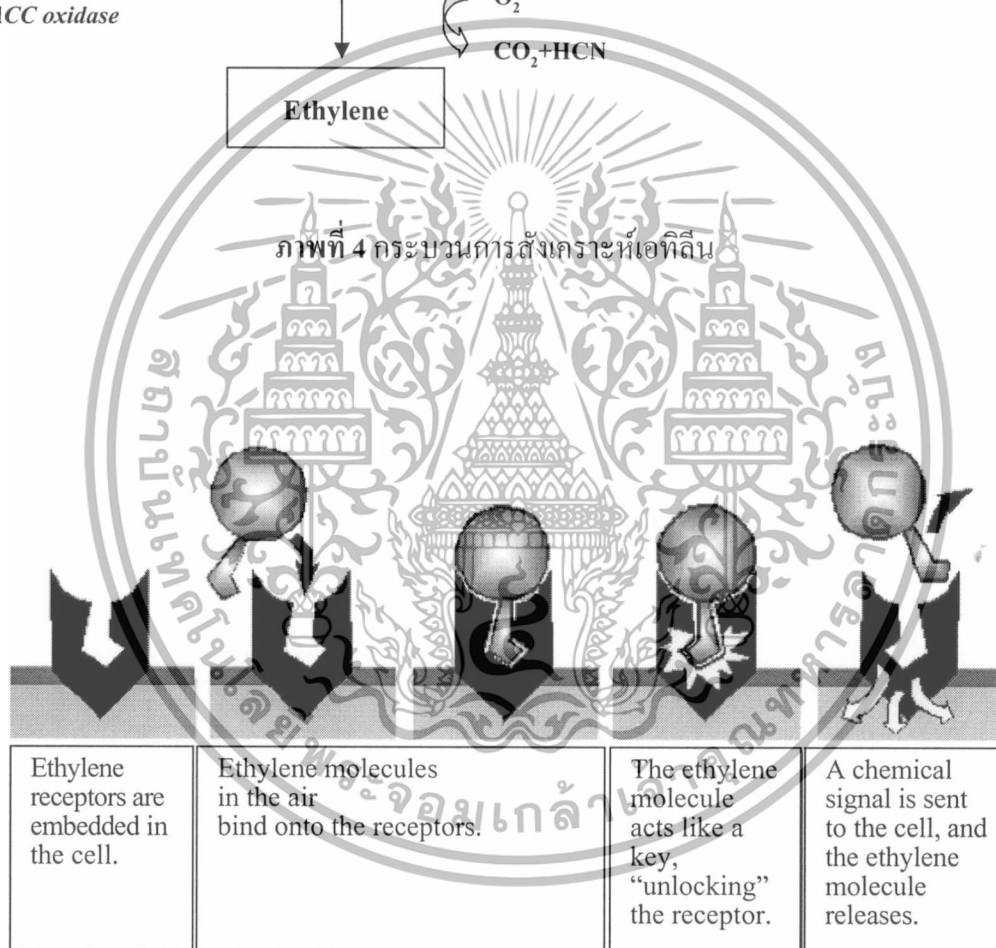
การทำงานของเอทิลีน

ผลของเอทิลีนที่พบไม่ได้เกิดจากโมเลกุลของเอทิลีนโดยตรง เอทิลีนทำหน้าที่เป็นเพียงตัวกระตุ้นโดยไม่ได้ถูกรวมเข้าไปเป็นองค์ประกอบของเซลล์พืช แต่ทำงานโดยผ่านตัวรับ (Reid. 2002) การทำงานของเอทิลีน โดยเอทิลีนจะเข้าไปจับกับโมเลกุลของตัวรับ จากนั้น โมเลกุลดังกล่าวจะส่งสัญญาณทางเคมี (chemical signal) ไปยังส่วนต่างๆ ของพืช ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางสรีรวิทยา จากนั้น โมเลกุลของเอทิลีนจะเคลื่อนที่ออกจากตัวรับได้ ซึ่งสามารถเกิดกลับไปกลับมาและถึงจุดอิ่มตัวได้ (ภาพที่ 5) (Blankenship. 2001) การตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีนของเนื้อเยื่อประเภท vegetative ส่วนใหญ่คล้ายคลึงกัน คือ ระดับความเข้มข้นที่เริ่มจะแสดงผลอยู่ที่ประมาณ 0.01 พีพีเอ็ม ระดับที่ให้ผลประมาณครึ่งหนึ่งของอิทธิพลสูงสุดประมาณ 0.1 พีพีเอ็ม และระดับอิ่มตัวประมาณ 10 พีพีเอ็ม สำหรับในเนื้อเยื่ออื่น เช่น ผลไม้ การตอบสนองต่อปริมาณเอทิลีนจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตผล ระยะการเจริญเติบโต หรือการบริบูรณ์ (จริงแท้ ศิริพานิช. 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน



ภาพที่ 5 กลไกการทำงานของเอทิลีน

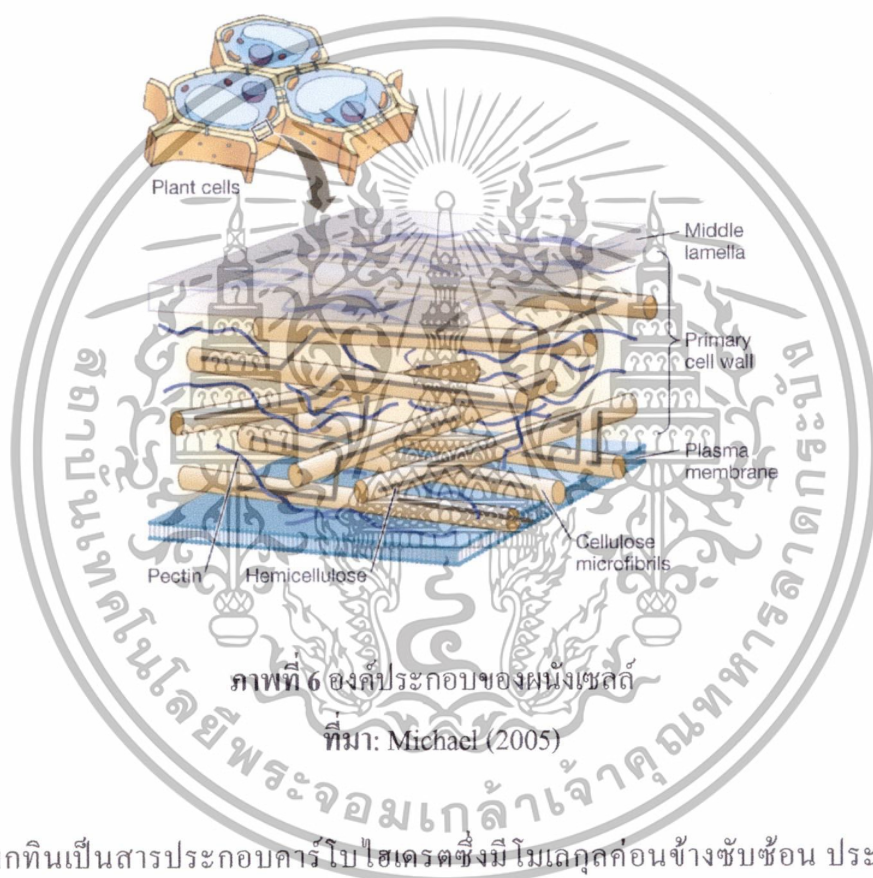
ที่มา: Blankenship (2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กลไกการแตกของฝัก

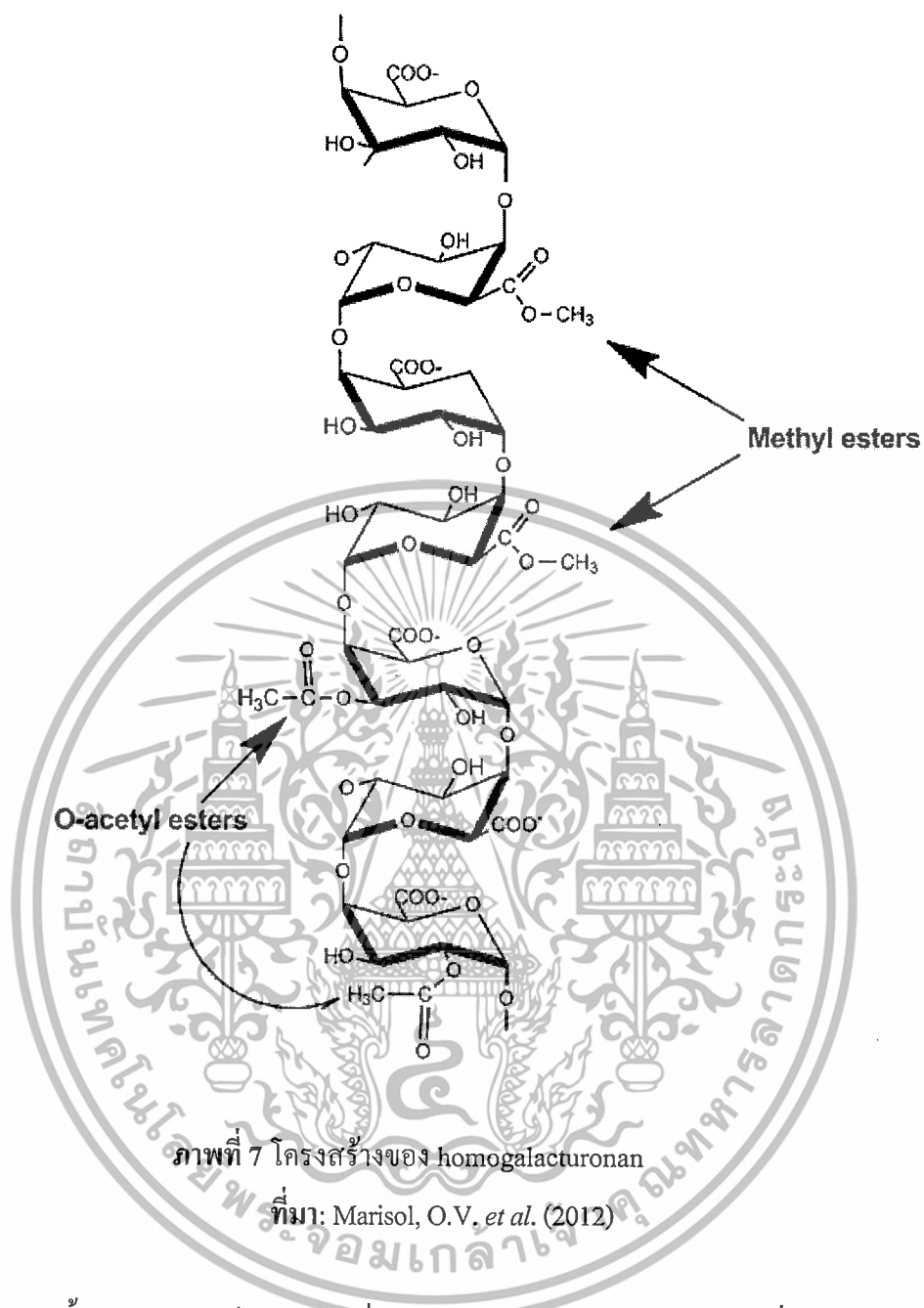
2.4.1 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์

การแตกของฝักในระยะสุกเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงภายในผนังเซลล์ อาจเกิดขึ้นจากการเสื่อมสลายของผนังเซลล์เองหรือของสารที่เชื่อมผนังเซลล์เข้าด้วยกัน คือ เพกทิน (pectin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของผนังเซลล์ในผลไม้ โดยมีเพกทินประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของผนังเซลล์ทั้งหมด พบการย่อยสลายอย่างชัดเจนที่สุด สามารถพบได้ในชั้น middle lamella และผนังเซลล์ชั้นต้นของพืชหลายชนิด (ภาพที่ 6)



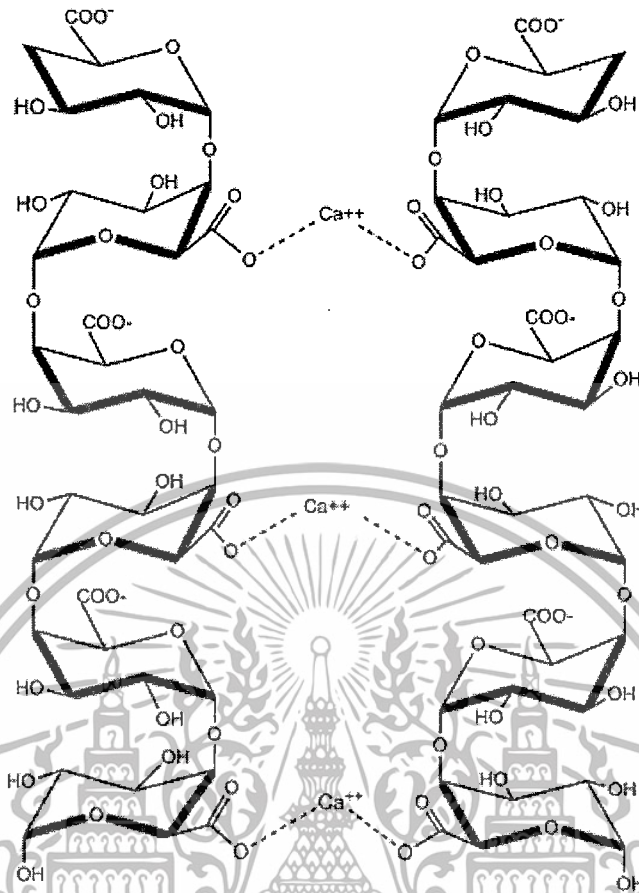
เพกทินเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีโมเลกุลค่อนข้างซับซ้อน ประกอบด้วย galacturonic acid เป็นหลัก ที่พบมากมี 3 ชนิด ได้แก่ homogalacturonan ซึ่งเป็นโมเลกุลสายยาวของ galacturonic acid ไม่มีแขนง และมักมีหมู่ methyl มาเกาะที่กลุ่ม carboxyl ของ galacturonic acid หรือมีน้ำตาล xylose มาเกาะ ซึ่งได้แก่ xylogalacturonan (ภาพที่ 7) เพกทินอีกชนิดที่พบมาก คือ rhamnogalacturonan (RG I) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาล rhamnose สลับกับ galacturonic acid มีแขนงของ β -galactan และ α -arabinan (ภาพที่ 9) นอกจากนี้เพกทินที่เปลี่ยนมาจาก homogalacturonan คือ rhamnogalacturonan II (RG II) ซึ่งมี homogalacturonan เป็นแกนหลัก และมีแขนงแตกต่างกัน แต่ละแขนงจะประกอบไปด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ (ภาพที่ 10) (Leshem *et al.* 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

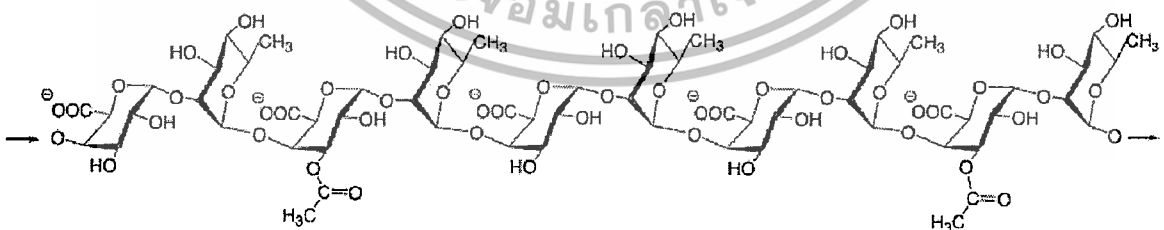


นอกจากนี้ เพกทินอาจเป็นโมเลกุลที่มีแขนงประสานเป็นโครงข่าย และเชื่อมด้วยไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) เช่น โครงสร้างของ homogalacturonan ที่ไม่มีหมู่ methyl ($-\text{CH}_3$) มาเกาะบนหมู่ carboxyl (COOH) แต่อาจเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไอออนิก โดยมี Ca^{2+} เป็นตัวกลาง ซึ่งเรียกรูปแบบการเกาะแบบนี้ว่า junction zone แต่ถ้าเชื่อมต่อกันในลักษณะนี้หลายๆ โมเลกุล จะช่วยให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น โดยจะเรียกโครงสร้างนี้ว่า egg-box (ภาพที่ 8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



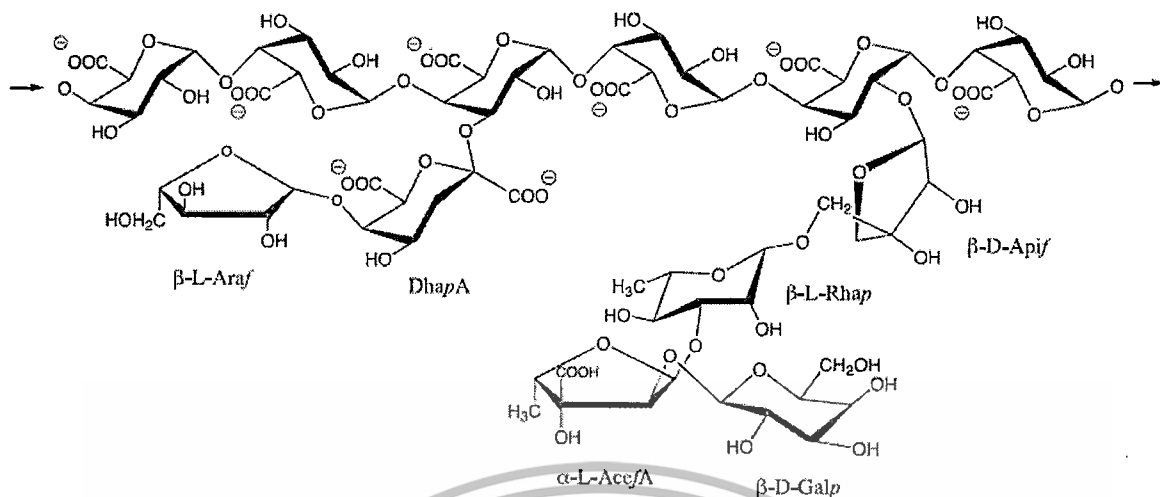
ภาพที่ 8 การจับเรียงตัวของ homogalacturonan ด้วยพันธะไอออนิก โดยมี Ca^{2+} เป็นตัวกลาง (egg-box)
ที่มา: Marisol *et al.* (2012)



ภาพที่ 9 โครงสร้างของ Rhamnogalacturonan I

ที่มา: Marisol *et al.* (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 โครงสร้างของ Rhamnogalacturonan II ซึ่งมีแขนงแตกต่างกัน แต่ละแขนงประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ

ที่มา: Marisol *et al.* (2012)

การเปลี่ยนแปลงของเพกทินในผักและผลไม้ยังมีกลไกที่ไม่แน่ชัด แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเพกทินจะมีปริมาณมากที่สุดเมื่อผลไม้โตเต็มที่ และลดลงเมื่อผลไม้สุก ส่วนปริมาณเพกทินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด พันธุ์ ขึ้นส่วนเนื้อเยื่อของพืช ดังเช่น องอาจ เต็ดดวง และ ธารรัตน์ สุภศิริ (2553) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเพกทินที่สกัดได้จากฝรั่ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กลมสาดี พันธุ์แป้นสีทอง และพันธุ์กิมจู โดยทำการสกัดเพกทินจากส่วนเปลือกและเนื้อ พบว่าเพกทินที่สกัดได้จากฝรั่งพันธุ์กิมจูมีปริมาณมากที่สุด คือ 15.55-19.44 เปอร์เซ็นต์ เพกทินที่สกัดได้จากพันธุ์กลมสาดีมีปริมาณรองลงมา คือ 8.56-11.45 เปอร์เซ็นต์ และเพกทินที่สกัดได้จากพันธุ์แป้นสีทองมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 8.69-9.92 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าส่วนเปลือกมีปริมาณเพกทินมากกว่าส่วนเนื้อ โดยมีปริมาณเพกทิน 11.45, 9.92 และ 18.43 เปอร์เซ็นต์ ในเปลือกฝรั่งพันธุ์กลมสาดี พันธุ์แป้นสีทอง และพันธุ์กิมจู ตามลำดับ นอกจากนี้ จรุงแท้ ศิริพานิช และลำแพน ขวัญพูล (2548) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ และกิจกรรมของเอนไซม์ระหว่างการแตกของผลและการอ่อนนุ่มของเนื้อทุเรียน พบว่าเนื้อทุเรียนอ่อนนุ่มลงตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึง 8 วันหลังการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ส่วนเปลือกเริ่มมีการแตกในวันที่ 8 เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของผนังเซลล์พบว่าทั้งในส่วนเนื้อ ส่วนแกนกลางผล ส่วนรอยสาแทรก และส่วนเปลือกทั่วไป มีปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของเนื้อ รวมทั้งเพกทินที่ละลายใน CDTA ในส่วนเนื้อก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่พบว่าในส่วนของรอยสาแทรกเพิ่มขึ้นมากที่สุด สำหรับเพกทินที่ละลายใน Na_2CO_3 ลดลงมากในส่วนของเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ มี 2 แนวทาง ดังนี้

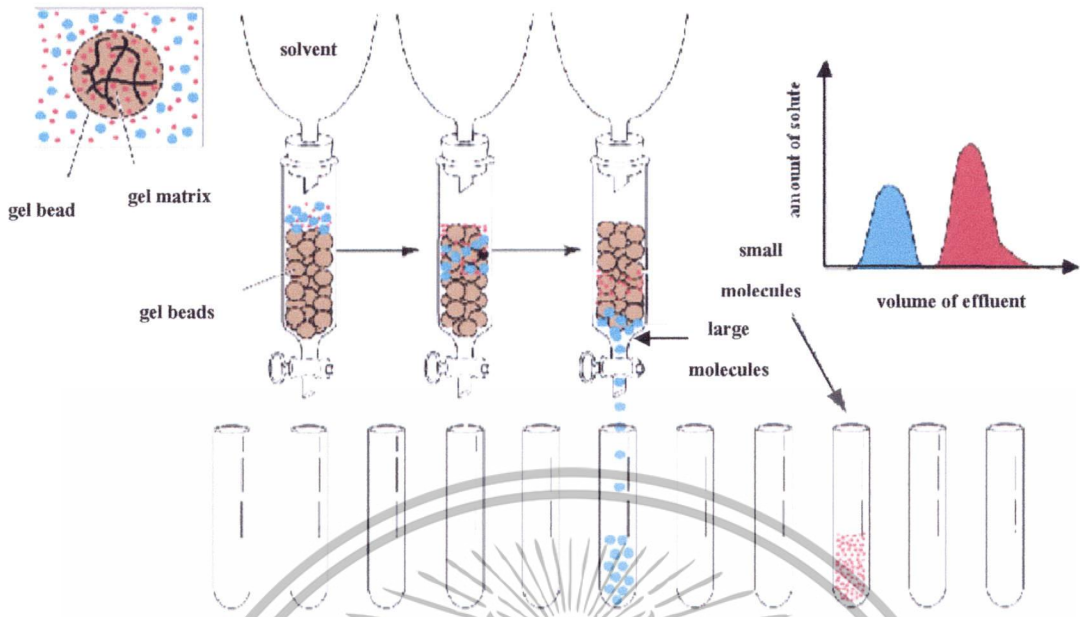
1. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเพกทิน

ดำเนินการสกัดแยกเอาผนังเซลล์ออกจากส่วนอื่นๆ ของเนื้อเยื่อ โดยทั่วไปจะทำการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ เพื่อให้องค์ประกอบของผนังเซลล์ตกตะกอน ในขณะที่องค์ประกอบอื่นๆ ละลายออกไป และเรียกสิ่งที่สกัดได้นี้ว่า alcohol insoluble solid (AIS) หรือของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ จากนั้นจึงทำการแยกองค์ประกอบของผนังเซลล์นี้เป็นส่วนต่างๆ เริ่มจากนำ AIS ไปละลายในน้ำ จะได้สารประกอบเพกทินออกมาส่วนหนึ่ง เรียกว่า water soluble pectin หรือเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ จากนั้นจึงนำกากหรือตะกอนที่เหลือ ซึ่งมักเรียกว่า cell wall material ไปละลายต่อในสารละลายที่มี chelating agent อยู่ด้วย เช่น CDTA, EDTA เพื่อดึงเอาไอออนของโลหะออก เช่น ดึงเอาแคลเซียมออก เพกทินที่เคยเกาะกันอยู่ด้วยแคลเซียม ไอออนก็จะละลายออกมาอยู่ในรูปสารละลาย เรียกเพกทินส่วนนี้ว่า chelating soluble pectin จากนั้นนำตะกอนที่เหลืออยู่ไปละลายในสารละลาย Na_2CO_3 เพื่อทำลายพันธะเอสเทอร์ ที่โมเลกุลของเพกทินเชื่อมต่อกับ โมเลกุลอื่นๆ ออกมา ได้เพกทินอีกส่วนหนึ่ง เรียกว่า Na_2CO_3 soluble pectin และนำตะกอนที่เหลืออยู่ไปละลายในสารละลายด่าง เช่น KOH เพื่อสกัดเอา glycan ที่ยึดแน่นกับเซลลูโลส เช่น xyloglucan ออกมาเป็นลำดับสุดท้าย เพกทินที่ยังคงเหลือในส่วนนี้ เรียกว่า alkaline soluble pectin และส่วนที่เหลือเป็นตะกอนอยู่ คือ เซลลูโลส (จรัสแท้ ศิริพานิช. 2550)

2. การศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน

ใช้หลักการ gel filtration chromatography คือ แยกสารออกจากกันตามขนาดโมเลกุล (size) ด้วยหลักการของการละลายแยกส่วน (partition chromatography) ซึ่งเกิดขึ้นบนตัวกลางที่เป็นเม็ดเจล (gel) ที่มีรูพรุน โดยที่เนื้อเจล (gel matrix) เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ส่วนรูพรุนเกิดจากการทำ cross-link ของ linear polymer อย่างเป็นระเบียบ มีสมบัติ hydrophilic เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการพองตัว และเกิดเป็นปริมาตรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแยกสาร โดยหลักการ gel filtration chromatography นี้ เป็นการกรองให้สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ออกมาก่อน จากนั้นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจึงออกตามมาทีหลัง (ภาพที่ 11) บางครั้งอาจเรียกว่า gel permeation chromatography เป็นการเรียกตามขีดจำกัดในการยอมให้สารผ่านเข้ารูพรุนนั้น หรืออาจเรียกว่า size exclusion chromatography เรียกตามลักษณะการแยกสารตามขนาด เมื่อสารตัวอย่างมีหลายขนาดผสมอยู่ด้วยกัน การที่สารจะแยกออกจากกันจะเกิดการแยกส่วน (partition) เนื่องจากการแพร่กระจายไปตามสารละลายในรูพรุนของเจล และสารละลายนอกเม็ดเจล (Sigma-Aldrich. 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 ขั้นตอนของ gel filtration chromatography โดยยอมให้สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ออกมาก่อน จากนั้นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจึงออกตามมาทีหลัง
ที่มา: Solongo (2013)

เจลที่นิยมใช้ในการทำ gel filtration chromatography ได้แก่ polydextran gel ซึ่งใช้แยก polysaccharide ที่มีขนาดโมเลกุล ระหว่าง 6-1,000 คู่เบส และ agarose gel ใช้แยก polysaccharide ที่มีขนาดโมเลกุล ประมาณ 100-50,000 คู่เบส sephadex ใช้แยก polysaccharide ที่มีขนาดโมเลกุล ระหว่าง 700-800,000 คู่เบส (ตารางที่ 1) bio-gel P ใช้แยก polysaccharide ที่มีขนาดโมเลกุล ระหว่าง 2,600-300,000 คู่เบส (ตารางที่ 2) คู่เบส bio-gel A ใช้แยก polysaccharide ที่มีขนาดโมเลกุล ระหว่าง 50,000-150,000,000 คู่เบส (ตารางที่ 3) และ sepharose ซึ่งเป็น agarose gel ที่ใช้แยก polysaccharide มีปริมาณ agarose แตกต่างกันได้แก่ 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยเรียกว่า sepharose 2B, sepharose 4B และ sepharose 6B ตามลำดับ ซึ่งใช้แยก polysaccharide ที่มีขนาดโมเลกุล ระหว่าง 60-200, 45-165 และ 45-154 ไมโครเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4) (Sigma-Aldrich. 2013)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของ polydextran gel (Pharmacia Products)

Trade name	Exclusion limit	Fractionation range (MW)	Water region (ml/g dry gel)	Bed volume (ml/g dry gel)
Sephadex G-10	700	-700	1.0	2.0-3.0
Sephadex G-25	5,000	1,000-5,000	2.5	4.0-6.0
Sephadex G-50	30,000	1,500-30,000	5.0	9.0-11.0
Sephadex G-75	70,000	3,000-70,000	7.5	12.0-15.0
Sephadex G-100	150,000	4,000-150,000	10.0	15.0-20.0
Sephadex G-200	800,000	5,000-800,000	20.0	30.0-40.0

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของ polyacrylamide gel (Bio-Rad Products)

Trade name	Exclusion limit	Fractionation range (MW)	Water region (ml/g dry gel)	Bed volume (ml/g dry gel)
Bio-Gel P-2	2,600	200-2,600	1.5	4
Bio-Gel P-4	4,000	500-4,000	2.4	6
Bio-Gel P-6	5,000	1,000-5,000	3.7	9
Bio-Gel P-10	17,000	5,000-17,000	4.5	12
Bio-Gel P-60	70,000	30,000-70,000	7.2	20
Bio-Gel P-100	100,000	40,000-100,000	7.5	20
Bio-Gel P-150	150,000	50,000-150,000	9.2	25
Bio-Gel P-200	300,000	80,000-300,000	14.7	35

ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของ agarose gel (Bio-Rad Products)

Trade name	Exclusion limit	Fractionation Range (MWx 10 ⁶)	Agarose Concentration (percent)
Bio-Gel A-5 m	5x10 ⁶	0.01-5	6
Bio-Gel A-15 m	15x10 ⁶	0.04-15	4
Bio-Gel A-50 m	50x10 ⁶	0.10-50	2
Bio-Gel A-150	>150 x10 ⁶	1->150	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของ sepharose gel

Property	2B	4B	6B
MW Range:			
Globular Proteins	$7 \times 10^4 - 4 \times 10^7$	$6 \times 10^4 - 2 \times 10^7$	$1 \times 10^4 - 4 \times 10^6$
Dextrans	$1 \times 10^5 - 2 \times 10^7$	$3 \times 10^4 - 5 \times 10^6$	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^6$
DNA exclusion limit	-1352 base pairs	-872 base pairs	-45-165 base pairs
Diameter (wet bead)	60-200 μm	45-165 μm	45-154 μm
pH Range	4-9	4-0	4-9
Max. Pressure	40 cm H ₂ O	80 cm H ₂ O	200 cm H ₂ O
Max. Volumetric Flow Rate	0.83 ml/min	0.96 ml/min	1.16 ml/min
Max. Linear Flow Rate	10 ml/cm ² h	11.5 ml/cm ² h	14 ml/cm ² h

ที่มา: Sigma-Aldrich (2013)

2.4.3 กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์

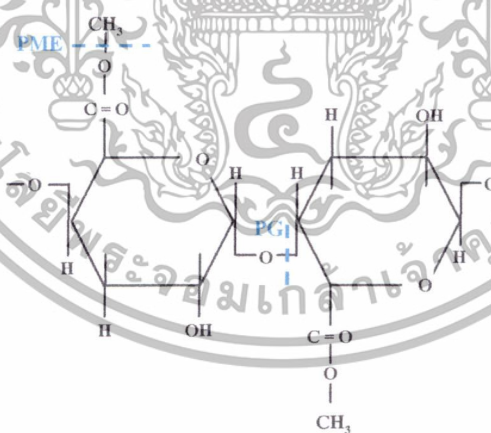
การย่อยสลายของผนังเซลล์ โดยเฉพาะเพกทินมีความสัมพันธ์กับการสุกของผลและฝักที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ โดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ที่สำคัญ มีดังนี้

- เอนไซม์ polygalacturonase (PG) เป็นเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติกระตุ้นการย่อยสลายโมเลกุลของเพกทินที่พันธะ α -1,4 glycosidic (ภาพที่ 12) เอนไซม์ที่พบมีทั้ง exo-PG และ endo-PG ซึ่ง exo-PG จะช่วยย่อยพันธะ α -1,4 glycosidic จากปลายของโมเลกุลเพกทิน ด้าน non-reducing เท่านั้น ส่วน endo-PG จะช่วยย่อยพันธะ α -1,4 glycosidic แบบสุ่มทั่วทั้งโมเลกุลของเพกทิน จึงทำให้โมเลกุลของเพกทินถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ อย่างรวดเร็ว สังเกตได้จากผลไม้ที่มีเนื้ออ่อนนุ่มลงมาก แต่ในแอปเปิลพบว่ามี exo-PG ปริมาณมาก ผลจึงอ่อนนุ่มลงแต่ไม่ละเหมือนผลไม้ชนิดอื่นๆ (จริงแท้ศิริพานิช. 2550) นอกจากนี้ยังพบว่าคุณสมบัติในการละลาย (solubility) ของเพกทินเปลี่ยนไป โดยปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PG โดยเฉพาะอย่างยิ่ง endo-PG ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในมะเขือเทศ (Huber. 1983) มะละกอ (Chan and Tam. 1982) และมะม่วง (Ketsa *et al.* 1998) เป็นต้น ส่วนแนวทางการศึกษาในระดับโมเลกุลเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ โดย Smith *et al.* (1988) ได้ทำการศึกษาในมะเขือเทศ ใช้เทคโนโลยี antisense สร้าง DNA จาก PG ด้วยการถอดรหัสย้อนกลับ (reverse transcribe) โดยใช้ promoter จากไวรัสของกะหล่ำปลี แล้วใส่ antisense นี้เข้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปในจีโนมของมะเขือเทศปกติ พบว่าผลมะเขือเทศจากต้นที่ได้รับการถ่ายยีนนี้ มีปริมาณและกิจกรรมของ PG ลดลงเหลือเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ และเพกทินถูกย่อยเป็น โมเลกุลเล็กๆ ใต้น้อยลง

- เอนไซม์ pectin methylesterase (PME) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยเอากลุ่ม methyl ออกจากเพกทิน (ภาพที่ 12) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ pH และประจุภายในผนังเซลล์ ทำให้เกิดพันธะไฮออนเชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุลของเพกทิน โดยอาศัยไฮออนของแคลเซียมเป็นตัวเชื่อม และทำให้เอนไซม์ PG เข้าย่อยสลายโมเลกุลของเพกทินให้เล็กลง ในผลไม้บางชนิดพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PME เพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้สุก จากนั้นกิจกรรมของ PG จึงเพิ่มขึ้นตามมา เช่น ทูเรียน (จริงแท้ศิริพานิช และ ลำแพน ขวัญพูล, 2548) มะเขือเทศ (Tucker *et al.* 1982) ราสเบอร์รี่ (Iannetta *et al.* 1999) เป็นต้น

- เอนไซม์ cellulase เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายพันธะ β -1,4 glycosidic ซึ่งพบในโมเลกุลของ cellulose, xyloglucan และ glucomannan ระหว่างการอ่อนนุ่มของผลไม้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ cellulose แต่พบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การบวมพองของ microfibril เป็นต้น ในเปลือกส้ม พบว่ามีการสูญเสียของเพกทิน และเซลลูโลส บริเวณผนังเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะการสุก (Juan *et al.* 2009) สำหรับการแตกของฝัก Arabidopsis ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยเอทิลีน พบว่ามีความสัมพันธ์ของกิจกรรมของเอนไซม์ cellulase และ PG (Rugkong *et al.* 2010)



ภาพที่ 12 บทบาทของเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) และ polygalacturonase (PG)

ที่มา: Lionco Trans Ltd (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การลดความเสียหายจากการแตกของฝัก

2.5.1 สารยับยั้งการผลิตและการทำงานของเอทิลีน

ในดอกไม้มีการใช้ไอออนของเงิน (Ag^+) และโคบอลต์ (Co^{2+}) ช่วยในการยืดอายุการปักแจกัน ไอออนของเงินจะไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยจับกับตัวรับของเอทิลีน ทำให้อิทธิพลของเอทิลีนไม่แสดงออก สำหรับไอออนของโคบอลต์นั้นจะไปยับยั้งการผลิตเอทิลีนในลำดับสุดท้ายจาก ACC เป็นเอทิลีน แต่สารเคมีที่เป็นไอออนของเงิน ทั้ง AgNO_3 และ silver thiosulfate (STS) ยังไม่สามารถใช้กับผักและผลไม้ได้เนื่องจากเป็นพิษต่อผู้บริโภค ปัจจุบันนิยมใช้สาร 1-MCP ในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน เนื่องจากไม่มีความเป็นพิษและไม่มีผลตกค้างในผักและผลไม้สด (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; มาระตรี เปลีียนศิริชัย และ อุษณา ไตรนอก, 2550)

สาร 1-methylcyclopropene หรือ 1-MCP เป็นสารที่สามารถป้องกันการเกิดกระบวนการของเอทิลีนในผลิตผลหลังจากการเก็บเกี่ยว มีสูตรโครงสร้างคือ C_4H_6 (ภาพที่ 13) เป็นสารไม่มีกลิ่นและไม่มีสี ค้นพบโดย Edward Sisler และ Sylvia Blankenship โดยสาร 1-MCP ที่วางขายจะเรียกกันในชื่อ EthylBloc™ หรือ SmartFresh™ ในรูปแบบผง (powder) สาร 1-MCP เมื่อรวมตัวกับ cyclodextrin เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้อยู่ในสภาพเสถียร และเมื่อถูกแทนที่ด้วยน้ำจะทำให้สาร 1-MCP ออกฤทธิ์ในรูปแบบของก๊าซ โดยการแย่งจับกับตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) ทำให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากสาร 1-MCP นี้ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยา (Food and Drug Administration; FDA) ให้สามารถนำมาใช้กับผลิตผลทางการเกษตรได้ (Blankenship, 2001)



ภาพที่ 13 โครงสร้างทางเคมีของสาร 1-MCP

การทำงานของสาร 1-MCP ในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน เริ่มต้นจากสาร 1-MCP ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีที่สามารถจับกับตัวรับบนผลิตผลแทนที่เอทิลีน โดยจากการศึกษาพบว่าสาร 1-MCP มีความเข้ากันได้กับตัวรับมากกว่าเอทิลีนถึง 10 เท่า (Sisler and Serek, 1997) โมเลกุลดังกล่าวจะไม่สามารถส่งสัญญาณทางเคมีไปยังส่วนต่างๆของพืชส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางสรีรวิทยาได้ (Blankenship, 2001) และการยึดติดของสาร 1-MCP กับตัวรับจะคงอยู่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลับไปมาเหมือนกับเอทิลีน จึงเป็นการป้องกันการเข้าจับกับตัวรับของเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกว่าจะมีการสังเคราะห์ตัวรับใหม่ของผลิตภัณฑ์จึงสามารถจับกับเอทิลีนได้ใหม่ โดยจากการศึกษาพบว่าหากทำการให้สาร 1-MCP แก่ผักและผลไม้แล้วเก็บรักษาที่ 0-3 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่มีการสังเคราะห์ตัวรับใหม่ แต่เมื่อนำออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีการสังเคราะห์ตัวรับและทำให้เกิดการสุกของผักและผลไม้ได้ จากกระบวนการทำงานดังกล่าวสาร 1-MCP จึงยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ โดยจากการศึกษาพบว่าสามารถยับยั้งได้ทั้งเอทิลีนที่ผลิตผลสร้างขึ้นภายใน (endogenous ethylene) ตามธรรมชาติขณะที่มีการเจริญเติบโต และเอทิลีนจากภายนอก (exogenous) ซึ่งใช้เร่งการสุกในทางการค้า เช่น สารเอทิลเฟน ที่นิยมใช้ในการเร่งการสุกของผลไม้ เช่น กกล้วย มะเขือเทศ นอกจากนี้ยังพบว่าสาร 1-MCP สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้นระดับต่ำมากในระดับ 1 พีพีบี และต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับเอทิลีน (Blankenship and Dole, 2002) โดยทั่วไปจะใช้ช่วงความเข้มข้น 20-200 พีพีบี ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส ในเวลา 2-24 ชั่วโมง ส่วนใหญ่ใช้ในช่อง 6-12 ชั่วโมง สามารถใช้ได้ผลดีในผลไม้ที่ผลิตเอทิลีน หรือผลไม้ประเภท climacteric (จริงแท้ สิริพานิช, 2549)

2.5.2 ผลของสาร 1-MCP ที่มีต่อผลิตผลสดทางการเกษตร

สาร 1-MCP สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนในผัก และผลไม้ จึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสี การหลุดร่วง การแตกของฝักบางชนิด ทำให้ผลไม้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น โดยสาร 1-MCP มีผลต่อผลิตผลสดทางการเกษตร ดังนี้

1. ยับยั้งการทำงานของเอทิลีน ซึ่งเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทในการกระตุ้นให้ผลไม้สุก การใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลีนออกจาผลไม้ ช่วยชะลอการเกิดกระบวนการสุก ในขณะที่เดียวกันการให้เอทิลีนจากภายนอกช่วยให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น และสาร 1-MCP สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ เนื่องจากสามารถจับกับตัวรับสัญญาณของเอทิลีนทำให้การทำงานของเอทิลีนลดลง

2. ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผัก และผลไม้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการพัฒนา ส่วนใหญ่การเปลี่ยนสีจะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเขียวหายไป จากนั้นจะเกิดสีเหลือง ส้ม แดง น้ำเงิน และสีอื่นๆ ขึ้น การที่สาร 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนสีได้นั้นเนื่องมาจากสาร 1-MCP สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้ เอทิลีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้คลอโรฟิลล์สลายตัวอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็ว เมื่อสาร 1-MCP เข้าไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีน จึงทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลงทำให้สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้

3. ลดการหลุดร่วงของผลไม้ การแตกของฝักบางชนิด โดยเอทิลีนเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโต การแก่ การสุก และการเสื่อมสภาพ โดยเอทิลีนจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระตุ้นเซลล์บริเวณ abscission layer ให้แยกตัวออกจากกันจึงทำให้เกิดการหลุดร่วงของดอก ใบ และข้าวผล รวมทั้งกระตุ้นเซลล์บริเวณ dehiscence zone ทำให้เกิดการแตกของฝักอย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่อเอทิลินถูกยับยั้งจะทำให้ไม่สามารถไปกระตุ้นเซลล์บริเวณ abscission layer และ dehiscence zone จึงทำให้ลดการหลุดร่วงของใบ ดอก และข้าวผล รวมทั้งการแตกของฝักได้

4. ลดการเกิดโรค การลุกลามของบาดแผลของฝักและผล ไม้ที่มีเอทิลินเป็นตัวกระตุ้น เร่งให้มีการหลุดร่วงของข้าวผลให้เร็ว จุลินทรีย์เข้าทำลายบริเวณข้าวผลได้เร็วขึ้น ทำให้เกิดโรคได้เร็วกว่าปกติ แม้ว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้ฝักและผลไม้เกิดโรคคือ การเข้าทำลายของจุลินทรีย์ และสาร 1-MCP ไม่ได้ลดการเกิดโรคโดยตรง แต่ 1-MCP ช่วยชะลอการสุก ลดการหลุดร่วงของผล ทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายได้ช้าลง จึงลดการเกิดโรคได้ (มาระตรี เปลียนศิริชัย และอุษณา ไตรนอก. 2550)

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้สาร 1-MCP

เนื่องจากผลิตผลแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อการใช้สาร 1-MCP ที่แตกต่างกัน ปัจจัยในการใช้สาร 1-MCP คือ ความเข้มข้น อุณหภูมิ ระยะเวลาการใช้สาร 1-MCP ช่วงการเจริญเติบโตของผลิตผล ระยะเวลาระหว่างการเก็บเกี่ยวจนถึงการใช้สาร 1-MCP พันธุ์ที่แตกต่างกันของผลิตผลชนิดเดียวกัน (Blankenship and Dole, 2002; DeEll *et al.* 2002) รวมทั้งลักษณะในการรมด้วยสาร 1-MCP ที่แตกต่างกัน (Valero *et al.* 2004) โดยมีการศึกษาของ Bagnato *et al.* (2003) ในกล้วย พบว่าการรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 นาโนลิตรต่อลิตร มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 6 วัน แต่ที่ความเข้มข้น 3 นาโนลิตรต่อลิตร มีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 วัน ซึ่งในผลิตผลอื่นๆ ความเข้มข้นของสาร 1-MCP ก็มีผลเช่นกัน เช่น บร็อกโคลี (Ku and Wills, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิในการรมสาร มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของสาร 1-MCP มีการศึกษาในแอปเปิ้ล พันธุ์คอร์ทแลนด์ ที่รมสาร 1-MCP ที่ 3 องศาเซลเซียส ต้องใช้ระยะเวลาการให้อย่างน้อย 9 ชั่วโมง จึงสามารถปรับปรุงค่าความแน่นเนื้อได้ ส่วนที่ 13 และ 23 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาเพียง 6 ชั่วโมงเท่านั้น (DeEll *et al.* 2002) และจากการทดลองของ Ku and Wills (1999) พบว่าเวลาในการรมด้วยสาร 1-MCP ให้กับบร็อกโคลีที่ 1, 2 และ 6 ชั่วโมง มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาได้แตกต่างกัน เช่นเดียวกับในผักกาดหอม (Wills, 2002) และกล้วย (Pelayo *et al.* 2003)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของสาร 1-MCP ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางเคมีของฝักและผลไม้อีกหลายงานทดลอง ดังที่ จารุวัฒน์ โรจนภัทรากุล และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์ (2545) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สาร 1-MCP ต่อการชะลอการสุกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ระยะเวลาและความเข้มข้นในการใช้สาร 1-MCP จะแปรผกผันซึ่งกันและกัน การใช้สาร 1-MCP ที่ความเข้มข้นสูง (1,000 พีพีพี) ควรใช้ระยะเวลาในการรม 6 ชั่วโมง ขณะที่การใช้สาร 1-MCP ที่ความเข้มข้น 100 และ 500 พีพีพี ควรใช้ระยะเวลาในการรม 24 ชั่วโมง พบว่าการรมผลมะม่วงด้วยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-MCP ความเข้มข้น 1,000 พีพีบี เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บรักษาได้ดีที่สุด โดยสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ความแน่นเนื้อ อัตราส่วนของของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (TSS) ต่อปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ (TA) การผลิตเอทิลีน ปริมาณคลอโรฟิลล์ และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาในมะเขือเทศ พบว่าเมื่อรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 400 และ 600 พีพีบี นาน 1 นาที สามารถลดอัตราการผลิตเอทิลีน การหายใจ การพัฒนาสีผิว และลดกิจกรรมของเอนไซม์ PG เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ส่วนมะเขือเทศที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 50 พีพีบี มีผลต่อปริมาณไลโคปีนในส่วนของเปลือก ชะลอการอ่อนนุ่ม การพัฒนาสีผิว และการรวม 6 และ 12 นาที เป็นระยะเวลาที่ดีที่สุดที่ทำให้สารซึมผ่านเข้าสู่ผลได้ดี ช่วยให้ 1-MCP ยับยั้งกระบวนการสุกได้ดียิ่งขึ้น (Sun and Donald, 2008)

นอกจากนี้ Luo (2007) ได้ศึกษาผลของสาร 1-MCP ที่มีผลต่อการสุก องค์ประกอบของเพกทิน และเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ของลูกพลับ โดยรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าการอ่อนนุ่มของลูกพลับเกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของ water soluble pectic (WSP) และการลดลงของ chelator soluble pectic (CSP) และ alkali soluble pectic (ASP) ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG มีค่าสูงสุดในวันที่ 4 และ 6 ตามลำดับ ส่วนลูกพลับที่รมด้วยสาร 1-MCP สามารถชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG ชะลอกิจกรรมของ CSP และ ASP และลดการเพิ่มขึ้นของ WSP รวมทั้งชะลอการหายใจและการผลิตเอทิลีนด้วย และจากการศึกษาผลของสาร 1-MCP ต่อผลพลัม พันธุ์ Qingnai พบว่าผลที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการอ่อนนุ่มเร็ว มีค่า hue angle และปริมาณของคลอโรฟิลล์ลดลง และมีกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลพลัมที่รมสาร 1-MCP มีอัตราการผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจลดลง ชะลอการอ่อนนุ่ม และลดกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG นอกจากนี้ 1-MCP ยังสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase ของผลพลัมระหว่างการเก็บรักษา (Luo *et al.* 2009) สอดคล้องกับ วิชชา ครองยุติ (2554) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมในเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ของผลมะละกอ พบว่าสาร 1-MCP สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ PG และ β -gal ได้ จากการศึกษาในกล้วยหอมพันธุ์ dwarf cavendish พบว่าเมื่อรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 100 พีพีบี สามารถชะลออัตราการหายใจ ชะลอการอ่อนนุ่มของผล และลดกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG ได้เช่นกัน (Seemi *et al.* 2004) เช่นเดียวกับ จุฑามาศ แสงสว่าง และ ลำแพน ขวัญพูล (2555) ได้ทำการศึกษาผลของ 1-MCP ต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ของมะละกอ พบว่าผลมะละกอพันธุ์แขกดำและพันธุ์ปลัดไม้ลาย มีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ส่วนผลมะละกอที่รมด้วยสาร 1-MCP มีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำน้อยกว่าที่ไม่ได้รมสาร แสดงให้เห็นว่าสาร 1-MCP ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำและในสารละลาย KOH และชะลอการลดลงของปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในสารละลาย CDTA และ Na_2CO_3 ในขณะที่ พรพรรณ นุชโพธิ์พันธุ์ (2556) ได้ทำการเปรียบเทียบผลของสาร 1-MCP และสารละลายเอทิฟอนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝัควานิลา พบว่าฝัควานิลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก เปรอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด และมีปริมาณเพกทินทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุม เมื่อรมฝัควานิลาด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี ก่อนทำการจุ่มในสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที พบว่าชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก เปรอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด และมีปริมาณเพกทินทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี กับชุดที่รมที่ระดับความเข้มข้น 300 พีพีบี ก่อนทำการจุ่มในสารละลายเอทิฟอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัสดุเกษตรและอุปกรณ์

1. วัสดุเกษตร ได้แก่ ฝักวานิลลา ระยะฝักอ่อน ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก และระยะฝักแก่ จากแปลงปลูกในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง จังหวัดเชียงใหม่
2. เครื่องแก้ว ได้แก่ beaker, flask, cylinder, test tube, plate, stirring rod
3. บีเปิดขนาด 1 มิลลิลิตร และขนาด 10-100 ไมโครลิตร
4. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
5. hot plate
6. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. เครื่องเขย่าสาร vortex mixture
8. เครื่องหมุนเหวี่ยง รุ่น universal 320R
9. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV/VIS spectrophotometer
10. chromatography column ปริมาตร 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร
11. waterproof pH meter
12. อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ น้ำกลั่น มีดหั่น ตะกร้าพลาสติก อ่างน้ำแข็ง โกร่งบด ถุงซีลล๊อค พอยด์ผ้าขาวบาง ถาดโฟม ถังน้ำขนาด 10 ลิตร ฟิล์มพลาสติก สายน้ำเกลือ เข็มฉีดยา cork borer ขนาด 4 มิลลิเมตร กระดาษทิชชู paraffilm เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ สมุดบันทึก กล้องถ่ายภาพ

3.1.2 สารเคมี

1. ethanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
2. acetone ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
3. 1,2-cyclohexanediaminetetraacetic acid (CDTA) ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ใน imidazole ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์
4. sodium carbonate (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์
5. potassium hydroxide (KOH) ความเข้มข้น 4 โมลาร์
6. สารละลาย sodium tetraborate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ความเข้มข้น 0.0125 โมลาร์ ใน conc. sulfuric acid (H_2SO_4)

7. สารละลาย m-hydroxyphenol ความเข้มข้น 0.15 เปอร์เซ็นต์ ใน sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. galacturonic acid monohydrate
9. polygalacturonic acid
10. sodium acetate (CH₃COONa)
11. acetic acid
12. bromothymol blue ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์
13. sepharose 4B
14. 1-methylcyclopropene (1-MCP) ชื่อทางการค้าคือ AnsiP®
15. ethephon ชื่อทางการค้าคือ บีเทรล
16. ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄)
17. agarose
18. ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)
19. pectate
20. hydrochloric acid (HCl)
21. ลีเยียม ruthenium red ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

3.2 วิธีการดำเนินงาน และการวางแผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณสมบัติของเพกทินในระยะความบริบูรณ์ต่างๆ ของฝักวานิลลา

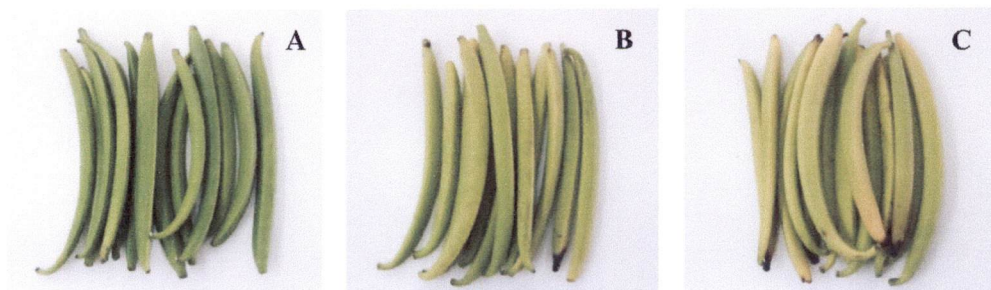
การทดลองที่ 1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของฝักวานิลลา

เก็บเกี่ยวฝักวานิลลาจากแปลงปลูกในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง จังหวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2555 โดยสังเกตการเปลี่ยนสีฝัก ซึ่งเก็บเกี่ยวฝักวานิลลา 3 ระยะ คือ ระยะฝักอ่อน (immature green) อายุฝัก 5 เดือนหลังการผสมเกสร ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) อายุฝัก 7 เดือนหลังการผสมเกสร และระยะฝักแก่ (over mature) อายุฝัก 9 เดือนหลังการผสมเกสร โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อฝักสำหรับระยะฝักอ่อน ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก และระยะฝักแก่ เท่ากับ 10 กรัม จากนั้นคัดเลือกฝักที่มีตำหนิออก ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า บรรจุถุงพลาสติก ขนส่งฝักวานิลลามาที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) โดยแบ่งออกเป็น 3 ทรินเมนต์ๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 5 ฝัก ได้แก่

1. ระยะฝักอ่อน (immature green) ฝักมีสีเขียวเข้ม
2. ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) ฝักมีสีเหลืองอ่อน 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวฝัก
3. ระยะฝักแก่ (over mature) ฝักมีสีเหลืองเข้มมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวฝัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 14 ลักษณะทางกายภาพของฝักวานิลลาในระยะฝักอ่อน (A) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (B) และระยะฝักแก่ (C)

นำฝักวานิลลาทั้ง 3 ระยะการเก็บเกี่ยว จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 5 ฝัก เก็บรักษาถึงวันที่ 7 ที่ อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส บันทึกผลการทดลอง ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก
2. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด
3. เปอร์เซ็นต์การแตกของฝัก

การทดลองที่ 1.2 ศึกษาคุณสมบัติของเปลือกของฝักวานิลลา

เก็บตัวอย่างของฝักวานิลลาแต่ละระยะของการเก็บเกี่ยวในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา โดยเก็บเนื้อเยื่อตามยาว บริเวณรอยรอยแยกของฝัก (shattering zone; SZ) และบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก (non-shattering zone; NSZ) นำตัวอย่างของฝักแต่ละส่วนมาหั่นตามขวางมีความยาว ประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างฝักวานิลลาไว้ในตู้แช่ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาองค์ประกอบของผนังเซลล์ต่อไป

วางแผนการทดลองแบบ 3×2 Factorial in Completely Randomized Design ประกอบด้วย 6 ทริตเมนต์ๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 5 ฝัก และมี 2 ปัจจัย ได้แก่

ปัจจัย A คือ ระยะการเก็บเกี่ยวฝัก

a1 = ระยะฝักอ่อน

a2 = ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก

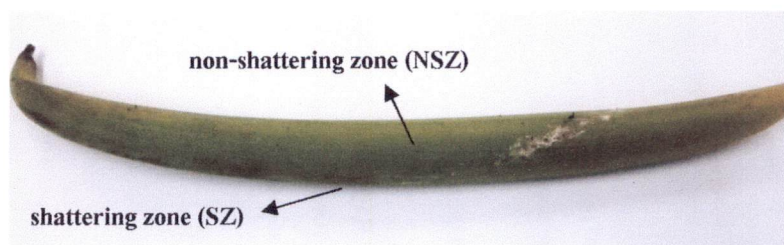
a3 = ระยะฝักแก่

ปัจจัย B คือ บริเวณที่เก็บเนื้อเยื่อ

b1 = บริเวณรอยรอยแยกของฝัก (shattering zone, SZ)

b2 = บริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก (non-shattering zone, NSZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 15 ฝักวานิลลาบริเวณรอยแยกของฝัก (SZ) และบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก (NSZ)

นำฝักวานิลลาของทุกฟัลดมต้น จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 5 ฝัก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส บันทึกรายการทดลอง ดังนี้

1. ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin)
2. การละลายของเพกทิน (pectin solubilization)
3. การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน (pectin depolymerization)

การทดลองที่ 2 ศึกษาบทบาทของเอทิลีน และสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา

การทดลองที่ 2.1 ศึกษาผลของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา

คัดเลือกฝักวานิลลาในระยะเริ่มเปลี่ยนสี (mature) จากเบ็ดปลุกในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง จังหวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2556 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อฝัก เท่ากับ 10 กรัม ล้างฝักให้สะอาด ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำฝักวานิลลามาจุ่มด้วยสารละลายเอทิลีน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม เปรียบเทียบกับฝักวานิลลาที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิลีน แล้วนำฝักวานิลลาบรรจุลงบนถาดโฟมและหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บตัวอย่างของฝักวานิลลา โดยเก็บเนื้อเยื่อตามยาวบริเวณรอยแยกของฝัก โดยมีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา บันทึกรายการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1 และ 1.2

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยแบ่งออกเป็น 3 ฟัลดมต้นๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 5 ฝัก ได้แก่

1. ไม่จุ่มสารละลายเอทิลีน (ชุดควบคุม)
2. จุ่มสารละลายเอทิลีน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที
3. จุ่มสารละลายเอทิลีน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2.2 ศึกษาผลของสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา

คัดเลือกฝักวานิลลาระยะเริ่มเปลี่ยนสี (mature) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อฝัก เท่ากับ 10 กรัม ล้างฝักให้สะอาด ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำฝักวานิลลามาตรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี เปรียบเทียบกับฝักวานิลลาที่ไม่ตรมสาร 1-MCP แล้วนำฝักวานิลลาบรรจุลงบนถาด โฟมและหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) จากนั้นเก็บตัวอย่างของฝักวานิลลา โดยเก็บเนื้อเยื่อตามยาว บริเวณรอบรอยแยกของฝัก โดยมีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา บันทึกผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1 และ 1.2

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยแบ่งออกเป็น 3 ทริตเมนต์ๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 5 ฝัก ได้แก่

1. ไม่ตรมสาร 1-MCP (ชุดควบคุม)
2. ตรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง
3. ตรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง

การทดลองที่ 2.3 ศึกษาผลของสาร 1-MCP และสารละลายเอทิลฟอนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา

เลือกความเข้มข้นของสารละลายแต่ละชนิดที่ดีที่สุดของการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 มาใช้ศึกษาในการทดลองที่ 2.3 จากนั้นคัดเลือกฝักวานิลลาระยะเริ่มเปลี่ยนสี (mature) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อฝัก เท่ากับ 10 กรัม ล้างฝักให้สะอาด ผึ่งลมให้แห้ง แบ่งฝักออกเป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ไม่ตรมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน กลุ่มที่ 2 นำไปจุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และกลุ่มที่ 3 นำไปตรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง และจุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที จากนั้นบรรจุลงบนถาด โฟมและหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) จากนั้นเก็บตัวอย่างของฝักวานิลลา โดยเก็บเนื้อเยื่อตามยาว บริเวณรอบรอยแยกของฝัก เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยแบ่งออกเป็น 3 ทริตเมนต์ๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 5 ฝัก ได้แก่

1. ไม่ตรมด้วยสาร 1-MCP และไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน (ชุดควบคุม)
2. จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที
3. ตรม 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง และจุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกผลการทดลอง ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก
2. การสูญเสียน้ำหนักสด
3. การแตกของฝัก
4. ปริมาณเพกทินทั้งหมด
5. การละลายของเพกทิน
6. การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลเพกทิน
7. กิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase (PG)

3.3 การบันทึกข้อมูล

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก

วัดการเปลี่ยนแปลงของสีผิวของฝักวานิลลา โดยใช้เครื่องวัดสี colorflex® spectrophotometer ในระบบ CIE L a b color space

หากค่า L* มีค่าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีคล้ำ และใกล้ 100 หมายถึง วัตถุมีความสว่างมาก

หากค่า a* เป็นบวก (+) หมายถึง วัตถุมีสีแดง ค่า a* เป็นลบ (-) หมายถึง วัตถุมีสีเขียว

หากค่า b* เป็นบวก (+) หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง ค่า b* เป็นลบ (-) หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน

3.3.2 การสูญเสียน้ำหนักสด

ชั่งฝักวานิลลา และบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุกวัน ตลอดอายุการเก็บรักษา จากนั้นนำค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

$$\text{การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{นน.ก่อนการเก็บรักษา} - \text{นน.หลังการเก็บรักษา}}{\text{นน.ก่อนการเก็บรักษา}} \times 100$$

3.3.3. การแตกของฝัก

เก็บรักษาฝักวานิลลา 3 ระยะ ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส และบันทึกผลการแตกของฝักตลอดอายุการเก็บรักษา จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแตกของฝัก

$$\text{การแตกของฝัก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จน.ฝักแตกเริ่มต้น} - \text{จน.ฝักแตกหลังการเก็บรักษา}}{\text{จน.ฝักแตกเริ่มต้น}} \times 100$$

3.3.4 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Brummell and Labavitch (1997) แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสกัดเพื่อแยกเอาผนังเซลล์ออกจากส่วนอื่นๆ ของเนื้อเยื่อ โดยนำตัวอย่างของฝักวานิลลาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเอทานอล ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร บดให้ละเอียดและกรองด้วยผ้าขาวบางเอาเฉพาะส่วนเนื้อ จากนั้นล้างด้วยอะซีโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างแห้งมาบดละเอียด เรียกส่วนนี้ว่า alcohol insoluble solids (AIS) จากนั้นชั่งตัวอย่างของฝักวานิลลาที่บดละเอียด 0.05 กรัม ใส่ใน flask ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำ conc. sulfuric acid (H_2SO_4) 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นดูดส่วนใสใส่ลงในหลอด centrifuge นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็ว 3,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสที่ได้จากการสกัดเก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเพกทินต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณเพกทิน โดยดูดส่วนใสที่ได้จากการสกัด ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำหลอดทดลองแช่ลงในอ่างพลาสติกที่มีน้ำแข็ง เติมน้ำละลาย sodium tetraborate ($Na_2B_4O_7$) ความเข้มข้น 0.0125 โมลาร์ ใน conc. sulfuric acid (H_2SO_4) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองและเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำหลอดทดลองวางลงในอ่างน้ำแข็งทันที เติมน้ำละลาย m-hydroxyphenol ความเข้มข้น 0.15 เปอร์เซ็นต์ ใน sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 ไมโครลิตร เขย่าส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร vortex mixture นำหลอดทดลองออกจากอ่างน้ำแข็ง วางทิ้งไว้ให้หายเย็น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณเพกทิน โดยใช้กรด galacturonic เป็นสารมาตรฐาน (standard) โดยเตรียม stock solution ของ galacturonic acid monohydrate ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อลิตร เจือจางให้มีความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร จากนั้นจึงดูดสารละลายแต่ละความเข้มข้นใส่ลงในหลอด centrifuge นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็ว 3,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความเข้มข้นมาสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาปริมาณเพกทินจากสมการเส้นตรง

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน $y = a(x) + b$

x = ปริมาณสารประกอบเพกทิน

a = ค่าความชันของเส้นกราฟ

y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานหลังจากหักลบด้วย blank

b = ค่าคงที่ของสมการ

โดยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย galacturonic acid monohydrate เป็นค่า y จากนั้นนำไปแทนในสมการข้างต้น เพื่อคำนวณหาปริมาณสารประกอบเพกทินที่มีในตัวอย่าง โดยรายงานค่าที่ได้ในหน่วยไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS

3.3.5 การละลายของเพกทิน (pectin solubilization) โดยตัดแปลงตามวิธีการของ Brummell and Labavitch (1997)

ซึ่งตัวอย่างของฝักวานิลลาที่บดละเอียด 0.05 กรัม ใส่ใน flask ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นดูดส่วนใสใส่ลงใน หลอด centrifuge นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสเก็บไว้สำหรับวัดค่าดูดกลืนแสงต่อไป ส่วนตะกอนนำมาสกัดด้วย CDTA ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ (ในสารละลาย imidazole ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำการสกัดเช่นเดียวกับการสกัดด้วยน้ำกลั่นและเก็บส่วนใสไว้สำหรับวัดค่าดูดกลืนแสง จากนั้นนำ ตะกอนที่เหลือมาสกัดด้วย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และ KOH ความเข้มข้น 4 โมลาร์ ด้วยวิธีการเดียวกับข้างต้น ตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณเพกทินเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 ในข้อ 3.3.4

3.3.6 การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน (pectin depolymerization) โดยตัดแปลงตามวิธีการของ Brummell and Labavitch (1997)

เตรียม sodium acetate buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 6.0 โดยชั่ง sodium acetate 8.203 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร ปรับ pH โดย waterproof pH meter ด้วย acetic acid ให้เป็น 6.0 เก็บบัฟเฟอร์ไว้ในขวดบรรจุสาร

ล้างคอลัมน์ที่บรรจุ sepharose 4B ด้วย sodium acetate buffer pH 6.0 ที่เตรียมไว้ข้างต้น ล้างคอลัมน์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง บันทึกจำนวนหยดต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของ bromothymol blue ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง แล้ววัด ปริมาตรที่ออกมาในนาทีแรก จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดเพกทินที่ละลายในสารละลาย ชนิดต่างๆ ข้างต้น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปโหลดตัวอย่างลงบนคอลัมน์ที่มีปริมาตร 200 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ที่บรรจุด้วย sepharose 4B จากนั้นชะด้วยสารละลาย sodium acetate buffer pH 6.0 โดยมีอัตราการเคลื่อนที่ของสารผ่านคอลัมน์เท่ากับ 1.67 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ เคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ใส่ในหลอดทดลอง หลอดละ 3 มิลลิลิตร เมื่อได้ตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์ การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน โดยเปรียบเทียบขนาดโมเลกุลกับ polygalacturonic acid และ galacturonic acid

วิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน โดยดูดตัวอย่างจากแต่ละหลอด ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร นำหลอดทดลองแช่ลงในอ่างพลาสติก ที่มีน้ำแข็ง เติมสารละลาย sodium tetraborate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ความเข้มข้น 0.0125 โมลาร์ ใน conc. sulfuric acid (H_2SO_4) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองและเขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน นำไป ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำหลอดทดลองวางลงในอ่างน้ำแข็งทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมสารละลาย m-hydroxyphenol ความเข้มข้น 0.15 เปอร์เซ็นต์ ใน sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 ไมโครลิตร เขย่าส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร vortex mixture นำหลอดทดลองออกจากอ่างน้ำแข็ง วางทิ้งไว้ให้หายเย็น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อดูการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน จากนั้นคำนวณหาปริมาณเพกทินเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 ในข้อ 3.3.4

3.3.7 กิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase (PG) โดยวิธี gel diffusion assays ดัดแปลงตามวิธีการของ Abu-Goukh and Basheir (2003) โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างฝักวานิลลาปริมาณรอบรอยแยก 5 กรัม มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด โดยวางโกร่งในอ่างน้ำแข็งขณะบด นำตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว ใส่ลงในหลอด centrifuge นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ทิ้งส่วนใส และนำตะกอนมาเติม sodium acetate buffer ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ pH 6.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน นาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นใส่ลงในหลอด centrifuge นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วนำส่วนใสใส่บีกเกอร์เติม ammonium sulfate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ จำนวน 10 กรัม คนให้เข้ากัน นาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างส่วนใส ใส่ในหลอดพลาสติก เก็บไว้ในตู้แช่ อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PG โดยวิธี gel diffusion ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PG โดยวิธี gel diffusion ดัดแปลงตามวิธีการของ Secor (1988) และ Buescher and Burgin (1992)

เตรียมสารละลาย sodium acetate buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 5.0 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงใน flask นำไปต้มให้เดือดบน hot plate จากนั้นค่อยๆ เติมน้ำ agarose จำนวน 2 กรัม ลงไป คนให้ทั่วจนละลายหมด จากนั้นเติมสาร EDTA จำนวน 0.74 กรัม และสาร pectate จำนวน 20 มิลลิกรัม คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน จากนั้นยกออกจาก hot plate ทิ้งไว้ให้อุ่น เมื่อ flask เริ่มเย็นลง เทส่วนผสมดังกล่าว ลงใน plate กลม ปริมาตร 25 มิลลิลิตร (ประมาณ 1 ใน 3 ของ plate) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร วางทิ้งไว้ เมื่อส่วนผสมแข็งตัวแล้ว ใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร เจาะลงบนอาหารเพื่อทำหลุม โดยเจาะ 3 หลุมต่อ 1 plate แต่ละหลุมสามารถใส่สารละลายได้ประมาณ 20-40 ไมโครลิตร จากนั้นดูดส่วนใสจากสารสกัดตัวอย่างของฝักวานิลลาจากขั้นตอนที่ 1 ปริมาตร 20 ไมโครลิตรต่อหลุม จำนวน 2 หลุม และอีก 1 หลุม ดูด sodium acetate buffer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 5.0 ปริมาตร 20 ไมโครลิตร (ชุดควบคุม) เมื่อหยดสารสกัดตัวอย่าง เรียบร้อยแล้ว ปิดฝา plate และพันด้วย parafilm จากนั้นนำไปใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 1 คืน หลังจากนั้นเติมสารละลายกรด hydrochloric (HCl) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ให้ท่วม plate นาน 30 วินาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นแบบไหลผ่าน นาน 10 วินาที จึงทำการย้อมสีด้วย ruthenium red ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างสีออกด้วยน้ำกลั่น นาน 4 ชั่วโมง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่การเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ PG โดย รายงานหน่วยเป็นเซนติเมตร

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.5 สถานที่ดำเนินงาน

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว หลักสูตรพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.6 ระยะเวลาดำเนินงาน

ระยะเวลาในการดำเนินงานตั้งแต่ เดือนตุลาคม 2554 ถึง มีนาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณสมบัติของเพกทินใน ระยะความบริสุทธิ์ต่างๆ ของฝักวานิลลา

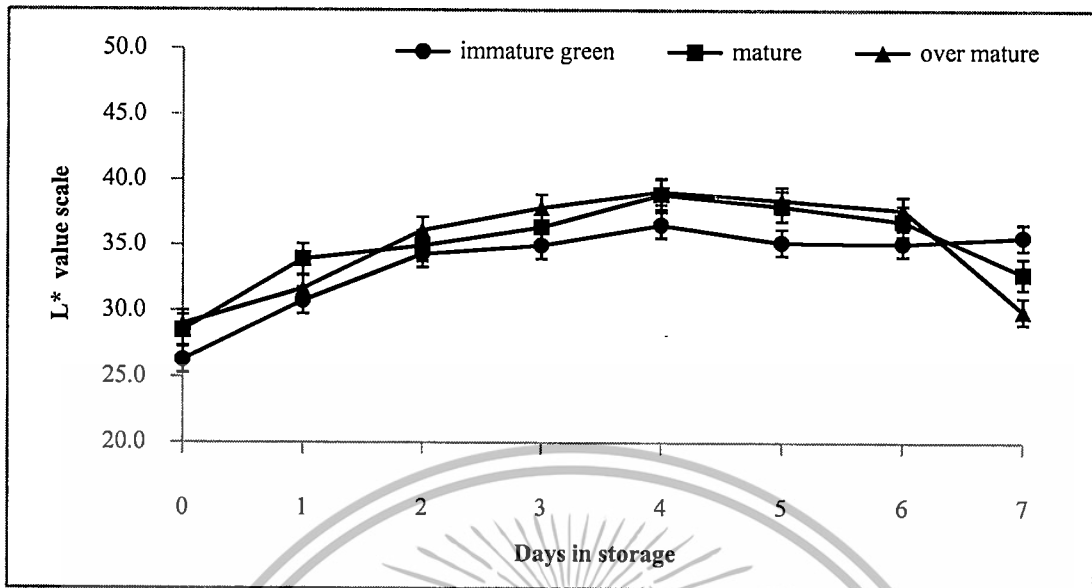
4.1.1 ผลการทดลองที่ 1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของฝักวานิลลา

การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก

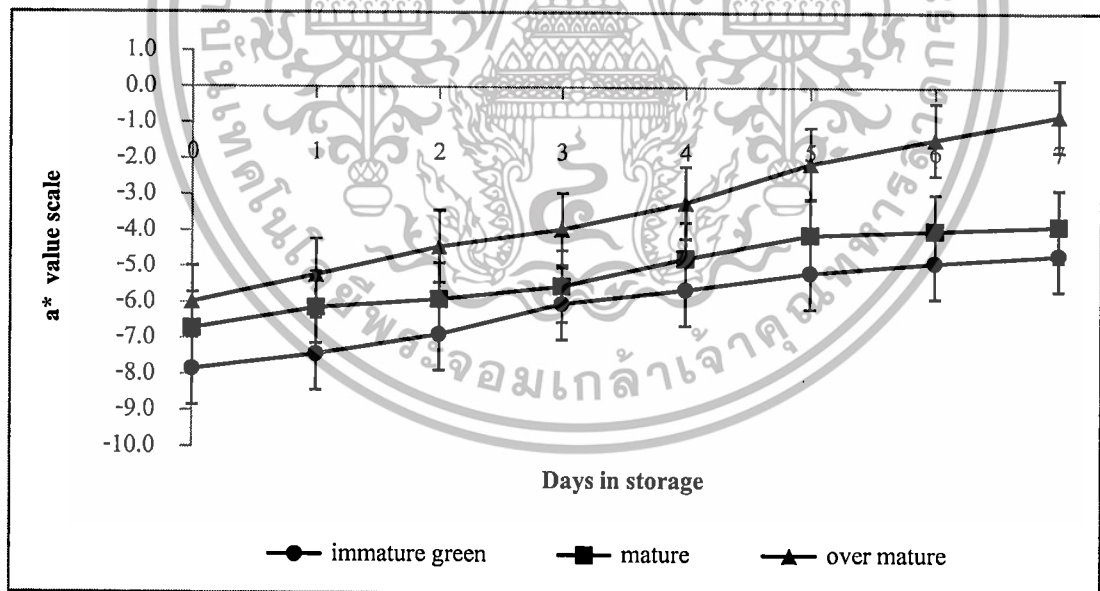
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝักวานิลลา ระยะฝักอ่อน ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก และระยะฝักแก่ พบว่า ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกและลดลงในช่วงหลังของระยะการเก็บรักษา โดยระยะฝักอ่อน มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 26.29 ถึง 36.54 ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 28.53 ถึง 38.91 และระยะฝักแก่ มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 29.02 ถึง 39.12 โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา และพบว่าค่า L^* มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างระยะการเก็บเกี่ยวตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ภาพที่ 16, ตารางภาคผนวกที่ 1)

ค่า a^* พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกทรีตเมนต์ตลอดระยะการเก็บรักษา โดยระยะฝักอ่อน มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -7.85 ถึง -4.63 ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -6.72 ถึง -3.82 และระยะฝักแก่ มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -5.98 ถึง -0.77 และพบว่าค่า a^* มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างระยะการเก็บเกี่ยวตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ภาพที่ 17, ตารางภาคผนวกที่ 2)

ค่า b^* พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกทรีตเมนต์ตลอดระยะการเก็บรักษา โดยระยะฝักอ่อน มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 9.09 ถึง 15.92 ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 11.54 ถึง 19.35 และระยะฝักแก่ มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 14.25 ถึง 26.03 และพบว่าค่า b^* มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างระยะการเก็บเกี่ยวตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ภาพที่ 18, ตารางภาคผนวกที่ 3)

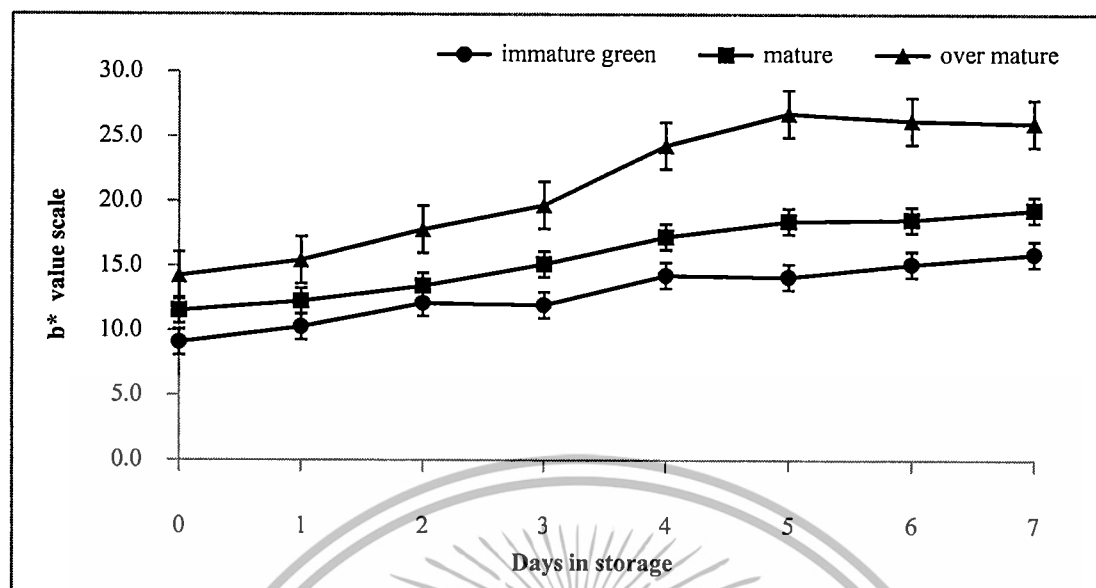


ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b^*) ของฟักวานิลลาระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

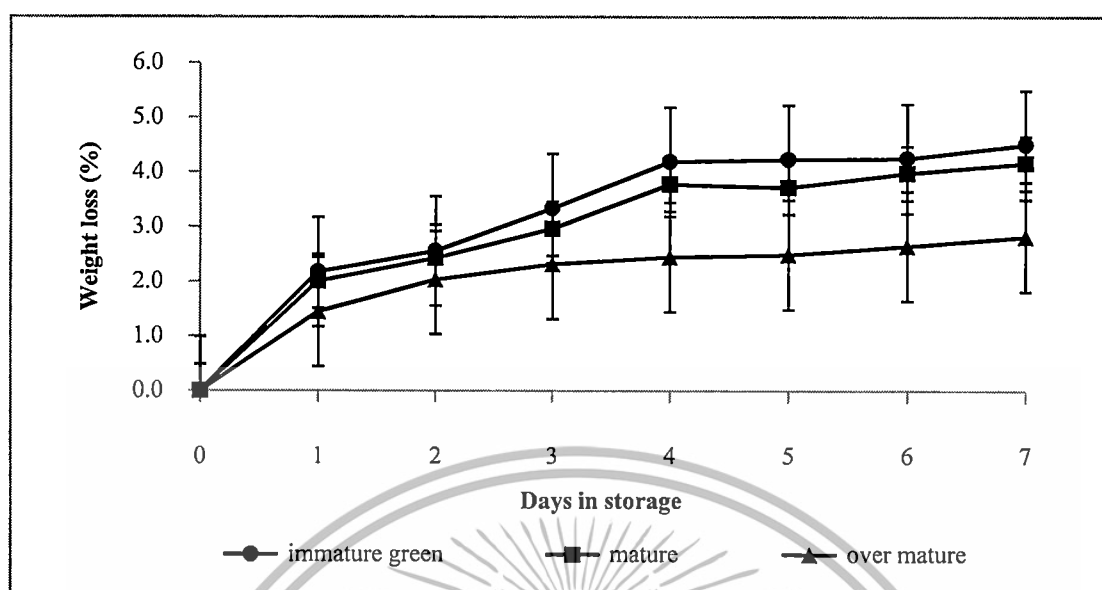
การสูญเสียน้ำหนักสด

จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลาทั้ง 3 ระยะการเก็บเกี่ยว ได้แก่ ระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) พบว่าการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในทุกระยะการเก็บเกี่ยว โดยระยะฝักอ่อนมีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 2.18 ถึง 4.50 เปอร์เซ็นต์ ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝักมีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 2.01 ถึง 4.16 เปอร์เซ็นต์ และระยะฝักแก่มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 1.45 ถึง 2.82 เปอร์เซ็นต์ โดยระยะฝักอ่อนมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝักและระยะฝักแก่ แต่ไม่พบความของการสูญเสียน้ำหนักสดในระยะฝักอ่อนกับระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (ภาพที่ 19, ตารางภาคผนวกที่ 4)

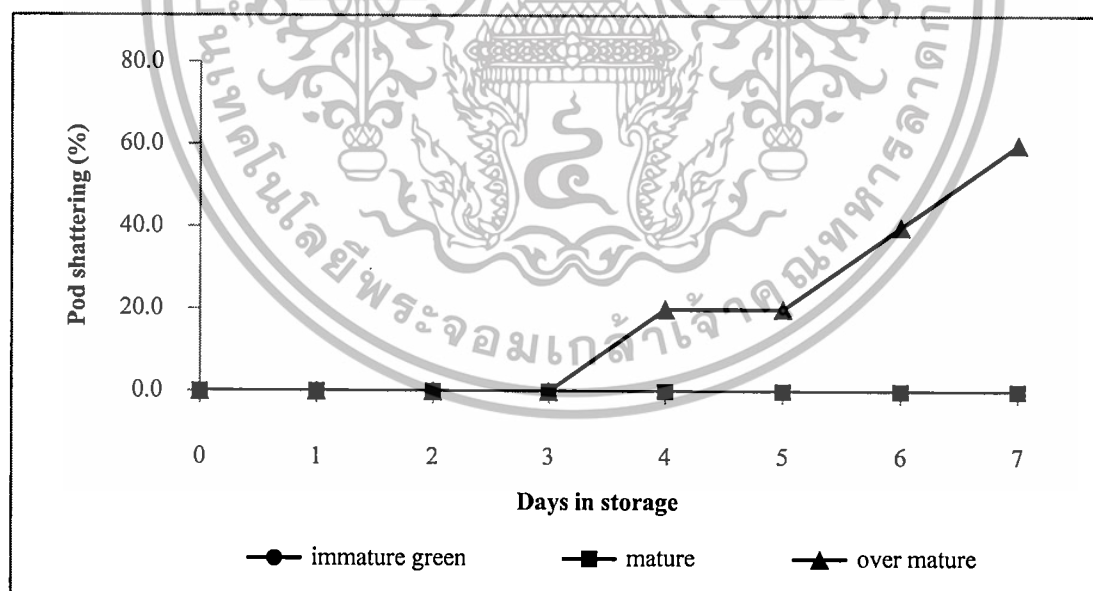
การแตกของฝัก

จากการศึกษาการแตกของฝักวานิลลาทั้ง 3 ระยะการเก็บเกี่ยว ได้แก่ ระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) พบการแตกของฝักเฉพาะในระยะฝักแก่ โดยมีเปอร์เซ็นต์การแตกเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 4 จนถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษา อยู่ระหว่าง 20 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 20, ตารางภาคผนวกที่ 5)





ภาพที่ 19 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักควานิลดา (เปอร์เซ็นต์) ระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 20 การแตกของฝักควานิลดา (เปอร์เซ็นต์) ระยะฝักอ่อน (immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (mature) และระยะฝักแก่ (over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

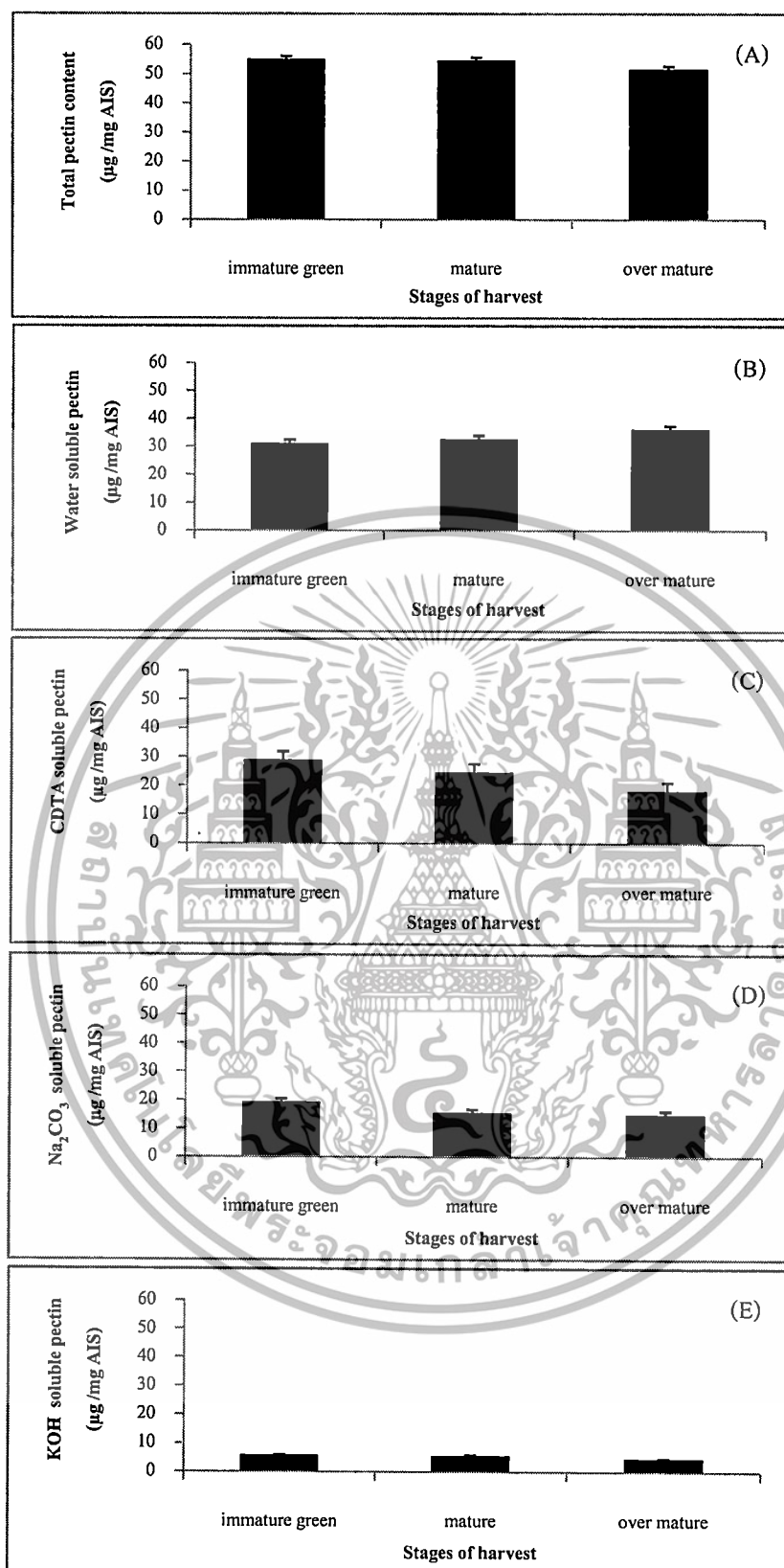
4.1.2 ผลการทดลองที่ 1.2 ศึกษาคุณสมบัติของเพกทินของฝัควานิลา

ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin)

ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 7) นำฝัควานิลาทั้งสามระยะการเก็บเกี่ยวมาศึกษาปริมาณเพกทินทั้งหมด พบว่าปริมาณเพกทินทั้งหมดของทุกวิธีดเมนต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 51.51 ถึง 54.90 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS โดยระยะฝักอ่อนมีปริมาณเพกทินทั้งหมดมากที่สุด คือ 54.90 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS และแตกต่างทางสถิติระหว่างระยะการเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 21A, ตารางภาคผนวกที่ 6) ส่วนบริเวณที่เก็บเนื้อเยื่อ พบว่าบริเวณรอยแยกและไม่เกิดรอยแยกของฝักมีปริมาณเพกทินทั้งหมด เท่ากับ 53.24 และ 56.15 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ และบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกมีปริมาณเพกทินทั้งหมดมากกว่าบริเวณที่เกิดรอยแยกของฝักและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 22A, ตารางภาคผนวกที่ 6)

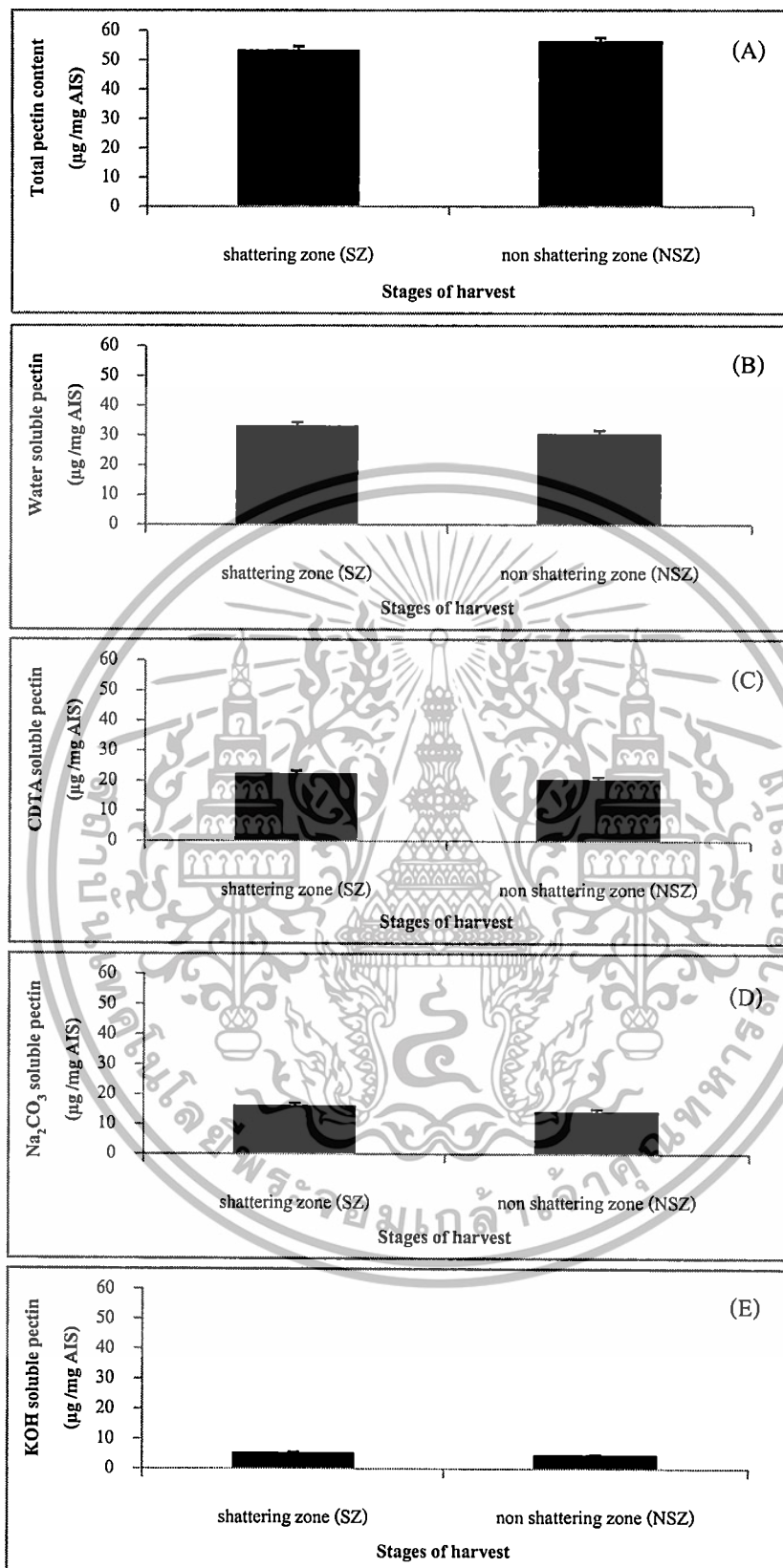
การละลายของเพกทิน (pectin solubilization)

ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 7) นำฝัควานิลาทั้งสามระยะการเก็บเกี่ยวมาศึกษาปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ CDTA, Na_2CO_3 และ KOH พบว่าปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำในระยะฝักอ่อนมีมากกว่าในระยะอื่น ปริมาณเพกทินที่ละลายใน CDTA และ Na_2CO_3 ในระยะฝักอ่อนมีปริมาณมากที่สุด คือ 28.78 และ 19.17 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณเพกทินที่ละลายใน KOH ระหว่างระยะฝักอ่อนและระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (ภาพที่ 21B-E, ตารางภาคผนวกที่ 6) ส่วนบริเวณที่เก็บเนื้อเยื่อ พบว่าบริเวณที่เกิดรอยแยกมีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ CDTA, Na_2CO_3 และ KOH มากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างบริเวณรอยแยกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก (ภาพที่ 22B-E, ตารางภาคผนวกที่ 6)



ภาพที่ 21 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (A) ปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ (B), CDTA (C), Na_2CO_3 (D) และ KOH (E) ของฝักรังนก 3 ระยะการเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 22 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (A) ปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ (B), CDTA (C), Na_2CO_3 (D)

และ KOH (E) ของฝักรวงนิลลาบริเวณรอยแยก (SZ) และไม่เกิดรอยแยก (NSZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน (pectin depolymerization)

การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ

เมื่อทำการศึกษากการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำของฝักวานิลลา ทั้งบริเวณรอยแตกของฝัก (shattering zone; SZ) และบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก (non-shattering zone; NSZ) ของฝักวานิลลา 3 ระยะการเก็บเกี่ยว พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปที่ละลายได้ในน้ำ มีการกระจายตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 3 สูงสุดในหลอดที่ 7 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 10 (ปริมาตรเท่ากับ 30 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 4 สูงสุดในหลอดที่ 8 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 12 (ปริมาตรเท่ากับ 36 มิลลิลิตร) ฝักวานิลลาระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 7 สูงสุดในหลอดที่ 10 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 15 (ปริมาตรเท่ากับ 45 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 7 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 16 (ปริมาตรเท่ากับ 48 มิลลิลิตร) และฝักวานิลลาระยะฝักแก่ ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 14 สูงสุดในหลอดที่ 17 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 21 (ปริมาตรเท่ากับ 63 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 15 สูงสุดในหลอดที่ 19 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 24 (ปริมาตรเท่ากับ 72 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 23A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายตัวของโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในสารละลาย CDTA

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน CDTA ของฝัควานิลา ทั้งบริเวณรอยแยกของฝัก (shattering zone; SZ) และบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก (non-shattering zone; NSZ) ของฝัควานิลา 3 ระยะการเก็บเกี่ยว พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปที่ละลายได้ใน CDTA มีการกระจายตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ฝัควานิลาระยะฝักอ่อน ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 3 สูงสุดในหลอดที่ 6 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 10 (ปริมาตรเท่ากับ 30 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแยกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 4 สูงสุดในหลอดที่ 7 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 11 (ปริมาตรเท่ากับ 33 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 6 สูงสุดในหลอดที่ 9 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 14 (ปริมาตรเท่ากับ 42 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแยกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 7 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 16 (ปริมาตรเท่ากับ 48 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาระยะฝักแก่ ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 15 สูงสุดในหลอดที่ 19 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 22 (ปริมาตรเท่ากับ 66 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแยกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 16 สูงสุดในหลอดที่ 20 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 25 (ปริมาตรเท่ากับ 75 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 23B)

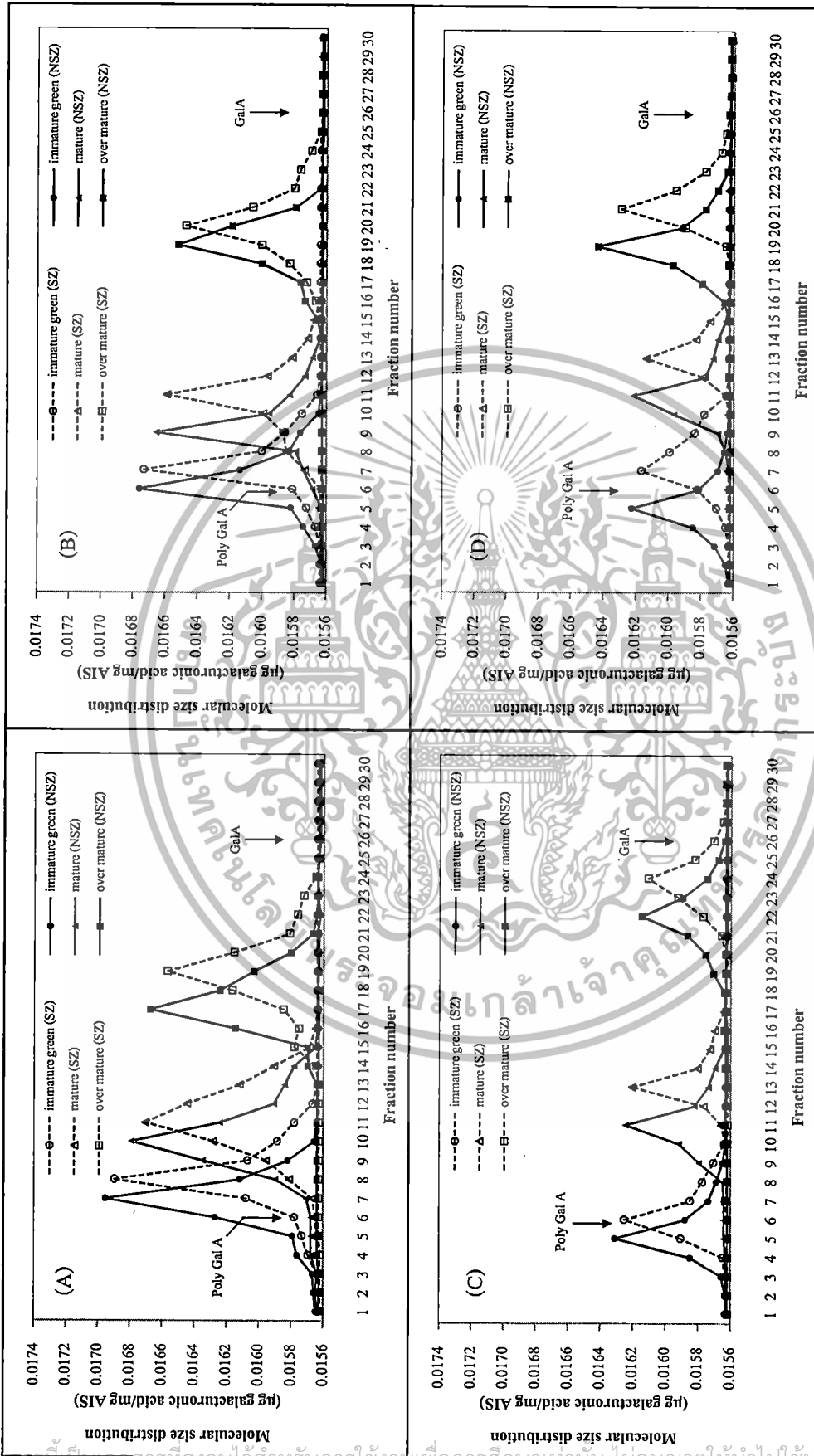
การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในสารละลาย Na_2CO_3

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน Na_2CO_3 ของฝักวานิลลา ทั้งบริเวณรอยแตกของฝัก (shattering zone; SZ) และบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก (non-shattering zone; NSZ) ของฝักวานิลลา 3 ระยะการเก็บเกี่ยว พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปที่ละลายได้ใน Na_2CO_3 มีการกระจายตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 3 สูงสุดในหลอดที่ 5 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 9 (ปริมาตรเท่ากับ 27 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 4 สูงสุดในหลอดที่ 6 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 10 (ปริมาตรเท่ากับ 30 มิลลิลิตร) ฝักวานิลลาระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 8 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 15 (ปริมาตรเท่ากับ 45 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 11 สูงสุดในหลอดที่ 13 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 17 (ปริมาตรเท่ากับ 51 มิลลิลิตร) และฝักวานิลลาระยะฝักแก่ ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 18 สูงสุดในหลอดที่ 22 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 26 (ปริมาตรเท่ากับ 78 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 21 สูงสุดในหลอดที่ 24 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 27 (ปริมาตรเท่ากับ 81 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 23C)

การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในสารละลาย KOH

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน KOH ของฝัควานิลา ทั้งบริเวณรอยแตกของฝัก (shattering zone; SZ) และบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก (non-shattering zone; NSZ) ของฝัควานิลา 3 ระยะการเก็บเกี่ยว พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปที่ละลายได้ใน KOH มีการกระจายตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ฝัควานิลาระยะฝักอ่อน ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 2 สูงสุดในหลอดที่ 5 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 9 (ปริมาตรเท่ากับ 27 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 4 สูงสุดในหลอดที่ 7 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 11 (ปริมาตรเท่ากับ 33 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 9 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 15 (ปริมาตรเท่ากับ 45 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 11 สูงสุดในหลอดที่ 13 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 16 (ปริมาตรเท่ากับ 48 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาระยะฝักแก่ ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 16 สูงสุดในหลอดที่ 19 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 23 (ปริมาตรเท่ากับ 69 มิลลิลิตร) และในบริเวณที่เกิดรอยแตกของฝัก มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 19 สูงสุดในหลอดที่ 21 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 25 (ปริมาตรเท่ากับ 75 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 23D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 23 การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na₂CO₃ (C) และ KOH (D) บริเวณรอยแยก (SZ) และไม่มีรอยแยก (NSZ) ของฝักทานตะวันแต่ละระยะการเก็บเกี่ยว

เอกรสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาบทบาทของเอทิลีน และสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา

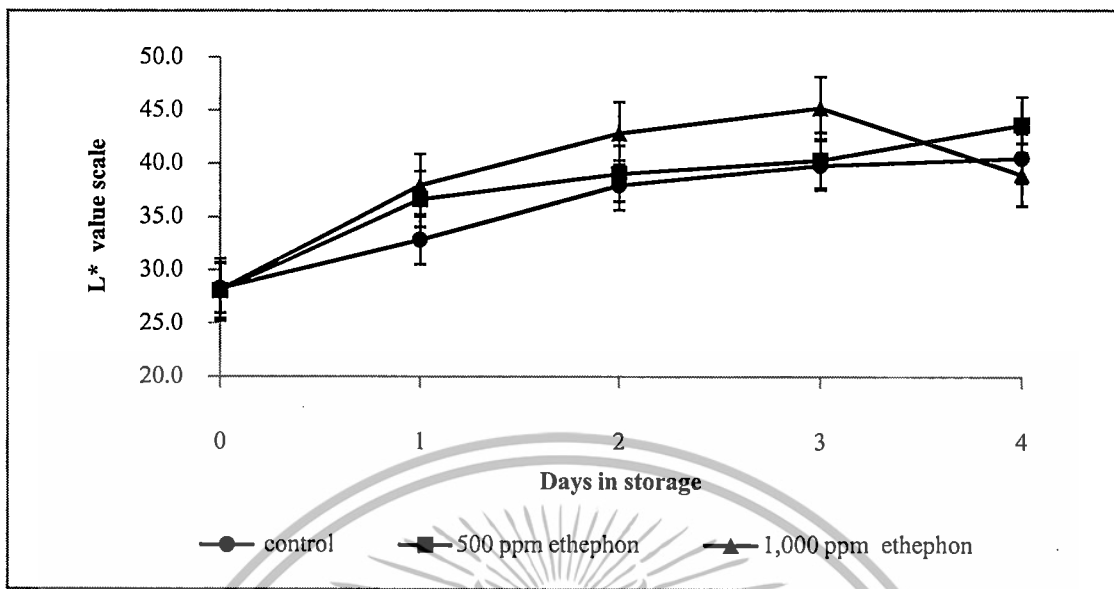
4.2.1 ผลการทดลองที่ 2.1 ศึกษาผลของสารละลายเอทิลฟอนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา

การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก

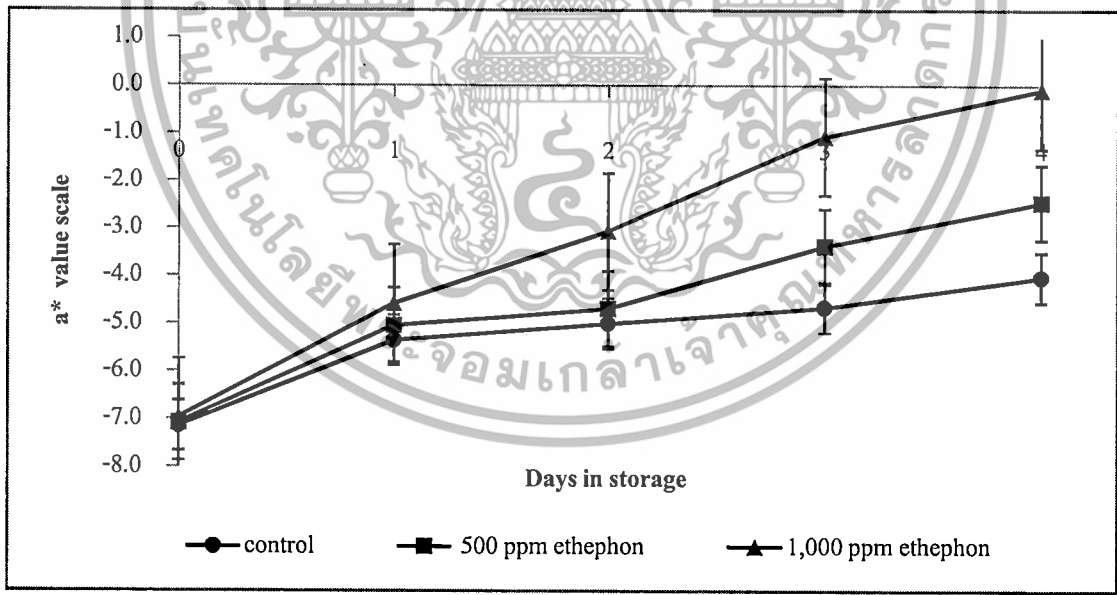
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝักวานิลลา ทั้งฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม และฝักวานิลลาที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน (ชุดควบคุม) พบว่าค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดการเก็บรักษาในทรีตเมนต์ที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน และจุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ส่วนทรีตเมนต์ที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 3 วันแรก และลดลงในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา โดยฝักวานิลลาที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 28.29 ถึง 40.49 ฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 28.08 ถึง 43.62 และฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 28.15 ถึง 45.22 (ภาพที่ 24, ตารางภาคผนวกที่ 7)

ค่า a^* พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกทรีตเมนต์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยฝักวานิลลาที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -7.14 ถึง -4.03 ฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -7.08 ถึง -2.45 และฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -6.97 ถึง -0.09 และพบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละทรีตเมนต์ตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 25, ตารางภาคผนวกที่ 8)

ค่า b^* พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกทรีตเมนต์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยฝักวานิลลาที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 13.98 ถึง 21.94 ฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 13.85 ถึง 26.46 และฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 14.00 ถึง 29.98 และพบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละทรีตเมนต์ตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 26, ตารางภาคผนวกที่ 9)

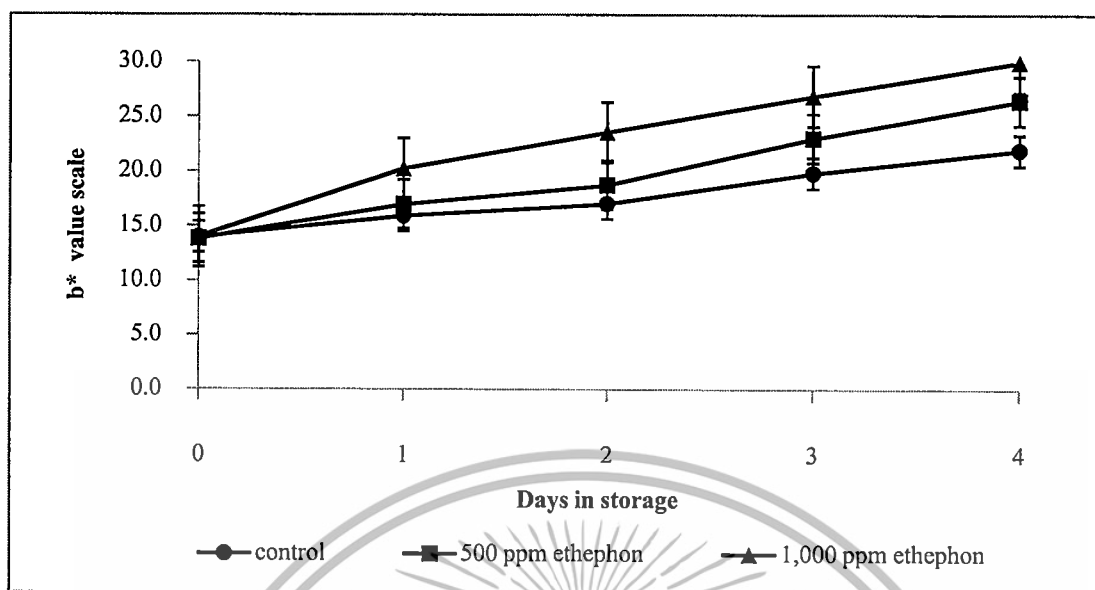


ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b^*) ของฝัควานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

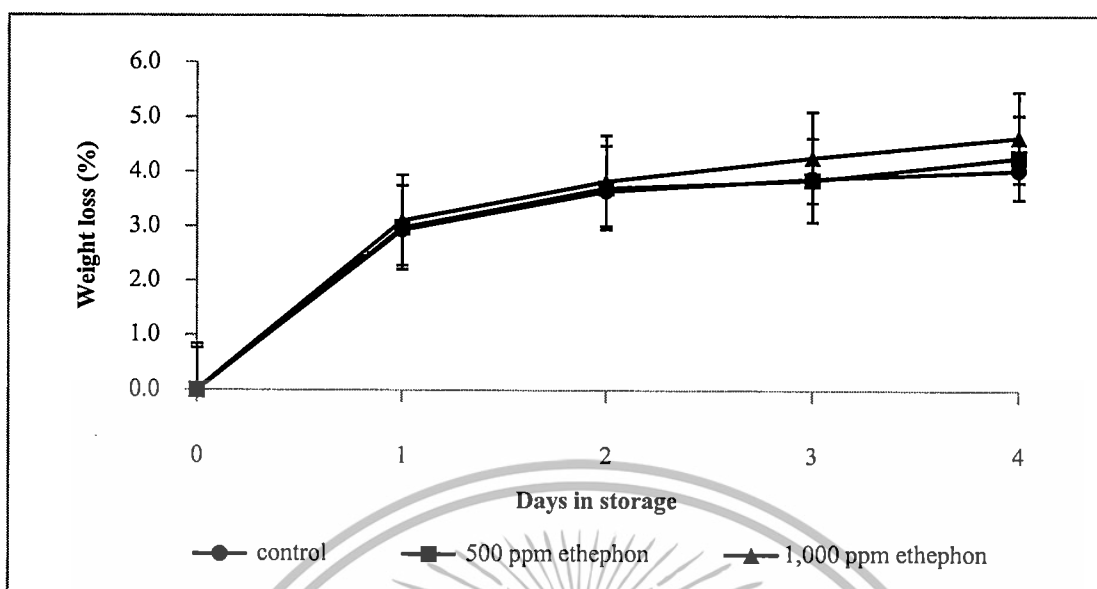
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียน้ำหนักสด

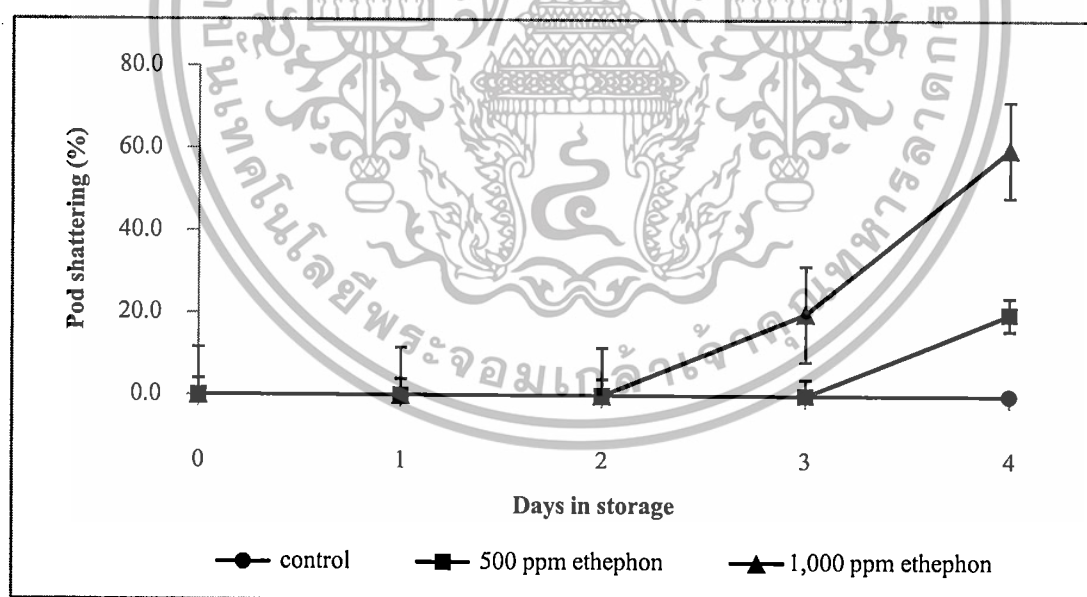
จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา ทั้งที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีบี พบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาฝักวานิลลาไม่พบการสูญเสียน้ำหนักสด หลังจากนั้นการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกทรีตเมนต์ โดยฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิฟอน มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 2.94 ถึง 4.03 เปอร์เซ็นต์ จุดที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 2.98 ถึง 4.27 เปอร์เซ็นต์ และจุดที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 3.11 ถึง 4.64 เปอร์เซ็นต์ และมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 27, ตารางภาคผนวกที่ 10)

การแตกของฝัก

จากการศึกษาการแตกของฝักวานิลลาทั้งฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีบี นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิฟอน ไม่พบการแตกของฝักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ฝักวานิลลาที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการแตกของฝักในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และฝักวานิลลาที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์การแตกของฝักในวันแรกจนถึงวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 0 หลังจากนั้นฝักเกิดการแตกในวันที่ 3 และ 4 ของการเก็บรักษา โดยมีการแตกเท่ากับ 20 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 28, ตารางภาคผนวกที่ 11)



ภาพที่ 27 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน



ภาพที่ 28 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

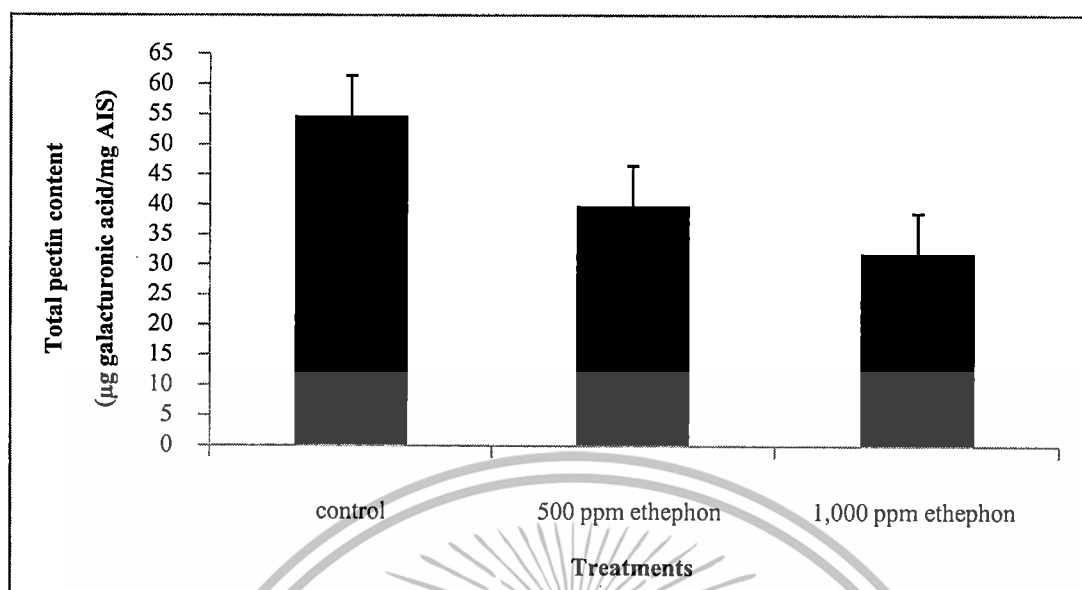
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin)

หลังจากการเก็บรักษา เป็นเวลา 4 วัน นำฝักวานิลลามาศึกษาปริมาณเพกตินทั้งหมด ทั้งฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม และไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน (ชุดควบคุม) พบว่าทรีตเมนต์ที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน มีปริมาณเพกตินทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 54.73 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม ซึ่งมีปริมาณเพกตินทั้งหมด 39.88 และ 31.95 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 29, ตารางภาคผนวกที่ 12)

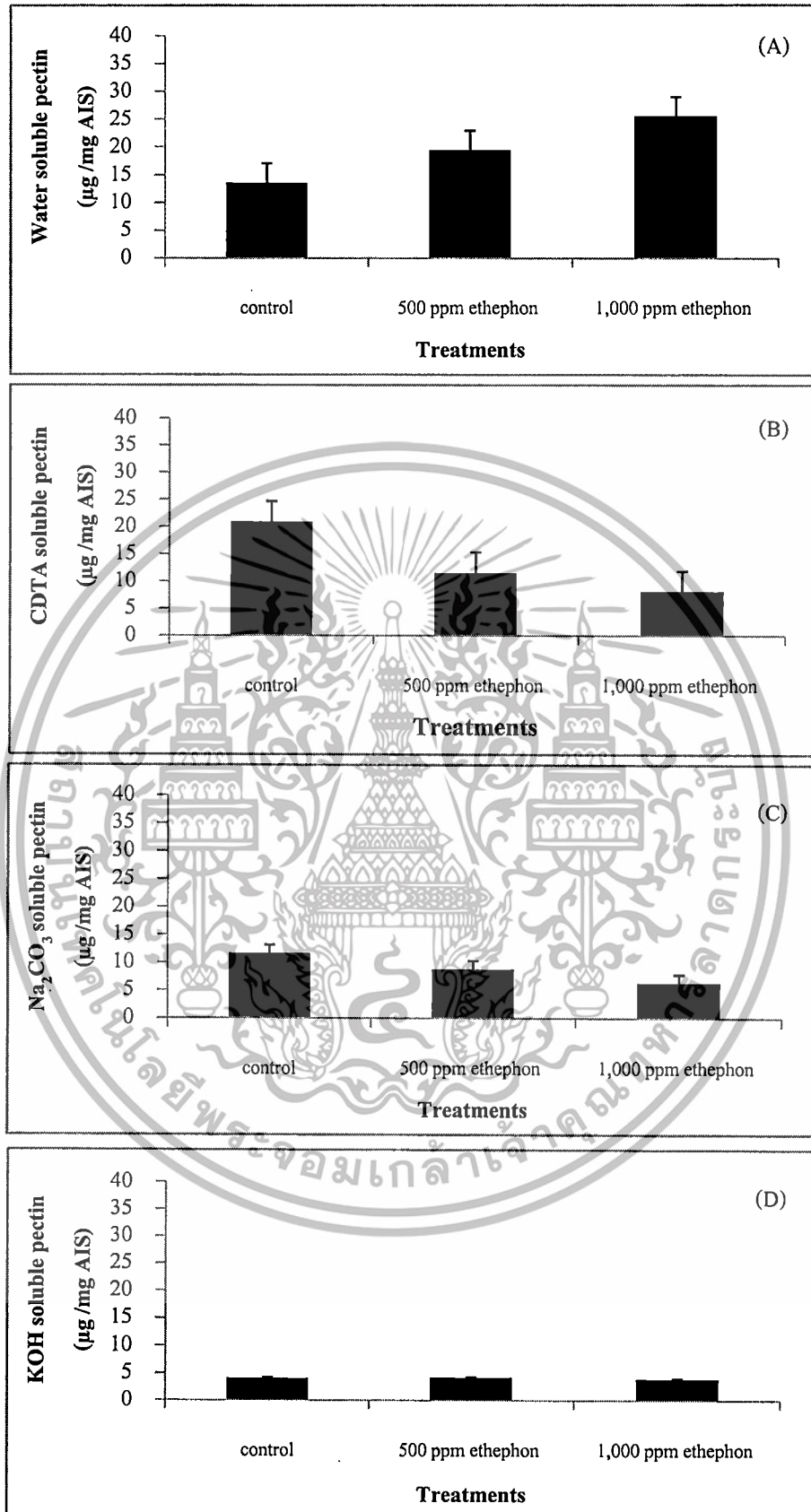
การละลายของเพกติน (pectin solubilization)

หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน นำฝักวานิลลามาศึกษาปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ CDTA Na_2CO_3 และ KOH พบว่าเพกตินที่ละลายได้ในน้ำของทรีตเมนต์ที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีปริมาณสูงที่สุด คือ 25.56 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และทรีตเมนต์ที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน โดยมีปริมาณเพกตินเท่ากับ 19.46 และ 13.58 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ ส่วนเพกตินที่ละลายใน CDTA และ Na_2CO_3 ของทรีตเมนต์ที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอนมีค่ามากกว่าทุกทรีตเมนต์ โดยมีปริมาณเพกตินเท่ากับ 20.87 และ 11.64 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม ซึ่งมีปริมาณเพกตินที่ละลายใน CDTA เท่ากับ 11.52 และ 8.05 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS และมีปริมาณเพกตินที่ละลายใน Na_2CO_3 เท่ากับ 8.79 และ 6.31 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ ส่วนเพกตินที่ละลายใน KOH ของทรีตเมนต์ที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีปริมาณเพกตินมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์ที่ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอนและทรีตเมนต์ที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 30, ตารางภาคผนวกที่ 12)



ภาพที่ 29 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 30 ปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na_2CO_3 (C) และ KOH (D) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิพอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

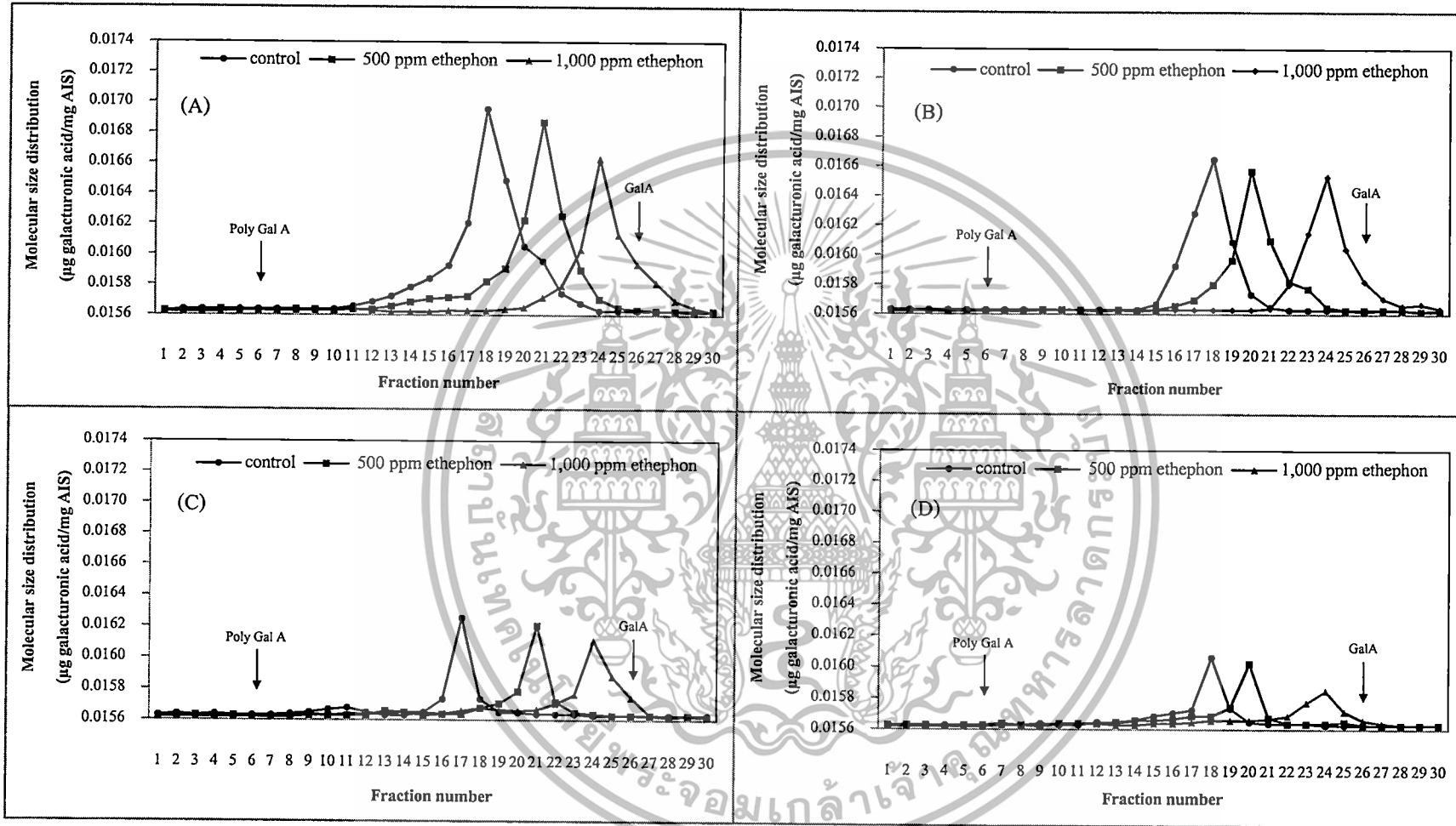
การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน (pectin depolymerization)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีบี เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และฝัควานิลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิฟอน โดยฝัควานิลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 11 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 25 (ปริมาตรเท่ากับ 75 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 13 สูงสุดในหลอดที่ 21 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 26 (ปริมาตรเท่ากับ 78 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 20 สูงสุดในหลอดที่ 24 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 29 (ปริมาตรเท่ากับ 87 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 31A)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน CDTA ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีบี เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และฝัควานิลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิฟอน โดยฝัควานิลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 15 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 21 (ปริมาตรเท่ากับ 63 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 16 สูงสุดในหลอดที่ 20 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 24 (ปริมาตรเท่ากับ 72 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 21 สูงสุดในหลอดที่ 24 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 29 (ปริมาตรเท่ากับ 87 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 31B)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน Na_2CO_3 ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีบี เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงกว่าฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และฝัควานิลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิลฟอน โดยฝัควานิลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิลฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 15 สูงสุดในหลอดที่ 17 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 19 (ปริมาตรเท่ากับ 57 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 17 สูงสุดในหลอดที่ 21 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 24 (ปริมาตรเท่ากับ 72 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 20 สูงสุดในหลอดที่ 24 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 27 (ปริมาตรเท่ากับ 81 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 31C)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน KOH ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีบี เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงกว่าฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และฝัควานิลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิลฟอน โดยฝัควานิลาที่ไม่ได้จุ่มสารละลายเอทิลฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 14 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 20 (ปริมาตรเท่ากับ 60 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 16 สูงสุดในหลอดที่ 20 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 22 (ปริมาตรเท่ากับ 66 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 21 สูงสุดในหลอดที่ 24 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 27 (ปริมาตรเท่ากับ 81 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 31D)



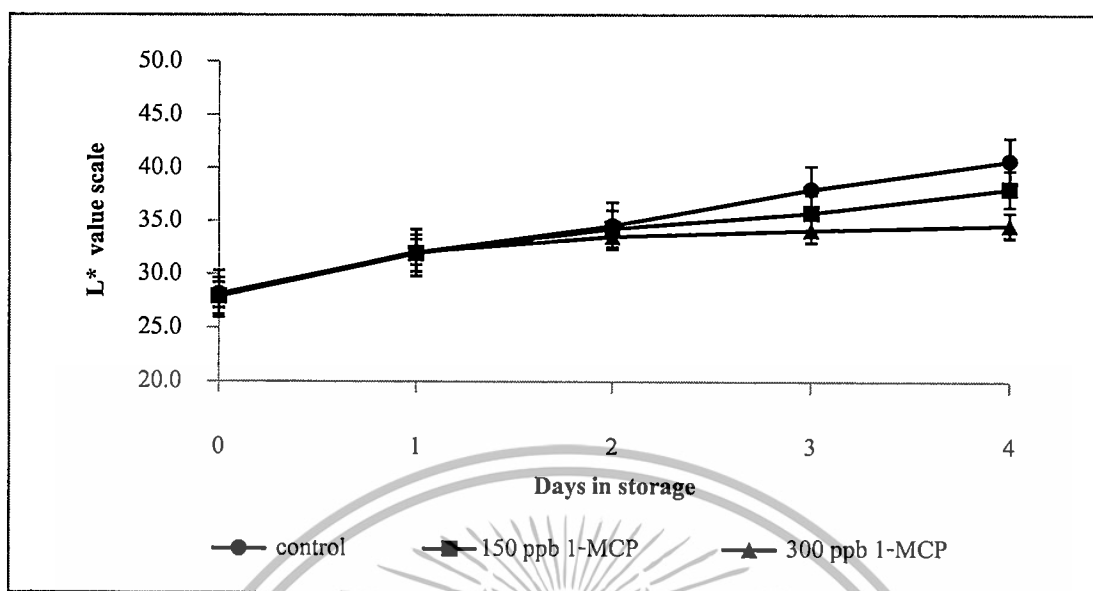
ภาพที่ 31 การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na_2CO_3 (C) และ KOH (D) ของฝักริวกานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทيفون ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

4.2.2 ผลการทดลองที่ 2.2 ศึกษาผลของสาร 1-MCP ต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก

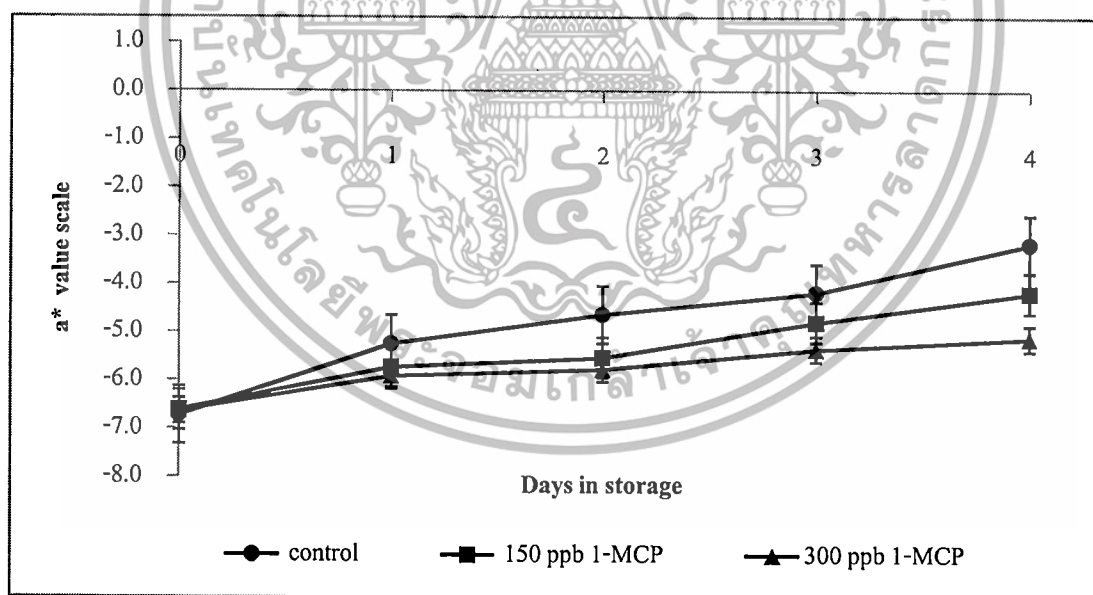
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝักวานิลลา ทั้งฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี และฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP (ชุดควบคุม) พบว่า ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดการเก็บรักษาในทุกทริตเมนต์ โดยฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 28.14 ถึง 40.63 ฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 27.95 ถึง 38.02 และฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 28.03 ถึง 34.58 (ภาพที่ 32, ตารางภาคผนวกที่ 13)

ค่า a^* พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกทริตเมนต์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -6.73 ถึง -3.15 ฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -6.62 ถึง -4.17 และฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -6.64 ถึง -5.11 และพบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละทริตเมนต์ตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 33, ตารางภาคผนวกที่ 14)

ค่า b^* พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกทริตเมนต์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 14.02 ถึง 22.14 ฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 13.95 ถึง 18.66 และฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 13.98 ถึง 15.23 และพบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละทริตเมนต์ตั้งแต่วันที่ 2 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 34, ตารางภาคผนวกที่ 15)

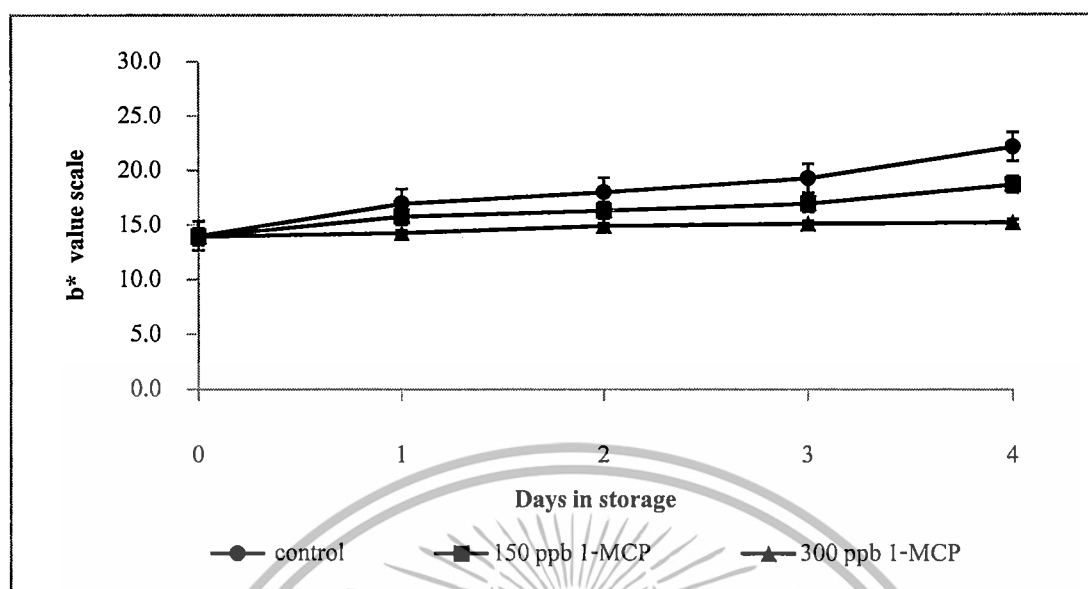


ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b^*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีพี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

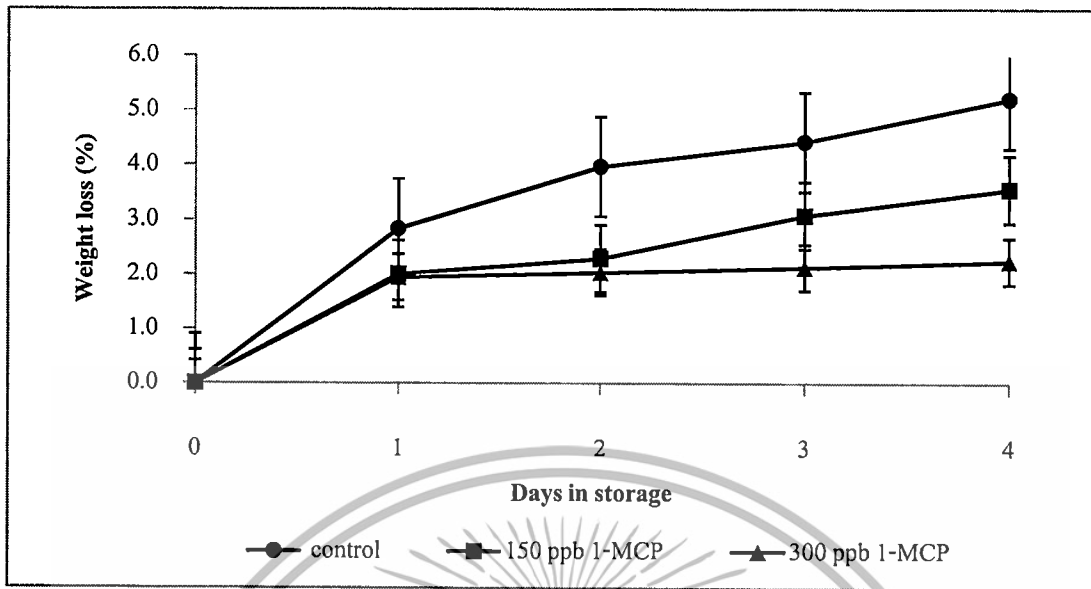
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียน้ำหนักสด

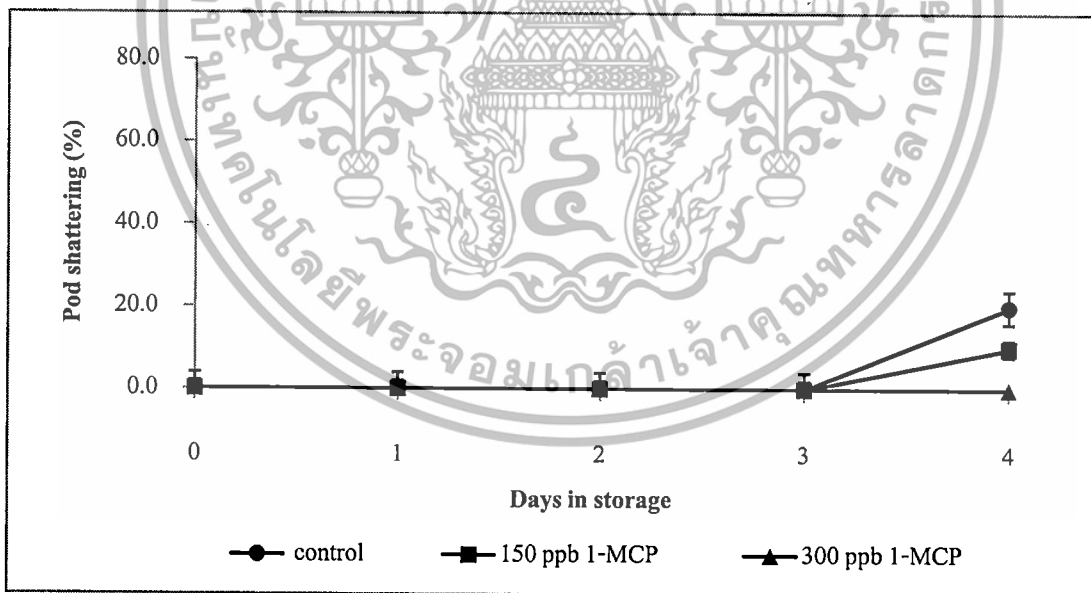
จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา ทั้งที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี พบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ไม่พบการสูญเสียน้ำหนักสด หลังจากนั้นการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกทริตเมนต์ โดยฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 2.84 ถึง 5.21 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 2.01 ถึง 3.56 เปอร์เซ็นต์ และชุดที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 1.95 ถึง 2.25 เปอร์เซ็นต์ โดยทริตเมนต์ที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด รองลงมา คือ ชุดที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทริตเมนต์อื่นๆ (ภาพที่ 35, ตารางภาคผนวกที่ 16)

การแตกของฝัก

จากการศึกษาการแตกของฝักวานิลลา ทั้งฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการแตกของฝักในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฝักวานิลลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีการแตกของฝักในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ฝักวานิลลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ไม่เกิดการแตกของฝักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 36, ตารางภาคผนวกที่ 17)



ภาพที่ 35 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้รับและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน



ภาพที่ 36 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้รับและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

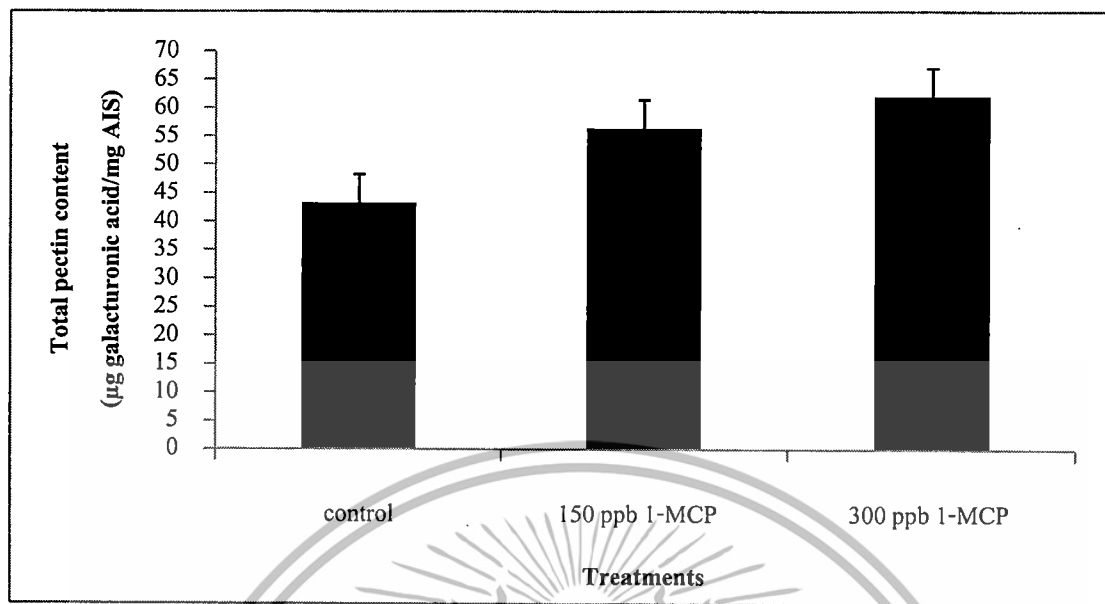
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin)

หลังจากการเก็บรักษา เป็นเวลา 4 วัน นำฝักวานิลลามาศึกษาปริมาณเพกตินทั้งหมด ทั้งฝักวานิลลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี และที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP (ชุดควบคุม) พบว่าทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีปริมาณเพกตินทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 62.04 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี และทรีตเมนต์ที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP ซึ่งมีปริมาณเพกตินทั้งหมด 56.42 และ 43.28 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีตเมนต์อื่นๆ (ภาพที่ 37, ตารางภาคผนวกที่ 18)

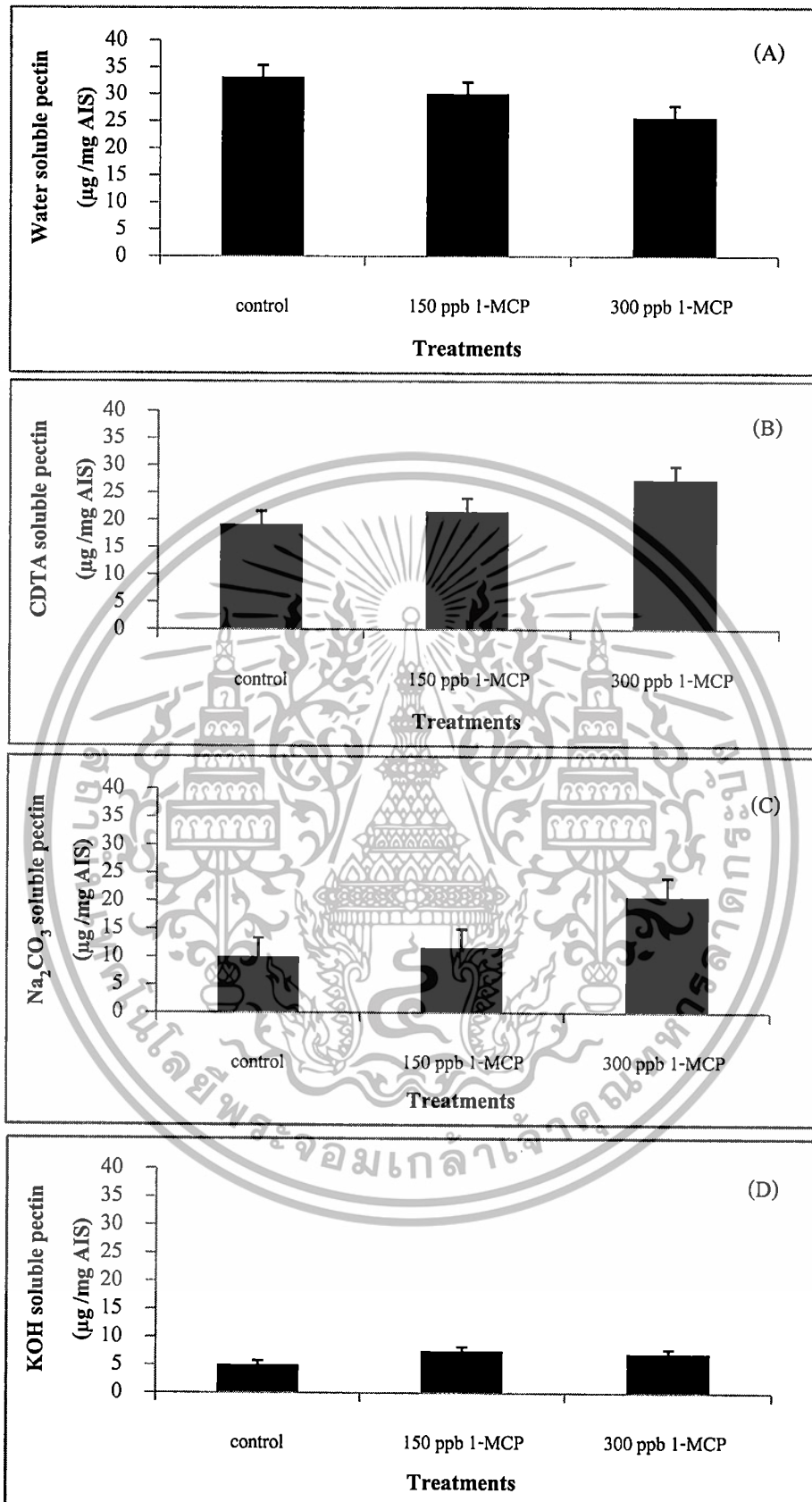
การละลายของเพกติน (pectin solubilization)

หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน นำฝักวานิลลามาศึกษาปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ CDTA Na_2CO_3 และ KOH พบว่าเพกตินที่ละลายได้ในน้ำของทรีตเมนต์ที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีปริมาณสูงที่สุด คือ 33.23 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS รองลงมาคือ ทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี โดยมีปริมาณเพกตินเท่ากับ 30.11 และ 25.73 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ ส่วนเพกตินที่ละลายใน CDTA และ Na_2CO_3 ของทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีค่ามากกว่าทุกทรีตเมนต์ โดยมีปริมาณเพกติน เท่ากับ 27.42 และ 20.81 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี และทรีตเมนต์ที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP ซึ่งมีปริมาณเพกตินที่ละลายใน CDTA เท่ากับ 21.54 และ 15.19 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ และมีปริมาณเพกตินที่ละลายใน Na_2CO_3 เท่ากับ 11.67 และ 10.04 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ ส่วนเพกตินที่ละลายใน KOH ของทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีปริมาณเพกตินมากที่สุด เท่ากับ 7.53 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS รองลงมาคือ ทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี โดยมีปริมาณเพกตินเท่ากับ 7.06 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนทรีตเมนต์ที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีปริมาณเพกตินที่ละลายใน KOH น้อยที่สุด โดยมีปริมาณเพกตินเท่ากับ 5.00 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS (ภาพที่ 38, ตารางภาคผนวกที่ 18)



ภาพที่ 37 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin) ของฝักรวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 38 ปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na₂CO₃ (C) และ KOH (D) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและ รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

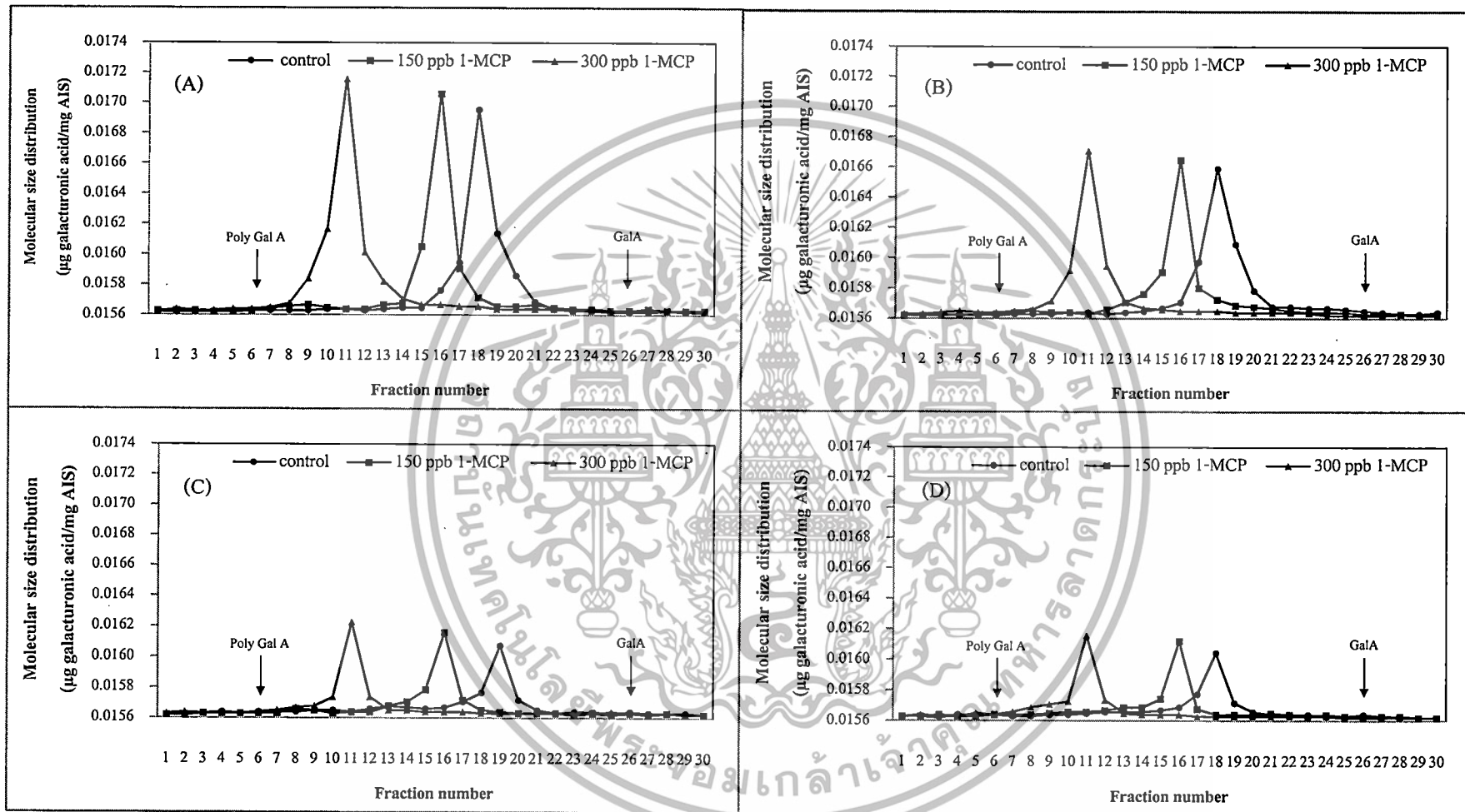
การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน (pectin depolymerization)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี โดยฝัควานิลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 7 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 15 (ปริมาตรเท่ากับ 45 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 12 สูงสุดในหลอดที่ 16 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 19 (ปริมาตรเท่ากับ 57 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 15 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 22 (ปริมาตรเท่ากับ 66 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 39A)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน CDTA ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี โดยฝัควานิลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 8 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 15 (ปริมาตรเท่ากับ 45 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 11 สูงสุดในหลอดที่ 16 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 21 (ปริมาตรเท่ากับ 63 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 13 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 21 (ปริมาตรเท่ากับ 63 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 39B)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปแบบของเพกทินที่ละลายได้ใน Na_2CO_3 ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงกว่าฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี โดยฝัควานิลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 8 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 14 (ปริมาตรเท่ากับ 42 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 13 สูงสุดในหลอดที่ 16 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 18 (ปริมาตรเท่ากับ 54 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 15 สูงสุดในหลอดที่ 19 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 21 (ปริมาตรเท่ากับ 63 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 39C)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปแบบของเพกทินที่ละลายได้ใน KOH ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงกว่าฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี โดยฝัควานิลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 7 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 13 (ปริมาตรเท่ากับ 39 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 พีพีบี มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 12 สูงสุดในหลอดที่ 16 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 18 (ปริมาตรเท่ากับ 54 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 14 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 21 (ปริมาตรเท่ากับ 63 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 39D)



ภาพที่ 39 การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na₂CO₃ (C) และ KOH (D) ของฝักรับผลที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

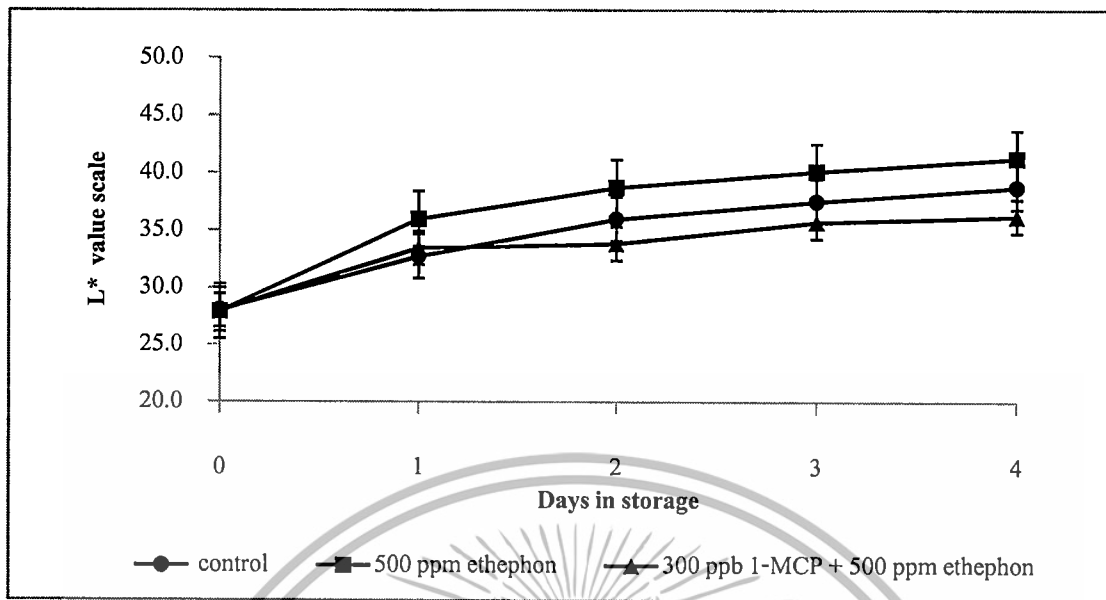
4.2.3 ผลการทดลองที่ 2.3 ศึกษาผลของสาร 1-MCP และสารละลายเอทิลฟอนต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของฝักวานิลลา

การเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก

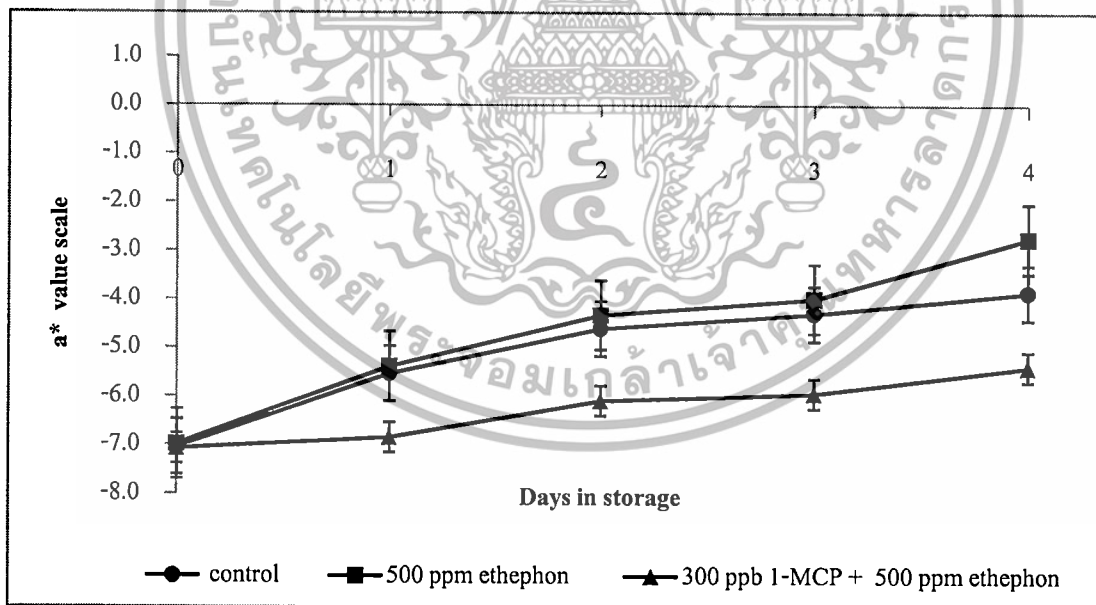
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝักวานิลลา ทั้งฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี และจุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP และไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน (ชุดควบคุม) พบว่า ค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดการเก็บรักษาในทุกทรีตเมนต์ โดยฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP และไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 28.09 ถึง 38.76 ฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 27.93 ถึง 41.28 และฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี และจุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า L^* อยู่ระหว่าง 28.01 ถึง 36.24 (ภาพที่ 40, ตารางภาคผนวกที่ 19)

ค่า a^* พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกทรีตเมนต์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP และไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -7.04 ถึง -3.85 ฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -6.98 ถึง 2.74 และฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี และจุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า a^* อยู่ระหว่าง -7.07 ถึง 5.38 และพบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละทรีตเมนต์ตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 41, ตารางภาคผนวกที่ 20)

ค่า b^* พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกทรีตเมนต์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP และไม่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 14.13 ถึง 21.13 ฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 13.99 ถึง 23.54 และฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี และจุ่มด้วยสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีค่า b^* อยู่ระหว่าง 14.08 ถึง 16.73 และพบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละทรีตเมนต์ตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 42, ตารางภาคผนวกที่ 21)

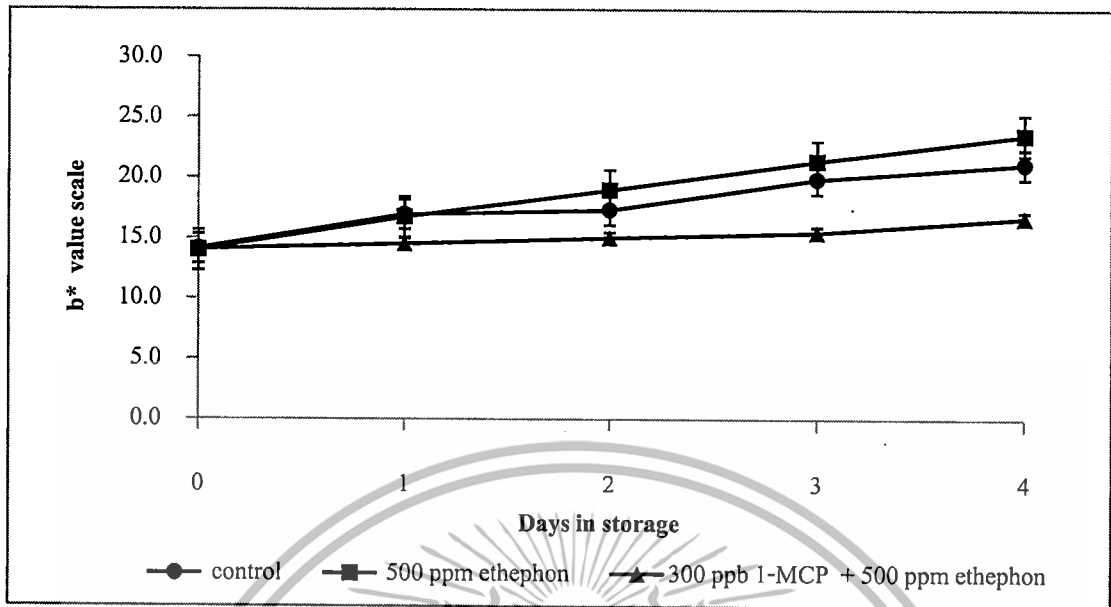


ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอธิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอธิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝักวานิลลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอธิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

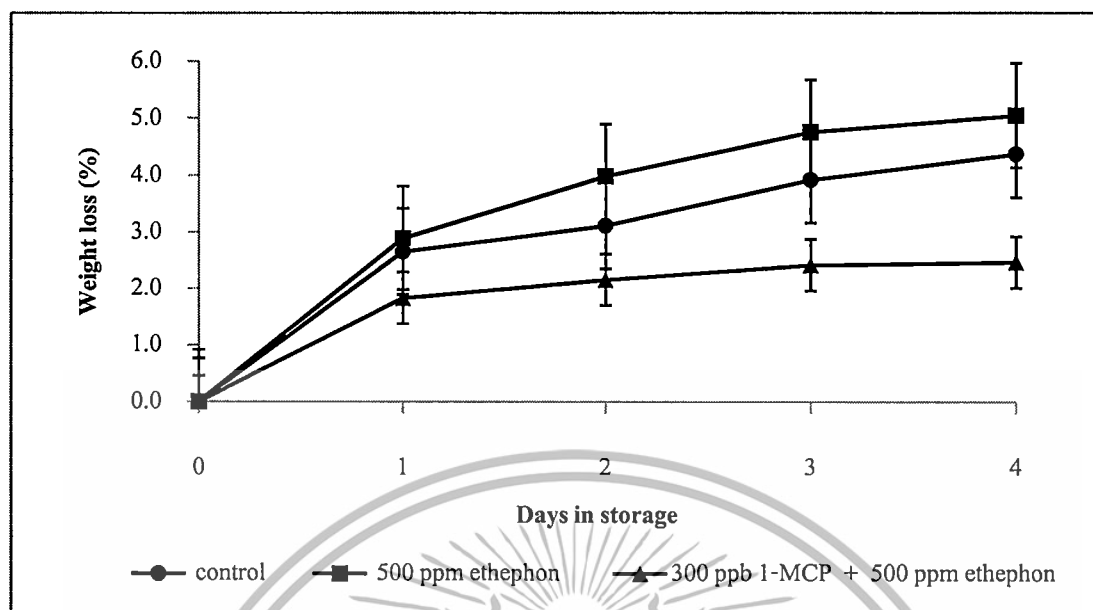
การสูญเสียน้ำหนักสด

จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา ทั้งที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ชุดที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม พบว่าวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ไม่พบการสูญเสียน้ำหนักสด หลังจากนั้นการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกทรีตเมนต์ โดยฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 2.65 ถึง 4.37 เปอร์เซ็นต์ ชุดที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม อยู่ระหว่าง 2.89 ถึง 5.05 และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการสูญเสียน้ำหนักสด อยู่ระหว่าง 1.83 ถึง 2.46 เปอร์เซ็นต์ โดยทรีตเมนต์ที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด เท่ากับ 5.05 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน และทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีตเมนต์อื่นๆ (ภาพที่ 43, ตารางภาคผนวกที่ 22)

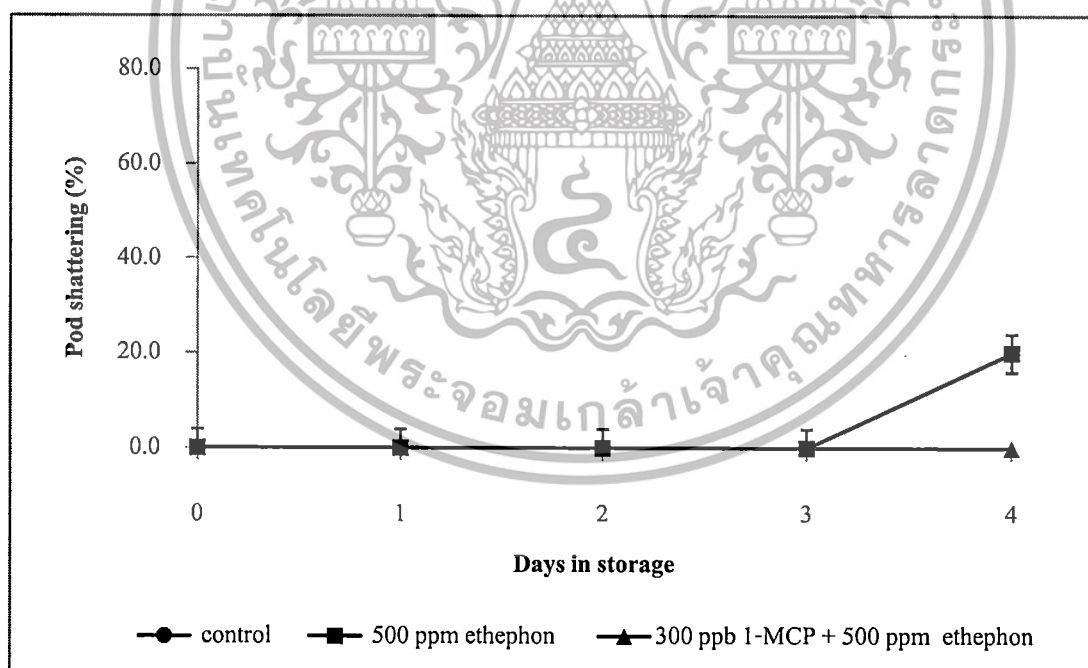
การแตกของฝัก

จากการศึกษาการแตกของฝักวานิลลา ทั้งฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน และฝักวานิลลาที่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการแตกของฝักในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสองทรีตเมนต์ ส่วนฝักวานิลลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ไม่เกิดการแตกของฝักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 44, ตารางภาคผนวกที่ 23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 43 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิลฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน



ภาพที่ 44 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิลฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

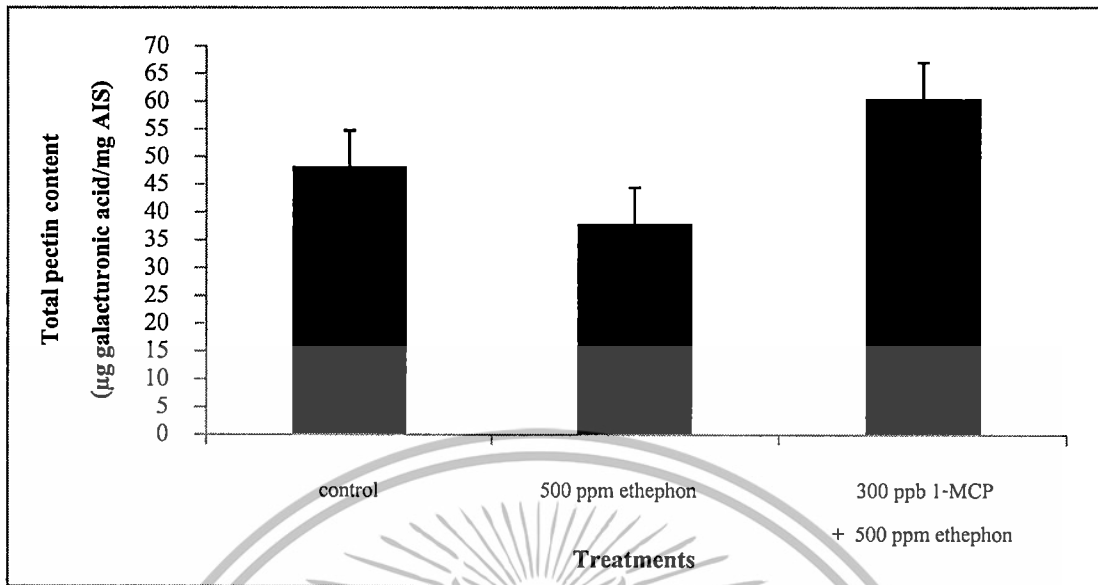
ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin)

หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน นำฝักวานิลลามาศึกษาปริมาณเพกตินทั้งหมด ทั้งฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน และทรีตเมนต์ที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน (ชุดควบคุม) พบว่าทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน มีปริมาณเพกตินทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 60.53 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน และทรีตเมนต์ที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ซึ่งมีปริมาณเพกตินทั้งหมด 48.27 และ 37.98 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีตเมนต์อื่นๆ (ภาพที่ 45, ตารางภาคผนวกที่ 24)

การละลายของเพกติน (pectin solubilization)

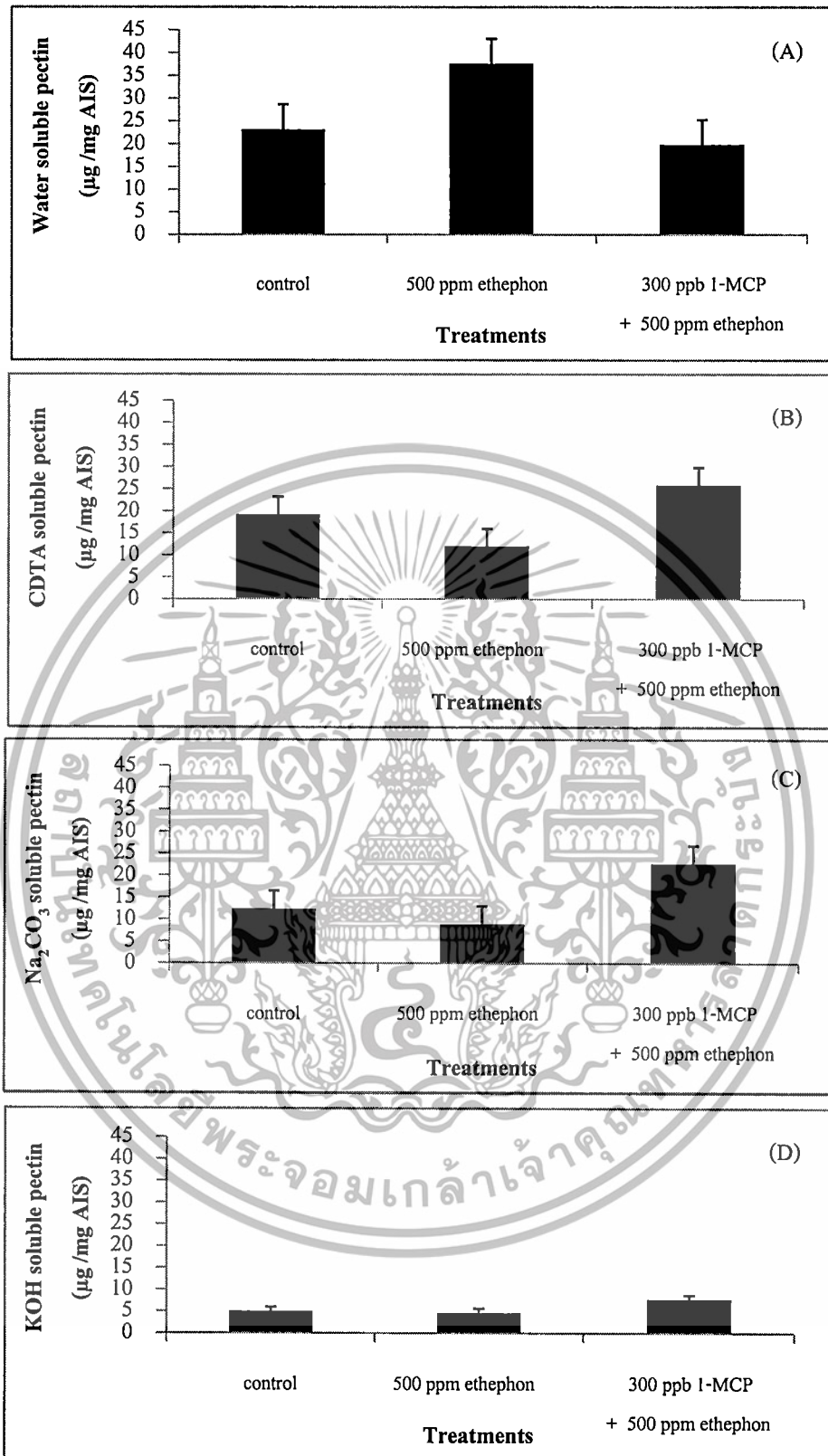
หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน นำฝักวานิลลามาศึกษาปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ CDTA, Na_2CO_3 และ KOH พบว่าเพกตินที่ละลายได้ในน้ำของทรีตเมนต์ที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีปริมาณสูงที่สุด คือ 37.61 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS รองลงมาคือ ทรีตเมนต์ที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน และทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน โดยมีปริมาณเพกตินเท่ากับ 23.19 และ 19.80 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ ส่วนเพกตินที่ละลายใน CDTA, Na_2CO_3 และ KOH ของทรีตเมนต์ที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน มีค่ามากกว่าทุกทรีตเมนต์ โดยมีปริมาณเพกตินเท่ากับ 25.85, 22.74 และ 7.76 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน และทรีตเมนต์ที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ซึ่งมีปริมาณเพกตินที่ละลายใน CDTA เท่ากับ 19.22 และ 12.03 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ปริมาณเพกตินที่ละลายใน Na_2CO_3 เท่ากับ 12.39 และ 8.94 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ และปริมาณเพกตินที่ละลายใน KOH เท่ากับ 5.01 และ 4.65 ไมโครกรัม galacturonic acid ต่อมิลลิกรัม AIS ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสองทรีตเมนต์ (ภาพที่ 46, ตารางภาคผนวกที่ 24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 45 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) ของฟักวานิลลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิฟอน หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 46 ปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na_2CO_3 (C) และ KOH (D) ของฝักรวมและรวมสาร I-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิลฟอน หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน (pectin depolymerization)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ชุดที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน โดยฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 13 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 22 (ปริมาตรเท่ากับ 66 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 18 สูงสุดในหลอดที่ 22 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 26 (ปริมาตรเท่ากับ 78 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 7 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 15 (ปริมาตรเท่ากับ 45 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 47A)

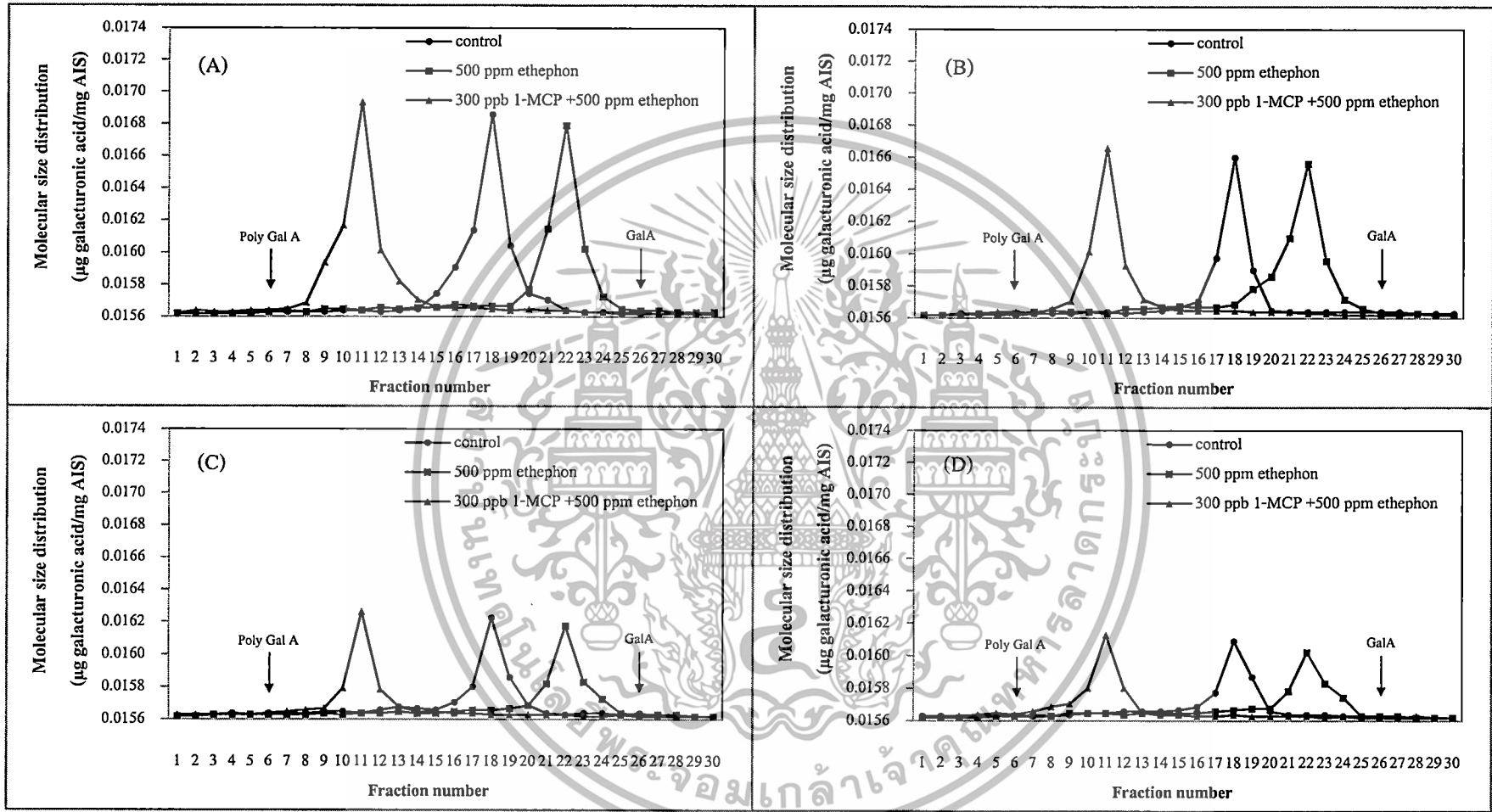
เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน CDTA ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ชุดที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน โดยฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 15 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 21 (ปริมาตรเท่ากับ 63 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 16 สูงสุดในหลอดที่ 22 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 27 (ปริมาตรเท่ากับ 81 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 7 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 14 (ปริมาตรเท่ากับ 42 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 47B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน Na_2CO_3 ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ชุดที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน โดยฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 15 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 22 (ปริมาตรเท่ากับ 66 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 17 สูงสุดในหลอดที่ 22 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 25 (ปริมาตรเท่ากับ 75 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 7 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 14 (ปริมาตรเท่ากับ 42 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 47C)

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในรูปของเพกทินที่ละลายได้ใน KOH ของฝัควานิลา ทั้งที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ชุดที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินของฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน โดยฝัควานิลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 14 สูงสุดในหลอดที่ 18 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 21 (ปริมาตรเท่ากับ 63 มิลลิลิตร) ฝัควานิลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 16 สูงสุดในหลอดที่ 22 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 25 (ปริมาตรเท่ากับ 75 มิลลิลิตร) และฝัควานิลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินเริ่มต้นในตัวอย่างหลอดที่ 6 สูงสุดในหลอดที่ 11 และถูกชะออกจากคอลัมน์สุดท้ายในหลอดที่ 13 (ปริมาตรเท่ากับ 42 มิลลิลิตร) (ภาพที่ 47D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



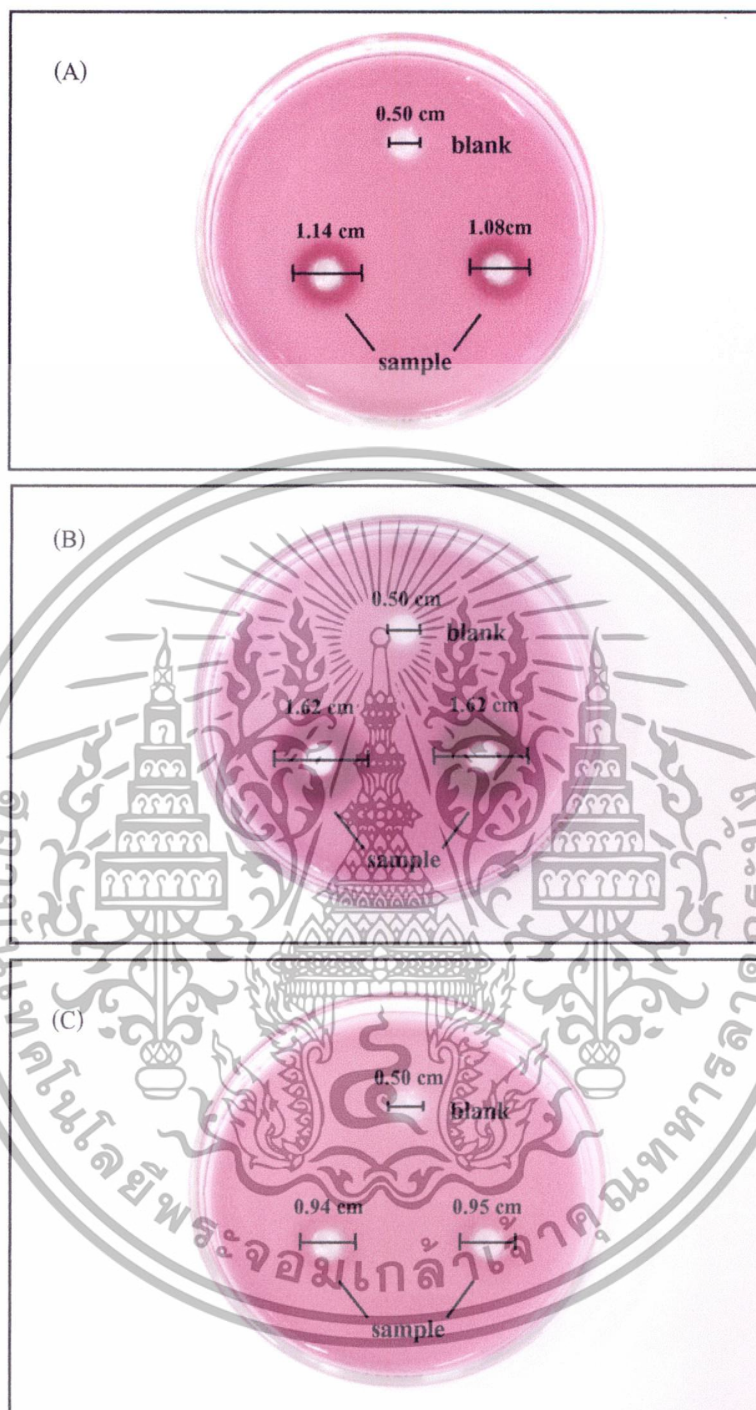
ภาพที่ 47 การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ (A), CDTA (B), Na_2CO_3 (C) และ KOH (D) ของฝัควานิลลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอธิพอน หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

กิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase (PG)

หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน นำฝักวานิลลาจากบริเวณรอยแตกมาสกัดหากิจกรรมของเอนไซม์ PG ทั้งฝักวานิลลาที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม และฝักวานิลลาที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่สกัดจากฝักวานิลลาที่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ปรากฏพื้นที่การเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากกิจกรรมเอนไซม์ PG มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.62 เซนติเมตร รองลงมาคือ ทรिटเมนต์ที่ไม่รมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอธิฟอน และที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอธิฟอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.11 และ 0.945 เซนติเมตร แต่พื้นที่การเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ไม่ชัดเจน (ภาพที่ 48)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 48 กิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase (PG) ของฝักรวมสาร 1-MCP ไม่จุ่มสารละลายเอทิฟอน (A) ฝักรวมสารที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม (B) และฝักรวมสารที่รวมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 300 พีพีเอ็ม ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน (C) หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

*Blank คือ sodium acetate buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของเพกทินในฝักวานิลลา พบว่าระยะการเก็บเกี่ยวของฝักวานิลลา มีผลต่อการเปลี่ยนสีผิวฝัก เนื่องจากเอทิลีนภายในฝักที่สร้างขึ้นมา และทำให้เกิดการแตกของฝัก โดยระยะฝักแก่มีเปอร์เซ็นต์การแตกสูงที่สุด ในขณะที่ระยะฝักอ่อนและระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝักไม่พบการแตกของฝักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลาในระยะฝักอ่อนเพิ่มขึ้นสูงกว่าระยะอื่น แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก เป็นไปได้ว่าความชื้นในฝักอาจไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแตกของฝักวานิลลาเพียงปัจจัยเดียว อาจมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง คือ การผลิตเอทิลีนภายในฝัก โดยฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน และระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก มีปริมาณการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำ ประมาณ 0.03 และ 0.04 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่ระยะฝักแก่มีการผลิตเอทิลีนในระดับที่สูงกว่า โดยมีปริมาณเอทิลีน 25.64 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมชั่วโมง (จิราภรณ์ มีศิลป์ และคณะ. 2556) เนื่องจากวานิลลาจัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภท climacteric เอทิลีนจึงมีผลต่อการย่อยสลายผนังเซลล์ ซึ่งทำให้เซลล์ของฝักพัฒนาแนวการแตกขึ้น บริเวณแนวการแตกหรือรอยแยกนี้จะมีแรงยึดเกาะกันน้อยลง ทำให้ฝักทั้งสองด้านแยกออกจากกัน (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550) เนื่องจากการย่อยสลายของผนังเซลล์ ส่งผลให้ฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน และระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก มีเปอร์เซ็นต์การแตกน้อยกว่าระยะฝักแก่

นอกจากนี้ยังพบว่าระยะการเก็บเกี่ยวของฝักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน รวมทั้งบริเวณรอยแยกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก โดยบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยก มีปริมาณเพกทินรวมมากกว่าบริเวณรอยแยกของฝักในทุกระยะของการเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ ซึ่งพบว่าในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกมีค่าน้อยกว่าในบริเวณรอยแยกของฝักในทุกระยะของการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ในระยะฝักแก่เพกทินที่ละลายได้ในน้ำมีค่ามากกว่าระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและระยะฝักอ่อน เนื่องจากปริมาณของเพกทินที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาของการสุก โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นที่ระยะผลสุกหรือฝักแก่ (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550) ส่วนเพกทินที่ละลายในสารละลาย CDTA และ Na_2CO_3 มีปริมาณลดลงเมื่อความสุกเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับพืชชนิดอื่น เช่น มะเจือเทศ (Huber. 1983) องุ่น (Nunan *et al.* 1998) ทูเรีย (จริงแท้ ศิริพานิช และ ลำแพน ขวัญพูล. 2548) และมะละกอ (วิชชา ครองยุติ. 2554) เป็นต้น และในขณะที่ระยะฝักแก่มีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่วนที่ไม่ละลายลดลง เช่นเดียวกับแกนของโมเลกุลของเพกทินก็จะถูกสลายให้เล็กลงเช่นกัน (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rugkong. 2010) โดยพบว่าการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินบริเวณรอยแยกของฝักวานิลลา มีการกระจายตัวไปในทิศทางที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงมากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยก และการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ละลายในน้ำ ในสารละลาย CDTA, Na_2CO_3 และ KOH ในระยะฝักแก่ลดลงมากกว่าในระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและระยะฝักอ่อน แสดงให้เห็นว่าการแตกของฝักวานิลลาเกี่ยวข้องกับการสลายโมเลกุลของผนังเซลล์โดยเฉพาะเพกทิน

การศึกษาผลของสาร 1-MCP ของฝักวานิลลา พบว่าสาร 1-MCP มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฝักวานิลลา คือ ลดการเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝัก โดยลดการสูญเสียสีเขียวที่เกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเหลืองปรากฏให้เห็นเป็นลักษณะการเกิดการชราภาพ ส่วนสีแดงมักเกิดจากการสร้างแอนโทไซยานิน การศึกษาของ Opiyo and Ying (2005) พบว่าสาร 1-MCP สามารถชะลอการลดลงของคลอโรฟิลล์ การสะสมของไลโคปีนและแคโรทีนอยด์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของมะเขือเทศสีดา และ Jiwon *et al.* (2002) พบว่าสาร 1-MCP ชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกของผลอะโวคาโดได้เช่นกัน ในขณะที่ รัมมีพันธ์ โกศลนันท์ และคณะ (2548) ได้ทำการทดลองในมังคุด พบว่าสาร 1-MCP ชะลอการลดลงของค่าสีเหลืองในเปลือกมังคุดได้ ส่วน กนต์ธีร์ สิริเวชพันธุ์ และ ลำแพน ขวัญพูล (2555) ทำการศึกษาในมะละกอพันธุ์แขกดำและพันธุ์ปลักไม้ลาย พบว่ามะละกอที่รมด้วยสาร 1-MCP มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* , a^* และ b^* น้อยกว่ามะละกอที่ไม่ได้รมสาร เช่นเดียวกับ เทอดธวัช โสภณดิถ และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาในมะละกอพันธุ์แขกดำ พบว่านอกจากสาร 1-MCP จะชะลออัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนแล้ว ยังสามารถลดการเปลี่ยนแปลงทั้งสีเปลือกและสีเนื้อของมะละกอพันธุ์แขกดำด้วย การศึกษาของ อภิรดี อุทัยรัตนกิจ และคณะ (2555) ในผลดิบของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ โดยรมสาร 1-MCP พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อน้อยกว่าชุดควบคุมเช่นกัน นอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสียสีเขียวและคลอโรฟิลล์ในใบพาสเลย์อีกด้วย (Lomaniec *et al.* 2003)

ส่วนการจุ่มฝักวานิลลาด้วยสารละลายเอทิลฟอน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวของฝักที่รวดเร็วขึ้น ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับการรมด้วยสาร 1-MCP โดยที่ ภัทร สำนิงดี และคณะ (2555) ทำการศึกษาผลของเอทิลฟอนในใบคะน้า พบว่าเอทิลฟอนเข้าไปเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของใบคะน้ามากกว่าชุดควบคุม และมีรายงานว่าช่วยเร่งการสุกของผลปาล์มน้ำมัน โดยเร่งการเปลี่ยนแปลงสีผลจากสีดำเป็นสีแดงอมส้มเร็วขึ้น (นฤมล นวลวิจิตร และลดาวลัย เลิศเลอวงศ์. 2555) นอกจากสารละลายเอทิลฟอนจะเร่งการเปลี่ยนสีแล้ว ยังเร่งการสูญเสีย น้ำหนักสดของฝักวานิลลา เนื่องจากเป็นสารที่สามารถปลดปล่อยแก๊สเอทิลีน เมื่อใช้สารปลดปล่อยเอทิลีน เช่น เอทิลฟอน นี้ จะเป็นการเร่งผลิตผลให้เกิดการสุกแก่เร็วขึ้น ผลิตผลจึงสูญเสียน้ำหนักมากและเร็วขึ้น เมื่อรมด้วยสาร 1-MCP จะช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของฝักวานิลลาได้ การทดลองของ Jiwon *et al.* (2002) แสดงให้เห็นว่าการรมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 0.45 ไมโครโมลต่อลิตร นาน 24 ชั่วโมง นอกจากจะชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกของผลอะโวคาโด ยังสามารถลดการสูญเสียเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักสดได้ดี โดยสาร 1-MCP มีคุณสมบัติเป็นแก๊สที่สามารถจับกับตัวรับเอทิลีน ทำให้เอทิลีนไม่มีผลในการกระตุ้นการสุกของผล ในผลไม้พบว่าสาร 1-MCP ทำให้การหายใจลดลง และทำให้การเพิ่มขึ้นของการหายใจช้าลง เป็นผลมาจากการสังเคราะห์เอทิลีนในผลไม้ลดลง เนื่องจากการสร้างเอนไซม์ทั้ง ACC synthase และ ACC oxidase ลดลง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

นอกจากสาร 1-MCP และสารละลายเอทิลีนยังมีผลต่อฝักวานิลลาหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งการเปลี่ยนแปลงสีและน้ำหนักสดแล้ว ยังมีผลต่อปริมาณเพกทิน ซึ่งในผลไม้ไม่มีเพกทินเป็นองค์ประกอบสำคัญประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของผนังเซลล์ทั้งหมด รวมตัวอยู่กับเซลล์ลูโลส โดยเพกทินจะทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน เนื่องจากการย่อยสลายของผนังเซลล์ในบริเวณชั้น middle lamella ทำให้ เพกทินในเซลล์มีปริมาณลดลง เมื่ออายุของผลผลิตเพิ่มขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) เมื่อจุ่มฝักวานิลลาด้วยสารละลายเอทิลีน ซึ่งเป็นสารที่ปลดปล่อยเอทิลีนจะเร่งฝักวานิลลาให้เกิดการสุก ฝักวานิลลาจะมีการเปลี่ยนแปลงของสี และสูญเสียน้ำหนักสดเร็วขึ้นกว่าปกติ เนื่องจากเพกทินมีการสลายตัวมากขึ้น และสามารถละลายออกมาในตัวทำละลายต่างๆ ได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณเพกทินทั้งหมดลดลง ส่วนฝักวานิลลาที่รมด้วยสาร 1-MCP ช่วยชะลอและลดการสลายตัวของเพกทินเป็นการลดการย่อยสลายของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์ของฝักวานิลลาไม่เกิดการแตก ปริมาณของเพกทินทั้งหมดในผนังเซลล์ จึงยังคงมีปริมาณมากกว่าฝักวานิลลาที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลีนและฝักวานิลลาชุดควบคุม เช่นเดียวกับ จูทามาต แสงสว่าง และ ลำแพน ขวัญพูล (2555) พบว่าผลมะละกอพันธุ์แขกดำและพันธุ์ปลักไม้ลาย มีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ส่วนผลมะละกอที่รมด้วยสาร 1-MCP มีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำน้อยกว่าที่ไม่ได้รมสาร แสดงให้เห็นว่าสาร 1-MCP ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ และในสารละลาย KOH และชะลอการลดลงของปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในสารละลาย CDTA และ Na_2CO_3 ซึ่งสาร 1-MCP อาจเกี่ยวข้องกับชะลอการทำงานของเอทิลีนที่เป็นตัวกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายของผนังเซลล์ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

เมื่อทำการทดลองรมสาร 1-MCP ก่อนการจุ่มด้วยสารละลายเอทิลีน พบว่านอกจากจะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด เปอร์เซ็นต์การแตกของฝัก และยังสามารถชะลอการลดลงของปริมาณเพกทินทั้งหมด เพกทินที่ละลายได้ในสารละลายต่างๆ และการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในฝักวานิลลา รวมทั้งลดกิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase (PG) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทินส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ รวมทั้งเอนไซม์ชนิดอื่นๆ เช่น pectin methylesterase (PME) และ cellulase เป็นต้น อย่างไรก็ตาม PG มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายผนังเซลล์ในบริเวณการหลุดร่วงและการแตกของฝักจากการทดลองเมื่อใส่สารสกัดตัวอย่างลงในหลุมของเจลที่มีส่วนผสมของสารตั้งต้น (pectate) จะพบการย่อยสลายบริเวณรอบหลุมนั้น จึงเห็นเป็นโซนกิจกรรม (activity zone) ของเอนไซม์ PG ปรากฏขึ้นซึ่งพบกิจกรรมของเอนไซม์ PG ชัดเจน ในทริตเมนต์ที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิลีนเทียบกับทริตเมนต์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่รมสาร 1-MCP ก่อนการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน และชุดควบคุม เนื่องจากเอนไซม์ PG มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการย่อยสลายโมเลกุลของเพกทินที่พันธะ α -1,4 glycosidic เอนไซม์ที่พบมีทั้ง exo-PG และ endo-PG ซึ่ง exo-PG จะช่วยย่อยพันธะ α -1,4 glycosidic จากปลายของโมเลกุลเพกทินด้าน non-reducing ส่วน endo-PG จะช่วยย่อยพันธะ α -1,4 glycosidic แบบสุ่มทั่วทั้งโมเลกุลของเพกทิน จึงทำให้โมเลกุลของเพกทินถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ อย่างรวดเร็ว (จริงแท้ ศิริพานิช. 2550) สอดคล้องกับคุณสมบัติในการละลายของเพกทิน พบว่าการละลายของเพกทินเปลี่ยนไปโดยปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PG โดยเฉพาะอย่างยิ่ง endo-PG ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในมะเขือเทศ (Huber. 1983) มะละกอ (Chan and Tam. 1982) และมะม่วง (Ketsa *et al.* 1998) เป็นต้น และจากการศึกษาในผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง พบว่าส่วนของเปลือกเริ่มมีการแตกในวันที่ 8 หลังการเก็บเกี่ยว เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของผนังเซลล์ พบว่าทั้งในส่วนเนื้อ ส่วนแกนกลางผล ส่วนรอยสาแหรก และส่วนเปลือกทั่วไป มีปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์ β -gal มีบทบาทต่อการอ่อนนุ่มของเนื้อ เอนไซม์ PG มีส่วนร่วมในขั้นตอนท้ายของการเก็บรักษา ส่วนเอนไซม์ PME และ cellulase มีบทบาทน้อยที่สุด (จริงแท้ ศิริพานิช และ คำแพน ขวัญพูล. 2548) นอกจากนี้ Luo (2007) ได้ศึกษาผลของสาร 1-MCP พบว่าการอ่อนนุ่มของลูกพลับเกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของ water soluble pectic (WSP) และการลดลงของ chelator soluble pectic (CSP) และ alkali soluble pectic (ASP) ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG มีค่าสูงสุดในวันที่ 4 และ 6 ตามลำดับ ส่วนลูกพลับที่รมด้วยสาร 1-MCP สามารถชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG ชะลอกิจกรรมของ CSP และ ASP และลดการเพิ่มขึ้นของ WSP รวมทั้งชะลอการหายใจและการผลิตเอทิลีนด้วย และจากการศึกษาผลของสาร 1-MCP ต่อผลพลัมพันธุ์ Qingnai พบว่าผลที่ไม่ได้รมสาร 1-MCP มีการอ่อนนุ่มเร็ว มีค่า hue angle และปริมาณของคลอโรฟิลล์ลดลง และมีกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลพลัมที่รมสาร 1-MCP มีอัตราการผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจลดลง ชะลอการอ่อนนุ่ม และลดกิจกรรมของเอนไซม์ PME และ PG (Luo *et al.* 2009)

จากการศึกษาทำให้ทราบถึงระยะของการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของฝัควานิลา เพื่อลดการแตกของฝัก โดยทำให้ผนังเซลล์ของฝัควานิลาแข็งแรง ด้วยการนำฝัควานิลามารมด้วยสาร 1-MCP เนื่องจากสาร 1-MCP ช่วยชะลอการแตกของฝัควานิลา จากนั้นจึงใช้ร่วมกับสารละลายเอทิฟอน เพื่อให้ฝัควานิลาเกิดการสุก เพื่อเพิ่มปริมาณสารวานิลลิน โดยที่ไม่เกิดการแตกของฝัก จากการศึกษาจึงเป็นแนวทางในการนำไปใช้ทางการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม เพื่อลดอัตราการแตกของฝัควานิลา ก่อนการบ่ม ระหว่างการบ่ม และในกระบวนการแปรรูปฝัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของเพกทินในฝักวานิลลาสรุปได้ดังนี้

1. ฝักวานิลลาในระยะฝักแก่มีการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก และเปอร์เซ็นต์การแตกของฝักมากกว่าระยะอื่น โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา ส่วนระยะฝักอ่อนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าระยะอื่น แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝักและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเพกทินของฝักวานิลลาในระยะฝักอ่อนมีปริมาณเพกทินทั้งหมดมากที่สุดและแตกต่างทางสถิติระหว่างระยะการเก็บเกี่ยว ส่วนบริเวณที่เกิดรอยแยกมีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในสารละลายต่างๆ มากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยกของฝัก รวมทั้งมีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินลดลงมากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแยก โดยในระยะฝักแก่มีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินลดลงมากกว่าระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและฝักอ่อน ตามลำดับ

2. สาร 1-MCP มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของเพกทิน โดยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด เปอร์เซ็นต์การแตกของฝัก ชะลอการลดลงของปริมาณเพกทิน และการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในฝักวานิลลา โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมของการรมด้วยสาร 1-MCP ในฝักวานิลลา คือ 300 พีพีบี ในขณะที่สารละลายเอทิฟอนเร่งการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด เปอร์เซ็นต์การแตกของฝัก รวมทั้งมีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินลดลงมากกว่าชุดควบคุม

3. การรมสาร 1-MCP ก่อนการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน สามารถลดอิทธิพลของเอทิฟอนลงได้ โดยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวฝัก เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด เปอร์เซ็นต์การแตกของฝัก ชะลอการลดลงของปริมาณเพกทินทั้งหมด เพกทินที่ละลายได้ในสารละลายต่างๆ และการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทินในฝักวานิลลา รวมทั้งลดกิจกรรมของเอนไซม์ PG ดีกว่าทรีตเมนต์ที่จุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอน และชุดควบคุม ซึ่งความเข้มข้นที่เหมาะสมของการรมด้วยสาร 1-MCP ในฝักวานิลลา คือ 300 พีพีบี ร่วมกับการจุ่มด้วยสารละลายเอทิฟอนที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กันต์ธีร์ สิริเวชพันธุ์ และ ลำแพน ขวัญพูล. 2555. ผลของสาร 1-MCP ต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิวและคุณภาพของมะละกอพันธุ์แขกดำและพันธุ์ปลักไม้ลาย. ว. วิทย. กษ. 43: 3 (พิเศษ) 436-439.
- จริงแท้ สิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 หน้า.
- “_____”. 2550. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช**. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม. 453 หน้า.
- “_____” และ ลำแพน ขวัญพูล. 2548. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์และกิจกรรมของเอนไซม์ระหว่างการแตกของผลและการอ่อนนุ่มของเนื้อทุเรียน. Postharvest Newsletter 4 (2): 5.
- จาร์วัฒน์ โรจนภัทรากุล และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2545. ผลของ 1-methylcyclopropene ต่อการชะลอการสุกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. ว. วิทย. กษ. (พิเศษ) 33(6): 60-67.
- จิราภรณ์ มีศิลป์ ธิติมา วงษ์ชรี และ พนิดา บุญฤทธิรงค์ไชย. 2556. ความสัมพันธ์ระหว่างการแตกและการผลิตเอทิลีนในระหว่างการสุกของฝักวานิลลา. ว. วิทย. กษ. 44: 3 (พิเศษ) 105-108.
- จุฑามาศ แสงสว่าง และ ลำแพน ขวัญพูล. 2555. ผลของ 1-methylcyclopropene ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและการกระจายขนาดโมเลกุลของเพคตินในผลมะละกอที่เกิดการช้ำ. ว. วิทย. กษ. 43: 3 (พิเศษ) 532-535.
- เทอดธวัช โสภณคิดก อภิรดี อุทัยรัตนกิจ และ วาริช ศรีละออง. 2553. การใช้ 1-MCP ชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของมะละกอพันธุ์แขกดำ. ว. วิทย. กษ. 41: 1 (พิเศษ) 27-30.
- ธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล. 2548. เอกสารประกอบการสอนเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ธีรวุฒิ มาประชา. 2535. ผลของเอทิลฟอนและโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟตต่อการออกช่อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นฤมล นวลวิจิตร และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2555. ผลของเอทิลีนและเมทิลไซโคลโพรเพนต่อการสุกและคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว. ว. วิทย. กษ. 43: 3 (พิเศษ) 452-455.
- พรพรรณ นุชโพธิ์พันธุ์. 2556. ผลของสาร 1-methylcyclopropene และสารละลายเอทิลฟอนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของฝักวานิลลา. ปัญหาพิเศษปริญญาโท หลักสูตรพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภัทธร สำเนียงดี ศิริชัย กัลยาณรัตน์ และ พนิดา บุญฤทธิ์ชงไชย. 2555. ผลของเอทีฟอน 6-เบนซิลอะมิโนพิวรีน เมทิลแอสโมเนท และกรดซาลิไซลิก ต่อเอนไซม์ที่สลายคลอโรฟิลล์ในส่วนตัดกลมของใบคะน้า (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*). 2555. ว. วิทย์. กษ. 43: 3 (พิเศษ) 568-571.
- มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย และ อุษณา ไตรนอก. 2550. ผลของ 1-MCP (1-Methylcyclopropene) ที่มีต่อผักและผลไม้. ว. วิทย์. เทคโนโลยี. มมส. 26(1): 81-87.
- รัมย์พันธ์ โกศลานันท์ วีรภรณ์ เดชนำบัญชาชัย และ เสาวคนธ์ วิลเลียมส์. 2548. การใช้ 1-MCP เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามังคุด. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 5. ณ โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีช พัทยา จังหวัดชลบุรี. 232.
- สัมฤทธิ์ เศรษฐวงศ์. 2547. ฮอโมนและการใช้ฮอโมนกับไม้ผล. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์. 144 หน้า.
- สาธิต พสุวิทย์กุล. 2531. “ผลของเอทีฟอนที่มีต่อสีผลและคุณภาพของผลองุ่นพันธุ์ Beauty seedless.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิริพร สีแดง ชิตีมา วงษ์ชีรี สุเมธ ท่านเจริญ วันเพ็ญ วรวงศ์พงศา และ ชนะ พรหมทอง. 2553. การผลิต การตลาดและการวิจัยวานิลลาในประเทศไทย. ว. วิทย์. กษ. 41: กันยายน-ธันวาคม. 469-472.
- สุทธิดมน์ สุกสีเหลือง และ สมราน สุดดี. 2552. กล้วยไม้ป่า เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ. 208 หน้า.
- วิชชา ครอบงุมดี. 2554. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมในเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์และการนิ่มระหว่างการสุกของผลมะละกอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- องอาจ เต็ดดวง และ ชารรัตน์ สุกศิริ. 2553. การเปรียบเทียบเพกทินสกัดจากฝรั่งสามชนิดกับเพกทินมาตรฐาน. สารนิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- อภิรดี อุทัยรัตนกิจ ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์ สายลม สัมพันธ์เวช โสภากา และ สุกัญญา เอี่ยมลออ. 2555. การรมสาร 1-MCP ต่อคุณภาพของผลดิบมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์. ว. วิทย์. กษ. 43: 2 (พิเศษ) 493-496.
- Abu-Goukh, A.A. and Basheir, H.A. 2003. Changes in pectic enzymes and cellulase activity during guava fruit ripening. *Food Chemistry*. 83: 213-218.
- Bagnato, N., Barrett, R., Sedgley, M. and Klieber, A. 2003. The effects on the quality of Cavendish bananas, which have been treated with ethylene, of exposure to 1-methylcyclopropene. *Int. J. Food Sci. Technol.* 38: 745-750.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Blankenship, S. 2001. Ethylene effects and the benefits of 1-MCP. *Perishables handling quarterly*. 108: 2-4.
- Blankenship, S.M. and Dole, J.M. 2002. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 1-25.
- Brummell, D.A. and Labavitch, J.M. 1997. Effect of antisense suppression of endopolygalacturonase activity on polyuronide molecular weight in ripening tomato fruit and in fruit homogenates. *Plant Physiol.* 115: 717-725.
- Buescher, R.W. and Burgin C. 1992. Diffusion plate assay for measurement of polygalacturonase activity in pickle brines. *J Food Biochem.* 16:59-68.
- Carol, A. 2012. Orchids Care and Maintenance Tips: Vanilla Orchids. [Online]. Available: <http://www.orchidcarelady.com/orchids-care-and-maintenance-tips-vanilla-orchids>. 20 กุมภาพันธ์ 2557.
- Chan, T.H. and Tam, S.Y.T. 1982. Partial separation and characterization of papaya endo- and exopolygalacturonase. *Food Sci.* 47: 1478-1483.
- DeEll, J.R., Murr, D.P., Porteous, M.D. and Dupasinghe, H.P.V. 2002. Influence of temperature and duration of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality. *Postharvest Biol. Technol.* 24: 349-353.
- Huber, D.J. 1983. The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Horticulture reviews*. 5, 169-219.
- Iannetta, P.P.M., Berg, J., Wheatley, R.E., McNicol, R.J., and Davies, H.V. 1999. The role of ethylene and cell wall modifying enzymes in raspberry (*Rubus idaeus*) fruit ripening. *Physiol. Plant.* 105: 338-347.
- Jiwon, J., Donald, J.H. and Steven, A.S. 2002. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 25: 241-256.
- Juan, Li., Zhang, P., Chen, J., Yao, Q. and Jiang, Y. 2009. Cellular wall metabolism in citrus fruit pericarp and its relation to creasing fruit rate. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Ketsa, S., Chidtragool, S., Klein, J.D. and Lurie, S. 1998. Effect of heat treatment on changes in softening, pectic substances and activities of polygalacturonase, pectinesterase and β -galactosidase of ripening mango. *Plant Physiol.* 153: 457-461.
- Ku, V.V.V. and Wills, R.B.H. 1999. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. *Postharvest Biol. Technol.* 17: 127-132.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Leshem, Y. Y., Halevy, A. A. and Frenkel, C. 1986. **Processes and control of Plant Senescence.** Elsevier, Amsterdam. 228 p.
- Lionco Trans Ltd. 2005. For the producers of wine and alcohol drinks, Enzymes. [Online]. Available: http://lioncotrans.fateback.com/Toshev/wine_4.htm. 1 มีนาคม 2557.
- Lomaniec, E., Aharon, Z., Aharoni, N. and Lers, A. 2003. Effect of the ethylene action inhibitor 1-methylcyclopropene on parsley leaf senescence and ethylene biosynthesis. *Postharvest Biol. Technol.* 30: 67-74.
- Luo, Z. 2007. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of postharvest persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit. *LWT* 40. 2: 285-291.
- Luo, Z., Xie, J., Xu, T. and Zhang, L. 2009. Delay ripening of 'Qingnai' plum (*Prunus salicina* Lindl.) with 1-methylcyclopropene. *Plant Science.* 177: 705-709.
- Marisol, O.V., Emmanuel, A.H., Irasema, V.A. and Miguel, A.M.T. 2012. Plant Cell Wall Polymers: Function, Structure and Biological Activity of Their Derivatives. [Online]. Available: <http://www.intechopen.com/books/polymerization/plant-cell-wall-polymers-function-structure-and-biological-activity-of-their-derivatives>. 1 มีนาคม 2557.
- Michael, W.D. 2005. Plant Cell Wall. [Online]. Available: <http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html>. 13 มีนาคม 2557.
- Minoo, D., Nirmal Babu, K., and Peter, K.V. 2006. Conservation of Vanilla species, *in vitro*. *Sci Hortic.* 110: 175-180.
- Nicholas J. Walton, Melinda J. Mayer and Arjan Narbad. 2003. **Vanillin.** Food Safety Science Division, Institute of Food Research, Norwich Research Park, Colney, Norwich NR4 7UA, UK. 433 p.
- Nunan, K.J., Sims, I.M., Bacic, A., Robinson, S.P. and Fincher, G.B. 1998. Changes in cell wall composition during ripening of grape berries. *Plant Physiology* 118, 783-792.
- Opiyo, A.M. and Ying, T.J. 2005. The effects of 1-methylcyclopropene treatment on the shelf life and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) fruit. *Int. J. Food Sci. Technol.* 40: 665-673.
- Pelayo, C., E.V.D. Vilas-Boas, Benichou, M. and Kader, A.A. 2003. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 75-85.
- Purseglove, J.W., Brown, E.G., Green, C.L. and Robbins, S.R.J. 1981. **Spices.** Vol. 2. Longman, London. 813 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Reid, M.S. 2002. Ethylene in postharvest technology. In A.A. Kader, eds. Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd ed. Univ. of California Agricultural and National Resource Publ., California. 149-162.
- Rugkong, A., Jocelyn, K.C.R, Sang, J.K., James, J.G., Malcolm, A.O. and Christopher, B.W. 2010. Cell wall metabolism in cold-stored tomato fruit. Postharvest Biol. Technol. 57: 106-113.
- Saltveit, M.E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. Postharvest Biol. Technol. 15: 279-292.
- Secor, G.A. 1988. An improved diffusion assay for quantifying the polygalacturonase content of erwinia culture filtrates. Phytopathol: 1101-1103.
- Seemi, L., Prabodh, K.T. and Pravendra, N. 2004. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. Postharvest Biol. Technol. 31: 119-126.
- Sigma-Aldrich. 2013. sepharose and sepharose CL gel filtration media Exact replacement for Product Code 84963. Product information. 3 p.
- Sisler, E.C. and Serek, M. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. Physiol. Plant. 100: 577-582.
- Smith, C.J.S., Watson, C.F., Ray, J., Bird, C.R., Morris, P.C., Schuch, W. and Grierson, D. 1988. Antisense RNA inhibition of polygalacturonase gene expression in transgenic tomatoes. Nature 334: 724-726.
- Solongo, A. 2013. Protein purification and analysis. [Online]. Available: <http://quizlet.com/19294178-bc-ch-5-protein-purification-and-analysis-flash-cards>. 12 มีนาคม 2557.
- Sun, T.C. and Donald, J.H. 2008. Influence of aqueous 1-methylcyclopropene concentration, immersion duration, and solution longevity on the postharvest ripening of breaker-turning tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biol. Technol. 49: 147-154.
- Tucker, G.A., Robertson, N.G. and Grierson, D. 1982. Purification and changes in activities of tomato pectinesterase isoenzymes. J Sci Food Agric 33: 396-400.
- Valero, D., Martinez-Romero, D., Valverde, J.M., Guillen, F., Castillo, S. and Serrano, M. 2004. Could the 1-MCP treatment effectiveness in plum be affected by packaging?. Postharvest Biol. Technol. 34: 295-303.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Weiss, E.A. 2002. **Spice Crops**. CABI Publishing. CABI International, Wallingford, Oxon, UK.
411 p.

Wills, R.B.H., Ku, V.V.V. and Warton, M.A. 2002. Use of 1-methylcyclopropene to extend the postharvest life of lettuce. *J. Sci. Food Agric.* 82: 1253-1255.

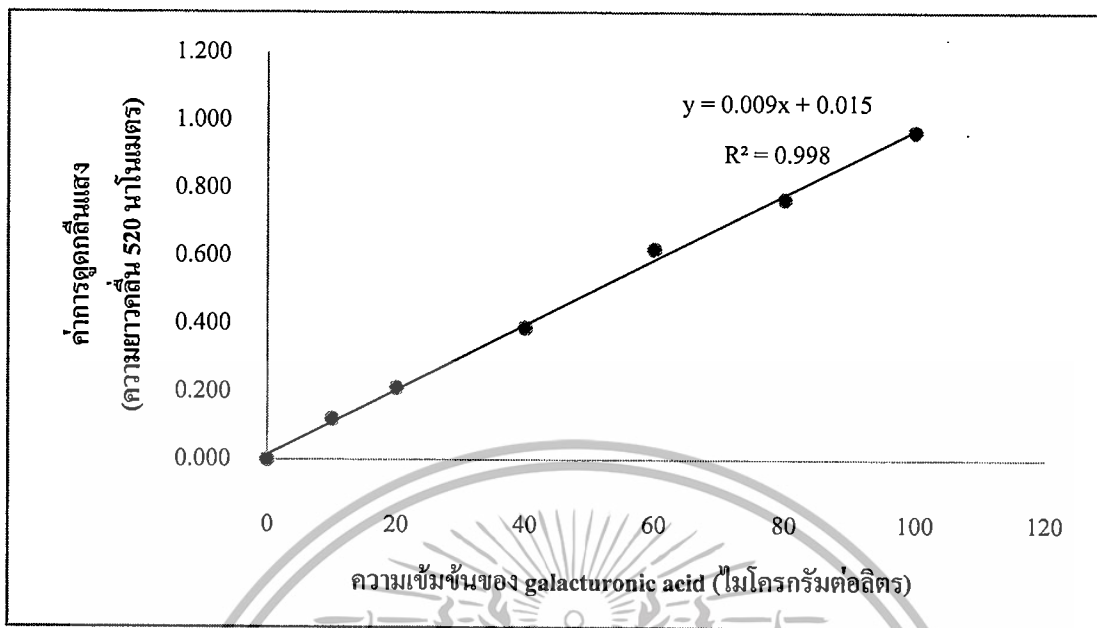


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

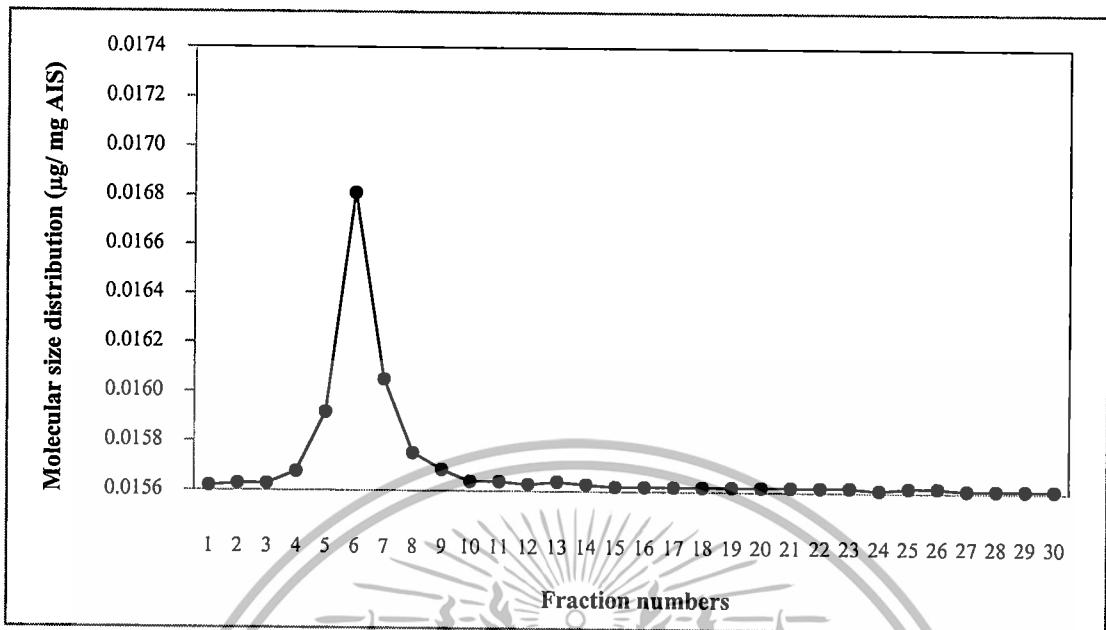
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของ galacturonic acid

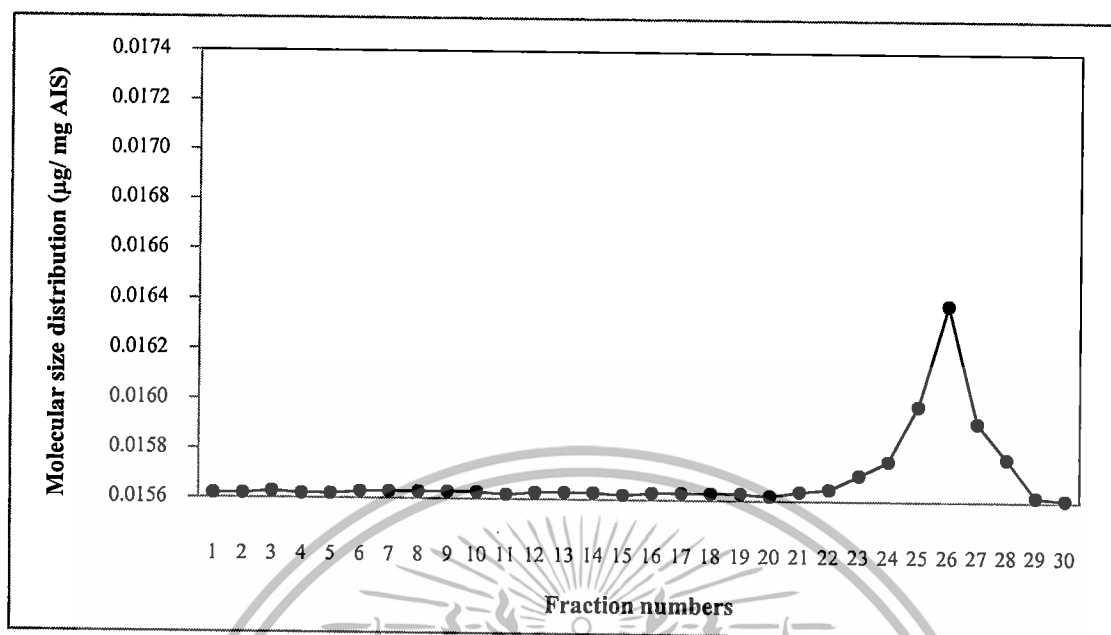


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานของ polygalacturonic acid สำหรับใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานของ galacturonic acid สำหรับใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของเพกทิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

Stages of harvest	Days in storage							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Immature green	26.29 ± 0.5 ^u ^v	30.78 ± 0.6 b	34.31 ± 0.6 b	34.97 ± 0.3 c	36.54 ± 0.5 b	35.21 ± 1.2 b	35.14 ± 0.9 b	35.62 ± 0.5 a
Mature	28.53 ± 0.6 ab	33.92 ± 0.5 a	34.95 ± 0.4 b	36.38 ± 0.4 b	38.91 ± 0.6 a	38.00 ± 0.7 a	36.85 ± 0.5 ab	32.84 ± 0.4 b
Over mature	29.02 ± 0.4 a	31.69 ± 0.7 ab	36.14 ± 1.1 a	37.88 ± 0.5 a	39.12 ± 0.8 a	39.45 ± 1.0 a	37.72 ± 0.8 a	30.02 ± 0.9 c
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
% C.V.	8.53	9.27	10.36	11.94	11.41	13.67	12.39	14.18

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean±SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝัควานิลลาระยะฟักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฟัก (Mature) และระยะฟักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

Stages of harvest	Days in storage							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Immature green	-7.85 ± 0.3 ^u c ^v	-7.43 ± 0.6 c	-6.87 ± 0.7 c	-6.01 ± 1.0 b	-5.62 ± 0.8 c	-5.14 ± 0.6 b	-4.85 ± 0.9 b	-4.63 ± 0.5 b
Mature	-6.72 ± 0.5 b	-6.14 ± 0.5 b	-5.89 ± 0.4 b	-5.53 ± 0.7 b	-4.75 ± 0.6 ab	-4.08 ± 0.5 ab	-3.96 ± 0.7 ab	-3.82 ± 0.7 ab
Over mature	-5.98 ± 0.5 a	-5.22 ± 0.4 a	-4.43 ± 1.1 a	-3.94 ± 0.8 a	-3.20 ± 0.5 a	-2.11 ± 0.9 a	-1.43 ± 1.0 a	-0.77 ± 0.3 a
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
% C.V.	9.54	10.37	10.02	13.75	18.73	15.81	16.44	12.68

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 3 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝักวานิลลาระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

Stages of harvest	Days in storage							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Immature green	9.09 ± 0.6 ^u c ^v	10.28 ± 0.7 c	12.11 ± 0.5 c	11.97 ± 0.8 c	14.27 ± 0.5 c	14.15 ± 0.8 c	15.13 ± 0.4 c	15.92 ± 0.5 c
Mature	11.54 ± 0.5 b	12.27 ± 0.4 b	13.45 ± 0.5 b	15.13 ± 0.6 b	17.25 ± 0.7 b	18.46 ± 0.3 b	18.57 ± 0.5 b	19.35 ± 0.6 b
Over mature	14.25 ± 0.7 a	15.43 ± 0.3 a	17.82 ± 0.8 a	19.69 ± 0.6 a	24.31 ± 1.0 a	26.78 ± 0.4 a	26.22 ± 1.1 a	26.03 ± 0.5 a
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
% C.V.	10.25	11.43	12.96	10.72	12.71	10.92	13.89	13.30

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean±SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 4 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

Stages of harvest	Days in storage							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Immature green	0.00 ± 0.0 ¹ a ²	2.18 ± 0.6 a	2.56 ± 0.7 a	3.34 ± 0.2 a	4.19 ± 0.5 a	4.23 ± 0.6 a	4.29 ± 0.7 a	4.50 ± 0.8 a
Mature	0.00 ± 0.0 a	2.01 ± 0.4 a	2.43 ± 0.4 a	2.97 ± 0.5 a	3.78 ± 0.2 ab	3.72 ± 0.4 ab	3.98 ± 0.5 a	4.16 ± 0.3 a
Over mature	0.00 ± 0.0 a	1.45 ± 0.5 b	2.04 ± 0.5 b	2.32 ± 0.3 b	2.45 ± 0.3 b	2.49 ± 0.4 b	2.65 ± 0.3 b	2.82 ± 0.5 b
F-test	ns	*	*	*	*	*	*	*
% C.V.	0.00	5.48	6.02	6.17	6.84	7.25	6.98	9.21

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

¹ แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

² อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 5 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ระยะฝักอ่อน (Immature green) ระยะเริ่มเปลี่ยนสีฝัก (Mature) และระยะฝักแก่ (Over mature) เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

Stages of harvest	Days in storage							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Immature green	0.00 ± 0.0 ^u a ^v	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 b	0.00 ± 0.0 b	0.00 ± 0.0 b	0.00 ± 0.0 b
Mature	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 b	0.00 ± 0.0 b	0.00 ± 0.0 b	0.00 ± 0.0 b
Over mature	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	20.00 ± 0.0 a	20.00 ± 0.0 a	40.00 ± 0.0 a	60.00 ± 0.0 a
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*
% C.V.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 6 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) และการละลายของเพกทิน (pectin solubilization) โดยแบ่งตามปัจจัย A (stages of harvest) และปัจจัย B (zone types) หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

		Pectin content (μg galacturonic acid/mg AIS)				
		Total pectin	Water soluble pectin	CDTA soluble pectin	Na_2CO_3 soluble pectin	KOH soluble pectin
Stages of harvest	Immature green	$54.90 \pm 0.3^{1/}$ a ^{2/}	30.96 ± 0.3 c	28.78 ± 1.9 a	19.17 ± 1.1 a	5.63 ± 0.2 a
	Mature	54.49 ± 0.3 ab	32.49 ± 0.3 b	24.52 ± 0.9 b	15.39 ± 1.0 ab	5.49 ± 0.4 a
	Over mature	51.51 ± 1.4 b	36.01 ± 0.7 a	18.04 ± 0.4 c	14.82 ± 0.4 b	4.42 ± 0.6 b
	<i>F</i> -test	*	*	*	*	*
	%C.V.	8.27	5.28	10.78	8.02	7.31
Zone types	SZ	53.24 ± 0.7 b	33.04 ± 0.4 a	22.21 ± 1.0 a	16.07 ± 0.8 a	5.28 ± 0.3 a
	NSZ	56.15 ± 0.7 a	30.40 ± 0.5 b	20.35 ± 1.1 b	14.14 ± 0.8 b	4.63 ± 0.4 b
	<i>F</i> -test	*	*	*	*	*
	%C.V.	3.6	3.8	5.3	4.7	2.9

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{1/} แสดงค่า mean \pm SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^{2/} อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

SZ = shattering zone และ NSZ = non shattering zone

ตารางภาคผนวกที่ 7 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	28.29 ± 0.6 ¹ a ²	32.86 ± 0.5 b	37.95 ± 0.7 c	39.83 ± 0.3 c	40.49 ± 0.1 b
500 ppm Ethephon	28.08 ± 0.5 a	36.66 ± 0.8 ab	39.04 ± 0.5 bc	40.29 ± 0.2 bc	43.62 ± 0.4 a
1,000 ppm Ethephon	28.15 ± 0.7 a	37.94 ± 0.6 a	42.83 ± 1.0 a	45.22 ± 0.5 a	38.95 ± 0.5 c
F-test	ns	*	*	*	*
% C.V.	9.03	8.94	9.71	11.46	9.87

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

¹ แสดงค่า mean±SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

² อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 8 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอธิฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	-7.14 ± 0.5 ^u a ^z	-5.35 ± 0.4 b	-5.00 ± 0.7 b	-4.66 ± 0.6 c	-4.03 ± 0.4 c
500 ppm Ethephon	-7.08 ± 0.4 a	-5.04 ± 0.3 b	-4.69 ± 0.5 b	-3.38 ± 0.4 b	-2.45 ± 0.5 b
1,000 ppm Ethephon	-6.97 ± 0.4 a	-4.58 ± 0.5 a	-3.07 ± 0.6 a	-1.07 ± 0.3 a	-0.09 ± 0.5 a
F-test	ns	*	*	*	*
% C.V.	8.69	10.82	11.60	9.53	18.47

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^z อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 9 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทيفون ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	13.98 ± 0.3 ¹ a ²	15.93 ± 0.1 b	17.04 ± 0.8 b	19.84 ± 0.6 c	21.94 ± 0.5 c
500 ppm Ethephon	13.85 ± 0.1 a	16.99 ± 0.2 b	18.75 ± 0.4 b	23.02 ± 0.4 b	26.46 ± 0.6 b
1,000 ppm Ethephon	14.00 ± 0.2 a	20.26 ± 0.4 a	23.56 ± 0.5 a	26.87 ± 0.7 a	29.98 ± 0.8 a
F-test	ns	*	*	*	*
% C.V.	6.43	10.58	9.89	10.05	11.36

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

¹ แสดงค่า mean±SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

² อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 10 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	0.00 ± 0.0 ^u a ^v	2.94 ± 0.3 a	3.65 ± 0.5 b	3.88 ± 0.5 b	4.03 ± 0.4 b
500 ppm Ethephon	0.00 ± 0.0 a	2.98 ± 0.1 a	3.71 ± 0.3 b	3.85 ± 0.5 b	4.27 ± 0.6 b
1,000 ppm Ethephon	0.00 ± 0.0 a	3.11 ± 0.3 a	3.83 ± 0.4 a	4.27 ± 0.6 a	4.64 ± 0.9 a
F-test	ns	ns	*	*	*
% C.V.	0.00	8.94	10.26	9.87	10.11

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 11 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	0.00 ± 0.0 ^u a ^v	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 b	0.00 ± 0.0 c
500 ppm Ethephon	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 b	20.00 ± 0.0 b
1,000 ppm Ethephon	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	20.00 ± 0.0 a	60.00 ± 0.0 a
F-test	ns	ns	ns	*	*
% C.V.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน ในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 12 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) และการละลายของเพกทิน (pectin solubilization) ของฝักรากบัวที่ไม่ได้จุ่มและที่จุ่มสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 และ 1,000 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Pectin content (μg galacturonic acid/mg AIS)				
	Total pectin	Water soluble pectin	CDTA soluble pectin	Na_2CO_3 soluble pectin	KOH soluble pectin
Control	$54.73 \pm 0.4^{\text{a}}$	$13.58 \pm 0.4^{\text{c}}$	$20.87 \pm 0.7^{\text{a}}$	$11.64 \pm 0.3^{\text{a}}$	$4.11 \pm 0.5^{\text{a}}$
500 ppm Ethephon	$39.88 \pm 0.6^{\text{b}}$	$19.46 \pm 0.3^{\text{b}}$	$11.52 \pm 0.5^{\text{b}}$	$8.79 \pm 0.8^{\text{b}}$	$4.23 \pm 0.6^{\text{a}}$
1,000 ppm Ethephon	$31.95 \pm 0.8^{\text{c}}$	$25.56 \pm 0.5^{\text{a}}$	$8.05 \pm 0.2^{\text{c}}$	$6.31 \pm 0.4^{\text{c}}$	$3.97 \pm 0.5^{\text{a}}$
<i>F</i> -test	*	*	*	*	*
% C.V.	6.84	8.35	6.91	7.86	5.92

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^a แสดงค่า mean \pm SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^b อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน ในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 13 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	28.14 ± 0.3 ^u a ^z	32.01 ± 0.5 a	34.56 ± 0.3 a	37.97 ± 0.9 a	40.63 ± 0.8 a
150 ppb 1-MCP	27.95 ± 0.5 a	31.95 ± 0.4 a	34.26 ± 0.4 a	35.74 ± 0.3 b	38.02 ± 0.5 b
300 ppb 1-MCP	28.03 ± 0.4 a	32.06 ± 0.6 a	33.51 ± 0.1 ab	34.12 ± 0.5 c	34.58 ± 0.7 c
F-test	ns	ns	*	*	*
% C.V.	8.71	11.23	10.36	10.04	10.85

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^z อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 14 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	-6.73 ± 0.1 ^a a ²	-5.24 ± 0.6 a	-4.63 ± 0.7 a	-4.17 ± 0.6 a	-3.15 ± 1.0 a
150 ppb 1-MCP	-6.62 ± 0.2 a	-5.72 ± 0.3 b	-5.52 ± 0.5 b	-4.78 ± 0.5 b	-4.17 ± 0.3 b
300 ppb 1-MCP	-6.64 ± 0.5 a	-5.91 ± 0.4 b	-5.76 ± 0.5 b	-5.34 ± 0.9 b	-5.11 ± 0.8 c
F-test	ns	*	*	*	*
% C.V.	8.42	10.27	11.91	10.98	11.83

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

¹ แสดงค่า mean±SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

² อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 15 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของผักวานิลลาที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	14.02 ± 0.3 ^a	16.95 ± 0.4 a	17.97 ± 0.5 a	19.24 ± 0.6 a	22.14 ± 0.8 a
150 ppb 1-MCP	13.95 ± 0.5 a	15.78 ± 0.6 ab	16.31 ± 0.7 b	16.93 ± 0.4 b	18.66 ± 0.7 b
300 ppb 1-MCP	13.98 ± 0.4 a	14.28 ± 0.3 b	14.92 ± 0.5 c	15.09 ± 0.5 c	15.23 ± 0.1 c
F-test	ns	*	*	*	*
% C.V.	9.83	10.75	11.47	10.92	11.58

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^a แสดงค่า mean±SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^b อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน ในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 16 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้รับและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	0.00 ± 0.0 ^u a ^v	2.84 ± 0.9 a	3.97 ± 0.5 a	4.42 ± 0.4 a	5.21 ± 0.7 a
150 ppb 1-MCP	0.00 ± 0.0 a	2.01 ± 0.6 b	2.29 ± 0.3 b	3.08 ± 0.2 b	3.56 ± 0.3 b
300 ppb 1-MCP	0.00 ± 0.0 a	1.95 ± 0.4 b	2.04 ± 0.5 c	2.13 ± 0.1 c	2.25 ± 0.4 c
F-test	ns	*	*	*	*
% C.V.	0.00	8.70	10.36	11.48	10.29

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 17 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่ได้อรมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	0.00 ± 0.0 ^u a ^v	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	20.00 ± 0.0 a
150 ppb 1-MCP	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	10.00 ± 0.0 b
300 ppb 1-MCP	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 c
F-test	ns	ns	ns	ns	*
% C.V.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 18 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) และการละลายของเพกทิน (pectin solubilization) ของฝักรับผลที่ไม่ได้รมและที่รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 150 และ 300 พีพีบี นาน 6 ชั่วโมง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Pectin content (μg galacturonic acid/mg AIS)				
	Total pectin	Water soluble pectin	CDFA soluble pectin	Na_2CO_3 soluble pectin	KOH soluble pectin
Control	$43.28 \pm 0.5^{\text{u}}$ c ^z	33.23 ± 0.4 a	19.15 ± 0.3 c	10.04 ± 0.4 b	5.00 ± 0.4 b
150 ppb 1-MCP	56.42 ± 0.3 b	30.11 ± 0.9 b	21.54 ± 0.8 b	11.67 ± 0.6 b	7.53 ± 0.5 a
300 ppb 1-MCP	62.04 ± 0.4 a	25.73 ± 0.7 c	27.42 ± 0.7 a	20.81 ± 0.5 a	7.06 ± 0.6 a
<i>F</i> -test	*	*	*	*	*
% C.V.	6.62	7.95	7.46	8.34	9.06

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean \pm SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^z อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน ในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 19 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*) ของฝักวานิลลาที่ไม่รมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับ ไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอธิฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	28.09 ± 0.7 ^a	32.74 ± 1.0 ^b	35.98 ± 0.8 ^b	37.53 ± 0.5 ^b	38.76 ± 0.4 ^b
500 ppm Ethephon	27.93 ± 0.2 ^a	35.99 ± 0.6 ^a	38.74 ± 0.4 ^a	40.12 ± 0.6 ^a	41.28 ± 0.8 ^a
300 ppb 1-MCP + 500 ppm Ethephon	28.01 ± 0.3 ^a	33.46 ± 0.4 ^b	33.85 ± 0.4 ^c	35.72 ± 0.3 ^c	36.24 ± 0.5 ^c
F-test	ns	*	*	*	*
% C.V.	6.69	9.85	10.93	11.76	11.94

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^a แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^b อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 20 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า a*) ของฝักรวมและรวมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิลฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	-7.04 ± 0.3 ^u a ^v	-5.53 ± 0.5 a	-4.60 ± 0.4 a	-4.29 ± 0.5 b	-3.85 ± 0.8 b
500 ppm Ethephon	-6.98 ± 0.3 a	-5.38 ± 0.4 a	-4.32 ± 0.7 a	-3.98 ± 0.5 b	-2.74 ± 1.1 a
300 ppb 1-MCP + 500 ppm Ethephon	-7.07 ± 0.4 a	-6.84 ± 0.2 b	-6.08 ± 0.3 b	-5.93 ± 0.6 c	-5.38 ± 0.5 c
F-test	ns	*	*	*	*
% C.V.	8.36	9.52	10.68	11.54	12.03

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 21 การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า b*) ของฝักวานิลลาที่ไม่รรมและรมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิลฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	14.13 ± 0.5 ^u a ^v	16.97 ± 0.2 a	17.32 ± 0.4 a	19.88 ± 0.5 b	21.13 ± 0.3 b
500 ppm Ethephon	13.99 ± 0.4 a	16.74 ± 0.1 a	18.98 ± 0.3 a	21.37 ± 0.2 a	23.54 ± 0.5 a
300 ppb 1-MCP + 500 ppm Ethephon	14.08 ± 0.3 a	14.54 ± 0.1 b	15.05 ± 0.5 b	15.48 ± 0.4 c	16.73 ± 0.3 c
<i>F</i> -test	ns	*	*	*	*
% C.V.	7.81	8.93	9.84	10.21	11.86

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean±SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 22 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่รวมและรวมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิลฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	0.00 ± 0.0 ^u a ^z	2.65 ± 0.2 ab	3.11 ± 0.3 b	3.92 ± 0.4 c	4.37 ± 0.4 b
500 ppm Ethephon	0.00 ± 0.0 a	2.89 ± 0.2 a	3.98 ± 0.1 a	4.76 ± 0.5 a	5.05 ± 0.2 a
300 ppb 1-MCP + 500 ppm Ethephon	0.00 ± 0.0 a	1.83 ± 0.1 b	2.15 ± 0.2 c	2.41 ± 0.1 b	2.46 ± 0.3 c
<i>F</i> -test	ns	*	*	*	*
% C.V.	0.00	5.38	6.81	7.04	9.95

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^z อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน ในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 23 การแตกของฝักวานิลลา (เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่รวมและรวมสาร 1-MCP ร่วมกับ ไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิลฟอน เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Days in storage				
	0	1	2	3	4
Control	0.00 ± 0.0 ^u a ^v	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	20.00 ± 0.0 a
500 ppm Ethephon	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	20.00 ± 0.0 a
300 ppb 1-MCP + 500 ppm Ethephon	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 a	0.00 ± 0.0 b
<i>F</i> -test	ns	ns	ns	ns	*
% C.V.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean ± SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^v อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ตารางภาคผนวกที่ 24 ปริมาณเพกทินทั้งหมด (total pectin) และการละลายของเพกทิน (pectin solubilization) ของฝักรวมและรวมสาร 1-MCP ร่วมกับไม่จุ่มและจุ่มสารละลายเอทิลฟอน หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน

Treatments	Pectin content (μg galacturonic acid/mg AIS)				
	Total pectin	Water soluble pectin	CDTA soluble pectin	Na_2CO_3 soluble pectin	KOH soluble pectin
Control	$48.27 \pm 0.6^{\text{b}}$ ^u	$23.19 \pm 0.5^{\text{b}}$	$19.22 \pm 0.5^{\text{b}}$	$12.39 \pm 0.7^{\text{b}}$	$5.01 \pm 0.5^{\text{b}}$
500 ppm Ethephon	$37.98 \pm 0.5^{\text{c}}$	$37.61 \pm 0.4^{\text{a}}$	$12.03 \pm 0.6^{\text{c}}$	$8.94 \pm 0.3^{\text{c}}$	$4.65 \pm 0.6^{\text{b}}$
300 ppb 1-MCP + 500 ppm Ethephon	$60.53 \pm 0.5^{\text{a}}$	$19.80 \pm 0.6^{\text{c}}$	$25.85 \pm 0.3^{\text{a}}$	$22.74 \pm 0.4^{\text{a}}$	$7.76 \pm 0.5^{\text{a}}$
<i>F</i> -test	*	*	*	*	*
% C.V.	8.31	10.57	13.25	12.09	11.82

หมายเหตุ * แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ns แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^u แสดงค่า mean \pm SD (Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูล)

^z อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

%C.V. = ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นค่าส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวพรพรรณ นุชโพธิ์พันธุ์
 วัน เดือน ปีเกิด 20 มีนาคม 2532
 ที่อยู่ 9/1 หมู่ 6 ตำบลสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72230
 โทร 08-5848-7998
 ประวัติการศึกษา 2553 วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน (เกียรตินิยมอันดับ 1)
 คณะเทคโนโลยีการเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานตีพิมพ์

2555

การเปลี่ยนแปลงปริมาณและการกระจายตัวโมเลกุลของเพกทินของฝัก
 วานิลลา วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ)
 กันยายน-ธันวาคม: 436-439



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณและการกระจายตัวโมเลกุลของเพกตินของฝักวานิลลา Changes in Content and Molecular Size Distribution of Pectin in Vanilla Pods

พรพรรณ นุชโพพันธ์¹ ลำแพน ขวัญพูล¹ และ ธิติมา วงษ์ศรี²
Pornphan Nuchpophan¹, Lampan Khurnpoon¹ and Thitima Wongsheree²

Abstract

Vanilla pod shattering before processing is a main problem. The objective of this research was to investigate the changes in pectin content and molecular size distribution of pectin in the shattering and non-shattering zones of vanilla pods. Vanilla pods were harvested at three maturity stages: immature green 0% yellow, mature 10% yellow and over mature 50% yellow. The results showed that total pectin in the non-shattering zone was higher than that in the shattering zone. However, the over mature pods had lower water soluble pectin content than those harvested at the other stages with the non-significant difference between the shattering and non-shattering zones. Water soluble pectin content from the pods harvested at all the stages was higher in the shattering zone than that in the non-shattering zone. There was higher sodium carbonate (Na_2CO_3) soluble pectin content in the shattering zone with the significant difference between the shattering zone and non-shattering zone of the pods harvested at the immature green and mature stages. The non-significant difference between the shattering and non-shattering zones was found in 1,2-cyclohexanediamine tetraacetic acid (CDTA) and potassium hydroxide (KOH) soluble pectin for all the three stages. The study of molecular size distribution of pectin in showed that the molecular size distribution of pectin solubilized in water, 1,2-cyclohexanediamine tetraacetic acid (CDTA), sodium carbonate (Na_2CO_3) and potassium hydroxide (KOH) from the pods at the over mature stage had decreased more rapidly than that in the mature and immature green stages, respectively. In addition, the molecular size distribution of pectin in the shattering zone was distribute to smaller size than that in the non-shattering zone.

Keywords: shattering, pectin, molecular size distribution

บทคัดย่อ

ฝักวานิลลามักเกิดการแตกก่อนการแปรรูป จัดตั้งประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณและการกระจายตัวโมเลกุลของเพกตินในบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝักวานิลลา 3 ระยะการเก็บเกี่ยว ได้แก่ ระยะฝักอ่อน (สีเหลือง 0%) ฝักเริ่มเปลี่ยนสี (สีเหลือง 10%) และฝักแก่ (สีเหลือง 50%) พบว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกมีปริมาณเพกตินรวมมากกว่าบริเวณรอยแตกของฝักในทุกระยะของการเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกมีค่าน้อยกว่าในบริเวณรอยแตกของฝักในทุกระยะของการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม พบว่าเมื่อเก็บเกี่ยวในระยะฝักแก่เพกตินที่ละลายได้ในน้ำมีปริมาณน้อยกว่าในระยะอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตก สำหรับเพกตินที่ละลายใน Na_2CO_3 พบว่ามีปริมาณมากในบริเวณรอยแตก โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกในระยะฝักอ่อนและฝักเริ่มเปลี่ยนสี ส่วนปริมาณเพกตินที่ละลายในสารละลาย CDTA และ KOH พบว่าไม่แตกต่างกันระหว่างบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝักในทุกระยะของการเก็บเกี่ยว เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวโมเลกุลของเพกติน พบว่าระยะฝักแก่มีการกระจายตัวโมเลกุลของเพกตินที่ละลายในน้ำ CDTA, Na_2CO_3 และ KOH ลดลงมากกว่าระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและฝักอ่อน ตามลำดับ โดยบริเวณรอยแตกมีการกระจายตัวโมเลกุลของเพกตินลดลงมากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตก

คำสำคัญ: รอยแตก เพกติน การกระจายตัวโมเลกุล

¹ หลักสูตรพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² Program of Horticulture, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

³ สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

⁴ Institute for Scientific and Technological Research and Services, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

คำนำ

วานิลลา (Vanilla) อยู่ในวงศ์กล้วยไม้ (Orchidaceae) มีถิ่นกำเนิดในประเทศเม็กซิโก ผลผลิตของวานิลลาที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมาก ปริมาณการใช้และการนำเข้าฝักวานิลลาจากต่างประเทศ ในปี 2542-2550 รวม 2,997 และ 6,940 กิโลกรัม มูลค่าประมาณ 4.34 ล้านบาท และ 0.40 ล้านบาท ตามลำดับ และความต้องการผลผลิตวานิลลามีแนวโน้มมากขึ้น (สิริพร และคณะ, 2552) ประโยชน์ของฝักวานิลลาคือการนำกลั่นมาใช้ในการปรุงแต่งกลิ่น รสอาหาร รวมทั้งเครื่องดื่ม ซึ่งฝักจะมีกลิ่นหอมเพิ่มขึ้นเมื่อสีของฝักเข้มขึ้น และค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนในที่สุดหมดกลิ่น ฝักวานิลลาที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมกับการแปรรูป คือ ฝักแก่ โดยปลายฝักจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่ในขณะนี้มีเกิดการแตกของฝัก (Minoo *et al.*, 2006) เกิดความเสียหาย ทั้งก่อนการบ่ม ระหว่างการบ่ม หรือในกระบวนการแปรรูปฝัก การแตกของฝักพบว่าเป็นปัญหาในทางการเกษตรอย่างมาก เมื่อเมล็ดภายในเจริญเติบโตเต็มที่ฝักจะเหี่ยวและแตก บางกรณีฝักอาจแตกก่อนที่เมล็ดพัฒนาเต็มที่ ก่อให้เกิดความเสียหาย (จริงแท้, 2549; Patterson, 2001) การแตกของผลหรือฝักมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ ได้แก่ เพกทิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยมีเอนไซม์ที่มีบทบาทเกี่ยวข้อง เช่น polygalacturonase (PG) และ pectin methylesterase (PME) เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับการสลายโมเลกุลของผนังเซลล์ และการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของโมเลกุล (Khurnpoon *et al.*, 2008) โดยเฉพาะเพกทินที่ก่อให้เกิดการแตกของผลหรือฝักในพืชบางชนิด รวมทั้งฝักวานิลลา จึงได้ทำการศึกษาปริมาณและการกระจายตัวโมเลกุลของเพกทินของฝักวานิลลา

อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บตัวอย่างฝักวานิลลาจากแปลงปลูกในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่ เดือนมกราคม ถึง มีนาคม นำฝักวานิลลาบรรจุในถุงพลาสติกเจาะรู ขนส่งฝักวานิลลามาทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว หลักสูตรพืชสวน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design ประกอบด้วย 3 ทรีเมนต์ ได้แก่ ฝักอ่อน (สีเหลือง 0%) ฝักเริ่มเปลี่ยนสี (สีเหลือง 10%) และฝักแก่ (สีเหลือง 50%) โดยแต่ละทรีเมนต์ใช้ฝักวานิลลา 20 ฝัก จากนั้นทำการตัดชิ้นตัวอย่างเนื้อเยื่อบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝัก สกัดแยกเอาผนังเซลล์ออกจากส่วนอื่นๆ ด้วยเอทานอล 95% บดให้ละเอียดและกรองด้วยผ้าขาวบาง นำเฉพาะส่วนเนื้อที่กรองได้มาทำการล้างด้วยอะซิโตน ปริมาตร 20 ml นำไปอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างแห้งมาบดละเอียด นำไปสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณเพกทินรวม (total pectin) และเพกทินที่ละลายได้ในสารละลายต่างๆ (pectin fractions) ตามลำดับ คือ ปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ ปริมาณเพกทินที่ละลายใน CDTA ปริมาณเพกทินที่ละลายใน Na₂CO₃ และปริมาณเพกทินที่ละลายใน KOH นำตัวอย่างที่สกัดได้จากแต่ละขั้นตอนไปวัดปริมาณเพกทิน ดัดแปลงตามวิธีการของ Brummell และ Labavitch (1997) โดยดูตัวอย่างจากแต่ละหลอด sodium tetraborate (Na₂B₄O₇) ความเข้มข้น 0.0125 M ใน conc. sulfuric acid (H₂SO₄) ปริมาตร 4 ml เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย m-hydroxyphenyl ความเข้มข้น 0.15% ใน sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.5% ปริมาตร 20 μ l เขย่าส่วนผสมให้เข้ากัน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 520nm การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของโมเลกุลของเพกทิน โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดเพกทินที่ละลายในสารละลายชนิดต่างๆ ข้างต้น ปริมาตร 5 ml นำไปไหลตัวอย่างลงบนคอลัมน์การกระจายตัว 200 cm³ ที่บรรจุด้วย sepharose 4B จากนั้นชะด้วยสารละลาย sodium acetate buffer pH 6.0 โดยมีอัตราการเคลื่อนที่ของสารผ่านคอลัมน์เท่ากับ 1.33 cm³/min เก็บตัวอย่างที่เคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ในหลอดทดลองหลอดละ 3 ml จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดปริมาณเพกทินเช่นเดียวกับวิธีการข้างต้น (Brummell and Labavitch, 1997)

ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพกทินของฝักวานิลลา

จากการสกัดเพื่อหาปริมาณเพกทินของฝักวานิลลา พบว่าเพกทินรวมบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกมีปริมาณมากกว่าบริเวณที่เกิดรอยแตกในทุกๆระยะของการเก็บเกี่ยว โดยระยะฝักแก่มีปริมาณเพกทินรวมในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกมากที่สุด คือ 56.98 μ g galacturonic acid/mg AIS สอดคล้องกับปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกมีค่าน้อยกว่าบริเวณรอยแตกของฝักในทุกๆระยะของการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม พบว่าเมื่อเก็บเกี่ยวในระยะฝักแก่เพกทินที่ละลายได้ในน้ำมีปริมาณน้อยกว่าในระยะอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตก สำหรับเพกทินที่ละลายใน Na₂CO₃ มีปริมาณมากในบริเวณรอยแตก โดยในระยะฝักอ่อนมีปริมาณมากที่สุด คือ 21.74 μ g galacturonic acid/mg AIS และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตก ในระยะฝักอ่อนและฝักเริ่มเปลี่ยนสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนปริมาณเพกตินที่ละลายในสารละลาย CDTA และ KOH มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝักในทุกๆระยะของการเก็บเกี่ยว (Table 1)

การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวโมเลกุลของเพกติน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวโมเลกุลของเพกติน พบว่าระยะฝักแก่มีการกระจายตัวโมเลกุลของเพกตินที่ละลายในน้ำ CDTA, Na₂CO₃ และ KOH ลดลงมากกว่าระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและฝักอ่อน ตามลำดับ และบริเวณรอยแตกของฝักวานิลลา มีการกระจายตัวโมเลกุลของเพกตินลดลงมากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกในทุกๆระยะของการเก็บเกี่ยว (Figure 1)

Table 1 Changes in pectin content in shattering zone (SZ) and non-shattering zone (NSZ) from three maturity stages of vanilla pods

	Stages of harvest					
	Immature green 0% yellow		Mature 10% yellow		Over mature 50% yellow	
	SZ	NSZ	SZ	NSZ	SZ	NSZ
Total pectin	50.22±1.2 bB ^U	52.79±1.6 bA	53.65±0.5 aB	55.32±0.1 abA	52.82±0.3 aB	56.98±0.3 aA
Water soluble pectin	36.53±0.5 aA	35.49±0.8 aA	34.45±0.1 bA	30.52±0.5 bB	31.63±0.5 cA	30.28±0.1 bA
CDTA soluble pectin	28.13±1.9 aA	29.42±1.8 aA	25.84±0.7 bA	23.20±1.0 bA	18.58±0.5 cA	17.50±0.2 cA
Na ₂ CO ₃ soluble pectin	21.74±1.7 aA	16.60±0.5 aB	17.09±0.5 bA	13.69±1.4 bB	15.04±0.3 cA	14.59±0.5 abA
KOH soluble pectin	6.05±0.2 aA	5.21±0.2 aA	5.73±0.4 abA	5.25±0.3 aA	4.83±0.4 bA	4.00±0.8 bA

^U Mean ± SD followed by different small or capital letters within row are significantly different by DMRT, P < 0.05

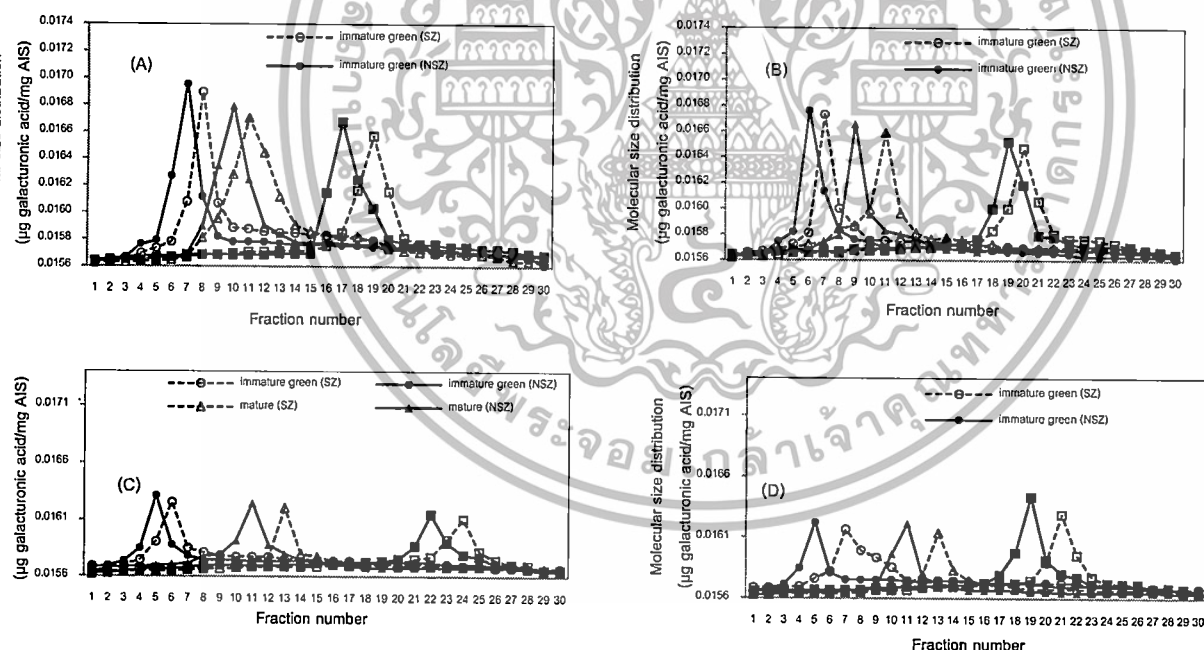


Figure 1 Molecular size distribution of water (A), CDTA (B), Na₂CO₃ (C) and KOH (D) soluble fraction in shattering and non-shattering zone from three maturity stages of vanilla pods

วิจารณ์ผล

จากการทดลอง พบว่าระยะการเก็บเกี่ยวของฝักวานิลลา มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและการกระจายตัวโมเลกุลของเพกติน รวมทั้งบริเวณรอยแตกและบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตก โดยบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกมีปริมาณเพกตินรวมมากกว่าบริเวณรอยแตกของฝักในทุกๆระยะของการเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ ในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกมีค่าน้อยกว่าในบริเวณรอยแตกของฝักในทุกๆระยะของการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ในระยะฝักแก่เพกตินที่ละลายได้ในน้ำจะมากกว่าระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและระยะฝักอ่อน เนื่องจากปริมาณของเพกตินที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาของการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นที่ระยะผลสุกหรือฝักแก่ ส่วนเพกทินที่ละลายใน CDTA และ Na_2CO_3 มีปริมาณลดลงเมื่อความสุกเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับพืชชนิดอื่น เช่น มะเขือเทศ (Huber, 1983) องุ่น (Nunan *et al.*, 1998) ทุเรียน (Khurnpoon *et al.*, 2008) และมะละกอ (วิรัชยา และคณะ, 2554) เป็นต้น และในขณะที่ระยะฝักแก่มีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่วนที่ไม่ละลายลดลง เช่นเดียวกับแกนของโมเลกุลของเพกทินก็จะถูกสลายให้เล็กลงเช่นกัน (จริงแท้, 2550; Rugkong *et al.*, 2010) โดยพบว่าการกระจายตัวโมเลกุลของเพกทินบริเวณรอยแตกของฝักวานิลลาที่มีการกระจายตัวลดลงมากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตก และการกระจายตัวโมเลกุลของเพกทินที่ละลายในน้ำ CDTA, Na_2CO_3 และ KOH ในระยะฝักแก่ลดลงมากกว่าในระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและระยะฝักอ่อน แสดงให้เห็นว่าการแตกของฝักวานิลลาเกี่ยวข้องกับการสลายโมเลกุลของผนังเซลล์ โดยเฉพาะเพกทิน

สรุป

บริเวณที่เกิดรอยแตกมีปริมาณเพกทินรวมน้อยกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตก ส่วนบริเวณรอยแตกมีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำมากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกของฝักในทุกระยะของการเก็บเกี่ยว โดยระยะฝักแก่มีปริมาณเพกทินรวมในบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตกมากที่สุด ในขณะที่ระยะฝักอ่อนมีปริมาณเพกทินที่ละลายได้ในน้ำบริเวณรอยแตกมากที่สุด และบริเวณรอยแตกมีการกระจายตัวโมเลกุลของเพกทินที่ละลายได้ในสารละลายชนิดต่างๆ ลดลงมากกว่าบริเวณที่ไม่เกิดรอยแตก โดยในระยะฝักแก่มีการกระจายตัวโมเลกุลของเพกทินลดลงมากกว่าระยะฝักเริ่มเปลี่ยนสีและฝักอ่อน ตามลำดับ

คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง อ. แม่วาง จ. เชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างฝักวานิลลาและขอขอบคุณห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว หลักสูตรพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จริงแท้ ศิริพานิช. 2550. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. นครปฐม. 453 หน้า.
- วิรัชยา ครอบงุมติ วาริช ศรีละออง และ ศิริชัย กัลยานรัตน์. 2554. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ของมะละกอพันธุ์แขกดำและเวดมา ราดอลที่ระยะความแก่ต่างๆ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42: 107-110.
- สิริพร สีแดง, ธิติมา วงษ์ศิริ, สุเมธ ท่านเจริญ, วันเพ็ญ วรวงศ์พงศา และ ชนะ พรหมทอง. 2553. การผลิต การตลาดและการวิจัยวานิลลาในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41: 469-472.
- Brummell, D.A. and J.M. Labavitch. 1997. Effect of antisense suppression of endopolygalacturonase activity on polyuronide molecular weight in ripening tomato fruit and in fruit homogenates. *Plant Physiology* 115: 717-725.
- Huber, D. J. 1983. The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Horticulture Review Journal* 5: 169-215.
- Khurnpoon, L., J. Siriphanich and J. M. Labavitch. 2008. Cell wall metabolism during durian fruit dehiscence. *Postharvest Biology and Technology* 48: 391-401.
- Minoo, D., N. K. Babu and K. V. Peter. 2006. Conservation of vanilla species, *in vitro*. *Scientia Horticulturae*. 110: 175-180.
- Nunan, J.K., I.M.Sims, A. Bacic, S. P. Robinson and G. B. Fincher. 1998. Change in cell wall composition during ripening of grape berries. *Plant Physiology* 118: 783-792.
- Patterson, S. E. 2001. Cutting loose: Abscission and dehiscence in Arabidopsis. *Plant Physiol.* 126: 494-500.
- Rugkong, A., J. K. C. Rose, S. J. Lee, J. J. Giovannoni, M. A. O'Neill and C. B. Watkins. 2010. Cell wall metabolism in cold-stored tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 57: 106-113.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้