บทบาทของเอทิลีนและ 1- Methylcyclopropene ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว

The Role of Ethylene and 1-Methylcyclopropene on Postharvest Ripening in Oil Palm Fruits

นฤมล นวลวิจิตร

Narumol Nualwijit

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ บทบาทของเอทิลีนและ 1-Methylcyclopropene ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว

ผู้เขียน นางสาวนฤมล นวลวิจิตร

สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)

คณะกรรมการสอบ

……ประธานกรรมการ

(ดร.อดิเรก รักคง)

…….....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)

…….....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชิรญา อิ่มสบาย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

……

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวนฤมล นวลวิจิตร)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวนฤมล นวลวิจิตร)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ บทบาทของเอทิลีนและ 1-Methylcyclopropene ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว

ผู้เขียน นางสาวนฤมล นวลวิจิตร

สาขาวิชา พืชศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ผลปาล์มน้ำมันจัดเป็นผลประเภทไคลแมคทอริก เอทิลีนจึงเป็นฮอร์โมนที่มีบทบาทต่อการควบคุมการสุกของผล ความรู้ความเข้าใจในบทบาทดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการจัดการปาล์มน้ำมันก่อนเข้าสกัดในโรงงานเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณและคุณภาพดี ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการทดลองในครั้งนี้เพื่อศึกษาบทบาทของเอทิลีนและเมทิลไซโคลโพรพีนต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมัน ปริมาณน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระและการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ไลเปส โดยดำเนินการทดลองกับทะลายปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอราหลังเก็บเกี่ยว ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี คือ ชุดควบคุม การบ่มด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ นาน 24 ชั่วโมง การรม 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $n l L^{-1}$ นาน 18 ชั่วโมง และการรม 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน ผลการศึกษาพบว่า เอทิลีนเร่งการสุกของผลปาล์มน้ำมันโดยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีผลจากสีม่วงดำเป็นสีแดงอมส้มเร็วขึ้น สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงของผลโดยทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงมากกว่าชุดควบคุม ในขณะที่การรม 1-MCP ให้ผลตรงข้ามเอทิลีน สำหรับปริมาณน้ำมันพบว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ทั้งได้รับและไม่ได้รับเอทิลีนมีปริมาณน้ำมันสูงสุด การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระในชุดควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากกว่าทะลายปาล์มน้ำมันทุกทรีทเมนต์ นอกจากนี้การศึกษาผลของการให้ทรีทเมนต์เอทิลีนและ 1-MCP ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระทำให้คุณภาพน้ำมันลดลง ผลการทดลองพบว่าเอทิลีนมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสเพิ่มขึ้น แต่ไม่สอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่ต่ำกว่าชุดควบคุม ในขณะที่ 1-MCP มีผลทำให้กิจกรรมเอนไซม์ไลเปสมีค่าต่ำสุด และสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าชุดควบคุม อย่างไรก็ตามการให้ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนมีกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสไม่แตกต่างจากชุดควบคุมซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม

Thesis Title	The Role of Ethylene and 1-Methylcyclopropene on Postharvest Ripening in Oil Palm Fruits
Author	Miss Narumol Nualwijit
Major Program	Plant Science
Academic Year	2015

ABSTRACT

Oil palm (*elaeis guineensis jacq*.) fruits are classified as a climacteric type, therefore, ethylene plays a major role in fruit ripening. This knowledge and understanding will be used on management of fresh fruit bunches before mill process to gain the good quantity and quality of crude palm oil. The objective of this study is to investigate the roles of ethylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening, oil content, free fatty acid and lipase activity of oil palm fruits after harvest. Three experiments were conducted with fresh fruit bunches of Tenera variety oil palm. Effect of ethylene and 1-MCP on ripening of oil palm fruit was investigated. There were four treatment including; control exposure with 1,000 mlL^{-1} ethylene for 24 h, fumigation with 1,000 nlL^{-1} 1-MCP for 18 h and fumigation with 1-MCP prior treatment with ethylene. It was found that ethylene significantly accelerated ripening of oil palm fruit by promoting the coloring. Also, the percentage of abscission in ethylene treated fruits was higher than the control, while 1-MCP delayed the ripening. The highest of oil content were found in fruit treated with 1-MCP and 1-MCP prior ethylene. Changes in the level of free fatty acid of the control fruits were increased and higher than those of the other treatments. In addition, Lipase activity that releases free fatty acid and causes consequential oil losses. It was found that ethylene exposure significantly increased lipase activity, but the level of free fatty acid was lower than the control. In contrast, 1-MCP treated oil palm fruits showed the lowest of lipase activity and the level of free fatty acid was lower than in the control. Lipase activity of oil palm fruits treated with

1-MCP prior ethylene was not significantly difference when comparing with the untreated fruits, but the level of free fatty acid was lower than the control.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยชี้แนะ ให้คำปรึกษาในทุกเรื่อง ทั้งในด้านการทำงานและการเขียนต่าง ๆ และขอกราบขอบพระคุณ ดร.อดิเรก รักคง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วชิรญา อิ่มสบาย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา รวมถึงบุคคลากรภาควิชาพืชศาสตร์ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบคุณสถานวิจัยความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ สถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน ระยะที่ 2 คณะทรัพยากรธรรมชาติ และบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนส่วนหนึ่งในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคุณป้าแช่ม คุณลุงภู ที่ให้ความอนุเคราะห์ปาล์มน้ำมันเพื่อทำการวิจัย น้าเอียด น้าคด น้องจุน น้องจุ๋ม น้องกิ่ง ที่คอยช่วยเหลือในการปฏิบัติงานที่ อ.สะเดา จ.สงขลา

ขอบคุณเพื่อน ๆ NR30 โม วี แอ๋ว ห๊ะ แนน ก้อย ที่คอยช่วยเหลือทั้งในการปฏิบัติงานและคำแนะนำ และเพื่อน ๆ ร.ร.เมืองกระบี่ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจที่ดีตลอดมา และเพื่อน ๆ พี่ ๆ ปริญญาโททุกท่านที่คอยช่วยเหลือให้กำลังใจในการปฏิบัติงาน

ขอบคุณคุณดนุพงศ์ ปราบปรี และครอบครัว ที่คอยช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน

ทั้งนี้ขอขอบพระคุณคุณแม่จรัสศรี นวลวิจิตร ที่คอยให้กำลังใจในการเรียน ให้การสนับสนุนในการปฏิบัติงาน คุณปู่ คุณย่า น้องชาย น้องสาว และคุณพ่อจำรูญ นวลวิจิตร ที่เป็นแรงบันดาลใจในการเรียน ขอให้ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้จงอุทิศผลบุญให้แด่คุณพ่อจำรูญ และคุณย่าเป้า นวลวิจิตร

นฤมล นวลวิจิตร

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		(5)
Abstract		(6)
กิตติกรรมประกาศ		(8)
สารบัญ		(9)
รายการตาราง		(10)
รายการภาพประกอบ		(11)
บทที่		
1	บทนำ	1
	บทนำต้นเรื่อง	1
	ตรวจเอกสาร	2
	วัตถุประสงค์	24
2	วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	25
	วัสดุ อุปกรณ์	25
	วิธีดำเนินการ	28
3	ผล	42
4	วิจารณ์	87
5	สรุป	92
เอกสารอ้างอิง		94
ภาคผนวก		100
ประวัติผู้เขียน		123

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันระหว่างการพัฒนาของเนื้อผลปาล์มน้ำมัน	7
2	ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ	8
3	การแบ่งประเภทของทะลายปาล์มน้ำมัน	14
4	ปริมาณเอทิลีนที่ใช้รมในแต่ละความเข้มข้น	30
5	ปริมาณ 1-MCP ที่ใช้รมในแต่ละความเข้มข้นตามอัตราส่วน 1-MCP : น้ำกลั่น (1 : 16)	32

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในเนื้อผลปาล์มน้ำมันที่ระยะพัฒนาต่าง ๆ	6
2	การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในช่วงการพัฒนาผลปาล์มน้ำมัน	9
3	การพัฒนาสีผลของทะลายปาล์มน้ำมันสีผลแบบ *nigrescens* และสีผลแบบ *virescens*	11
4	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีผลปาล์มน้ำมันพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1-6	12
5	กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	19
6	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและการสังเคราะห์เอสเทอร์ของเอนไซม์ไลเปสในน้ำมัน	20
7	ขั้นตอนการรมเอทิลีนในตู้รมสาร	31
8	ขั้นตอนการรม 1-MCP ในตู้รมสาร	33
9	บริเวณที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงสีของผลปาล์มน้ำมัน	34
10	ระดับการช้ำของผลปาล์มน้ำมัน	35
11	การเตรียมผลปาล์มน้ำมันสำหรับสกัดเอนไซม์ไลเปส	38
12	ลักษณะตัวอย่างหลังจากปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4ºC เป็นเวลา 15 นาที	39
13	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของเปลือกผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$	45
14	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของเปลือกผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน ทะลาย กลางทะลาย และปลายทะลายหลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$	46
15	การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงของเปลือกผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน กลาง และปลายทะลาย หลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	47
16	การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของเปลือกผลปาล์มน้ำมันส่วนโคนทะลาย กลาง และปลายทะลาย หลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	48

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ลักษณะการช้ำของผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน กลาง และปลายทะลายหลังจากได้รับเอทิลีนเป็นเวลา 4 วัน	50
18	อัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับเอทิลีนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	52
19	ลักษณะการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายภายหลังได้รับเอทิลีนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 วัน	53
20	แรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันให้หลุดออกจากทะลายหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	54
21	ปริมาณน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	55
22	ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	56
23	ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของเปลือกผลหลังได้รับ 1-MCP 0 500 และ 1,000 $nl L^{-1}$	60
24	ค่าความสว่างของเปลือกผลจากส่วนโคนทะลาย กลางทะลาย และปลายทะลาย หลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 $nl L^{-1}$	61
25	ค่าสีแดงของเปลือกผลจากส่วนโคนทะลาย กลางทะลาย และปลายทะลาย หลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 $nl L^{-1}$	62
26	ค่าสีเหลืองของเปลือกผลจากส่วนโคนทะลาย กลางทะลาย และปลายทะลาย หลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 $nl L^{-1}$	63
27	ลักษณะการช้ำของผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน กลาง และปลายทะลายหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 $nl L^{-1}$ เป็นเวลา 4 วัน	65
28	อัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับสาร 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง	66
29	การร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายหลังได้รับ 1-MCP เป็นเวลา 4 วัน	67

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	แรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง	68
31	ปริมาณน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง	69
32	ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง	70
33	ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของผลปาล์มน้ำมัน หลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	74
34	ค่าความสว่างของเปลือกผลจากส่วนโคนทะลาย กลางทะลาย และปลายทะลาย หลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	75
35	ค่าสีแดงของเปลือกผลจากส่วนโคนทะลาย กลางทะลาย และปลายทะลาย หลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	76
36	ค่าสีเหลืองของเปลือกผลจากส่วนโคนทะลาย กลางทะลาย และปลายทะลาย หลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	77
37	ลักษณะการช้ำของผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน กลาง และปลายทะลาย หลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	79
38	อัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	80
39	ลักษณะการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP เป็นเวลา 4 วัน	81
40	แรงดึงผลปาล์มน้ำมันให้หลุดร่วงออกจากทะลายหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	82
41	ปริมาณน้ำมันหลังจากได้รับได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	83
42	ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังจากได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP	84
43	กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีนและสาร 1-MCP	86

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย (พรชัย, 2549) และเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด มีปริมาณการผลิตอยู่ในอันดับ 1 ของโลกเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น (ธีระ, 2554) ในปัจจุบันความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งในด้านอุตสาหกรรมอาหาร ไบโอดีเซล จึงได้มีการปรับปรุงคุณภาพและปริมาณน้ำมันปาล์มให้เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต (Murphy, 2009) อีกทั้งการจัดการปาล์มน้ำมันหลังเก็บเกี่ยวที่ดียังมีผลต่อปริมาณและคุณภาพน้ำมันอีกด้วย (เพ็ญศิริ และคณะ, 2554) การขาดประสิทธิภาพในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวทำให้น้ำมันที่สกัดได้จากทะลายลดลงเหลือเพียง 15-16% ส่งผลให้สูญเสียน้ำมันปาล์มดิบไปกว่า 20,000-40,000 ตัน/ปี (ธนสิทธิ์, 2553)

อายุผลปาล์มน้ำมันที่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวอยู่ที่ประมาณ 5 ½ - 6 เดือน หลังการผสมเกสร (พรชัย, 2549) ช่วงที่ผลปาล์มน้ำมันแก่จัดจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางเคมี ซึ่งในช่วงการพัฒนาของผลภายในส่วนเนื้อผล (mesocarp) มีการสะสมแป้งเพิ่มขึ้นแล้วจึงเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันที่เรียกว่า กลีเซอไรด์ (glyceride) โดยในระยะที่ผลปาล์มน้ำมันเริ่มสุกมีการเปลี่ยนแปลงสีผลและมีเอนไซม์ไลเปสเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลทำให้กลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล (glycerol) (Henderson and Osborne, 1991; Sambanthamurthi *et al*., 2000) นอกจากนี้ผลปาล์มน้ำมันที่เริ่มเข้าสู่ระยะการสุกจะมีกรดไขมันอิสระอยู่ในระดับต่ำ (1-5%) แต่หลังจากตัดทะลายออกจากต้นและถ้าผลปาล์มน้ำมันมีบาดแผลที่เกิดจากการตกกระแทกหรือกระทบกระเทือนในระหว่างขนส่ง กรดไขมันอิสระในส่วนของเปลือกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (พรชัย, 2549; Hadi *et al*., 2009) เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำมันปาล์มของประเทศมาเลเซียกำหนดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบไม่เกิน 5% (พรชัย, 2549) ดังนั้น การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ดีเพื่อป้องกันหรือชะลอการเพิ่มขึ้นของ

กรดไขมันอิสระเช่น การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันในระยะสุกที่เหมาะสม และลดการบอบช้ำของทะลายปาล์มน้ำมันหลังจากเก็บเกี่ยวทำให้สามารถเก็บรักษาทะลายปาล์มน้ำมันในสภาพปกติได้นานขึ้น (Siew and Mohamad, 1992)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการสุกของผลประเภทไคลแมคทอริก (climacteric) (Cho and Cosgrove, 2004) อีกทั้งยังพบว่าเอทิลีนมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการสุกและหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมัน เกษตรกรนิยมขายผลร่วงของปาล์มน้ำมันด้วยวิธีการนำเอาปาล์มน้ำมันที่เก็บเกี่ยวมาแล้วบ่มหรือรอให้ผลร่วงจากต้นเนื่องจากได้ราคาสูงกว่าการขายทะลายสด ซึ่งการบ่มมีหลายวิธี เช่น การบ่มแขนงปาล์มน้ำมันโดยใช้เอทิฟอน (ethephon) ซึ่งเป็นสารปลดปล่อยเอทิลีนความเข้มข้น 200-250 ppm ทำให้ผลปาล์มน้ำมันร่วงจากแขนงปาล์มน้ำมัน 78.1-78.9% แต่มีผลทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น 3-3.5% (ธีระพงศ์ และคณะ, 2539) หรือใช้วิธีการรดน้ำทะลายปาล์มน้ำมันในสภาวะการบ่มที่ลานเท วิธีการนี้มีผลทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติถึง 3 เท่า (เบญจมาภรณ์ และคณะ, 2552) อย่างไรก็ตาม ยังไม่เคยมีรายงานการใช้ก๊าซเอทิลีนเพื่อเร่งการสุกของผลปาล์มน้ำมัน ในขณะที่สาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนที่มีผลต่อการชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว (Blankenship and Dole, 2003) ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายเพื่อชะลอการสุกในผลไม้หลายชนิดโดยยังคงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวให้เสื่อมสภาพช้าลง (Watkins, 2006) เช่นกันกับการนำก๊าซเอทิลีนมาใช้ ที่ยังไม่มีการทดลองนำเอาสาร 1-MCP มาทดลองใช้เพื่อชะลอการสุกของผลปาล์มน้ำมัน ดังนั้นการทดลองในครั้งนี้จึงต้องการศึกษาบทบาทของเอทิลีนและ 1-MCP เพื่อควบคุมการสุกและผลของการใช้ทั้งสองชนิดต่อคุณภาพผลของปาล์มน้ำมันหลังเก็บเกี่ยว

ตรวจเอกสาร

1. ข้อมูลทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (*Elaies guineensis* Jacq.) จัดเป็นพืชน้ำมันอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจทั้งในประเทศไทยและระดับโลก เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชชนิดเดียวที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าพืชน้ำมันอื่น ๆ ปัจจุบันมีประเทศที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันจำนวน 42 ประเทศ จาก 231 ประเทศ และมี 10 ประเทศที่มีพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันมากกว่า 8 แสนไร่ ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย ไนจีเรีย ไทย กินี กานา โกตดิวอร์ ซาอีร์

โคลัมเบีย และเอกวาดอร์ (ธีระ, 2554) สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมัน 4.13 ล้านไร่ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่บริเวณภาคใต้ของประเทศ เช่น กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร เป็นต้น มีมูลค่าการส่งออกน้ำมันปาล์มดิบ 4,355 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) และปริมาณความต้องการปาล์มน้ำมันยังคงมีเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญของประเทศ (Murphy, 2009) น้ำมันที่สกัดได้จากส่วนต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทั้งการบริโภคและอุปโภคที่หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมพลาสติก เครื่องสำอาง น้ำมันไบโอดีเซล เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันในส่วนอื่น ได้แก่ ส่วนของทะลายเปล่าที่เหลือหลังจากการสกัดน้ำมันของโรงงานยังสามารถนำไปทำเป็นวัสดุเพาะเห็ดและทำปุ๋ย หรือวัสดุคลุมดินในสวน ส่วนของใบและทางใบนำไปใช้ทำวัสดุใช้สอยในครัวเรือน การนำน้ำตาลที่เกิดจากการตัดช่อดอกตัวผู้ไปทำไวน์ (พรชัย, 2549) สายพันธุ์ของปาล์มน้ำมันสามารถจำแนกได้ 3 แบบ (types) ได้แก่ ดูร่า (Dura) เทเนอร่า (Tenera) และฟิสิเฟอร่า (Pisifera) แต่พันธุ์ที่นิยมปลูกทางการค้าคือ ดูร่าและเทเนอร่า โดยเฉพาะพันธุ์เทเนอร่าซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสมระหว่างดูร่าและฟิสิเฟอร่าที่มีการปลูกอย่างกว้างขวางเนื่องจากให้ผลผลิตน้ำมันสูงและมีลักษณะต่าง ๆ หลายอย่างดีกว่าพันธุ์แบบดูร่าและพันธุ์แบบฟิสิเฟอร่า ส่วนพันธุ์แบบฟิสิเฟอร่าไม่นิยมปลูกทางการค้า เนื่องจากช่อดอกตัวเมียมีโอกาสเป็นหมันสูง ผลมีขนาดเล็กและให้ผลผลิตต่ำ แต่มีข้อดีคือกะลาบางจึงนิยมใช้เป็นพ่อพันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ผสมกับแม่พันธุ์ดูร่าที่มีกะลาหนาเพื่อให้ได้พันธุ์ลูกผสมเทเนอร่า (ประยงค์, 2551) สีผลโดยทั่วไปของปาล์มน้ำมันที่ปลูกทางการค้าพบได้ 2 แบบคือ สีผลแบบ *nigrescens* คือสีผลมีการเปลี่ยนจากสีดำหรือม่วงดำเป็นสีแดงส้มหรือแสดเกือบทั้งผลเมื่อสุก และสีผลแบบ *virescens* คือสีผลมีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้มเมื่อสุก ประเทศไทยนิยมปลูกปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตที่มีสีผลแบบ nigrescense (พรชัย, 2549; Abdullah *et al*., 2001; Singh *et al*., 2006)

2. พัฒนาการของผลปาล์มน้ำมัน

พัฒนาการของผลปาล์มน้ำมันตั้งแต่เริ่มผสมเกสรไปจนกระทั่งสุกแก่จะใช้เวลาประมาณ 5 ½ - 6 เดือน ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของต้น ฤดูกาลที่แตกต่างกัน โดยในช่วงที่ฝนตกติดต่อกันหลายวันทำให้ผลปาล์มสุกแก่เร็วขึ้นเนื่องจากปาล์มน้ำมันสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง 29-32 ºC ความชื้นในอากาศประมาณ 75% และมีการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนอย่างสม่ำเสมอ แต่ถ้าหากมีช่วงแล้งติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ทะลายปาล์มน้ำมันสุกช้าลง (พรชัย, 2549 ; สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 8, 2557) ปาล์มน้ำมัน

เป็นพืชผสมข้ามมีช่อดอกตัวเมียและช่อดอกตัวผู้แยกกันอยู่บนต้นเดียวกัน การบานของดอกตัวเมียภายในช่อเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดยจะบานจากส่วนปลายทะลายไปยังส่วนโคนทะลาย (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2554) จากนั้นผลจะเริ่มพัฒนาภายหลังจากผสมเกสร 2 สัปดาห์ ส่วนของเนื้อในเมล็ดปาล์ม (kernel) เป็นส่วนแรกที่มีการพัฒนาโดยเริ่มจากเป็นของเหลวในสัปดาห์ที่ 8 หลังผสมเกสร พัฒนาไปเป็นเจลและเป็นเนื้อแข็งในสัปดาห์ที่ 10 หลังผสมเกสร ในช่วงนี้ส่วนของต้นอ่อน (embryo) เริ่มสุกแก่ และส่วนของกะลาเริ่มแข็งเป็นเนื้อไม้ทำให้ส่วนของเนื้อในเมล็ดปาล์มและเนื้อผลแยกจากกัน การสังเคราะห์น้ำมันของเมล็ดเนื้อในเริ่มตั้งแต่สัปดาห์ที่ 12 จนเสร็จสมบูรณ์ในสัปดาห์ที่ 16 หลังจากผสมเกสร จากนั้นเริ่มมีการสังเคราะห์น้ำมันในส่วนเนื้อผล (mesocarp) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 16-17 ไปจนกระทั่งผลปาล์มน้ำมันเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกโดยเริ่มมีผลหลุดร่วงออกจากทะลายในสัปดาห์ที่ 20-21 หลังผสมเกสร (Oo *et al*.,1985) ทะลายที่มีผลปาล์มน้ำมันสุกแก่เต็มที่จะมีรูปร่างกลมเรียวยาวประมาณ 50เซนติเมตร กว้างประมาณ 35 เซนติเมตร แต่ละทะลายมีน้ำหนักประมาณ 10-30 กิโลกรัม โดยประกอบด้วยทะลาย ก้านช่อดอก หนาม ผลชั้นนอกและผลชั้นในซึ่งผลด้านในมีสีผลอ่อนกว่าผลด้านนอก เนื่องจากผลชั้นในมีเม็ดสีน้อยกว่าผลที่อยู่ชั้นนอกทะลาย และผลไม่มีเมล็ด ผลปาล์มน้ำมันเป็นผลไม่มีก้าน (sessile drupe) มีหลายรูปร่างตั้งแต่เรียวแหลมไปจนถึงคล้ายไข่ไก่ ผลยาวประมาณ 2-5 เซนติเมตร น้ำหนักผลตั้งแต่ 3 กรัมไปจนถึงมากกว่า 30 กรัม (Corley and Tinnker, 2014) มีจำนวนผลต่อทะลายประมาณ 500-4,000 ผล แต่พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีผลปาล์มน้ำมันเฉลี่ยประมาณ 1,600 ผลต่อทะลาย (ประยงศ์, 2551)

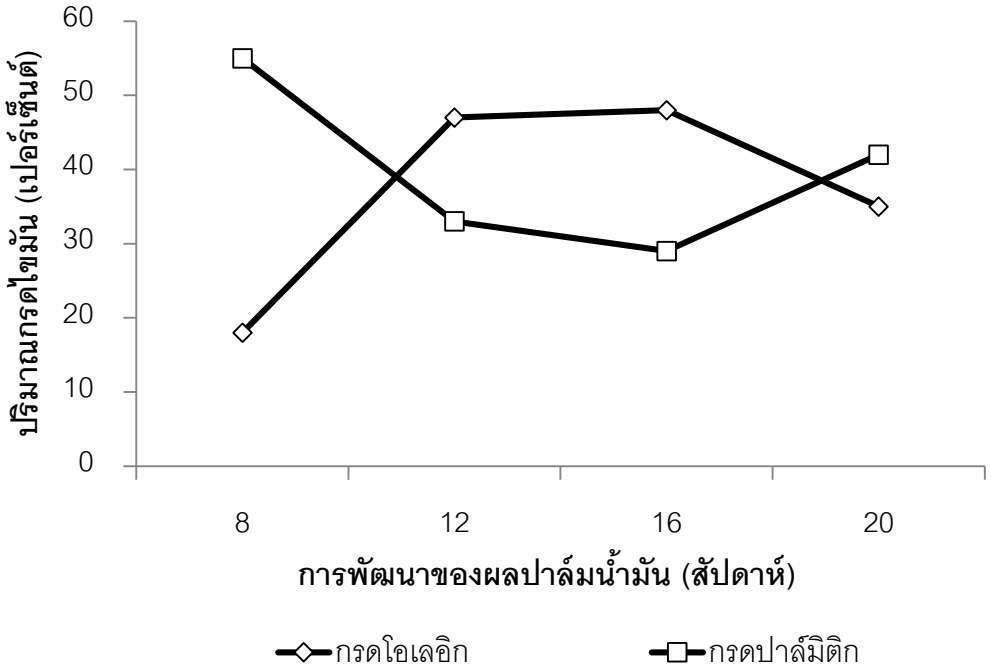
2.1 การสะสมไขมัน

การพัฒนาของไขมันในเนื้อผลปาล์มน้ำมันช่วง 8 - 12 สัปดาห์หลังดอกบาน ส่วนใหญ่มีการสะสมไขมันในรูปของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ประมาณ 60% ของไขมันทั้งหมด เมื่อผลพัฒนาเข้าสู่ระยะสุกแก่ ไขมันส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไกลโคลิพิด (glycolipids) ชนิดโมโนกาแลคโตซิลไดเอซิลกลีเซอรอล (monogalactosyldiacylglycerol) เป็นหลัก สำหรับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerols) มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 16 ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 20 หลังดอกบานหรือจนผลเริ่มหลุดร่วงจากทะลาย (Sambanthamurthi *et al*., 2000) ในขณะเดียวกันการสะสมน้ำมันก็เริ่มตั้งแต่ผลปาล์มน้ำมันอายุ 16 สัปดาห์หลังดอกบานและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนผลหลุดร่วงออกจากทะลาย การสะสมไขมันในรูปของไตรกลีเซอไรด์จะเพิ่มขึ้นจาก 0.02% ของน้ำหนักเนื้อผลที่ 12 สัปดาห์หลังดอกบานเป็น 36.75%

ของน้ำหนักเนื้อผลที่ 20 สัปดาห์หลังดอกบาน สำหรับไขมันมีขั้ว (polar lipid) ในผลอ่อนลดลงจาก 57.8% เป็น 5.3% เมื่อเริ่มมีการสะสมน้ำมัน (16 สัปดาห์หลังดอกบาน) และในผลสุก (20 สัปดาห์หลังดอกบาน) จะพบไขมันเพียง 0.9% แต่มีการเพิ่มขึ้นในช่วงระหว่างระยะผลสุกจนถึงระยะผลสุกจัดเป็น 66.70% สำหรับโมโนกลีเซอไรด์ (monoacylglyceride) มีปริมาณลดน้อยลง เนื่องจากมีกิจกรรมการย่อยสลายไขมันเกิดขึ้น โดยเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์หรือฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันเพิ่มขึ้น สำหรับ 1,2-ไดกลีเซอไรด์ (1,2-diacylglyceride) เป็นตัวกลางในการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีความเข้มข้นคงที่ในกระบวนการสังเคราะห์การสะสมไขมัน เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของการสะสมไตรกลีเซอไรด์ระหว่างการพัฒนาของผลทำให้ 1,2-ไดกลีเซอไรด์ลดลง (ตารางที่ 1) (Oo *et al.*,1986) สำหรับกรดไขมันที่พบในไตรกลีเซอไรด์ ได้แก่ ปาล์มมิติก (palmitic) โอเลอิก (oleic) ลิโนเลอิก (linoleic) (Sambanthamurthi *et al.*, 2000)

2.2 การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระหว่างการพัฒนาผลปาล์มน้ำมัน

การเกิดขึ้นของกรดไขมันในเนื้อปาล์มน้ำมันพบว่า ในผลอ่อนหรือการพัฒนาของผลในสัปดาห์ที่ 8-12 หลังดอกบานพบกรดลิโนเลนิกเป็นส่วนใหญ่ เมื่อผลเข้าสู่ระยะการสุกแก่ กรดไขมันที่พบส่วนใหญ่คือกรดปาล์มมิติกมีอยู่ประมาณ 44% กรดโอเลอิกมีอยู่ประมาณ 39% และกรดลิโนเลอิกมีอยู่ประมาณ 10% ของกรดไขมันทั้งหมด (Sambanthamurthi *et al.*, 2000) สำหรับกรดไขมัน 2 ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในส่วนเนื้อผล ได้แก่ กรดโอเลอิกที่มีการลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่สัปดาห์ที่ 16 หลังจากผสมเกสร และกรดปาล์มมิติกมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่สัปดาห์ที่ 16 หลังจากผสมเกสร จึงมักใช้ปริมาณกรดปาล์มมิติกในการหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม (Keshvadi *et al.*, 2011) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในเนื้อผลปาล์มน้ำมันที่ระยะพัฒนาต่างๆ
ที่มา : ดัดแปลงจาก Keshvadi และคณะ (2011)

สำหรับปริมาณกรดไขมันในน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ นั้นสอดคล้องกับการพัฒนาของกรดไขมันในเนื้อปาล์มน้ำมัน โดยกรดไขมันที่พบมากที่สุดในน้ำมันปาล์มทุกชนิดคือ กรดปาล์มมิติกและกรดโอเลอิก ซึ่งกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้มีโครงสร้างต่างกัน โดยกรดปาล์มมิติกเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีโครงสร้างคาร์บอน 16 อะตอม (C 16:0) และกรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว มีโครงสร้างคาร์บอน 18 อะตอมเชื่อมตัวพันธะคู่ 1 พันธะ (C 18:1) (ตารางที่ 2) (Edem, 2002)

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันระหว่างการพัฒนาของเนื้อผลปาล์มน้ำมัน

สัปดาห์หลังดอกบาน	ปริมาณไขมัน (g/100g ของน้ำหนักผล)						
	ไขมันทั้งหมด	ไตรกลีเซอไรด์	กรดไขมัน	1,3-ไดกลีเซอไรด์	1,2-ไดกลีเซอไรด์	โมโนกลีเซอไรด์	ไขมันมีขั้ว
8	0.09	0.01 (7.1)	0.01 (9.3)	0.01 (8.1)	0.01 (13.6)	- (1.6)	0.05 (60.3)
12	0.14	0.02 (13.9)	0.01 (4.8)	0.01 (8.4)	0.02 (13.2)	- (1.8)	0.08 (57.8)
16	6.40	5.08 (79.3)	0.51 (8.0)	0.11 (1.7)	0.28 (4.4)	0.08 (1.2)	0.34 (5.3)
20	47.77	36.75 (76.9)	6.17 (12.9)	0.39 (0.8)	2.30 (4.8)	1.76 (3.7)	0.41 (0.9)
ผลสุกจัด	66.69	19.32 (29.0)	39.06 (58.8)	2.29 (3.4)	1.66 (2.5)	0.21 (0.3)	4.15 (6.2)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Oo และคณะ (1986)

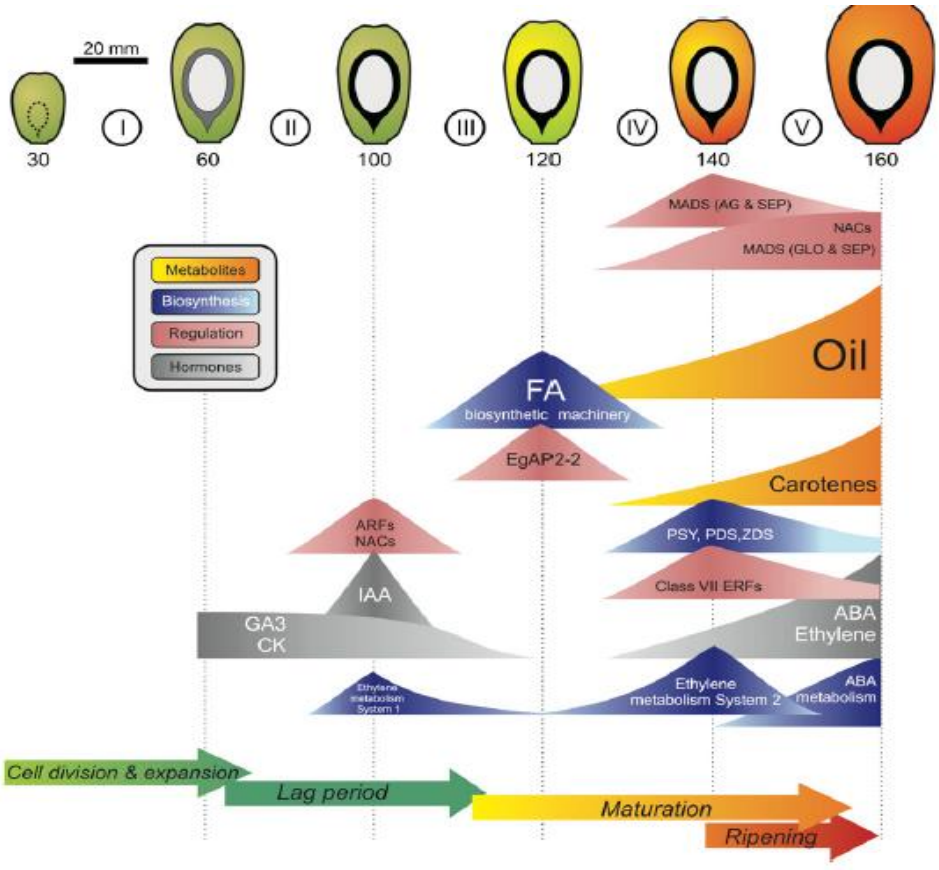
ตารางที่ 2 ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันเนื้อใน	น้ำมันปาล์มโอเลอีน	โอเลอีน คุณภาพสูง	ปาล์มสเตียริน
ลอริก (lauric) 12:0	0.2	47.8	0.2	0.4	0.2
ไมริสติก (myristic) 14:0	1.1	16.3	1.0	1.4	1.3
ปาล์มิติก (palmitic) 16:0	44.0	8.5	40.8	31.5	68.9
สเตียริก (stearic) 18:0	4.5	2.4	4.4	3.2	5.5
โอเลอิก (oleic) 18:1	39.2	15.4	43.9	49.2	38.4
ลิโนลิอิก (linoleic) 18:2	10.1	2.4	11.4	13.7	9.3
ลิโนเลนิก (linolenic) 18:3	0.4	-	0.4	0.3	0.2
อะราซิดิก (arachidic) 20:0	0.1	0.1	0.3	0.4	0.3
กรดไขมันอิ่มตัว (saturates)	49.9	82.1	45.8	36.6	76.2
กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (mono unsaturates)	39.2	15.4	42.5	49.2	38.6
กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (poly unsaturates)	10.5	2.4	11.6	14.0	9.5

ที่มา : Edem (2002)

3. การสุกและกระบวนการทางชีวเคมีของผลปาล์มน้ำมัน

ในช่วงที่ผลปาล์มน้ำมันแก่เต็มที่ (mature) มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมีเกิดขึ้น โดยเปลือกผลมีการเปลี่ยนอาหารสะสมจากแป้งเป็นน้ำมันกลีเซอไรด์ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลสุก ในขณะที่ผลปาล์มน้ำมันเริ่มสุกสีของผลจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้ม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารสีแคโรทีนอยด์ในผลปาล์มน้ำมัน ซึ่งในระยะผลอ่อนส่วนของเนื้อผล (mesocarp) จะมีคลอโรฟิลล์ปริมาณมากและบดบังสีของแคโรทีนอยด์ ซึ่งคลอโรฟิลล์จะค่อยๆ สลายตัวไปในสัปดาห์ที่ 17 หลังดอกบาน ทำให้แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผล มีการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนเอทิลีนและกรดแอบซิสซิก (abscisic acid; ABA)ทำให้ผลปาล์มน้ำมันสุกและหลุดร่วงออกจากทะลาย ในช่วงนี้เอนไซม์ไลเปสทำหน้าที่เปลี่ยนกลีเซอไรด์ให้กลายเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ภาพที่ 2 (Sambanthamurthi *et al*., 2000; Tranbarger *et al*., 2011)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในช่วงการพัฒนาผลปาล์มน้ำมัน

ที่มา : Tranbarger และคณะ (2011)

ผลปาล์มน้ำมันในทะลายหนึ่ง ๆ จะสุกไม่พร้อมกันเนื่องจากมีระยะเวลาการบานของดอกย่อยและรับการผสมเกสรประมาณ 2-5 วัน ซึ่งดอกย่อยส่วนปลายจะได้รับการผสมเกสรก่อนส่วนโคนทะลาย อีกทั้งผลที่อยู่ด้านนอกของทะลายจะมีขนาดใหญ่และเป็นสีส้มเข้มเมื่อสุกซึ่งจะสุกเร็วกว่าส่วนผลที่อยู่ด้านในซึ่งมีขนาดเล็กและมีสีอ่อนเมื่อสุก (Sambanthamurthi *et al*., 2000) การเปลี่ยนแปลงสีผลของปาล์มน้ำมันมี 2 ลักษณะที่พบบ่อยคือสีผลเปลี่ยนจากแบบ *nigrescens* มีการเปลี่ยนสีผลจากสีดำหรือม่วงดำเป็นสีแดงส้มหรือแสดเกือบทั้งผลเมื่อสุก (ภาพที่ 3) (Abdullah *et al*., 2001; Singh *et al*., 2006) ซึ่งพันธุ์ปาล์มน้ำมันในประเทศไทยที่มีสีผลแบบ *nigrescens* ได้แก่ พันธ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 2 3 4 6 และพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 7 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงล่าสุด และลักษณะสีผลแบบ *virescens* คือมีการเปลี่ยนสีผลจากสีเขียวเป็นสีส้มเมื่อสุก ได้แก่ พันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1 และ 5 (ภาพที่ 4) สำหรับพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่เกษตรกรนิยมปลูกนอกเหนือจากพันธุ์ปาล์มน้ำมันของกรมวิชาการเกษตรได้แก่พันธุ์ปาล์มน้ำมันของบริษัทเอกชนที่ได้รับการยอมรับได้แก่ บริษัทยูนิวานิชจำกัด (มหาชน) บริษัทเปารงค์ออยล์ปาล์ม และห้างหุ้นส่วนจำกัดโกล์ดเด้นเทเนอรา และพันธุ์นำเข้าจากต่างประเทศ (พรชัย, 2549; ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2558)

ภาพที่ 3 การพัฒนาสีผลของทะลายปาล์มน้ำมัน (บน) สีผลแบบ *nigrescens* (ล่าง) สีผลแบบ *virescens*

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2554)

ภาพที่ 4 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีผลปาล์มน้ำมันพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1-6

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2558)

4. ดัชนีการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน

การเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันสูงสุด ซึ่งการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องตามระยะเวลาที่ปาล์มน้ำมันสุกพอดีจะให้ได้ปริมาณน้ำมันต่อต้นต่อไร่สูงและน้ำมันมีคุณภาพดี โดยทั่วไปพิจารณาจากการนับอายุทะลายปาล์มน้ำมันหรือนับตำแหน่งทางใบซึ่งช่อดอกตัวเมียปาล์มน้ำมันที่ได้รับการผสมนี้จะอยู่บนซอกของทางใบที่ 17 และทางใบที่รองรับทะลายสุกคือทางใบที่ 33-37 ขึ้นไป นอกจากนี้ยังใช้การพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสีผลเมื่อสุกดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ทั้งนี้สีเนื้อผลปาล์มน้ำมันมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสีผลเมื่อผลสุก โดยเฉพาะผลปาล์มน้ำมันที่มีสีผลแบบ *nigrescence* เนื่องจากมีการสะสมของแคโรทีนอยด์ทำให้เห็นเป็นสีส้ม สีเนื้อผลจึงสามารถบ่งบอกการสุกของผลปาล์มน้ำมันได้เช่นเดียวกัน หรือสังเกตจากการหลุดร่วงของผล 10-20 ผลต่อทะลาย (พรชัย, 2549; Singh *et al*., 2006) ซึ่งโดยทั่วไปหลังจากเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันแล้วต้องนำผลผลิตทะลายสดส่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มให้เร็วที่สุด เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระที่มีผลทำให้น้ำมันที่สกัดได้มีคุณภาพลดลง (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2554) โดยการส่งทะลายสดปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลานาน 1 วันจะเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันจาก 1.80% เป็น 2.32% (พรชัย, 2549)

4.1 มาตรฐานการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน

การเก็บเกี่ยวทะลายสดปาล์มน้ำมัน (FFB: Fresh Fruit Bunch) จะต้องเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลปาล์มน้ำมันสุกพอดี ไม่สุกเกินหรืออ่อนเกินไป กรมวิชาการเกษตรได้มีคำแนะนำมาตรฐานเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับเก็บเกี่ยวทะลายสดปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ได้แก่ ไม่ตัดทะลายที่มีผลยังดิบส่ง เป็นทะลายที่ไม่สุกคาต้นมากเกินไป เก็บผลปาล์มน้ำมันที่ร่วงบนพื้นดินให้หมด ไม่ทำให้ผลปาล์มน้ำมันมีบาดแผลอันเนื่องจากเครื่องมือเก็บเกี่ยว คัดเลือกทะลายเปล่าหรือเขย่าผลที่มีผลอยู่น้อยออกแล้วทิ้งทะลายเปล่าไป ตัดขั้วทะลายให้สั้นสุดเท่าที่จะทำได้ ทำความสะอาดผลปาล์มน้ำมันที่เปื้อนดินไม่ให้มีเศษดินเศษหินปะปน และรีบส่งโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง โดยได้แบ่งประเภทของทะลายปาล์มน้ำมันดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแบ่งประเภทของทะลายปาล์มน้ำมัน

แบบ	รายละเอียด
ทะลายไม่สุก	ผลแข็ง มีสีดำ และไม่ร่วงออกจากทะลาย
ทะลายกำลังสุก	ผลมีสีดำแดง และมีผลร่วง 1-9 ผล
ทะลายสุก	ผลมีสีส้มแดง และมีผลร่วง 10 ผล
ทะลายสุกมาก	ผลในทะลายมีสีส้มแดง และมีผลร่วง 50 ผล
ผลร่วง	ผลร่วง 33% ของผลทั้งหมดในทะลาย
ทะลายเปล่า	ไม่มีผลในทะลาย

ที่มา : Junkwon และคณะ (2009)

นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันเพื่อส่งโรงงานสกัดน้ำมันนี้ทางกระทรวงพาณิชย์โดยสำนักงานส่งเสริมสินค้าเกษตรกรมการค้าภายในได้จัดทำข้อแนะนำสำหรับผู้ประกอบการในการซื้อขายผลผลิตทะลายสดปาล์มน้ำมันโดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสุก ความสด สิ่งเจือปน ความสมบูรณ์ ผลปาล์มน้ำมันเน่า ทะลายเปล่า ก้านทะลาย การรดน้ำ การบ่ม พันธุ์ ผลร่วง และน้ำหนักทะลาย (พรชัย, 2549)

4.2 รอบหรือความถี่ของการเก็บเกี่ยว

รอบหรือความถี่ของการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันในแต่ละแปลงแตกต่างกัน การกำหนดระยะเวลาและรอบการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของผลปาล์มน้ำมันสุกในทะลายกับค่าใช้จ่ายแรงงาน ค่าขนส่ง สภาพดินฟ้าอากาศและการขึ้นลงของราคาปาล์มน้ำมันสดในขณะนั้น โดยปกติจะพบว่าราคาค่อนข้างมีความผันผวนตลอดเวลา เช่นในประเทศไนจีเรียมีความถี่ในการเก็บเกี่ยวทุก 7 วัน แต่หากมีผลผลิตออกมามากความถี่ในการเก็บเกี่ยวจะบ่อยขึ้น สำหรับประเทศมาเลเซียช่วง 6 เดือนแรกรอบความถี่การเก็บเกี่ยวเป็นเดือนละครั้ง และ 1 ปีต่อไปจะเก็บเกี่ยวทุก 15 วัน จากนั้นเก็บเกี่ยวทุก 7-10 วัน สำหรับประเทศไทยรอบการเก็บเกี่ยวโดยทั่วไปที่แม่นยำที่สุดจะขึ้นอยู่กับมาตรฐานความสุกและดัชนีการเก็บเกี่ยว ซึ่งได้แก่ จำนวนผลร่วง 2-3 ผลจากทะลาย (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 8, 2557) โดยปกติรอบการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของประเทศไทยคือ 10 วันต่อรอบและต้องเก็บเกี่ยวเฉพาะ

ทะลายที่สุกพอดีเท่านั้น ดังนั้นรอบการเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีผลผลิตสูงควรเก็บเกี่ยว 7 วันต่อรอบ ส่วนรอบการเก็บเกี่ยวในช่วงผลผลิตน้อยควรเก็บเกี่ยว 14-21 วันต่อรอบ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว (ประยงค์, 2551)

5. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันปาล์ม

ปัจจัยในแปลงปลูกที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมัน ได้แก่

5.1. พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ต่างพันธุ์กันจะมีปริมาณน้ำมันและแคโรทีนอยด์ต่างกัน การเลือกพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ดีและมีการแนะนำให้ปลูกทางการค้า ส่งผลให้คุณภาพน้ำมันและสีของน้ำมันดีด้วย เช่น ปาล์มน้ำมันพันธุ์เทอเนอราที่มีลักษณะสีผลแบบ albescens (ผลมีสีเขียวและยังคงสีเขียวหรือสีเขียวเข้มเมื่อผลสุก) น้ำมันจะมีสีเหลืองเนื่องจากมีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยกว่าลักษณะสีผลแบบ *nigrescens* และ *virescens* (พรชัย, 2549; สุรกิตติ, 2547)

5.2. อายุของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพแตกต่างกัน เนื่องจากมีกระบวนการทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกันเช่น ผลปาล์มน้ำมันจากต้นที่อายุน้อยผลจะสุกช้ากว่าผลที่มาจากต้นอายุมาก การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันจากต้นอายุน้อยจะมีทะลายขนาดเล็กโอกาสที่จะถูกกระแทกและกระทบกระเทือนมีน้อยกว่าทะลายจากต้นอายุมากซึ่งมีขนาดใหญ่ ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสทำให้เกิดกรดไขมันอิสระมีน้อยกว่าทะลายจากต้นอายุมากด้วย (พรชัย, 2549; สุรกิตติ, 2547)

5.3. สภาพแวดล้อมขณะที่ผลปาล์มน้ำมันกำลังสุกก็มีผลต่อปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในผลปาล์มน้ำมันด้วย เช่น สภาพแวดล้อมที่ชื้นหรืออากาศแห้งมีผลต่อคุณภาพน้ำมัน โดยปริมาณแสงแดดมีผลต่อการสะสมของปริมาณแคโรทีนอยด์ หรือเมื่อมีฝนตกอาจทำให้เชื้อสาเหตุโรคมีโอกาสเข้าทำลายผลปาล์มน้ำมันได้ง่ายทำให้ผลเน่าเสียหาย และอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการเร่งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสให้เร็วขึ้น ทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นด้วย (พรชัย, 2549)

5.4. การเกิดบาดแผลหลังจากเก็บเกี่ยวและการขนส่ง เมื่อผลปาล์มน้ำมันเริ่มสุกแก่กรดไขมันอิสระในผลมีปริมาณน้อย แต่ภายหลังจากตัดทะลายปาล์มน้ำมันออกจากต้น กรดไขมันอิสระจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นบริเวณส่วนของเนื้อผลปาล์มน้ำมันประมาณ 1-5% ภายในเวลา 20 นาที และหากผลปาล์มน้ำมันเกิดบาดแผลจากการตกกระแทกในช่วงเก็บเกี่ยวและขนส่ง การเกิดบาดแผลจากการเก็บเกี่ยวนี้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็วจาก 10% เป็น 14.13%ภายใน 2 ชั่วโมง (Chong and Sambanthamurthi, 1993) โดยกรดไขมัน

อิสระที่พบในส่วนของเนื้อผลมีหลายชนิด เช่น กรดลิโนเลอิก กรดไมริสติก กรดโอเลอิค กรดปาล์มมิติก และ กรดสเตียริก เป็นต้น กรดไขมันแต่ละชนิดมีปริมาณมากน้อยไม่เท่ากัน แต่ถ้าหากมีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นมากก็หมายถึงคุณภาพของผลิตผลน้ำมันมันปาล์มก็ยิ่งลดลง (พรชัย, 2549; Chong and Sambanthamurthi, 1993; Sambanthamurthi *et al*., 2000)

5.5. อายุของผลปาล์มน้ำมันในทะลายและการเก็บเกี่ยวทะลายสดปาล์มน้ำมันมีผลต่อคุณภาพของน้ำมัน น้ำมันปาล์มที่มีคุณภาพดีคือ น้ำมันปาล์มที่สกัดได้จากทะลายปาล์มน้ำมันสดมีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 5% ถ้าผลปาล์มน้ำมันมีอายุมาก หรือสุกแก่เกินไปผิวเปลือกจะนุ่มเสี่ยงต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ (พรชัย, 2549) และผลปาล์มน้ำมันที่สุกเกินนี้จะมีผิวเปลือกนุ่มทำให้เชื้อโรคมีโอกาสเข้าทำลายและโรคทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (Sambanthamurthi *et al*., 2000)

จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น น้ำมันปาล์มมีส่วนประกอบของกรดไขมันและการจัดเรียงตัวของกรดไขมันในตำแหน่งที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของปาล์มน้ำมัน พื้นที่บริเวณเพาะปลูกและภูมิอากาศ ทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันเนื้อในมีคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ต่างกัน น้ำมันปาล์มมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณใกล้เคียงกัน กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันปาล์ม คือ กรดปาล์มมิติก มีอยู่ 44% ของน้ำมันปาล์ม และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบมากได้แก่ กรดโอเลอิก มีอยู่ 39% สำหรับกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากซึ่งได้แก่ กรดลิกโนลิอิกซึ่งมีอยู่ประมาณ 10% (Sambanthamurthi *et al*., 2000)

6. กระบวนการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม

ปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นตัวกำหนดคุณภาพของน้ำมันปาล์ม โดยมาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 5% ของน้ำหนักน้ำมัน การเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มเกิดจากปัจจัยภายนอกหลายปัจจัยเป็นตัวกระตุ้น เช่น ระยะการสุกของทะลายปาล์มน้ำมันที่เก็บเกี่ยว โดยระยะที่สุกมากจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง (พรชัย, 2549; Junkwon *et al*., 2009) นอกจากนี้การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น การขนส่งทะลายสดปาล์มน้ำมันไปยังโรงงานสกัดน้ำมันช้าหลังการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาทะลายปาล์มน้ำมันในที่ชื้น จะส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็ว (พรชัย, 2549) นอกจากนี้การ

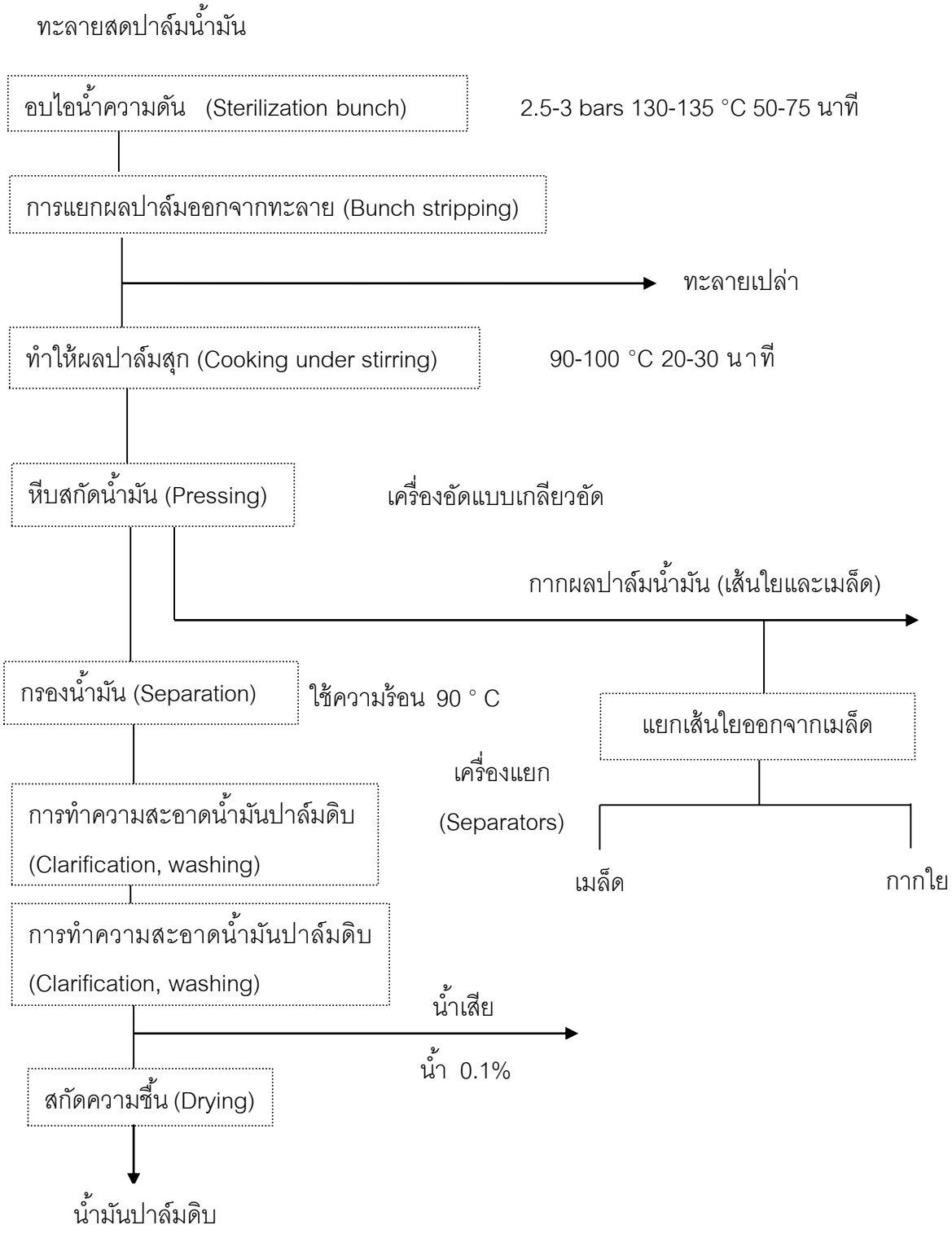
บอบช้ำของทะลายหลังจากเก็บเกี่ยวทะลายจากต้นจะส่งเสริมให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีเอนไซม์ที่สำคัญในการกระตุ้นปฏิกิริยาคือเอนไซม์ไลเปส (Hadi *et al*., 2009)

เอนไซม์ไลเปสเป็นเอนไซม์ตัวแรกที่ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยเปลี่ยนไขมันเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันเส้นสั้นๆ หรือกรดไขมันอิสระ ทำให้คุณภาพของน้ำมันลดลงเกิดกลิ่นเหม็นหืน (Murty *et al*., 2002) ในธรรมชาติเอนไซม์ไลเปสจะมีอยู่ในผลปาล์มน้ำมันแต่จะมีการแสดงออกมากเมื่อผลปาล์มน้ำมันอยู่ในระยะสุกมากหรือที่อายุประมาณ 21 สัปดาห์หลังจากผสมเกสร (Sambanthmurthi *et al*., 2000)

7. กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

หลังการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันจากต้นจะมีการรวบรวมผลผลิตเพื่อขนส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมันและจะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมัน น้ำมันที่ได้สกัดมาจากส่วนเนื้อผลและส่วนเนื้อในเมล็ด โดยคุณภาพของน้ำมันปาล์มจากส่วนเนื้อผลมีค่ามาตรฐานที่สำคัญโดยทั่วไป คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ 1 – 2% ความชื้นต่ำกว่า 0.1% สิ่งเจือปนต่ำกว่า 0.002% คือ สี และกลิ่น เป็นต้น สำหรับคุณภาพน้ำมันของเนื้อในเมล็ดควรมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 0.1% ความชื้นและสิ่งเจือปนต่ำกว่า 0.1% สีแดงต่ำกว่า 1.5% (พรชัย, 2549) ซึ่งกระบวนการสกัดน้ำมันของโรงงานมี 2 แบบ คือ แบบมาตรฐานซึ่งเป็นโรงงานที่มีการหีบน้ำมันแยกออกเป็นน้ำมันจากเนื้อผลและน้ำมันจากเมล็ดใน ซึ่งมีกำลังการผลิตสูงประมาณ 30-80 ตันต่อชั่วโมง น้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเกรดเอและแบบหีบน้ำมันผสมซึ่งน้ำมันที่ได้เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มจากเนื้อผลและน้ำมันเนื้อใน ซึ่งโรงงานมีกำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ (วิชณีย์, 2547) ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่ได้จากเนื้อผลปาล์มเรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) และน้ำมันที่ได้จากเนื้อในเมล็ดปาล์มเรียกว่า น้ำมันเนื้อใน (palm kernel oil) (พรชัย, 2549) เมื่อนำน้ำมันปาล์มไปแยกส่วนและทำให้บริสุทธิ์จะได้ส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมันปาล์มโอเลอีน (palm olein) ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้กันทั่วไป และส่วนที่เป็นไขเรียกว่า ปาล์มสเตียริน (palm stearin) (ธีระ, 2554)

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน มีกระบวนการผลิต 4 ขั้นตอน ได้แก่ การอบทะลายด้วยไอน้ำ (sterilization) ที่อุณหภูมิ 130-135 ºC ความดัน 2.5-3 bars นาน 50-75 นาที ช่วยหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซีส (lipolysis) หรือปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของไขมันทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ อีกทั้งยังทำให้ผลปาล์มน้ำมันอ่อนนุ่มหลุดจากขั้วผลง่าย ทำการแยกผล (stripping) โดยส่งทะลายเข้าเครื่องแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลาย ส่วนทะลายเปล่าจะถูกแยกออกไป จากนั้นนำผลปาล์มน้ำมันไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลเพื่อแยกให้ส่วนเปลือกออกจากเมล็ด ขั้นตอนต่อไปคือการสกัดน้ำมัน (oil extraction) โดยนำส่วนเปลือกอบที่อุณหภูมิ 90-100ºC นาน 20-30 นาที ผ่านเข้าเครื่องบีบอัดแบบเกลียวคู่ จะได้น้ำมันปาล์มดิบที่มีองค์ประกอบคือ น้ำมันประมาณ 66% น้ำ 24% และของแข็ง 10% และขั้นตอนสุดท้ายคือ การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (clarification) น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดถูกส่งเข้าถังกรองเพื่อแยกน้ำและของแข็งออก นำเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อทำความสะอาดอีกครั้ง และไล่น้ำออกเพื่อทำให้แห้ง ส่งเข้าถังเก็บน้ำมันสำหรับรอการกลั่นหรือจำหน่ายต่อไป น้ำมันปาล์มดิบที่ได้แยกเป็นสองส่วนคือส่วนบนมีลักษณะเป็นของเหลวสีส้มแดง (crude palm oil olein) ประมาณ 30-50% ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขสีเหลืองส้ม (crude palm oil stearin) ประมาณ 50-70% สำหรับกากผลปาล์มน้ำมันถูกนำมาแยกเส้นใยออกจากเมล็ด นำเมล็ดที่ได้มาอบแห้งและทำความสะอาด นำเข้าเครื่องกะเทาะเพื่อแยกกะลาออก นำเมล็ดในมาอบแห้งให้มีความชื้นไม่เกิน 7% บรรจุกระสอบเพื่อรอจำหน่ายหรือหีบต่อไป (ภาพที่ 5) (วิชณีย์, 2547)



ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ที่มา : ดัดแปลงจากวิชณีย์ (2547)

8. เอนไซม์ไลเปส (Lipases)

เอนไซม์ไลเปส (EC 3.1.1.3) มีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น ไตรกลีเซอไรด์ไลเปส (triglyceride lipase) ไตรกลีเซอไรด์ไฮโดรเลส (triglyceride hydrolase) ไตรบิวทีรินเนส (tributyrinnase) เป็นต้น ถูกจัดเป็นเอนไซม์ประเภทที่ 3 กลุ่มไฮโดรเลส ประเภทเอนไซม์เอสเทอเรส (esterases) ซึ่งมีการแตกตัวของพันธะเอสเทอร์แบบคาร์บอกซิลิกเอสเทอร์ไฮโดรเลส (carboxylic-ester hydrolase (ExplorEnz, 2014) เอนไซม์ไลเปสมีหน้าที่เร่งการย่อยสลายของโมเลกุลน้ำมันและไขมันไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันอิสระ ไดกลีเซอรอลส์ (diglycerols) โมโนกลีเซอรอลส์ (monoglycerols) และกลีเซอรอล (glycerol) (ภาพที่ 6)

$$\text{Triacylglycerol} + 3H_20 \underset{\text{lipase}}{\rightleftharpoons} \text{Glycerol} + 3\ \text{Fatty acid}$$

ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและการสังเคราะห์เอสเทอร์ของเอนไซม์ไลเปสในน้ำมัน
ที่มา : Jaeger และ Reetz (1998)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายนี้สามารถผันกลับได้ในระบบที่มีน้ำน้อย (microaqueous) หรือในระบบตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) โดยปฏิกิริยาผันกลับได้นี้มี 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาทรานซ์เอสเทอร์ (transesterification) และปฏิกิริยาเอสเทอร์ (esterification) (Jaeger and Reetz, 1998) เอนไซม์ไลเปสสามารถพบได้ทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ (Lopes *et al*., 2011) สำหรับผลปาล์มน้ำมันพบเอนไซม์ไลเปสทั้งภายในเนื้อผลปาล์มน้ำมันและภายนอกของผลปาล์มน้ำมันในระยะผลสุก โดยภายนอกผลปาล์มน้ำมันนั้นเกิดจากจุลินทรีย์ ส่วนภายในผลปาล์มน้ำมันพบมากในส่วนเนื้อผล (mesocarp) ซึ่งเกิดขึ้นปกติตามธรรมชาติ และจากการที่ปาล์มน้ำมันถูกกระแทก ทำให้เกิดบาดแผล กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส (Henderson and Osborne, 1991) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสเริ่มปรากฏขึ้นในช่วงที่ผลปาล์มน้ำมันมีการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ คือตั้งแต่สัปดาห์ที่ 16 จนถึงสัปดาห์ที่ 21 หลังจากผสมเกสรและลดลงหลังจากนี้ โดยยีนที่สังเคราะห์เอนไซม์ไลเปสจะไปมีผลในการกระตุ้น

การสุกของผลปาล์มน้ำมัน เอนไซม์ไลเปสสามารถทำงานได้ดีที่ pH 7-9 (Sambanthamurthi *et al*., 2000; Ebongue *et al*., 2006) เป็นเอนไซม์ตัวแรกที่ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ เกิดการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในเนื้อปาล์มน้ำมันให้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมันอิสระมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องภายหลังการเก็บเกี่ยว (Sambanthamurthi *et al*., 2000)

9. **เอทิลีน** (Ethylene)

เอทิลีน (C_2H_4) เป็นฮอร์โมนพืชอยู่ในรูปก๊าซสังเคราะห์จากเมไธโอนีน (methionine) ในเนื้อเยื่อต่างๆของพืชชั้นสูงที่ตอบสนองต่อสภาวะเครียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อเยื่อที่เริ่มเสื่อมสภาพ หรือสุก เอทิลีนจัดเป็นฮอร์โมนเร่งการสุกของผลไม้ (Davies, 2004) โดยเฉพาะผลไม้ประเภทไคลแมคเทอริก (climacteric) ซึ่งเมื่อผลแก่เต็มที่และเข้าสู่ระยะการสุกผลจะมีการสร้างเอทิลีนขึ้นมาในปริมาณมากจนมีผลทำให้ผลไม้สุก (Klee and Clark, 2004) การบ่มผลไม้โดยใช้ก๊าซเอทิลีนโดยตรงทำได้ยาก ในประเทศไทยนิยมใช้ ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ (calcium carbide) ห่อกระดาษวางไว้กลางภาชนะที่บรรจุเมื่อผลไม้คายน้ำ ไอน้ำจะทำปฏิกิริยาเกิดก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายก๊าซเอทิลีนทำให้ผลไม้สุก ซึ่งให้ผลดีกับพืชพวก มะม่วง กล้วย เป็นต้น (สมบุญ, 2548) ในปัจจุบันมีการใช้สารปลดปล่อยเอทิลีนในรูปของเหลวมากขึ้น หรือที่เรียกกันว่าสารเอทิฟอนหรือกรดคลอโรเอทิลฟอสโฟนิค (2-chloroethylphosphonic acid) ซึ่งเป็นสารปลอดปล่อยเอทิลีนในรูปของเหลวมีสภาพเป็นกรด ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะปลดปล่อยเอทิลีนแก่พืชมีฤทธิ์แทรกซึมและเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ง่าย ซึ่งนิยมใช้พ่นหรือจุ่มเพื่อเร่งการสุกของผลไม้ต่างๆ (Lurie, 2000; สมบุญ, 2548)

8.1 **ผลของเอทิลีนต่อการสุกและการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมัน**

ผลปาล์มน้ำมันเป็นผลประเภทไคลแมคเทอริก เมื่อผลปาล์มน้ำมันอยู่ในระยะสุกจึงมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณมาก โดยเริ่มมีการสังเคราะห์เอทิลีนระบบ 1 (System I) ในช่วง 90 -120 วันหลังผสมเกสร และมีการสังเคราะห์เอทิลีนระบบ 2 (System II) ในช่วง 120 -150 วันหลังผสมเกสร ซึ่งปาล์มน้ำมันจะปลดปล่อยเอทิลีนในช่วง 130 – 160 วันหลังผสมเกสร (Tranbarger *et al*., 2011) ที่ผ่านมามีการทดลองใช้สารเอทิฟอนและถ่านแก๊สในการบ่มทะลาย

ปาล์มน้ำมันเพื่อเร่งการสุกและการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายเนื่องจากผลปาล์มน้ำมันร่วงมีราคาสูงกว่าผลที่ยังติดอยู่กับทะลาย (ธีระพงศ์ และคณะ, 2539) โดยจากการศึกษาของธีระพงศ์ และคณะ (2539) ได้ทดลองบ่มทะลายสดปาล์มน้ำมันโดยใช้เอทิฟอนและถ่านแก๊สพบว่า การบ่มเอทิฟอนเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 200 และ 250 ppm และบ่มด้วยถ่านแก๊สที่ระดับความเข้มข้น 1.25 และ 1.50% ของน้ำหนักทะลายย่อยสามารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงจากก้านทะลายจนหมด แต่ทั้งสองวิธีการทำให้เกิดการเน่าของผลเพิ่มขึ้น โดยการบ่มด้วยถ่านแก๊สมีผลทำให้ผลเน่าและมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อมากกว่าการบ่มด้วยเอทิฟอน อย่างไรก็ตามการบ่มทะลายสดปาล์มน้ำมันด้วยเอทิฟอนความเข้มข้น 200 และ 250 ppm เป็นเวลา 36 ชั่วโมง สามารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงจากทะลายได้ แต่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Ismail และคณะ (2011) ได้ทำการทดลองใช้เครื่องสั่นสะเทือนโดยใช้ความถี่เพื่อแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายร่วมกับการใช้เอทิฟอนเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้เกิดการหลุดร่วงจากทะลายให้เร็วที่สุด ผลการศึกษาพบว่า การฉีดเอทิฟอนความเข้มข้น 10% ปริมาตร 10 ml เข้าทางก้านทะลายปาล์มน้ำมันสามารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงจากทะลายได้มากที่สุด และเมื่อนำทะลายปาล์มน้ำมันไปทดสอบการสั่นสะเทือนพบว่า ที่ระดับความถี่ 3.3 Hz ทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงจากทะลายได้ดีที่สุด นอกจากนี้มีการบ่มผลปาล์มน้ำมันด้วยการรดน้ำในสภาพลานเทปาล์มน้ำมันโดยการรดน้ำให้แก่ทะลายปาล์มน้ำมัน 2 ระยะ ได้แก่ ทะลายปาล์มน้ำมันสุกไม่เต็มที่ และทะลายปาล์มน้ำมันสุกเต็มที่ พบว่าการรดน้ำทะลายปาล์มน้ำมันทั้ง 2 ระยะทำให้ปริมาณน้ำมันลดลง แต่ทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (เบญจมาภรณ์ และคณะ, 2552)

8.2 ผลของเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและกรดไขมันอิสระ

ในระยะผลปาล์มน้ำมันสุกมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการผลิตเอทิลีนนี้สอดคล้องกับระยะที่ผลปาล์มน้ำมันมีการสะสมปริมาณน้ำมันสูงสุด (Tranbarger *et al*., 2011) เมื่อเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันลงจากต้นจะเกิดแรงกระแทกระหว่างทะลายปาล์มน้ำมันกับพื้นดิน ทำให้ทะลายปาล์มน้ำมันบอบช้ำเกิดบาดแผลส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระ (Hadi *et al*., 2008) ซึ่งในสภาวะที่พืชเกิดบาดแผลจะกระตุ้นการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น (สมบุญ, 2548)

10. **สารเมทิลไซโคลโพรพีน** (1- methylcyclopropene; 1 - MCP)

สารเมทิลไซโคลโพรพีน (1-methylcyclopropene) หรือ 1-MCP เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยมีโครงสร้างคล้ายกับเอทิลีน จึงมีความสามารถในการแย่งจับตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) ได้ดีกว่าเอทิลีนถึง 10 เท่า ทำให้ตัวรับเอทิลีนไปจับกับสาร 1-MCP แทนการจับกับเอทิลีน (ภาพที่ 7) ส่งผลต่อการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุก ทำให้การสุกของผลไม้ถูกยับยั้ง สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้นานขึ้น (Blankenship and Dole, 2003) ในปัจจุบันได้มีการนำสาร 1-MCP มาใช้กับผลไม้ทั้งประเภทไคลแมคเทอริก และ นอนไคลแมค-เทอริก (non – climacteric) เพื่อชะลอการสุกและคงคุณภาพผลภายหลังจากการเก็บเกี่ยวหลายชนิด (Watkins, 2006) การใช้สาร 1-MCP ในพืชแต่ละชนิดจะใช้ความเข้มข้นต่างกันนั้นเนื่องจากการดูดซับ 1-MCP ในเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับสาร 1-MCP แตกต่างไปตามโครงสร้างชนิดของเนื้อเยื่อนั้น โดยได้มีการศึกษาการดูดซับสาร 1-MCP ในเนื้อเยื่อพืชน้ำมัน เช่น อะโวคาโด และดอกคำฝอย พบว่าเนื้อเยื่อของพืชเหล่านี้ประกอบด้วยชนิดไขมันที่แตกต่างกัน ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงคู่ โดยในน้ำมันอะโวคาโดมีการดูดซับ 1-MCP ความเข้มข้น 18.6 $\mu l L^{-1}$ ได้ดีโดยเฉพาะในกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่สามารถดูดซับสาร 1-MCP ได้ถึง 76.1% ซึ่งการดูดซับจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักน้ำมันอีกด้วย และยังพบว่าน้ำมันอะโวคาโดที่มีน้ำหนัก 9 g สามารถดูดซับสาร 1-MCP ได้ดีกว่าน้ำมันอะโวคาโดน้ำหนัก 3 g อีกทั้งความแตกต่างของเนื้อเยื่อพืชแต่ละส่วนพบว่า เนื้อเยื่อส่วนเปลือกมีการดูดซับได้ดีกว่าเนื้อเยื่อส่วนของเนื้อผลซึ่งใช้เวลาการดูดซับเพียง 1-2 ชั่วโมง การดูดซับสาร 1-MCP ในพืชน้ำมันได้ดีนั้นแสดงว่าสาร 1-MCP มีประสิทธิภาพในการทำงานกับพืชน้ำมันเพื่อเก็บรักษาคุณภาพของผลผลิตได้นานขึ้น (Choi and Huber, 2009)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของเอทิลีน 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกและคุณภาพภายในรวมทั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสของผลปาล์มน้ำมัน

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

- **วัสดุ อุปกรณ์**

1.1 **วัสดุ**

- กระดาษกรองเบอร์ 1
- กระดาษชั่งสาร
- ฉลากกระดาษขาว และปากกาเคมี
- ถ้วยพลาสติก
- ถุงกระดาษสำหรับอบตัวอย่าง
- ถุงมือยาง
- ทะลายปาล์มน้ำมันน้ำหนัก 20 กิโลกรัม
- เทปกาวย่น
- แผ่นป้ายชื่อ
- ผ้าขาวบาง
- ยางไส้ไก่

1.2 อุปกรณ์

- กระบอกตวง
- โกร่งบดตัวอย่าง
- ขวดแก้วขนาด 3 oz
- ขวดรูปชมพู่
- เข็มฉีดยาขนาด 5 และ 10 ml
- เครื่องชั่งแบบหยาบและแบบละเอียดทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
- เครื่องบดปั่นละเอียด (blender)
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
- เครื่องผสมตัวอย่าง (vortex)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
- เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter)
- เครื่องวัดแรงดึง (digital force gauge)
- เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-400
- ตู้อบ
- บิวเรต
- บีกเกอร์ขนาด 50 100 500 และ 1,000 ml
- ไมโครปิเปต (micro pipette)
- หลอดทดลองขนาด 5 และ 10 ml
- หลอดดูดสารเคมีขนาด เล็ก กลาง และใหญ่
- หลอดเซนตริฟิวจ์ขนาด 20 ml
- หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ขนาด 1,000 µl
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

1.3 สารเคมี

- bovine serum albumin
- calcium chloride ($CaCl_2$)
- coomassie brilliant blue G-250
- ethanol 95%
- ethylene gas (C_2H_4) 99.98% RRIMFLOW®
- gum arabic
- hexane
- hydrochloric acid (HCl)
- 1-methylcyclopropene; 1-MCP (C_4H_6) 0.14% EthylBloc®
- phenolphthalein
- phosphoric acid (H_3PO_4)
- 2-propanal
- sodium chloride (NaCl)
- sodium hydroxide (NaOH)
- sodium hypochlorite (NaOCl)
- tetrahydrolipstatin
- Tris-HCl
- liquid nitrogen
- น้ำมันปาล์ม

2. วิธีดำเนินการ

ดำเนินการกับผลผลิตทะลายสดปาล์มน้ำมันจากต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอรา อายุ 11 ปี จากสวนเกษตรกร อ.สะเดา จ.สงขลา ทำการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันในระยะผลปาล์มน้ำมันเริ่มเปลี่ยนสีจากสีม่วงดำเป็นสีแดงส้มและเมื่อตัดผลบางส่วนออกดูส่วนของเนื้อในของผลปาล์มน้ำมันเป็นสีส้ม มีการหลุดร่วงของผล 1-10 ผลต่อทะลาย หรือหลังจากทำเครื่องหมายดอกประมาณ 5 ½ – 6 เดือน หลังจากเก็บเกี่ยวทะลายสดปาล์มน้ำมันขนส่งมายังห้องปฏิบัติการภาควิชาพืชศาสตร์ทันที นำทะลายที่ได้มาศึกษาผลของเอทิลีนและ 1-MCP ต่อการสุกของปาล์มน้ำมันหลังการเกี่ยว โดยศึกษาลักษณะคุณภาพต่าง ๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวทั้งภายในและภายนอกของผลปาล์มน้ำมัน รวมถึงกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำมันปาล์มหลังจากได้รับเอทิลีน 1-MCP และ 1-MCP ร่วมกับเอทิลีน สำหรับทะลายปาล์มน้ำมันภายหลังได้รับสารเก็บรักษาในห้องปฏิบัติการภาควิชาพืชศาสตร์ อุณหภูมิ 28 ± 3 °C เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของผลเป็นเวลา 5 วัน

2.1 การวางแผนการทดลองและวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ประกอบด้วย 3 การทดลอง แต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ทะลาย (ทะลายละ 20 กิโลกรัม) โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร 2 ชนิดได้แก่ เอทิลีน และสาร 1-MCP กับผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลาย ประกอบด้วยทรีทเมนต์ต่าง ๆ ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของเอทิลีนต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมัน

ทรีทเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม
ทรีทเมนต์ที่ 2 รมเอทิลีนความเข้มข้น 250 $\mu l L^{-1}$
ทรีทเมนต์ที่ 3 รมเอทิลีนความเข้มข้น 500 $\mu l L^{-1}$
ทรีทเมนต์ที่ 4 รมเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของสาร 1-Methylcyclopropene (1-MCP) ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมัน

ทรีทเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม
ทรีทเมนต์ที่ 2 รม 1-MCP ความเข้มข้น 500 $n l L^{-1}$
ทรีทเมนต์ที่ 3 รม 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $n l L^{-1}$

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของเอทิลีนและสาร 1-Methylcyclopropene (1-MCP) ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมัน

ทรีทเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม
ทรีทเมนต์ที่ 2 รมเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$
ทรีทเมนต์ที่ 3 รม 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $n l L^{-1}$
ทรีทเมนต์ที่ 4 รม 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $n l L^{-1}$ และตามด้วยรมเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$

2.2 การรมสารเอทิลีนและ 1-MCP

2.2.1 การรมสารเอทิลีน

การรมสารเอทิลีนปฏิบัติโดยนำทะลายปาล์มน้ำมันใส่ในตู้สี่เหลี่ยมปริมาตร 1 m^3 โดยดัดแปลงจากการใช้ท่อพีวีซีขนาด 3/4 นิ้ว ประกอบกันเป็นโครงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 m × 1 m × 1 m คลุมโครงด้วยกระสอบพลาสติก คำนวณปริมาณเอทิลีนที่ใช้รมในแต่ละความเข้มข้น โดยเทียบกับปริมาตรตู้รมสารที่ใช้ (ตารางที่ 4) ก๊าซเอทิลีนที่ใช้ในการทดลองได้จากเอทิลีน (RRIMFLOW, มาเลเซีย) ความเข้มข้น 99.98% เมื่อได้ปริมาณเอทิลีนที่ต้องการแล้วจึงใช้ยางไส้ไก่มัดปลายสวมไว้ที่ท่อฉีดก๊าซของกระป๋องบรรจุก๊าซเอทิลีน จากนั้นใช้เข็มฉีดยาดูดก๊าซเอทิลีนออกจากกระป๋องฉีดเข้าตู้รมสารที่มีทะลายปาล์มน้ำมันและปิดตู้สนิทตามรอยต่อของมุมตู้ด้วยเทปกาวย่นเรียบร้อยแล้ว ฉีดก๊าซเอทิลีนเข้าไปให้ทั่วตู้รมสาร รมเอทิลีนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ภาพที่ 6)

ตารางที่ 4 ปริมาณเอทิลีนที่ใช้รมในแต่ละความเข้มข้น

ความเข้มข้นของเอทิลีน ($\mu l L^{-1}$)	ปริมาณเอทิลีนที่ใช้ต่อลูกบาศก์เมตร (ml)
250	250
500	500
1,000	1,000

ภาพที่ 7 ขั้นตอนการรมเอทิลีนในตู้รมสาร

ก. ประกอบตู้รมสารแล้วนำทะลายปาล์มไปวางในตู้

ข. ปิดตู้รมสารให้สนิทด้วยเทปกาวย่น

ค. ดูดก๊าซเอทิลีนตามปริมาตรที่กำหนดจากกระป๋องด้วยเข็มฉีดยา

ง. ฉีดก๊าซเอทิลีนเข้าตู้รมสาร

2.2.2 การรมสาร 1-MCP

การรมสาร 1-MCP ทำโดยนำทะลายปาล์มน้ำมันใส่ในตู้สี่เหลี่ยมสำหรับรมสาร เช่นเดียวกับที่ใช้รมเอทิลีน โดยชั่งสาร 1-MCP (EthylBloc®, U.S.A.) ปริมาณสารออกฤทธิ์ 0.14% ตามความเข้มข้นที่คำนวณ (ตารางที่ 5) ในแต่ละทรีทเมนต์ใส่ในขวดแก้วขนาด 3 oz และเติมน้ำกลั่นตามอัตราส่วน สาร 1-MCP : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 16 เพื่อเป็นตัวทำละลายสาร 1-MCP ให้ปลดปล่อยในรูปของก๊าซ ปิดตู้รมสารทันทีโดยผนึกขอบให้สนิทด้วยเทปกาวย่น รม 1-MCP เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (ภาพที่ 7)

ตารางที่ 5 ปริมาณ 1-MCP ที่ใช้รมในแต่ละความเข้มข้นตามอัตราส่วน 1-MCP : น้ำกลั่น (1 : 16)

ความเข้มข้นของ 1-MCP	ปริมาณ 1-MCP ที่ใช้ต่อลูกบาศก์เมตร	
(nlL^{-1})	สาร 1-MCP (mg)	น้ำกลั่น (ml)
500	800	12.5
1,000	1,600	25

ภาพที่ 8 ขั้นตอนการรม 1-MCP ในตู้รมสาร

ก. ประกอบตู้รมแล้วนำทะลายปาล์มน้ำมันเข้าตู้รมสาร

ข. เตรียมสาร 1-MCP และน้ำกลั่นตามปริมาตรที่ใช้ใส่ขวดแก้ว

ค. นำขวดแก้วที่มี 1-MCP วางตรงกลางตู้รมแล้วเทน้ำกลั่นลงในขวด

ง. ปิดตู้รมให้สนิททันทีด้วยเทปกาวย่น

3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

1. การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของผลปาล์มน้ำมัน

1.1 การวัดสีผล

โดยใช้เครื่องวัดสี (Minolta รุ่น CR-400) วัดการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลจากผลปาล์มน้ำมันบริเวณส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลาย ส่วนละ 3 ผล วัดผลละ 3 ครั้ง ตำแหน่งที่วัดคือบริเวณกึ่งกลางผลดังภาพที่ 8 (รอยต่อที่ผลเปลี่ยนสีจากสีม่วงดำเป็นสีแดงส้ม) โดยใช้ค่าสี L* a* b* โดยค่า L* แสดงถึงค่าความสว่างของผล ค่า a* แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b* แสดงถึงค่าสีเหลือง เนื่องจากผลปาล์มน้ำมันที่ใช้ทดลองมีการเปลี่ยนสีผลจากสีดำหรือม่วงดำเป็นสีแดงส้มหรือแสดเกือบทั้งผล (*nigrescens*) (พรชัย, 2549; Abdullah *et al*., 2001; Singh *et al*., 2006)

ภาพที่ 9 บริเวณที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงสีของผลปาล์มน้ำมัน

1.2 การประเมินคุณภาพผล

ทำการถ่ายภาพบันทึกลักษณะผลปาล์มน้ำมันและให้คะแนนการเสื่อมสภาพของผลปาล์มน้ำมันโดยมีระดับคะแนน 0 – 10 โดยเป็นคะแนนจากผลปาล์มน้ำมันที่มีระดับของการเกิดอาการเสื่อมสภาพหรือ เหี่ยว ไม่สด ผลช้ำแบ่งได้เป็น 4 ระดับ (ภาพที่ 9) ดัดแปลงจาก Hadi และคณะ (2008)

ภาพที่ 10 แสดงระดับการช้ำของผลปาล์มน้ำมัน

ก. ผลไม่มีการช้ำ การช้ำระดับ 1

ข. ผลมีขนาดการช้ำของผลต่ำกว่า 1 cm^2 การช้ำระดับ 2.5

ค. ผลมีขนาดการช้ำของผล 1-2 cm^2 การช้ำระดับ 5.5

ง. ผลมีขนาดการช้ำของผลมากกว่า 2 cm^2 การช้ำระดับ 10

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hadi และคณะ (2008)

1.3 การวัดเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงของผล

การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลาย ดัดแปลงจาก ธีระพงศ์และคณะ (2539) โดยนับจำนวนผลปาล์มน้ำมันส่วนนอกทั้งหมดของทะลายโดยใช้กระดาษติดทีละผลจนครบทั้งหมด บันทึกจำนวนผลที่หลุดร่วงออกจากทะลายในแต่ละวันหลังได้รับทรีทเมนต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงของจำนวนผลต่อผลทั้งทะลาย คำนวณจากสมการ

$$\text{การหลุดร่วง (\%)} = \frac{\text{จำนวนผลร่วง} \times 100}{\text{จำนวนผลทั้งหมด}}$$

1.4 การวัดแรงดึงผล

การวัดแรงดึงผลโดยใช้เครื่องวัดแรงดึง (digital force gauges) โดยใช้เชือกผูกคล้องกับผลในทะลายดึงด้วยเครื่องวัดแรงดึงจนผลหลุดออกจากทะลาย วัดผลทั้ง 3 ส่วนของทะลาย คือ ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย ตามวิธีการของ Ismail และคณะ (2011) ส่วนละ 3-5 ผล บันทึกผลของแรงดึงเป็นนิวตัน (N)

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน

แบบวิธีพาร์ทิชั่น-ชั่งน้ำหนัก (partition - gravimetric method) ดัดแปลงจาก Andrew *et al.* (1998) โดยชั่งน้ำหนักผลสดแยกส่วนของเนื้อปาล์มสดประมาณ 50 -100 g นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำส่วนของเนื้อปาล์มน้ำมันแห้งบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดปั่นละเอียด นำไปชั่งน้ำหนัก 2 g ใส่ในขวดแก้วที่อบแห้ง เติมเฮกเซน (hexane) 20 ml ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ 60 นาที กรองน้ำมันด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ในขวดแก้วซึ่งชั่งน้ำหนักขวดเปล่า (W1) ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 100°C 1 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นเติมเฮกเซน 20 ml เพื่อชะล้างน้ำมันติดบนกระดาษกรองลงไปในขวดแก้วให้มากที่สุด นำไประเหยเฮกเซนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80°C จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ (W2) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้โดยเทียบกับน้ำหนักเนื้อปาล์มน้ำมัน 2 g

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำมัน} = \frac{(\text{น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้} - \text{น้ำหนักขวดเปล่า}) \times 100}{\text{น้ำหนักเนื้อปาล์ม 2 g}}$$

3. ปริมาณกรดไขมันอิสระ

สกัดและวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธีการของเบญจมาภรณ์ และคณะ (2552) โดยสุ่มตัวอย่างผลปาล์มน้ำมัน 300 g แยกเนื้อออกจากเมล็ดสับให้ละเอียด แล้วนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 130-135ºC เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อให้เนื้อปาล์มน้ำมันนิ่ม บีบเนื้อปาล์มน้ำมันในขณะที่ร้อนด้วยผ้าขาวบางจนได้น้ำมัน นำไปชั่งน้ำหนักน้ำมันปริมาณ 2 g จากนั้นผสม 2-propanol 20 ml แล้วนำไปอุ่นให้น้ำมันละลายบนเตาให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 55 ± 5ºC จากนั้นหยด phenolphthalein ความเข้มข้น 0.1 % 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 N โดยมีจุดยุติที่เปลี่ยนสีของสารละลายจากสีเหลืองเป็นสีชมพูส้ม นำปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตมาคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระจากสูตร

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ} = \frac{(\text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้}) \times (0.1) \times (25.6)}{\text{น้ำหนักของน้ำมัน 2 g}}$$

0.1 คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)

25.6 คือ ค่าคงที่กรดไขมันอิสระ สำหรับปาล์มเมติก (palmitic acid)

4. ศึกษาผลของกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส

โดยเก็บตัวอย่างผลปาล์มน้ำมันของแต่ละทรีทเมนต์ในการทดลองที่ 3 วิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส ตามวิธีของ Ebongue *et al.* (2006)

4.1 การเตรียมตัวอย่างปาล์มน้ำมัน

นำผลปาล์มน้ำมันที่เก็บตัวอย่างในแต่ละทรีทเมนต์ทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) ความเข้มข้น 0.5% แช่ไว้ 30 นาทีเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวเปลือกนอกของผลปาล์มน้ำมัน จากนั้นล้างผลปาล์มน้ำมันให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น ตัดเนื้อผลส่วนบนและส่วนล่างออกให้เหลือเฉพาะส่วนกลางของผลปาล์มน้ำมัน จากนั้นปอกเปลือกนอกของผลปาล์มน้ำมัน (exocarp) ออกให้หมด หั่นเนื้อผล (mesocarp) บริเวณส่วนกลางของผลออกเป็นชิ้นบางๆ แช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลวทันทีและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -80°C จนกว่านำมาใช้ในการสกัดเอนไซม์ (ภาพที่ 10)

ภาพที่ 11 การเตรียมผลปาล์มน้ำมันสำหรับสกัดเอนไซม์ไลเปส

ก. ผลปาล์มน้ำมันจากบริเวณส่วนโคน กลาง และปลายทะลายของแต่ละทรีทเมนต์

ข. แช่ผลปาล์มน้ำมันในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นล้างผลปาล์มน้ำมันให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น

ค. ตัดส่วนบนและส่วนล่างของผลปาล์มน้ำมันออกเหลือส่วนกลางผลปอกเปลือกนอกของผลปาล์มน้ำมันออกจนหมด

ง. หั่นเนื้อผลเป็นชิ้นเล็กๆบางๆ และแช่แข็งอย่างรวดเร็วด้วยไนโตรเจนเหลว เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -80°C จนกว่าจะนำมาใช้

4.2 การสกัดเอนไซม์ไลเปสจากเนื้อผลปาล์มน้ำมัน

การสกัดเอนไซม์ไลเปสจากเนื้อผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เฮกเซนในการกำจัดไขมันออกจากตัวอย่าง เป็นทรีทเมนต์ที่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสมีความเสถียรและคงสภาพอยู่ได้นานประมาณ 4 วันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4ºC โดยนำเนื้อผลปาล์มน้ำมันที่เก็บรักษาไว้มาบดให้ละเอียดจนเป็นผงแป้งด้วยโกร่งบดตัวอย่างโดยใช้ไนโตรเจนเหลว จากนั้นชั่งเนื้อผลปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดแล้วน้ำหนัก 0.1 g ใส่ลงในหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ที่มีเฮกเซนปริมาตร 1 ml นำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4ºC เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งตัวอย่างแยกเป็น 2 ชั้น (ภาพที่ 11) คือ ชั้นไขมันที่ถูกสกัดออกด้วยเฮกเซน และชั้นตะกอน เทส่วนชั้นไขมันที่ผสมเฮกเซนออก จากนั้นเติมเฮกเซนใหม่อีก 1 ml ลงในหลอดที่มีชั้นตะกอนเหลืออยู่ นำไปผสมให้เฮกเซนและตะกอนเข้ากันด้วยเครื่อง vortex จะได้ตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสทั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่ทำการกำจัดไขมันด้วยเฮกเซนจะพบมากในส่วนของไขมันและส่วนของตะกอน จึงต้องทำการผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex แล้วจึงดูดส่วนของชั้นไขมันและตะกอนขณะที่ผสมกันไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส

ภาพที่ 12 ลักษณะตัวอย่างหลังจากปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4ºC เป็นเวลา 15 นาที

4.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส

การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ไลเปสโดยไทเทรตกรดไขมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 M ปริมาตรของสารที่ใช้ในปฏิกิริยาคือ 30 ml โดยใช้น้ำมันปาล์ม 1 ml เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาซึ่งถูกทำให้แขวนลอย (emulsion) ด้วยสารกัมอาราบิค (gum arabic) ความเข้มข้น 1% w/v ทำให้น้ำมันปาล์มสามารถคงตัวอยู่ได้นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปผสมกับส่วนของปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วย Tris-HCl (pH 9) 2 mM โซเดียมคลอไรด์ 150 mM และ แคลเซียมคลอไรด์ 10 mM เขย่าให้เข้ากันใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 ml ปริมาตรของสารทั้งหมดคือ 20 ml นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 35ºC เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารสกัดเอนไซม์ปริมาตร 100 µl ลงไปในหลอดเขย่าให้เข้ากันให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นเป็นเวลา 1 นาที แล้วจึงหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสด้วยสารละลาย tetrahydrolipstatin (THL) ในเฮกเซน ความเข้มข้น 10 nmol ปริมาตร 10 ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนนำมาใช้หยุดปฏิกิริยา จากนั้นไทเทรตสารที่หยุดปฏิกิริยาแล้วด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 M จนสารเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน การเขย่าเพื่อให้สารทำปฏิกิริยาต้องระวังโดยไม่ให้เกิดฟอง บันทึกปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตและนำค่าที่ได้ไปคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส การวัดกิจกรรมของไลเปสโดย 1 หน่วย (U) ของไลเปส คือ จำนวนของไมโครโมล (µmol) ของการแตกตัวของกรดไขมันต่อนาที กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่แสดงออกมีหน่วยเป็นหน่วยของเอนไซม์ต่อมิลลิกรัมโปรตีน (U mg protein^{-1})

$$\text{กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส} = \frac{[\text{NaOH} \times 0.01\text{N NaOH} \times 10^3]}{\text{protein (µg)}}$$

เมื่อ NaOH คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติ

0.01 N NaoH คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

10^3 คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงหน่วยจาก mg เป็น µg

1 คือ ปริมาตรของเอนไซม์ที่ใช้ 1 ml

protein คือ ปริมาณโปรตีน (µg)

4.4 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทำตามทรีทเมนต์ของ Bradford (1976) โดยใช้สารสกัดเอนไซม์ 100 µl ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลาย protein reagent 5,000 µl ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex 10 วินาที และเตรียม bank โดยใช้บัฟเฟอร์เฮกเซน ที่ใช้สกัดเอนไซม์ 100 µl ผสมกับสารละลาย protein reagent 5,000 µl ทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 595 nm เทียบกับปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้สารละลายโปรตีน BSA (bovine serum albumin) เป็นสารละลายโปรตีนมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 30 35 และ 40 µg ที่เตรียมใน buffer (น้ำกลั่น) ที่ใช้สกัดเอนไซม์ ดูดสารมา 100 µl ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลาย protein reagent 5,000 µl ทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 nm จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณโปรตีนสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 nm กับความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน BSA มีสมการเป็น $y = ax + b$ ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ 1 และสามารถคำนวณหาปริมาณโปรตีนได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (µg)} = \frac{[(Abs_{595} - b) \div a] \times V_e}{V_p}$$

เมื่อ Abs_{595} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 595 nm

b คือ ค่าตำแหน่งที่กราฟตัดแกน Y ที่จุด (0,b) จากสมการ $y = ax + b$

a คือ ความชันของเส้นกราฟจากสมการ $y = ax + b$

V_e คือ ปริมาตรของสารสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

V_p คือ ปริมาตรของสารสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน (100 µl)

บทที่ 3

ผล

1. ศึกษาผลของเอทิลีนต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมัน

การทดลองนี้ได้นำทะลายสดปาล์มน้ำมันหลังเก็บเกี่ยวมาบ่มด้วยก๊าซเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาทะลายปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน พบว่า การบ่มทะลายปาล์มน้ำมันด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ สามารถเร่งการสุก การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันได้เร็วที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รมเอทิลีนจะมีการสุกและการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันช้าที่สุด ซึ่งผลปาล์มน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลบริเวณส่วนปลายผลจากสีม่วงดำเป็นสีม่วงแดงหรือดำแดง และบริเวณส่วนโคนผลจากสีเขียวอ่อนหรือเหลืองอ่อนเป็นสีส้มเหลือง ผลปาล์มน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจากส่วนปลายทะลายไปยังส่วนโคนทะลาย หรือการสุกของผลเกิดขึ้นจากส่วนปลายทะลายไปยังส่วนโคนทะลาย ผลปาล์มน้ำมันส่วนปลายจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลเป็นสีส้มแดงมากกว่าส่วนโคนและส่วนกลางทะลายเช่นเดียวกับการหลุดร่วงของผล ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ของผลปาล์มน้ำมันดังนี้

1.1 ค่าสีเปลือกผล

สำหรับการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลแต่ละตัวอย่างวัดบริเวณส่วนกลางผลปาล์มน้ำมันเนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดง การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) จากผลการทดลองพบว่า ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเพิ่มขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติทั้ง 4 วันหลังได้รับเอทิลีน แสดงว่าเอทิลีนมีผลต่อการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงสีผลของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 13)

1.1.1 ค่าความสว่างของเปลือกผล (L*)

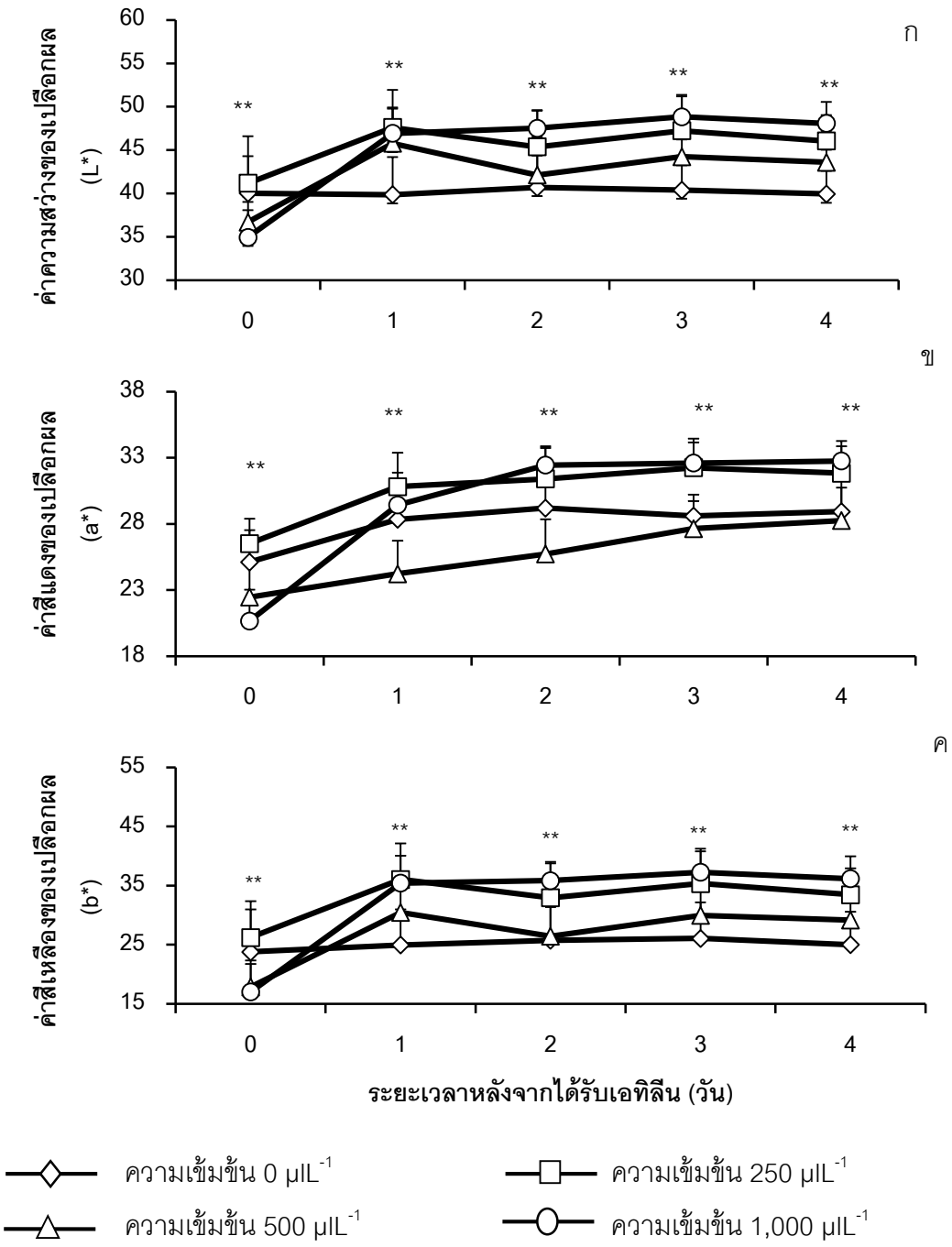
ผลการทดลองพบว่า ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีเปลือกผลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 4 วันหลังจากได้รับเอทิลีน โดยในวันให้ทรีทเมนต์การบ่มทะลายปาล์มน้ำมันด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 $\mu l L^{-1}$ มีค่าความสว่างของสีเปลือกผลสูงที่สุดและผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีค่าความสว่างของสีผลต่ำที่สุด ซึ่งผลปาล์มน้ำมันยังคงเป็นสีม่วงดำ ภายหลังได้รับเอทิลีน 1 วัน เอทิลีนจนถึงวันที่ 4 หลังได้รับเอทิลีน ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีค่าความสว่างสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเอทิลีนความเข้มข้น 250 และ 500 $\mu l L^{-1}$ และผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับเอทิลีน แสดงว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีพื้นที่ของสีเปลือกผลเป็นสีม่วงดำลดน้อยลงและสีเปลือกผลเข้าใกล้สีขาวหรือมีความสว่างเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับเอทิลีน (ตารางภาคผนวกที่ 1) ซึ่งผลปาล์มน้ำมันจากทุกส่วนของทะลายที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของผลมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับเอทิลีน ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติทุกวันที่ทดลอง (ภาพที่ 14)

1.1.2 ค่าสีแดงของเปลือกผล (a*)

ผลการทดลอง วันให้ทรีทเมนต์การบ่มทะลายปาล์มน้ำมันด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 และ 250 $\mu l L^{-1}$ มีค่าสีแดงของสีเปลือกผลปาล์มน้ำมันมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ และการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 และ 500 $\mu l L^{-1}$ (ตารางภาคผนวกที่ 2) ทั้งนี้พบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ บริเวณส่วนกลางและส่วนปลายทะลายมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงของสีเปลือกผลมากกว่าผลปาล์มน้ำมันส่วนโคนทะลาย (ภาพที่ 15) ซึ่งแสดงว่าผลปาล์มน้ำมันมีการสุกมาจากผลส่วนปลายทะลายไปยังโคนทะลาย

1.1.3 ค่าสีเหลืองของเปลือกผล (b*)

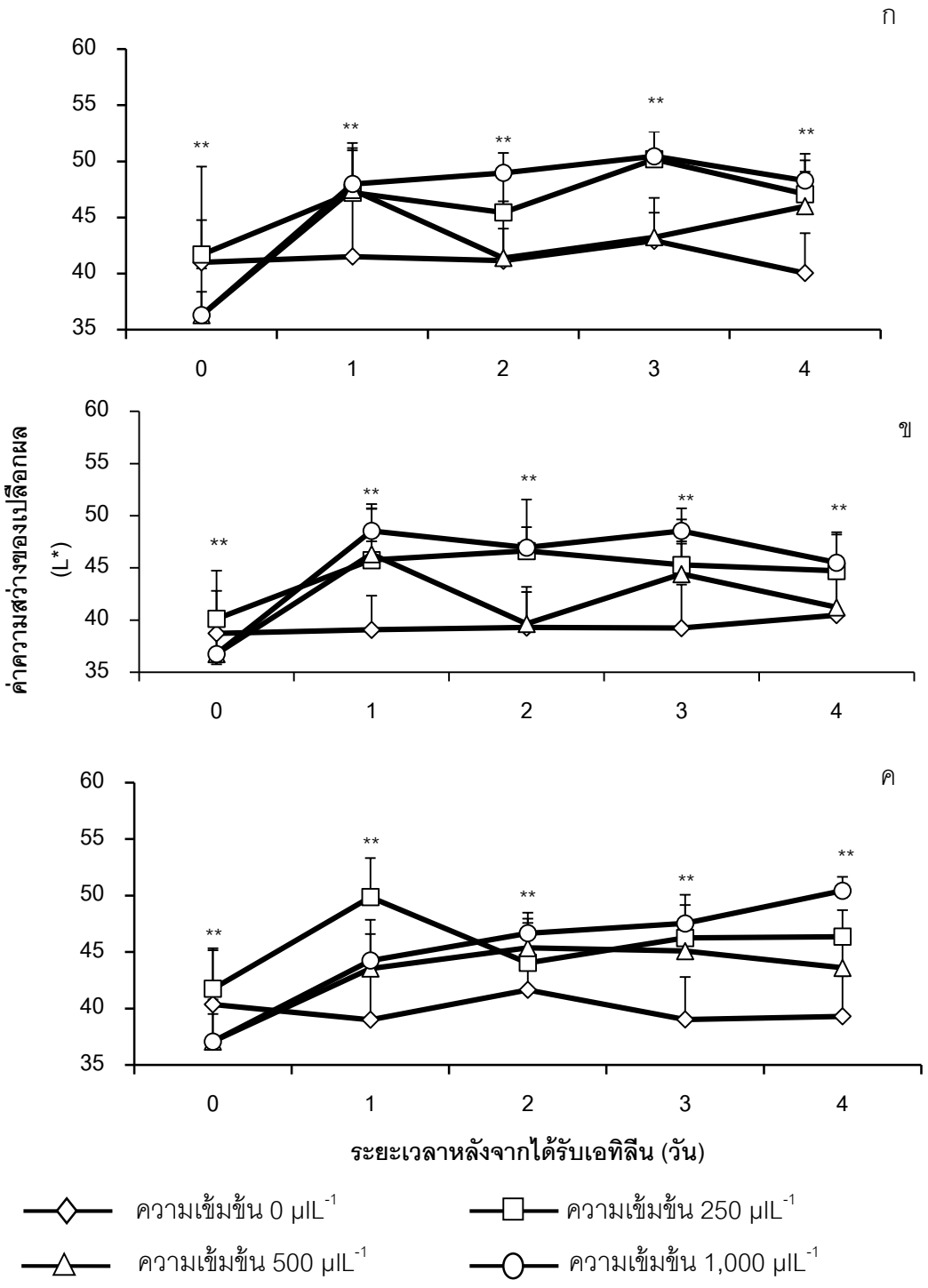
ผลการทดลองพบว่า ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 และ 1,000 μlL^{-1} มีค่าสีเหลืองของสีเปลือกผลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลองหลังจากได้รับเอทิลีน โดยในวันให้ทรีทเมนต์การบ่มทะลายปาล์มน้ำมันด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 μlL^{-1} ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 และ 250 μlL^{-1} มีค่าสีเหลืองของสีเปลือกผลมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 และ 1,000 μlL^{-1} ค่าสีเหลืองของสีเปลือกผลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการททดลอง ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 และ 1,000 μlL^{-1} มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือกผลจากสีเขียวเป็นสีเหลืองมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 และ 500 μlL^{-1} (ตารางภาคผนวกที่ 3) แสดงว่า ผลปาล์มน้ำมันมีการเปลี่ยนสีเปลือกผลจากสีเขียวอ่อนหรือเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองส้มเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับเอทิลีน ทั้งนี้ผลปาล์มน้ำมันจากส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลายจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีเหลืองมีความแตกต่างทางสถิติตลอดการทดลอง ซึ่งผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μlL^{-1} มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลส่วนล่างจากสีเขียวเป็นสีเหลืองมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 และ 500 μlL^{-1} จากผลปาล์มน้ำมันส่วนกลาง และส่วนปลายทะลาย ทั้งนี้ผลปาล์มน้ำมันส่วนโคนของทะลายมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองมากกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (ก) ค่าสีแดง (ข) และค่าสีเหลือง (ค) ของเปลือกผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 µlL^{-1} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

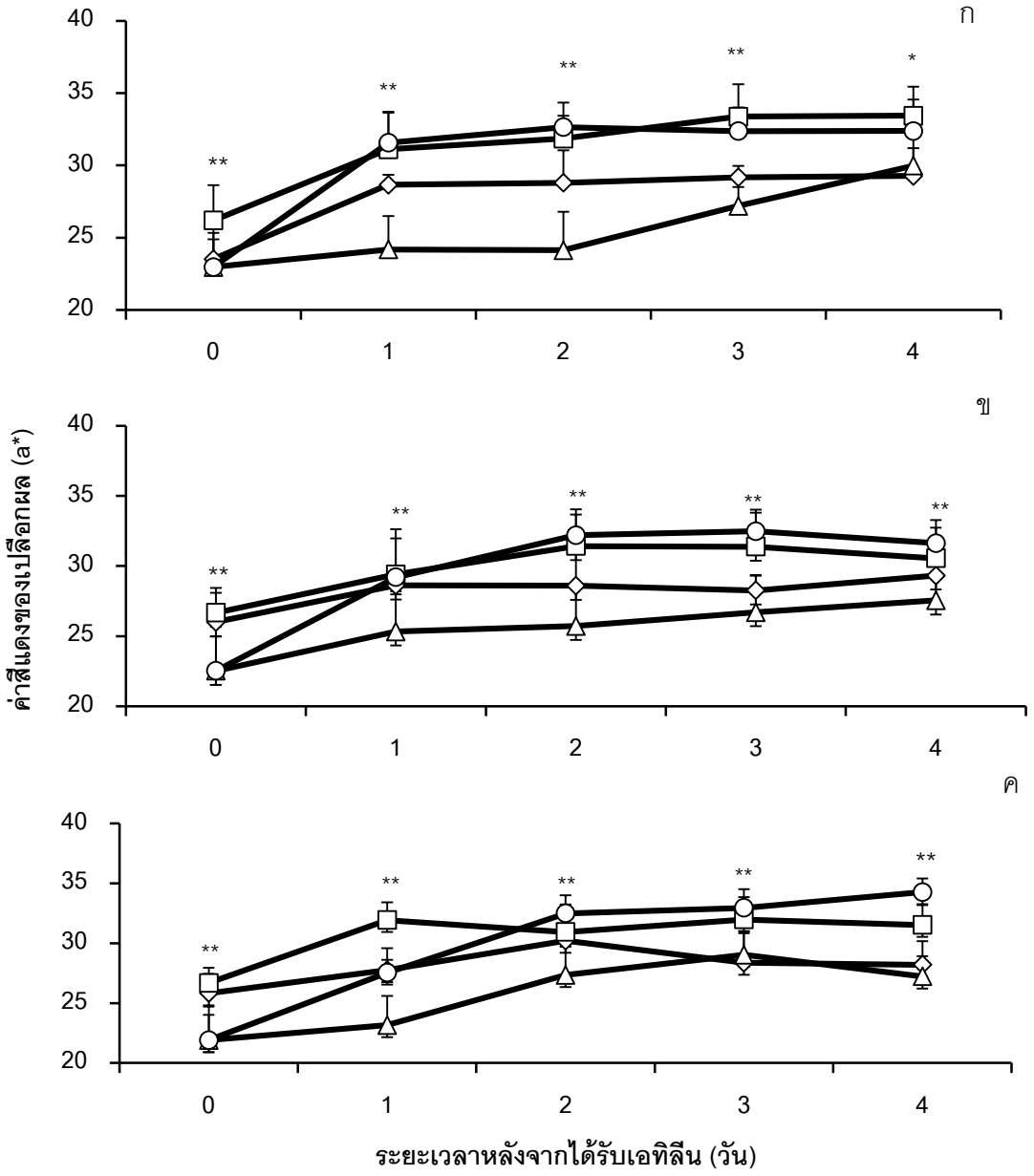
เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของเปลือกผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และปลาย (ค) ทะลาย หลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 µlL^{-1}

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

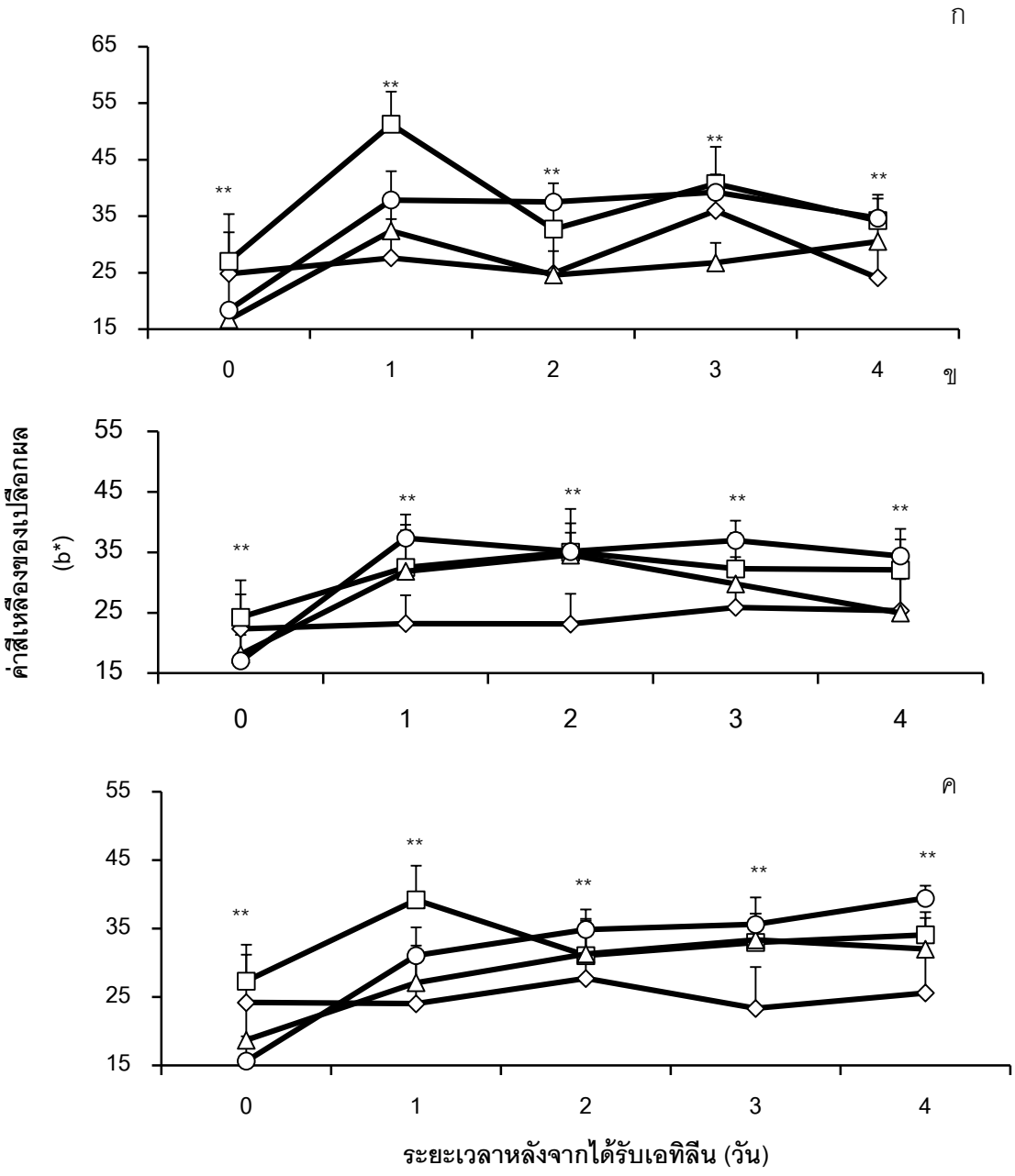


ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงของเปลือกผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และปลาย (ค) ทะลาย หลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 µlL^{-1}

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของเปลือกผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และปลาย (ค) ทะลาย หลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 µlL^{-1} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

1.2 การประเมินคุณภาพผล

การประเมินคุณภาพผลปาล์มน้ำมันจากลักษณะภายนอก โดยใช้ดัชนีการช้ำของผลปาล์มน้ำมันซึ่งมีเกณฑ์การช้ำ 4 ระดับ คือ ระดับ 1 ผลปาล์มน้ำมันไม่มีการช้ำ ระดับ 2 ผลปาล์มน้ำมันมีขนาดการช้ำของผลน้อยกว่า 1 cm^2 ระดับ 3 ผลปาล์มน้ำมันมีขนาดการช้ำของผล 1-2 cm^2 และระดับ 4 ผลปาล์มน้ำมันมีขนาดการช้ำของผลมากกว่า 2 cm^2 ประเมินพร้อมภาพถ่ายของปาล์มน้ำมันทั้งทะลาย ผลการทดลองพบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 และ 1,000 μlL^{-1} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีดัชนีการช้ำน้อยกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 μlL^{-1} และชุดควบคุม โดยผลปาล์มน้ำมันชุดควบคุมมีดัชนีการช้ำของผลอยู่ในระดับที่ 3 สำหรับผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 μlL^{-1} มีดัชนีการช้ำของผลอยู่ในระดับที่ 2 และผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 และ 1,000 μlL^{-1} มีดัชนีการช้ำของผลอยู่ในระดับที่ 1 (ภาพที่ 17) แสดงว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 และ 1,000 μlL^{-1} ยังคงคุณภาพลักษณะที่ดีของผลปาล์มน้ำมัน ผลสด ส่วนปลายของผลไม่เหี่ยวดำ บริเวณโคนผลไม่มีการช้ำเน่า แสดงว่าการบ่มทะลายปาล์มน้ำมันไม่มีผลต่อการเพิ่มการช้ำหรือเน่าของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว โดยผลส่วนโคนทะลายและผลด้านในทะลายจะมีการช้ำของผลน้อยกว่าผลส่วนปลายและผลด้านนอกทะลาย ซึ่งผลส่วนปลายทะลายเป็นผลที่มีโอกาสในการช้ำ แตก และเสื่อมคุณภาพได้เร็วกว่าส่วนอื่น เนื่องจากเป็นส่วนที่ได้รับการกระทบกระเทือนจากการเก็บเกี่ยวทะลายจากต้นมาก ทั้งนี้ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μlL^{-1} ในวันสุดท้ายของการทดลอง ผลในแต่ละส่วนยังคงมีลักษณะที่ดีไม่แสดงอาการช้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างกับผลปาล์มน้ำมันส่วนปลายทะลายของชุดควบคุมที่ไม่ได้รับเอทิลีนมีการช้ำและการแตกของเปลือกผล ปลายผลเหี่ยวดำ

ภาพที่ 17 ลักษณะการช้ำของผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน (ก-ง) กลาง (จ-ซ) และปลาย (ฌ-ฏ) ทะลายหลังจากได้รับเอทิลีนเป็นเวลา 4 วัน

ก จ และ ฌ ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 $\mu l L^{-1}$

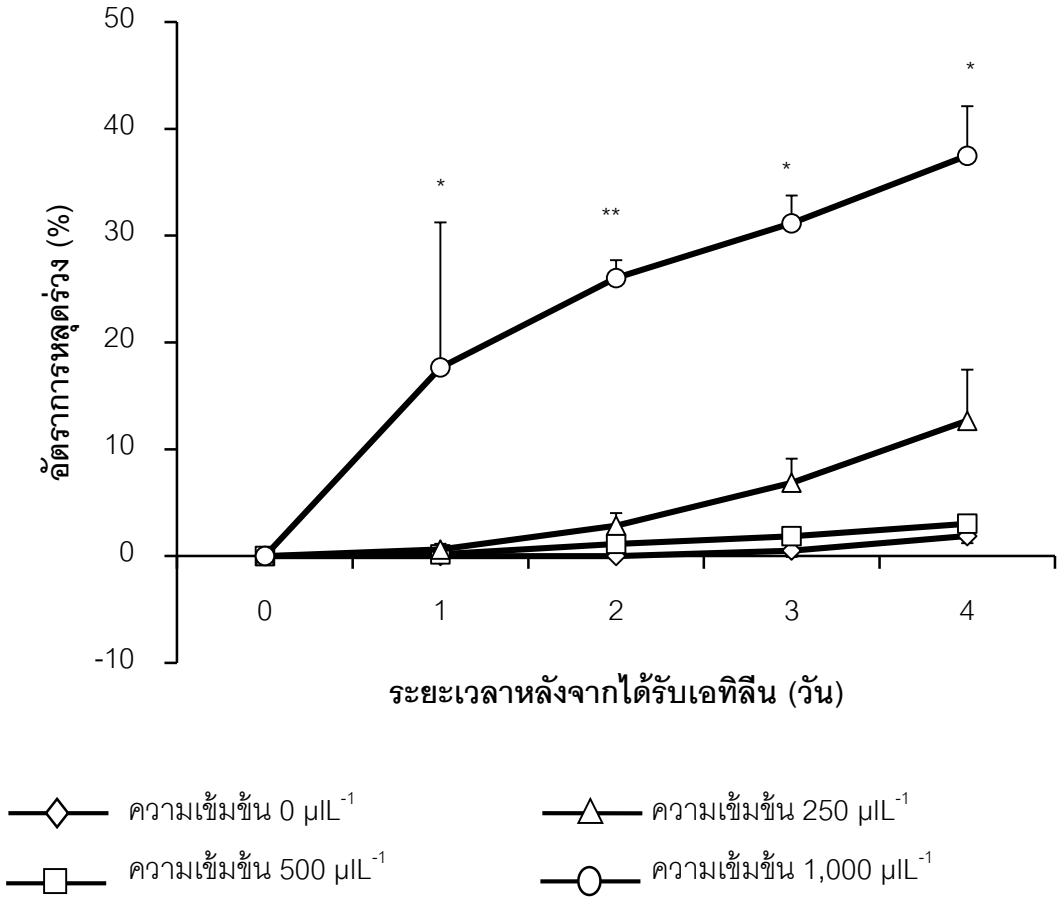
ข ฉ และ ญ ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 $\mu l L^{-1}$

ค ช และ ฎ ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 $\mu l L^{-1}$

ง ซ และ ฏ ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$

1.3 การหลุดร่วงของผลจากทะลาย

ผลการทดลองพบว่า เอทิลีนสามารถเร่งการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมัน เนื่องจากเอทิลีนไปลดแรงดึงขั้วผลออกจากทะลาย ทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงจากทะลายได้ง่าย โดยเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μlL^{-1} มีการหลุดร่วงของผลจากทะลายมากที่สุดเมื่อเทียบกับเอทิลีนความเข้มข้น 500 250 และ 0 μlL^{-1} ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 4) ซึ่งทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μlL^{-1} ผลจะหลุดร่วงออกจากทะลายประมาณ 60% ของผลทั้งหมด ภายใน 1-3 วัน (ภาพที่ 18) โดยผลที่หลุดร่วงส่วนใหญ่จะเป็นผลชั้นนอกของส่วนปลายทะลาย (ภาพที่ 19) ทั้งนี้พบว่า การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันยังขึ้นอยู่กับขนาดของทะลาย ทะลายขนาดใหญ่และน้ำหนักมากการหลุดร่วงของผลจะช้ากว่าผลของทะลายขนาดเล็ก นอกจากนี้ขนาดของผลปาล์มน้ำมันในทะลายที่มีผลขนาดใหญ่การหลุดร่วงของผลจากทะลายน้อยกว่าผลขนาดเล็ก แม้กระทั่งจำนวนผลต่อทะลายและการเรียงตัวกันของผลในทะลายก็มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงของผลจากทะลายด้วย โดยในทะลายที่มีผลปาล์มน้ำมันจำนวนมากและมีการเรียงตัวของผลอัดแน่น การหลุดร่วงของผลในทะลายจะช้ากว่าทะลายที่มีจำนวนผลน้อยและมีการเรียงตัวของผลปาล์มน้ำมันที่ไม่แน่น ทั้งนี้การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายจะร่วงจากส่วนปลายทะลายลงมายังผลส่วนกลางทะลายและโคนทะลายตามลำดับ ซึ่งผลส่วนกลางทะลายเป็นส่วนที่มีการเรียงตัวของผลแน่นที่สุดในทะลาย ต่างจากผลส่วนโคนและส่วนปลายทะลายที่มีการเรียงตัวกันแบบห่าง ๆ โดยเอทิลีนในทุกความเข้มข้นสามารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงออกจากทะลายได้



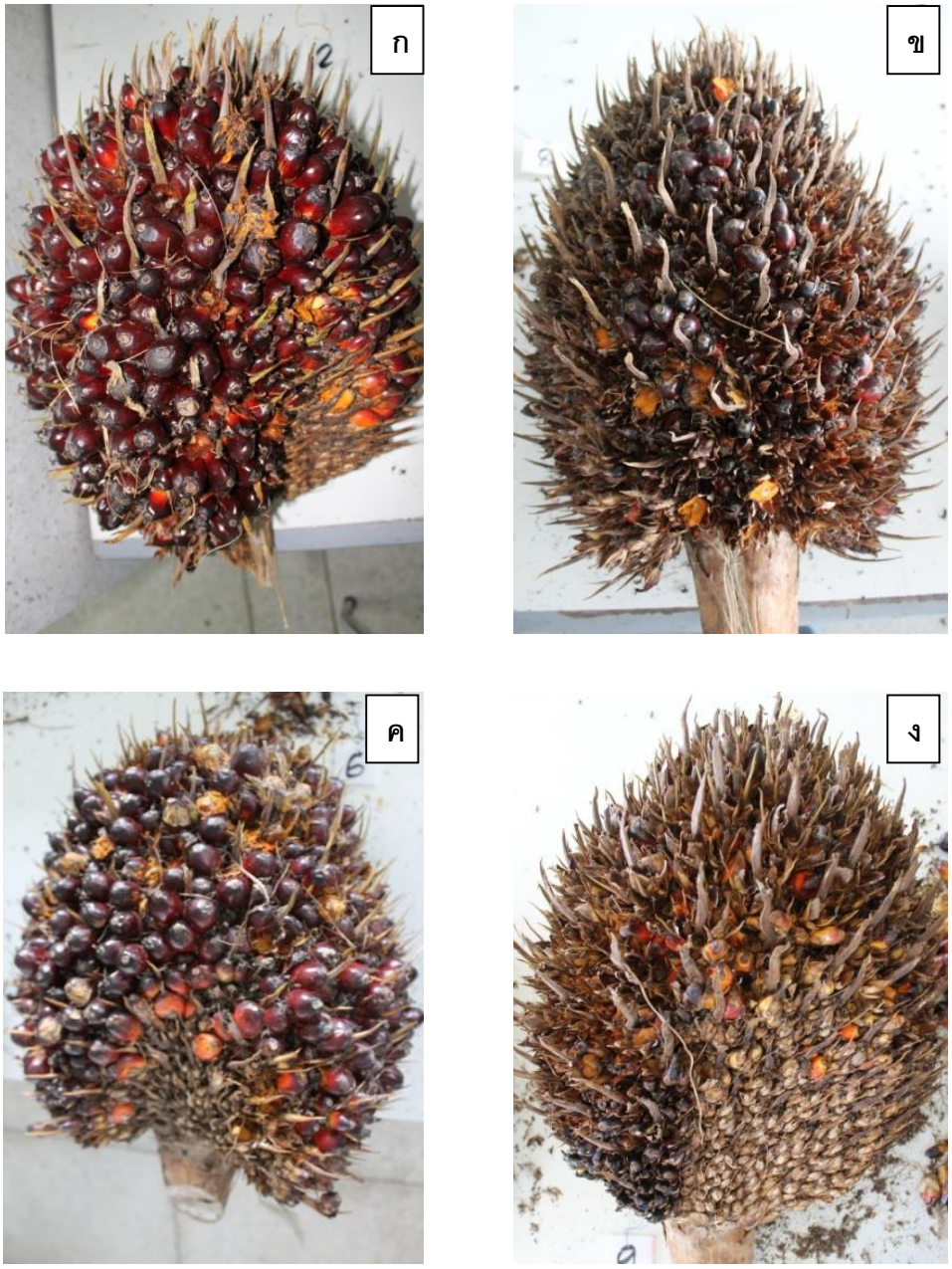
ภาพที่ 18 อัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับเอทิลีนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่าง 3 ซ้ำ



ภาพที่ 19 ลักษณะการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายภายหลังได้รับเอทิลีนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 วัน

ก. ลักษณะทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 $\mu l L^{-1}$

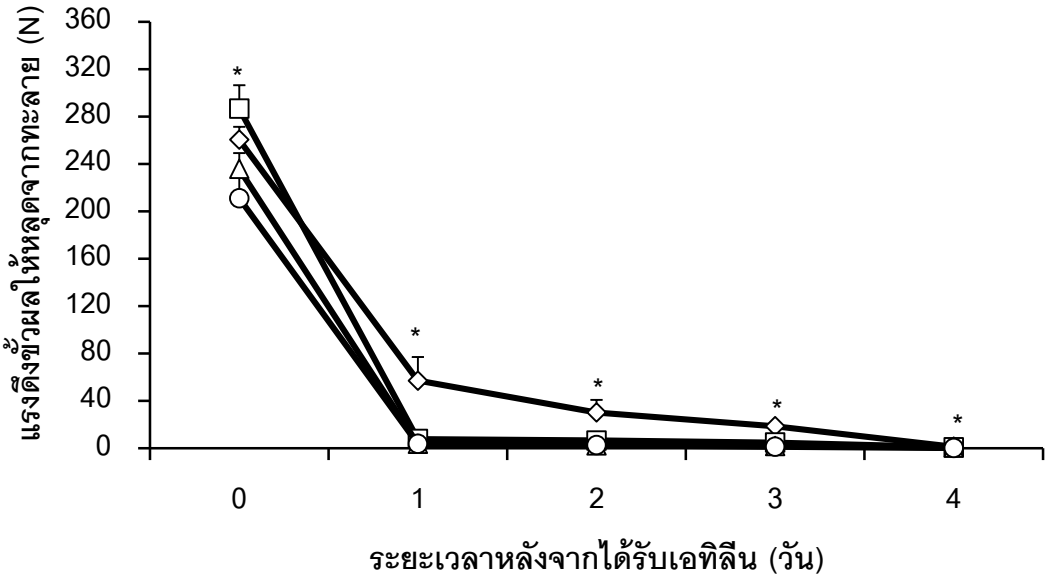
ข. ลักษณะทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 $\mu l L^{-1}$

ค. ลักษณะทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 $\mu l L^{-1}$

ง. ลักษณะทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$

1.4 แรงดึงขั้วผล

หลังเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันทำการดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันให้หลุดออกจากทะลาย วัดโดยใช้เครื่องวัดแรงดึง (digital force gauge) พบว่า ผลปาล์มน้ำมันได้รับเอทิลีนมีค่าแรงดึงขั้วผลลดลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าแรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันก่อนได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีค่าสูงและหลังได้รับเอทิลีน 1 วัน มีค่าแรงดึงลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีค่าแรงดึงขั้วผลน้อยกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับเอทิลีน (ภาพที่ 20 และตารางภาคผนวกที่ 6) สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีน โดยผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีอัตราการหลุดร่วงของผลมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับเอทิลีน (ภาพที่ 18) แสดงว่าเอทิลีนมีผลต่อการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลาย



ความเข้มข้น 0 $\mu l L^{-1}$ ความเข้มข้น 250 $\mu l L^{-1}$

ความเข้มข้น 500 $\mu l L^{-1}$ ความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$

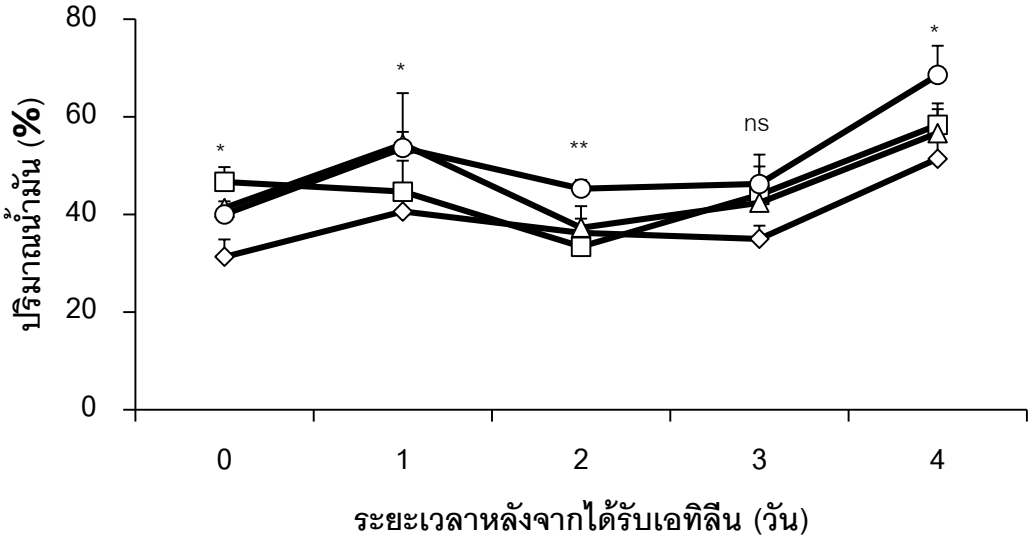
ภาพที่ 20 แรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันให้หลุดออกจากทะลายหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

1.5 ปริมาณน้ำมัน

คุณภาพผลผลิตของปาล์มน้ำมันสามารถวัดได้จากปริมาณน้ำมัน การหาปริมาณน้ำมันจากน้ำหนักแห้ง 2 g ของเนื้อผลปาล์มน้ำมัน ใช้เฮกเซนเป็นสารสกัดน้ำมันปาล์มจากเนื้อผลปาล์มน้ำมัน ผลการทดลองพบว่า ก่อนได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของเอทิลีนความเข้มข้น 500 $\mu l L^{-1}$ แต่หลังจากได้รับเอทิลีนและเก็บรักษาตลอดการทดลอง พบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีปริมาณน้ำมันมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 และ 500 $\mu l L^{-1}$ ซึ่งมีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นจากวันแรกที่ให้เอทิลีน แสดงว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์น้ำมันได้ดีกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับเอทิลีน (ภาพที่ 20 และตารางภาคผนวกที่ 7)



ภาพที่ 20 ปริมาณน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

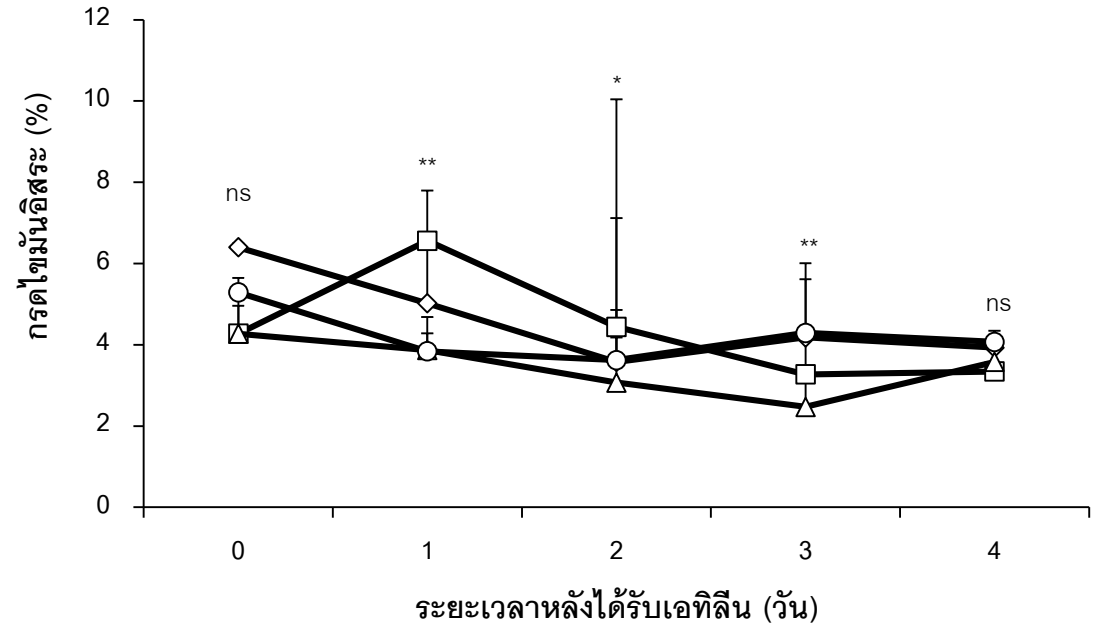
** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

1.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ก่อนการให้เอทิลีนทุกความเข้มข้นกับผลปาล์มน้ำมัน ได้เก็บตัวอย่างผลปาล์มน้ำมันเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระซึ่งเทียบกับกรดปาล์มมิติก พบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกัน และเมื่อผลปาล์มน้ำมันได้รับเอทิลีนความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 และ 250 $\mu l L^{-1}$ มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ จากนั้นในวันที่ 3 หลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 250 และ 500 $\mu l L^{-1}$ มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ ซึ่งผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 500 $\mu l L^{-1}$ มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำที่สุด และเมื่อเก็บรักษาทะลายปาล์มน้ำมันจนถึงวันที่ 4 ปริมาณกรดไขมันอิสระของผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนทุกความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 21 และตารางภาคผนวกที่ 8) ทั้งนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของสถาบัน The official Portal of Malaysia Palm Oil Board (MPOB) คือ 5% แสดงว่าเอทิลีนมีผลทำให้กรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นแต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



ความเข้มข้น 0 $\mu l L^{-1}$ ความเข้มข้น 250 $\mu l L^{-1}$

ความเข้มข้น 500 $\mu l L^{-1}$ ความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$

ภาพที่ 21 ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

3.2 ผลของ 1-MCP ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมัน

การทดลองนี้ได้นำทะลายสดปาล์มน้ำมันในระยะเก็บเกี่ยวรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นวางทะลายปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน พบว่าการรมทะลายปาล์มน้ำมันด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} สามารถชะลอการสุกและการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายได้ ซึ่งสอดคล้องกับแรงดึงขั้วผลให้หลุดจากทะลายที่ลดลงอย่างช้า ๆ แต่ทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP มีค่าแรงดึงขั้วผลให้หลุดร่วงลดลงอย่างรวดเร็ว และผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP โดยมีรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ของผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ดังต่อไปนี้

2.1 ค่าสีเปลือกผล

ผลการทดลองพบว่า ทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงสีผลเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP ซึ่งผลปาล์มน้ำมันยังเป็นสีม่วงดำและมีบริเวณที่ผลเป็นสีดำมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของสีผลจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP มีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกผล ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) มากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ทั้ง 2 ความเข้มข้น (ภาพที่ 23)

2.1.1 ค่าความสว่างของเปลือกผล (L*)

จากการวัดค่าความสว่างของผลปาล์มน้ำมัน พบว่า ทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP มีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของผลมากกว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติตลอดการทดลอง โดยผลปาล์มน้ำมันก่อนได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} มีค่าความสว่างของสีผลใกล้เคียงกันและเริ่มมีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับสาร 1-MCP มากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} อย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 23) อย่างไรก็ตามผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP จากผลทุกส่วนของทะลายทั้งส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลาย มีค่าความสว่างของผลมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความ

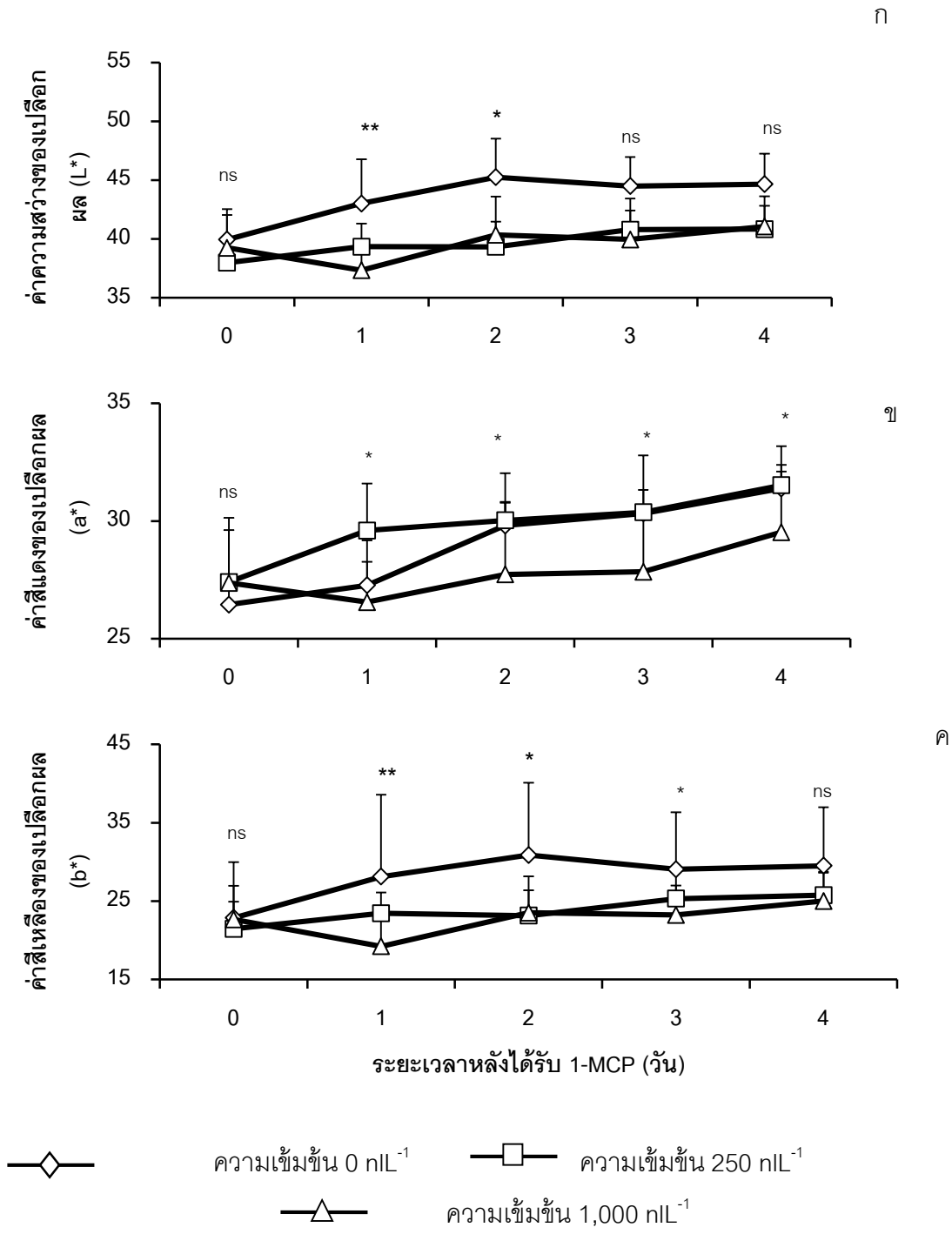
เข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} (ภาพที่ 24) แสดงว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP สามารถการชะลอการเปลี่ยนสีเปลือกผลโดยผลปาล์มน้ำมันยังคงมีพื้นที่ผิวเปลือกส่วนใหญ่เป็นสีม่วงดำ (ตารางภาคผนวกที่ 9)

2.1.2 ค่าสีแดงของสีเปลือกผล (a*)

ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงสีแดงของสีเปลือกผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง มีความแตกต่างทางสถิติตลอดการทดลอง โดยในวันแรกก่อนให้ทรีทเมนต์ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ทุกความเข้มข้นมีค่าสีแดงไม่ต่างกัน และหลังจากได้รับ 1-MCP ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} มีค่าสีแดงน้อยที่สุดตลอดการทดลอง ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าสีแดงจากผลส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลาย พบว่า ทุกความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 23, 25 และ ตารางภาคผนวกที่ 10)

2.1.3 ค่าสีเหลืองของเปลือกผล (b*)

ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยในวันแรกก่อนให้ทรีทเมนต์ค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกัน และหลังจากได้รับ 1-MCP ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจากสีเขียวอ่อนเป็นสีเหลืองน้อยกว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับสาร 1-MCP โดยผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองน้อยที่สุด (ภาพที่ 23) ทั้งนี้ผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลายมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจากสีเขียวเป็นสีเหลืองของผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} น้อยกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 nlL^{-1} เช่นกัน (ภาพที่ 26) แสดงว่า 1-MCP สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผลของผลปาล์มน้ำมันได้ (ตารางภาคผนวกที่ 11)



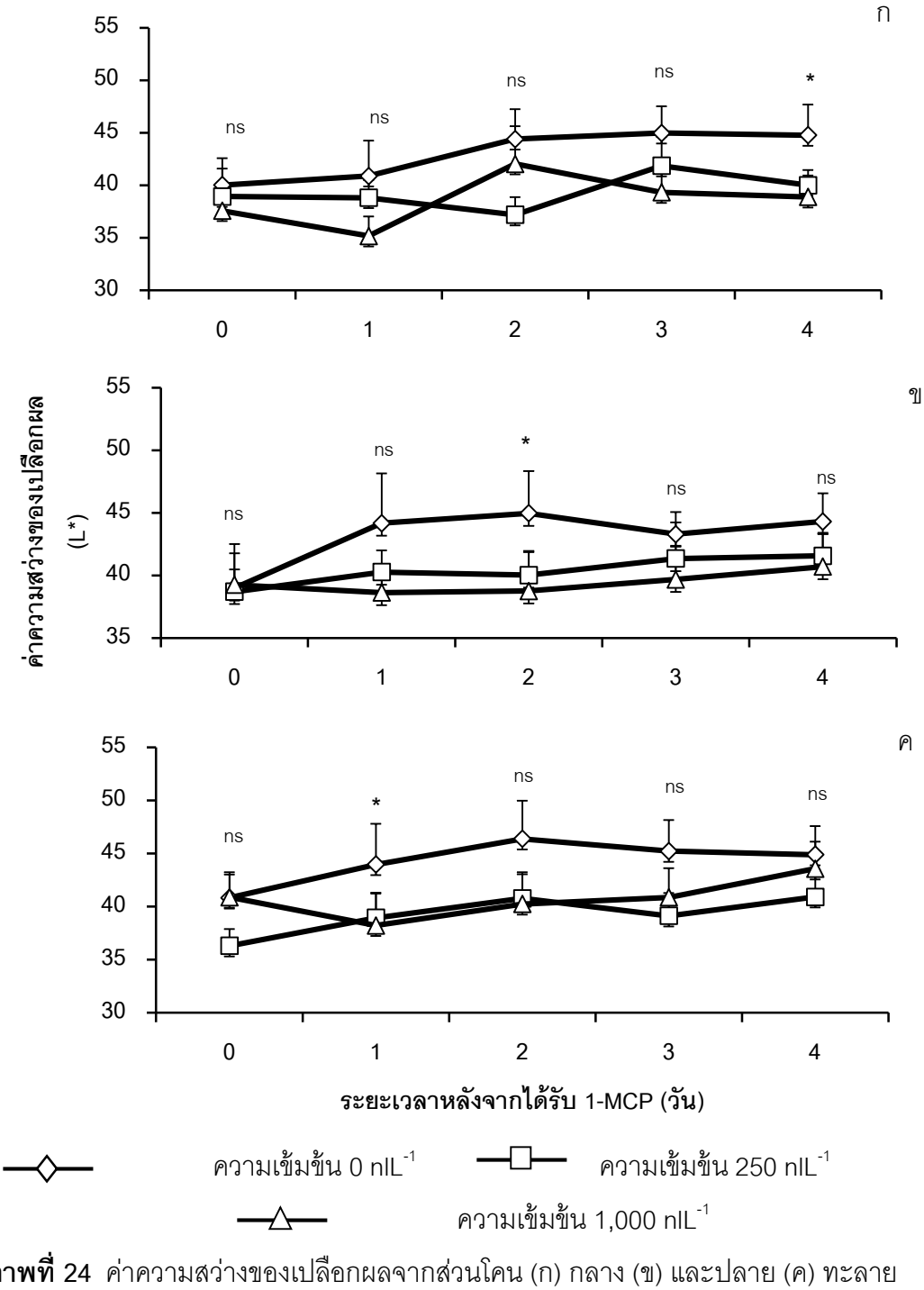
ภาพที่ 23 ค่าความสว่าง (ก) ค่าสีแดง (ข) ค่าสีเหลือง (ค) ของเปลือกผลหลังได้รับ 1-MCP 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

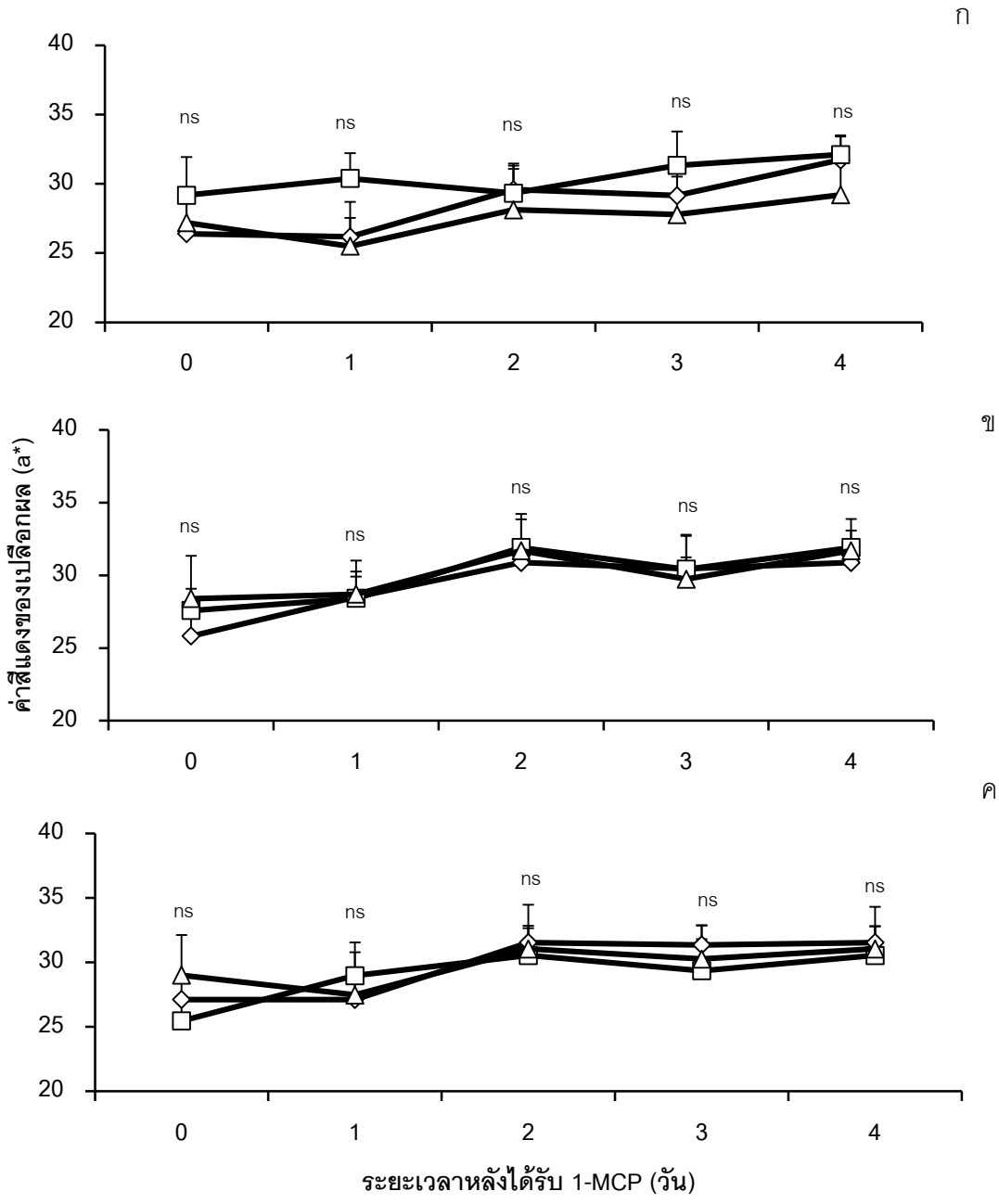


ภาพที่ 24 ค่าความสว่างของเปลือกผลจากส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และปลาย (ค) ทะลายหลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

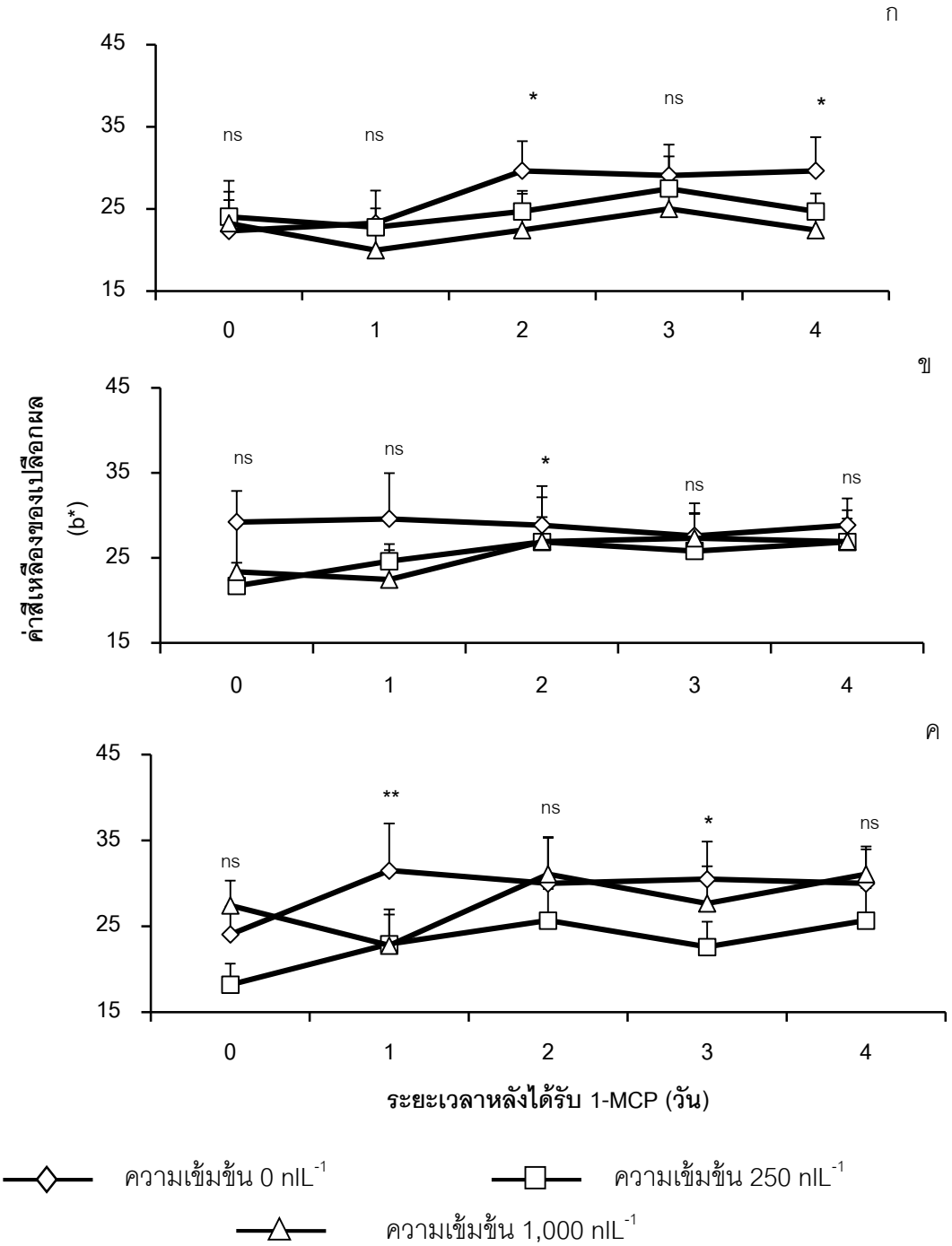
เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ 25 ค่าสีแดงของเปลือกผลจากส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และ ปลาย (ค) ทะลาย หลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ 26 ค่าสีเหลืองของเปลือกผลจากส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และปลาย (ค) ทะลายหลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

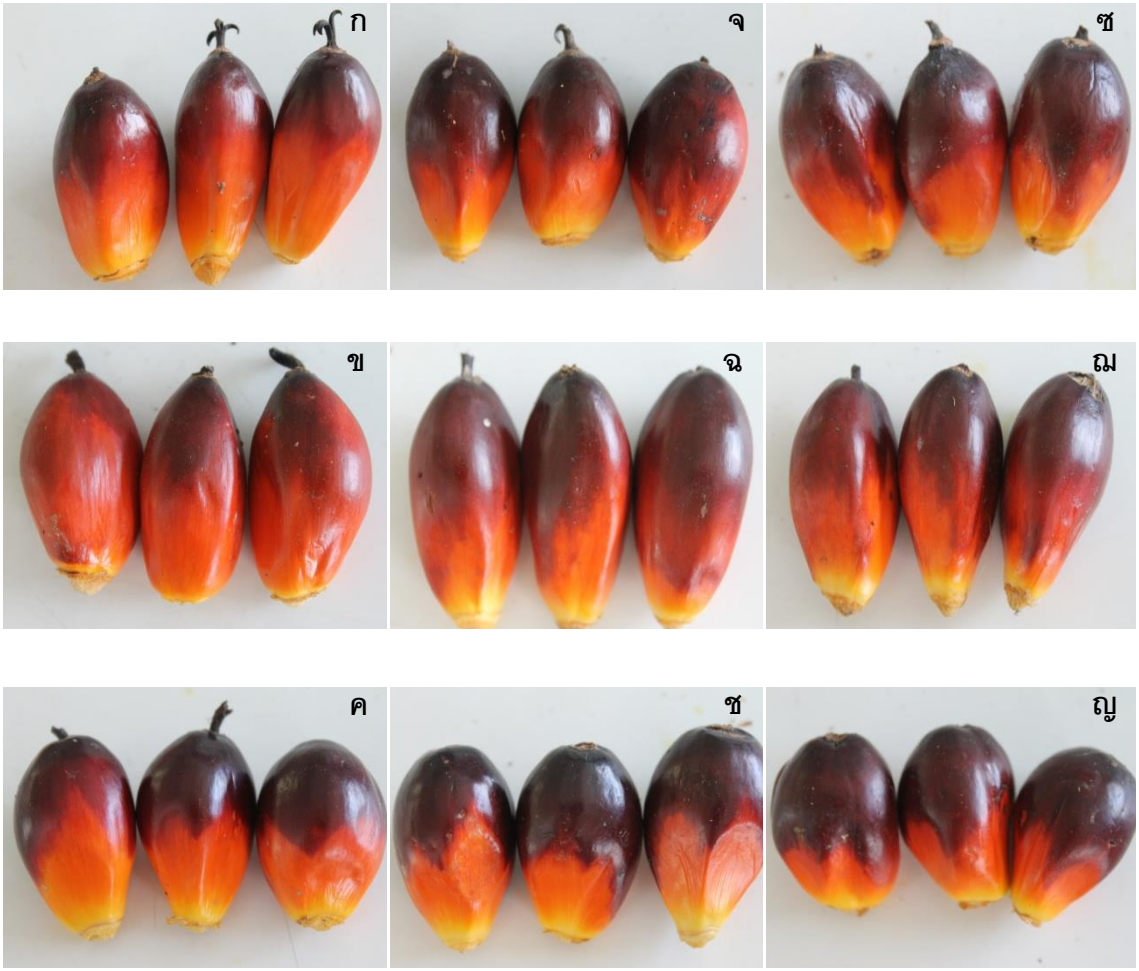
* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

2.2 การประเมินคุณภาพผล

จากการประเมินคุณภาพผลปาล์มน้ำมันจากลักษณะภายนอกเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 การศึกษาผลของ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้ดัชนีการช้ำของผลปาล์มน้ำมัน พบว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} มีดัชนีการช้ำของผลปาล์มน้ำมันน้อยกว่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับสาร 1-MCP โดยผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} มีดัชนีการช้ำของผลอยู่ในระดับที่ 1 คือ ผลไม่มีการช้ำ ซึ่งผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} มีสีเปลือกผลของผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลายเป็นสีม่วงดำและผลคงความสดมากที่สุดและมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 และ 500 nlL^{-1} โดยผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 nlL^{-1} มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลเป็นสีส้มแดงทั้งส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลาย แต่ผลยังคงความสดมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับสาร 1-MCP ซึ่งผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลาย มีสีเปลือกผลเป็นสีส้มแดงและเหี่ยว โดยเฉพาะผลจากส่วนปลายทะลายที่ส่วนปลายของผลมีลักษณะแห้งและดำอย่างชัดเจน แสดงว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} สามารถรักษาคุณภาพของผลปาล์มน้ำมัน ผลปาล์มน้ำมันยังคงความสดและไม่มีการช้ำเน่าของผล (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 27 ลักษณะการช้ำของผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน (ก-ค) กลาง (จ-ช) และปลาย (ซ-ญ) ทะลาย หลังจากได้รับ 1-MCP เป็นเวลา 4 วัน

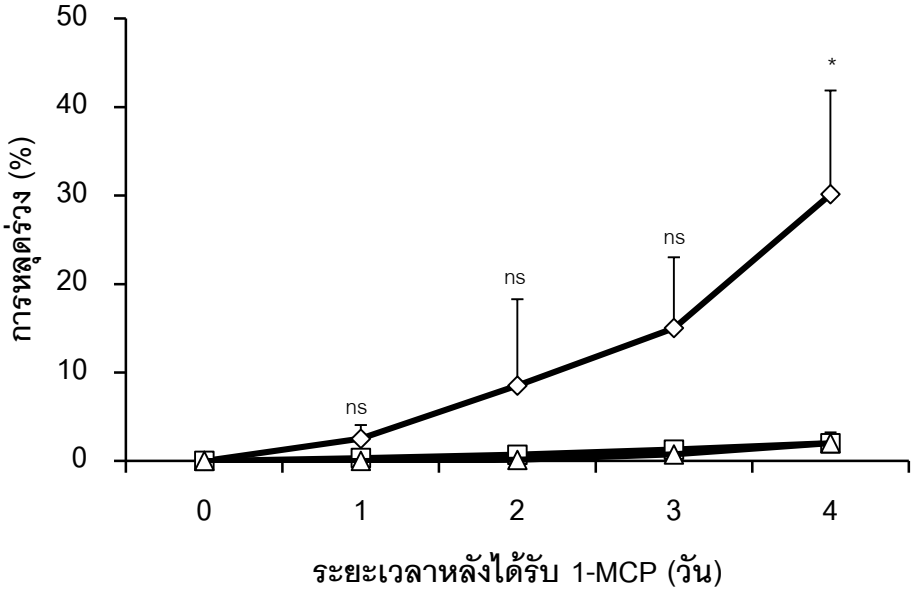
ก ข และ ค ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 nlL^{-1}

จ ฉ และ ซ ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 nlL^{-1}

ซ ฌ และ ญ ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1}

2.3 การหลุดร่วงของผลจากทะลาย

หลังจากผลปาล์มน้ำมันได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเก็บรักษาทะลายปาล์มน้ำมันจนครบ 4 วันทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงมากกว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} ซึ่งมีอัตราการหลุดร่วงเพียง 2% (ภาพที่ 28) ทั้งนี้จากภาพที่ 28 พบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับสาร 1-MCP มีการหลุดร่วงของผลจากทะลายง่ายกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} ซึ่งผลส่วนใหญ่ยังคงแข็งติดกับทะลาย แสดงว่า 1-MCP สามารถชะลอการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายได้ (ตารางภาคผนวกที่ 12)

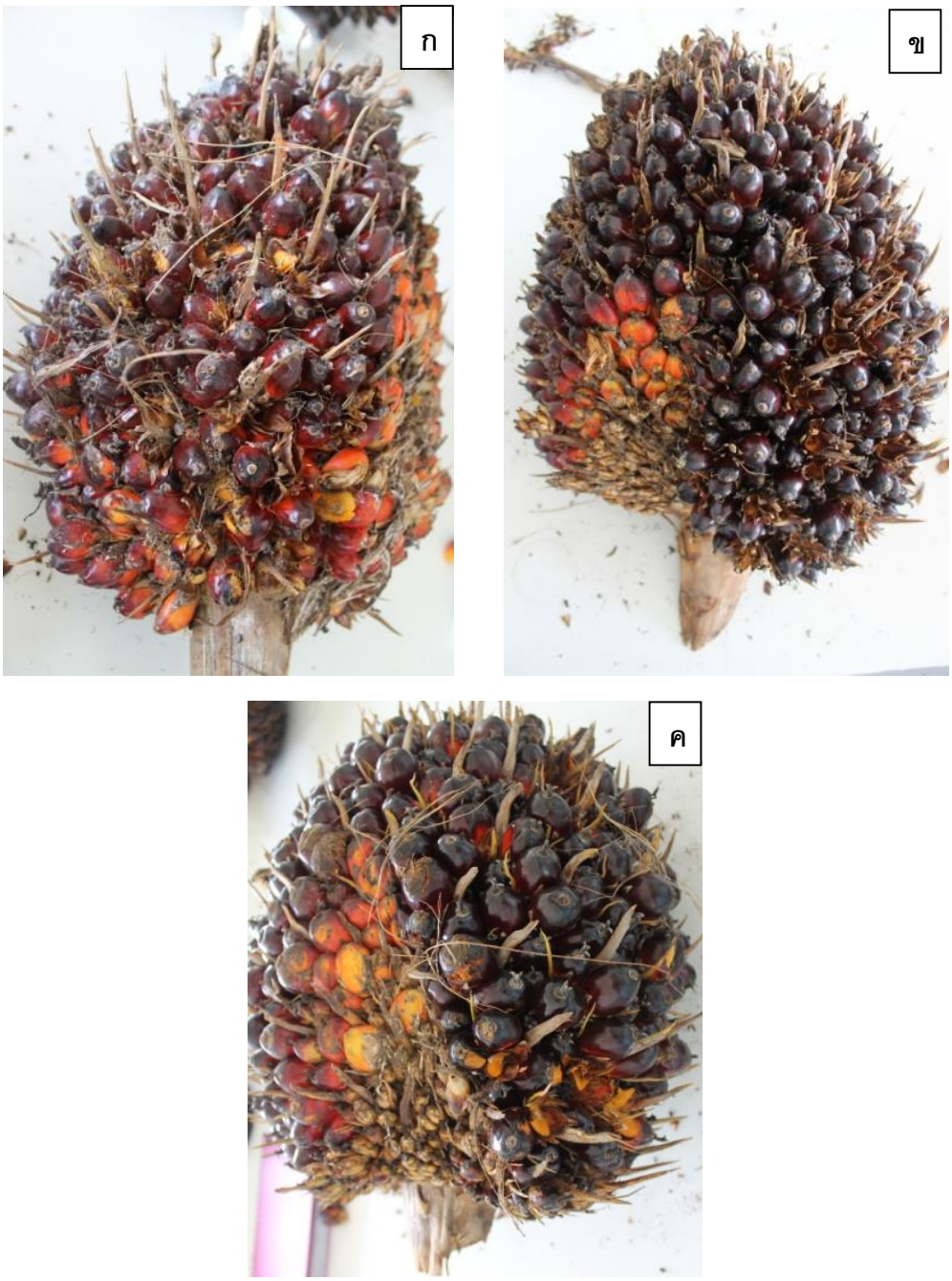


ภาพที่ 28 เปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับสาร 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ 29 การร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายหลังได้รับ 1-MCP เป็นเวลา 4 วัน

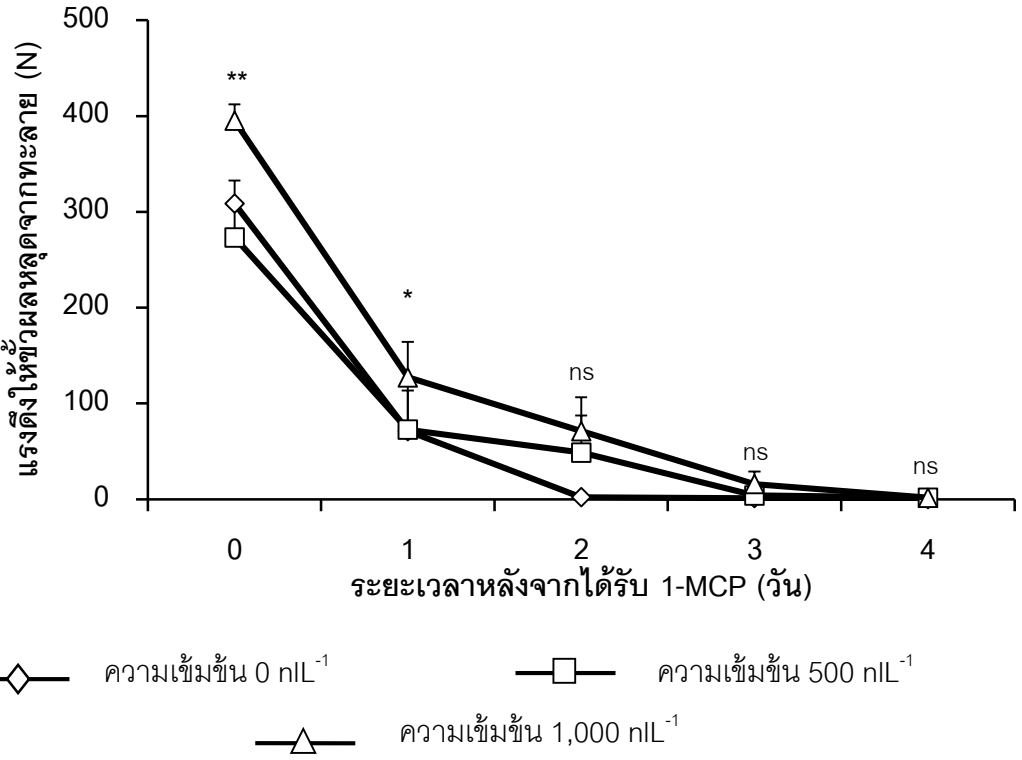
ก. 1-MCP ความเข้มข้น 0 nlL^{-1}

ข. 1-MCP ความเข้มข้น 500 nlL^{-1}

ค. 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1}

2.4 แรงดึงขั้วผล

หลังเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน ทำการดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันให้หลุดออกจากทะลาย โดยใช้เครื่องวัดแรงดึง (digital force gauge) พบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} ใช้แรงดึงผลปาล์มน้ำมันให้หลุดร่วงออกจากทะลายสูงในวันแรกก่อนได้รับสาร 1-MCP หลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 18 ชั่วโมงผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} มีค่าแรงดึงขั้วผลสูงกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP ซึ่งมีค่าแรงดึงไม่แตกต่างจากปาล์มน้ำมันที่ได้รับสาร 1-MCP 500 nlL^{-1} (ภาพที่ 30 และตารางภาคผนวกที่ 14) แสดงว่า 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} มีผลต่อการชะลอการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลาย



ภาพที่ 30 แรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

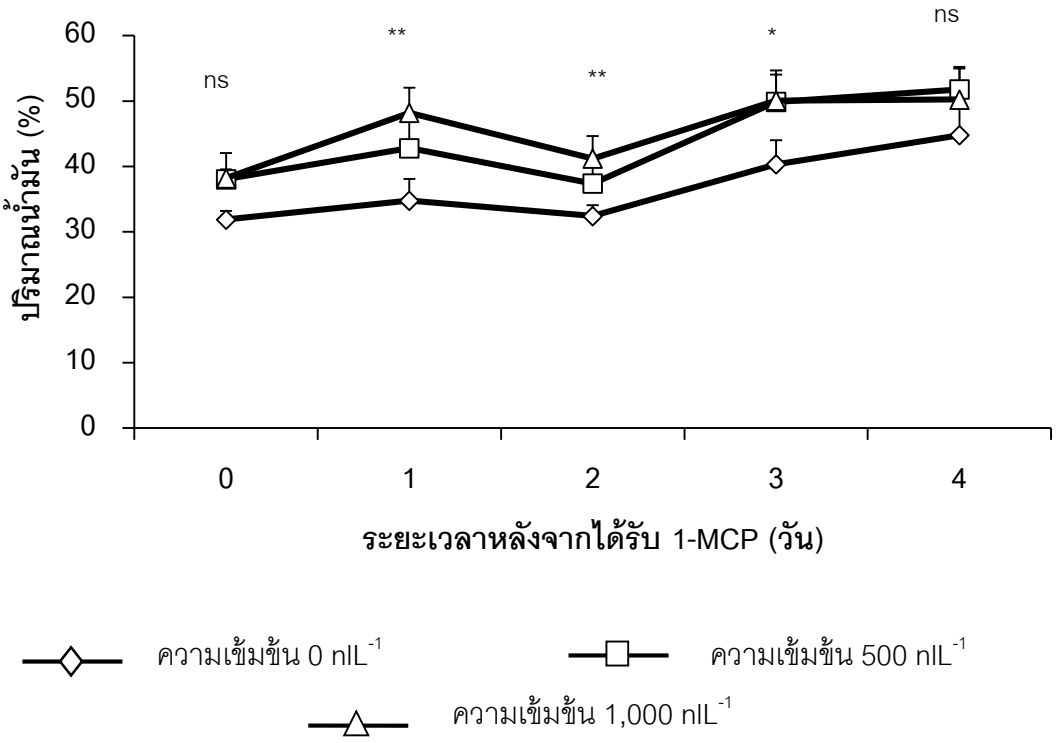
** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

2.5 ปริมาณน้ำมัน

การหาปริมาณน้ำมันจากน้ำหนักแห้ง 2 กรัมของเนื้อผลปาล์มน้ำมัน พบว่า ในวันแรกก่อนการให้ทรีทเมนต์รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปริมาณน้ำมันของผลปาล์มน้ำมันไม่แตกต่าง และหลังจากได้รับ 1-MCP ทะลายปาล์มน้ำมันได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด ซึ่งปริมาณน้ำมันของผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 500 และ 1,000 nlL^{-1} มีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกับผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับ 1-MCP ที่มีปริมาณน้ำมันต่ำสุด (ภาพที่ 31)



ภาพที่ 31 ปริมาณน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

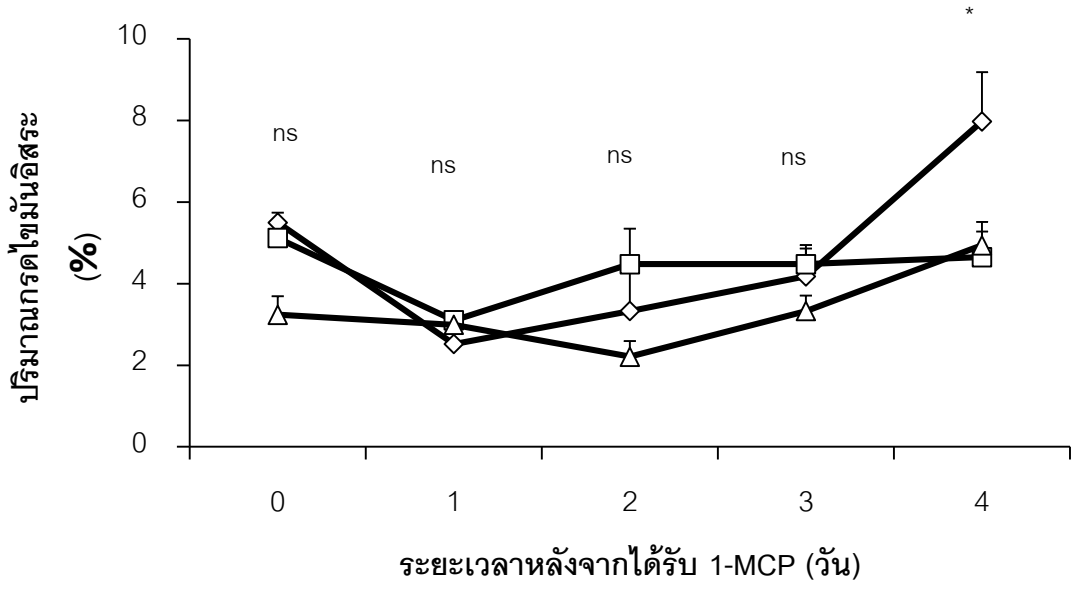
** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

2.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ก่อนการให้ทรีทเมนต์รมสาร 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} กับทะลายปาล์มน้ำมัน ได้เก็บตัวอย่างผลปาล์มน้ำมันเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระซึ่งเทียบกับกรดปาล์มมิติก พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกัน และเมื่อผลปาล์มน้ำมันได้รับ 1-MCP ทั้ง 2 ความเข้มข้น คือ 500 และ 1,000 nlL^{-1} ปริมาณกรดไขมันอิสระของทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP มีปริมาณต่ำกว่า 5% ซึ่งน้อยกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับสาร 1-MCP มีปริมาณกรดไขมันอิสระเป็น 7.98% ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานของปริมาณกรดไขมันอิสระ แสดงว่า 1-MCP สามารถช่วยชะลอการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มได้ (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 32 ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1} เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

ความเข้มข้น 0 nlL^{-1} ความเข้มข้น 500 nlL^{-1} ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1}

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

3 ผลของการใช้ 1-MCP ร่วมกับเอทิลีนต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมัน

จากการทดลองผลของเอทิลีนและ 1-MCP ทำให้ได้ความเข้มข้นของสารทั้ง 2 ชนิด นำมาใช้ในการศึกษาการรมเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $nl L^{-1}$ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และการรม 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $nl L^{-1}$ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ตามด้วยรมเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับทรีทเมนต์ โดยทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงมากกว่าทะลายที่ไม่ได้รับทรีทเมนต์ และทะลายที่ได้รับสาร 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน อีกทั้งมีอัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายซึ่งสูงกว่าที่ไม่ได้รับทรีทเมนต์อื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับแรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันให้หลุดจากทะลายที่ลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากได้รับเอทิลีน

ในทางตรงกันข้ามกับผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $nl L^{-1}$ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลซึ่งสีผลเปลี่ยนจากสีม่วงดำเป็นส้มแดงน้อยกว่าชุดควบคุม 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน และเอทิลีนตามลำดับ ทั้งนี้ 1-MCP สามารถชะลอการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายได้ดี และสอดคล้องกับค่าแรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันให้หลุดจากทะลายซึ่งลดลงอย่างช้า ๆ ตลอดการทดลอง

ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ร่วมกับเอทิลีน มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผล การหลุดร่วง ปริมาณน้ำมัน และปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างจากผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP หรือ เอทิลีนเพียงอย่างเดียว โดยหลังจากผลปาล์มน้ำมันได้รับ 1-MCP มีการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล การหลุดร่วง ปริมาณน้ำมันและปริมาณกรดไขมันอิสระเช่นเดียวกับผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของสีผล และการหลุดร่วงเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับเอทิลีนในวันที่ 3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆ ภายหลังการให้ทรีทเมนต์เอทิลีนและ 1-MCP มีดังนี้

3.1 ค่าสีเปลือกผล

ผลการทดลองพบว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน และชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงสีผลเพิ่มขึ้นจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงมากกว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับสาร 1-MCP และได้รับสาร 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน โดยทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนและที่ไม่ได้รับทรีทเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) และสีเหลือง (b*) ของสีเปลือกผลใกล้เคียงกันซึ่ง

มากกว่าทรีทเมนต์ที่ได้รับสาร 1-MCP ทั้ง 2 ทรีทเมนต์ อีกทั้งทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) ของสีเปลือกผลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ สำหรับทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับสาร 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของเปลือกผลจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงมากกว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับสาร 1-MCP เพียงอย่างเดียวซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ (ภาพที่ 33) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ค่าความสว่างของเปลือกผล (L*)

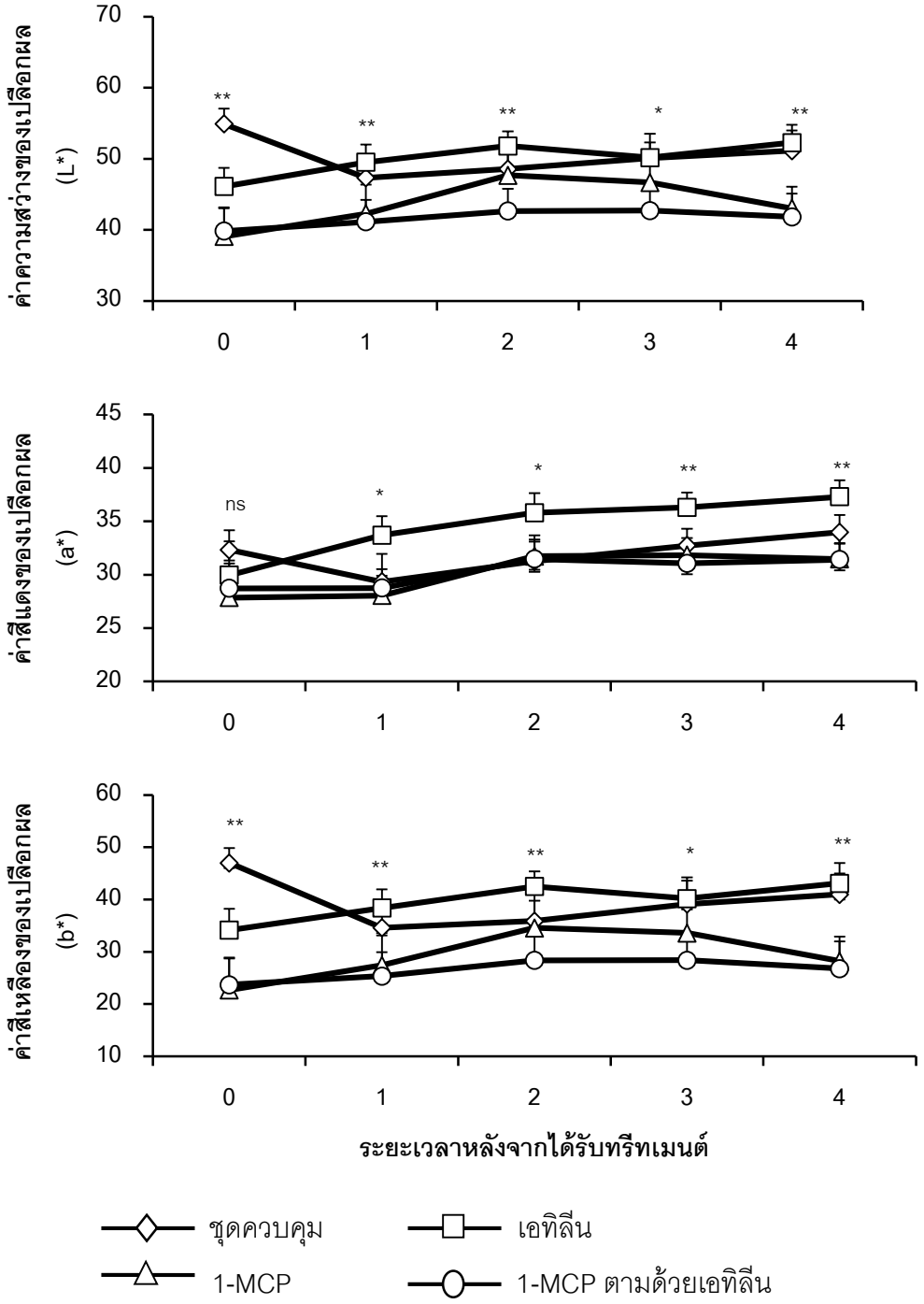
ผลการทดลองพบว่า ทะลายปาล์มน้ำมันชุดควบคุม เอทิลีน 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน โดยในวันให้ทรีทเมนต์ทะลายปาล์มน้ำมันชุดควบคุมมีค่าความสว่างของเปลือกผลมากกว่าที่ได้รับเอทิลีน มากกว่าทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับสาร 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน และหลังจากได้รับทรีทเมนต์ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีค่าความสว่างมากกว่าชุดควบคุม 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน (ภาพที่ 33 และตารางภาคผนวกที่ 17) ทั้งนี้ผลปาล์มน้ำมันจากทุกส่วนของทะลายทั้ง ส่วนโคน ส่วนกลางและส่วนปลายทะลายมีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างของสีเปลือกผลของผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 33 และ 34)

3.1.2 ค่าสีแดงของเปลือกผล (a*)

ผลการทดลองพบว่า ในวันแรกก่อนให้ทรีทเมนต์ผลปาล์มน้ำมันทุกทรีทเมนต์มีค่าสีแดงไม่แตกต่างกัน และหลังจากได้รับทรีทเมนต์ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีค่าสีแดงแตกต่างจากผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ ชุดควบคุม 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน ซึ่งผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงสีแดงของสีเปลือกผลมากที่สุด แต่ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นจากวันแรกใกล้เคียงกับผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน ส่วนผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน มีการเปลี่ยนแปลงสีผลเป็นสีม่วงแดงน้อยที่สุด ทั้งนี้ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนจากทุกส่วนของทะลายมีการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน (ภาพที่ 33 และ 35)

3.1.3 ค่าสีเหลืองของเปลือกผล (b*)

ผลการทดลองพบว่า โดยในวันแรกก่อนการให้ทรีทเมนต์กับทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน มีค่าสีเหลืองน้อยกว่าชุดควบคุม และหลังจากได้รับทรีทเมนต์ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน มีการเปลี่ยนแปลงสีผลจากสีเขียวอ่อนเป็นสีเหลืองมากกว่าทรีทเมนต์อื่น ในขณะที่ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนมีค่าสีเหลืองต่ำสุด ทั้งนี้พบว่าผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน ส่วนกลาง ของผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองมากกว่าชุดควบคุม 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน (ภาพที่ 33 และ 36)

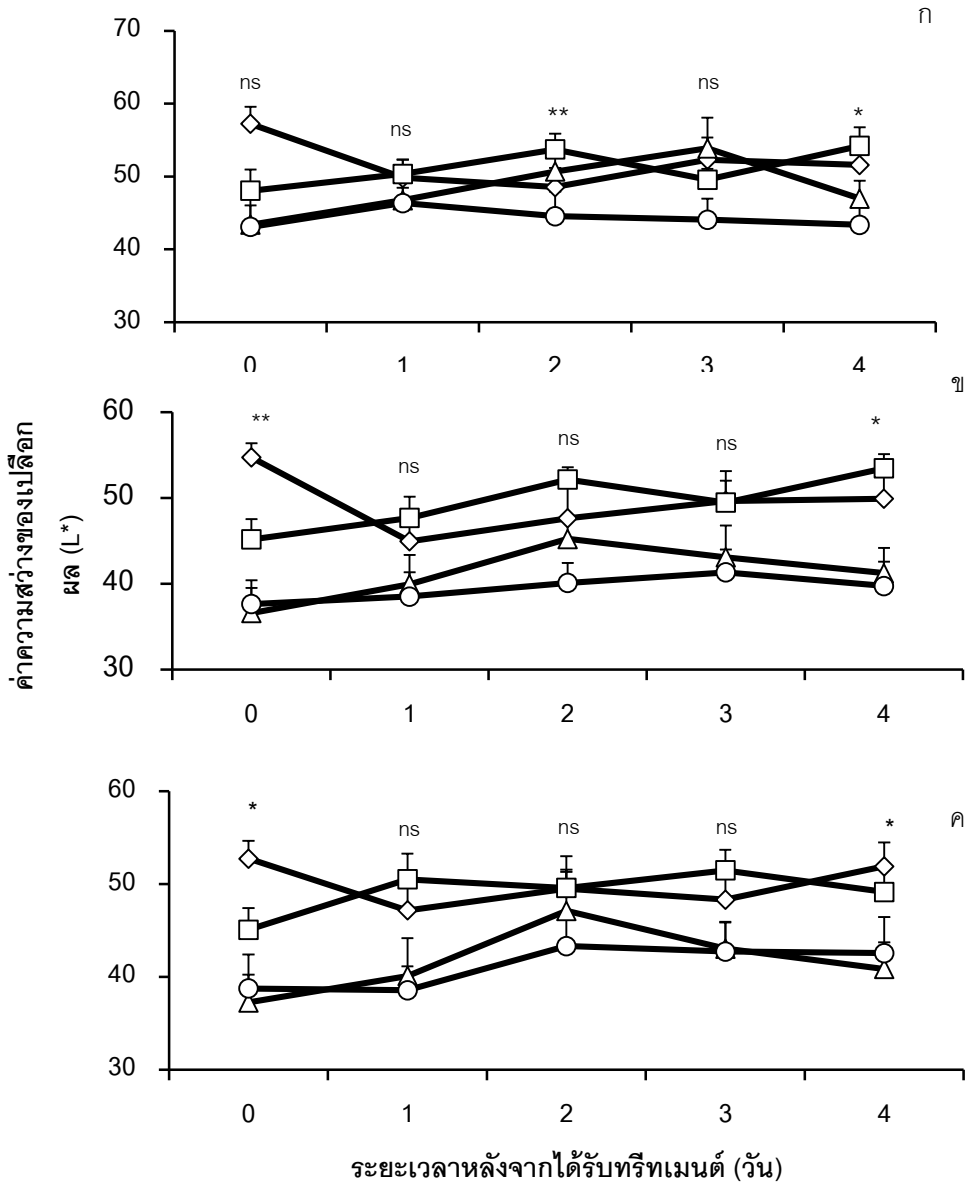


ภาพที่ 33 ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



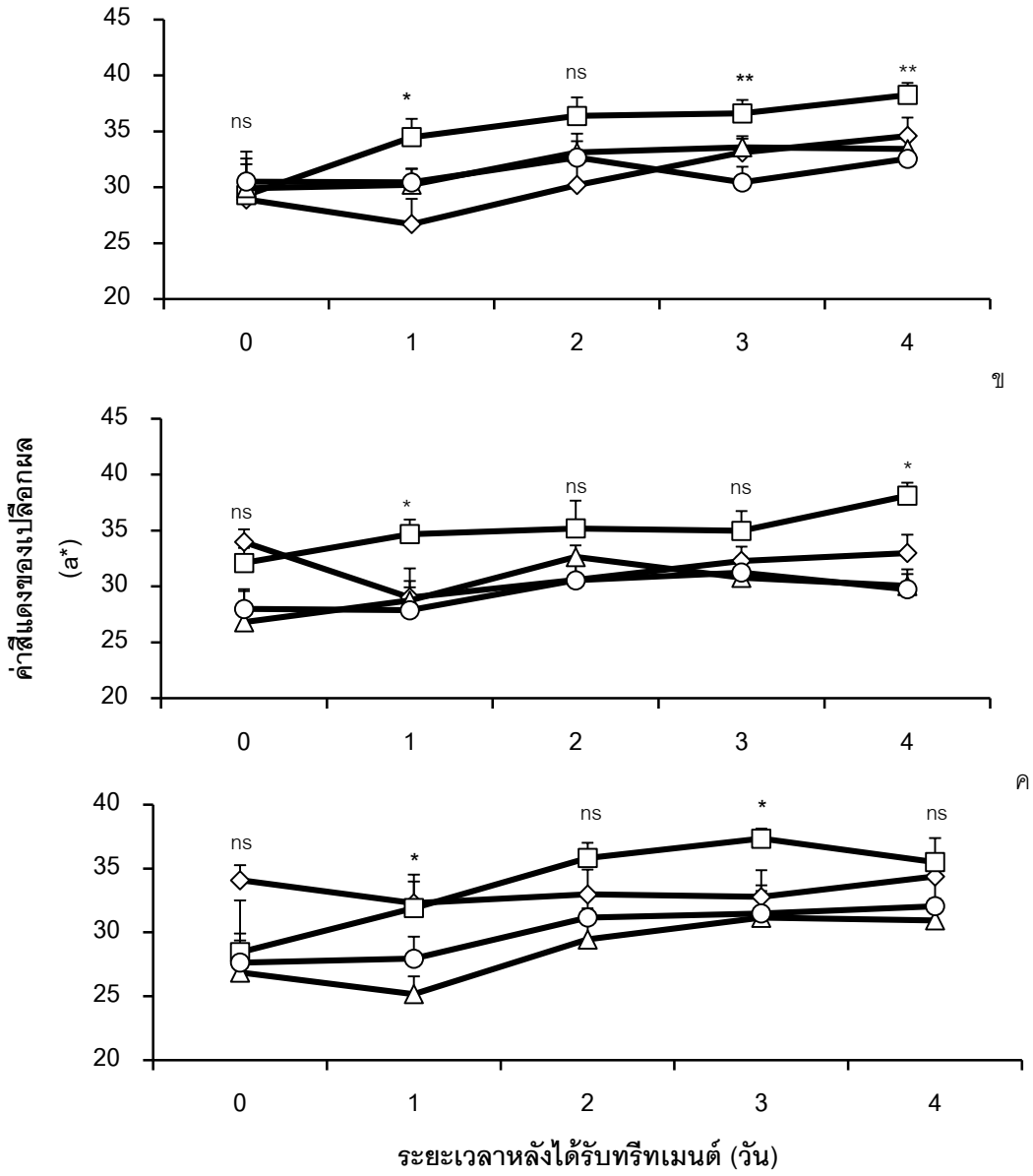
ภาพที่ 34 ค่าความสว่างของเปลือกผลจากส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และปลาย (ค) ทะลายหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



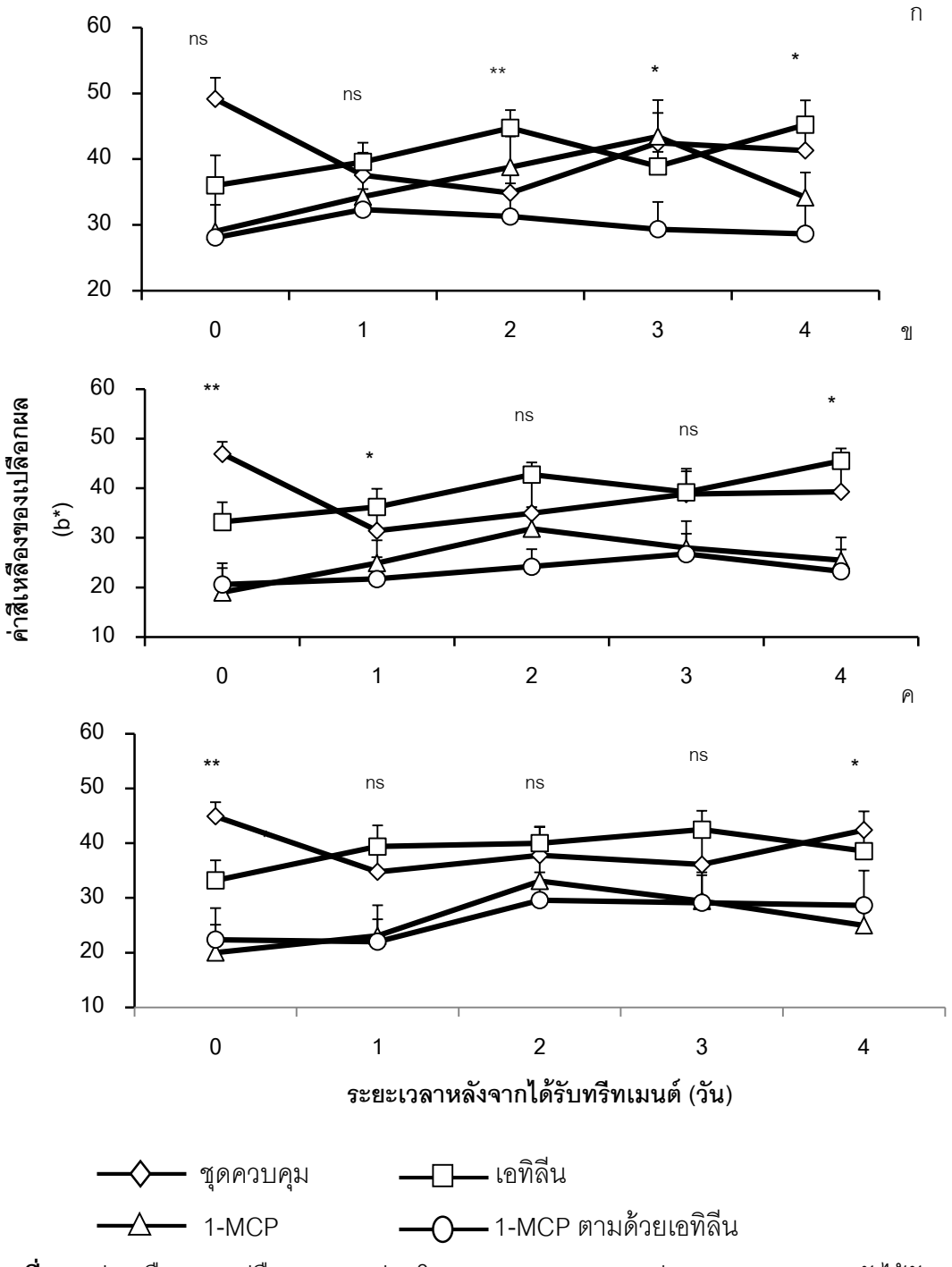
ภาพที่ 35 ค่าสีแดงของเปลือกผลจากส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และปลาย (ค) ทะลาย หลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ 36 ค่าเหลืองของเปลือกผลจากส่วนโคน (ก) กลาง (ข) และปลาย (ค) ทะลาย หลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

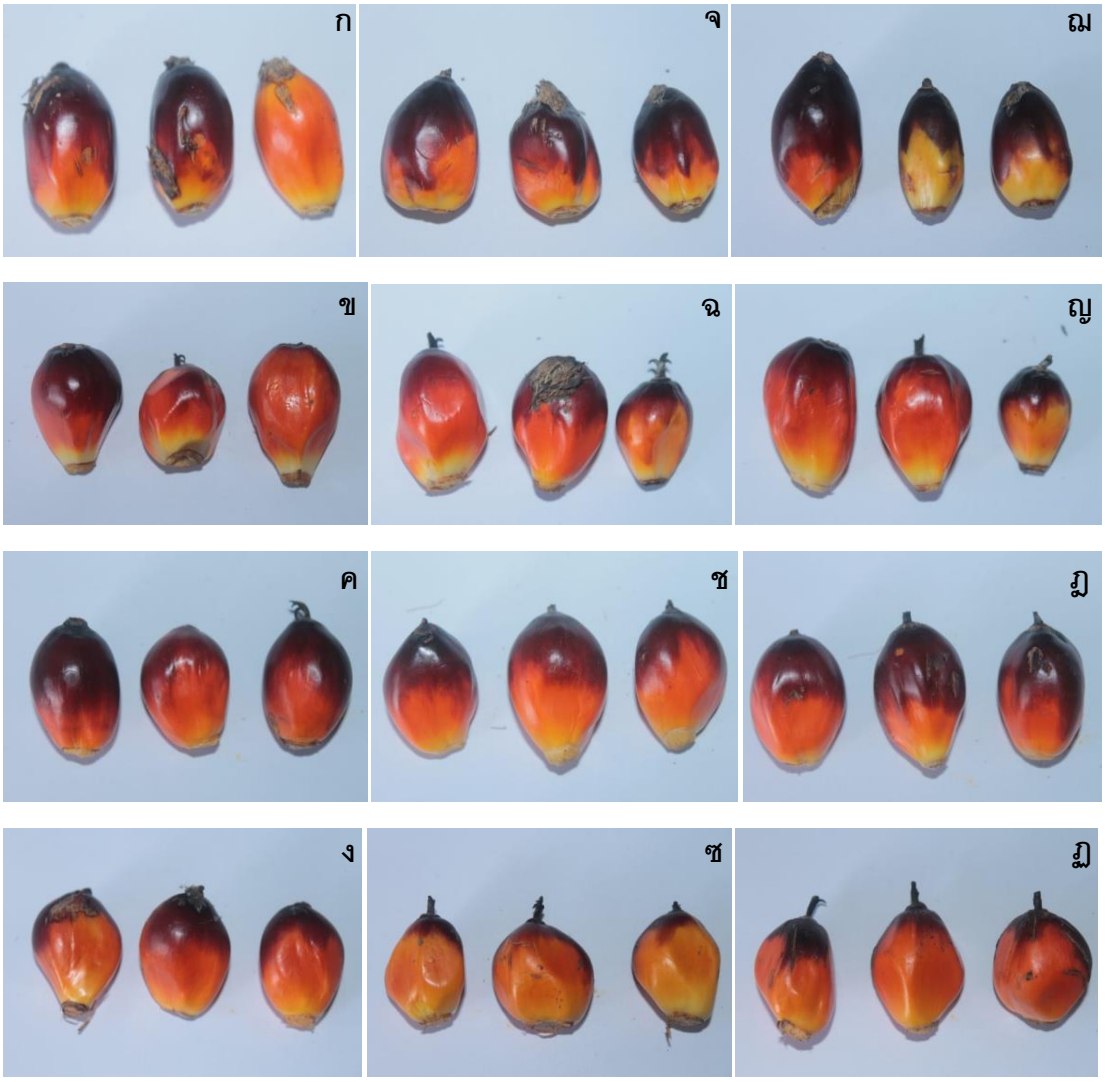
** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

3.2 การประเมินคุณภาพผล

การประเมินคุณภาพผลปาล์มน้ำมันชุดควบคุม เอทิลีนความเข้มข้น1,000 μlL $^{-1}$ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} และผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} ตามด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μlL $^{-1}$ ผลการทดลองพบว่า ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน มีลักษณะผลสด ไม่มีรอยช้ำ มีดัชนีการช้ำที่ระดับ 1 ซึ่งต่ำกว่าผลปาล์มน้ำมันชุดควบคุม ส่วนผลปาล์มน้ำมันในชุดควบคุม ได้รับบาดแผลจากการเก็บเกี่ยวทะลาย มีดัชนีการช้ำในระดับ 2 ทั้งผลส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายทะลาย ผลเหี่ยว ดำ ไม่สด ซึ่งแตกต่างกับผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ทั้งส่วนโคน ส่วนกลางและส่วนปลายทะลาย มีลักษณะผลสดกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ ส่วนผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนทั้งผลส่วนโคน ส่วนกลางและส่วนปลาย มีสีผลเป็นสีส้มแดงมากกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ ส่วนผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน ผลส่วนกลางและส่วนปลายทะลายมีการเปลี่ยนแปลงของสีผลเป็นสีส้มแดงมากกว่าส่วนโคนทะลาย ผลยังคงความสดกว่าผลส่วนโคนซึ่งมีรอยช้ำจากบาดแผลหลังการเก็บเกี่ยวทะลาย แสดงว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP สามารถรักษาคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน และชุดควบคุม (ภาพที่ 37)



ภาพที่ 37 ลักษณะการช้ำของผลปาล์มน้ำมันส่วนโคน (ก-ง) กลาง (จ-ซ) และปลาย (ญ-ฏ) ทะลาย หลังจากได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP เป็นเวลา 4 วัน

ก จ และ ฌ ผลปาล์มน้ำมันชุดควบคุม

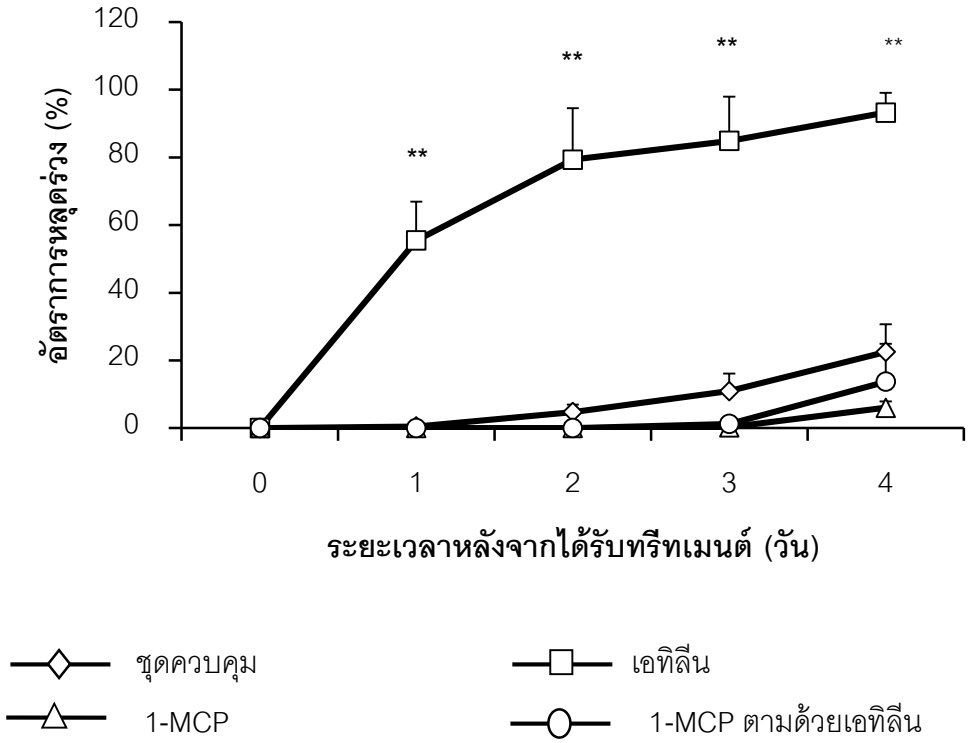
ข ฉ และ ญ ผลปาล์มน้ำมันได้รับเอทิลีน 1,000 $\mu l L^{-1}$ นาน 24 ชั่วโมง

ค ช และ ฎ ผลปาล์มน้ำมันได้รับ 1-MCP 1,000 $nl L^{-1}$ นาน 18 ชั่วโมง

ง ซ และ ฏ ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP 1,000 $nl L^{-1}$ นาน 18 ชั่วโมง ตามด้วยเอทิลีน 1,000 $\mu l L^{-1}$ นาน 24 ชั่วโมง

3.3 การหลุดร่วงของผลจากทะลาย

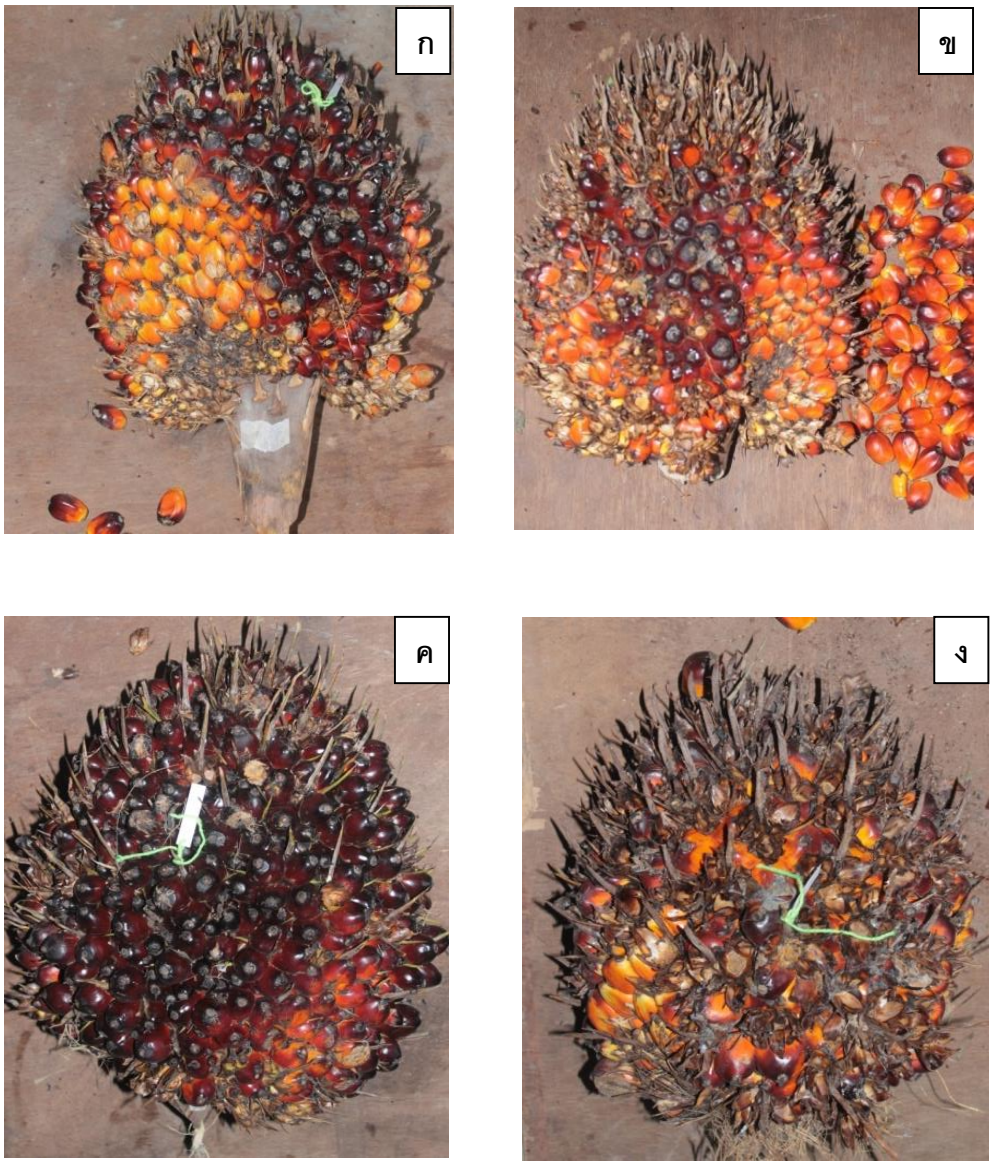
ผลการทดลองพบว่า ทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีอัตราการหลุดร่วงของผลจากทะลายมากที่สุดและมากกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ ทั้งนี้ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนมีการหลุดร่วงของผลจากทะลายน้อยที่สุด โดยผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนมีอัตราการหลุดร่วงของผลจากทะลายมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP เพียงอย่างเดียว แสดงว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP สามารถชะลอการหลุดร่วงของผลจากทะลายได้ แต่เมื่อได้รับเอทิลีนจากภายนอกไปกระตุ้นการหลุดร่วงทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงจากทะลายได้ตั้งแต่วันที่ 3 หลังจากได้รับทรีทเมนต์ ทั้งนี้การหลุดร่วงของผลจากทะลายยังคงน้อยกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน (ภาพที่ 38 และ 39)



ภาพที่ 38 อัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ 39 ลักษณะการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP เป็นเวลา 4 วัน

ก. ชุดควบคุม

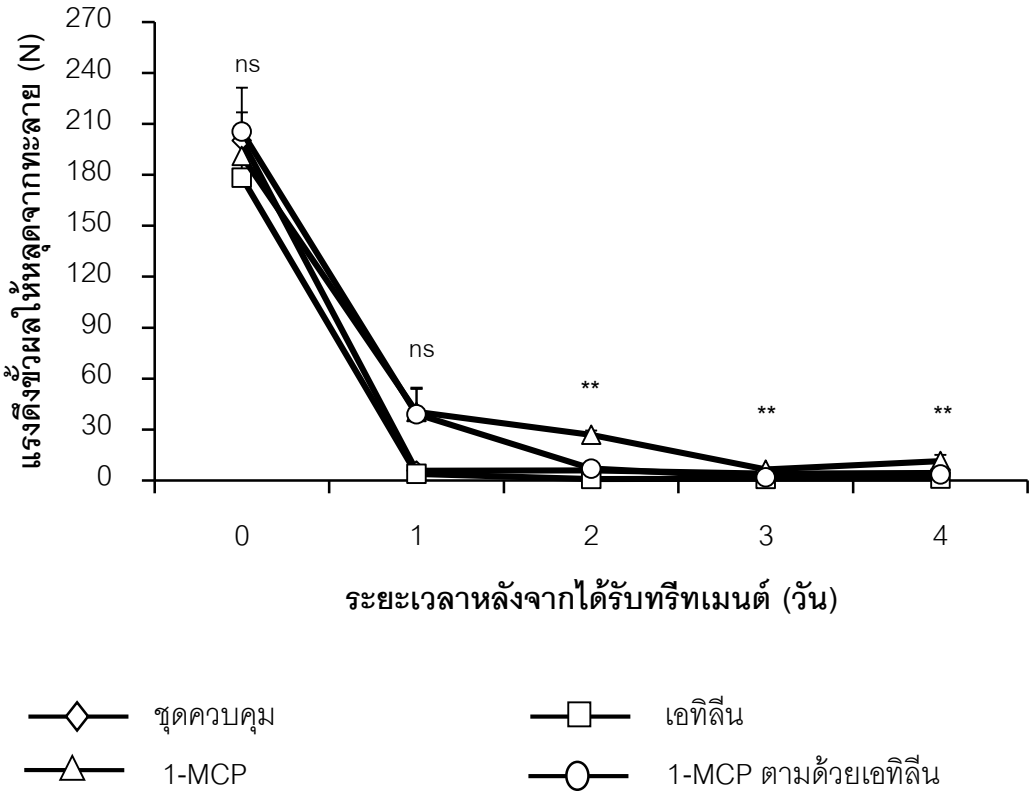
ข. เอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ นาน 24 ชั่วโมง

ค. 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $nl L^{-1}$ นาน 18 ชั่วโมง

ง. 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $nl L^{-1}$ นาน 18 ชั่วโมง ตามด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ นาน 24 ชั่วโมง

3.4 แรงดึงขั้วผล

ผลการทดลองพบว่า ในวันแรกก่อนได้รับทรีทเมนต์ผลปาล์มน้ำมันมีค่าแรงดึงไม่แตกต่างกัน จากนั้นค่าแรงดึงขั้วผลให้หลุดจากทะลายเริ่มลดลงตั้งแต่วันที่ 1 หลังจากได้รับทรีทเมนต์ โดยทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนค่าแรงดึงขั้วผลลดลงอย่างรวดเร็วกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ ตรงข้ามกับทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP มีค่าแรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันให้หลุดจากทะลายมากที่สุด ส่วนค่าแรงดึงขั้วผลปาล์มให้หลุดจากทะลายของผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนและชุดควบคุมมีค่าแรงดึงใกล้เคียง แสดงว่าการให้ 1-MCP ร่วมกับเอทิลีนนั้น 1-MCP สามารถไปชะลอการหลุดร่วงของผล และเมื่อได้รับเอทิลีนจากภายนอกไปกระตุ้นใหม่ทำให้เกิดการหลุดร่วงเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 40 และตารางภาคผนวกที่ 22)



ภาพที่ 40 แรงดึงผลปาล์มน้ำมันให้หลุดร่วงออกจากทะลายหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP

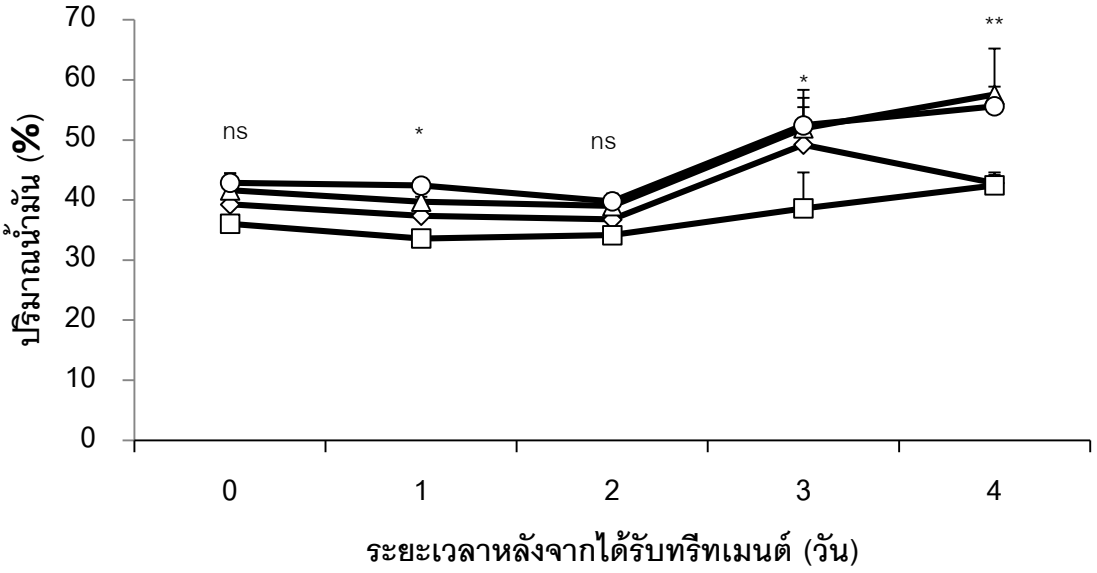
** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

3.5 ปริมาณน้ำมัน

การหาปริมาณน้ำมันจากน้ำหนักแห้ง 2 กรัมของเนื้อผลปาล์ม ผลการทดลองพบว่า ในวันแรกก่อนให้ทรีทเมนต์กับทะลายปาล์มน้ำมันปริมาณน้ำมันของทุกทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน และหลังจากทะลายปาล์มน้ำมันได้รับทรีทเมนต์ 1 วัน ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน มีปริมาณน้ำมันสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับสาร 1-MCP เพียงอย่างเดียว ซึ่งมากกว่าทะลายปาล์มน้ำมันในชุดควบคุมและผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน (ภาพที่ 41)



ภาพที่ 41 ปริมาณน้ำมันจากน้ำหนักแห้ง 2 กรัม ของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP

ชุดควบคุม — เอทิลีน

1-MCP — 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

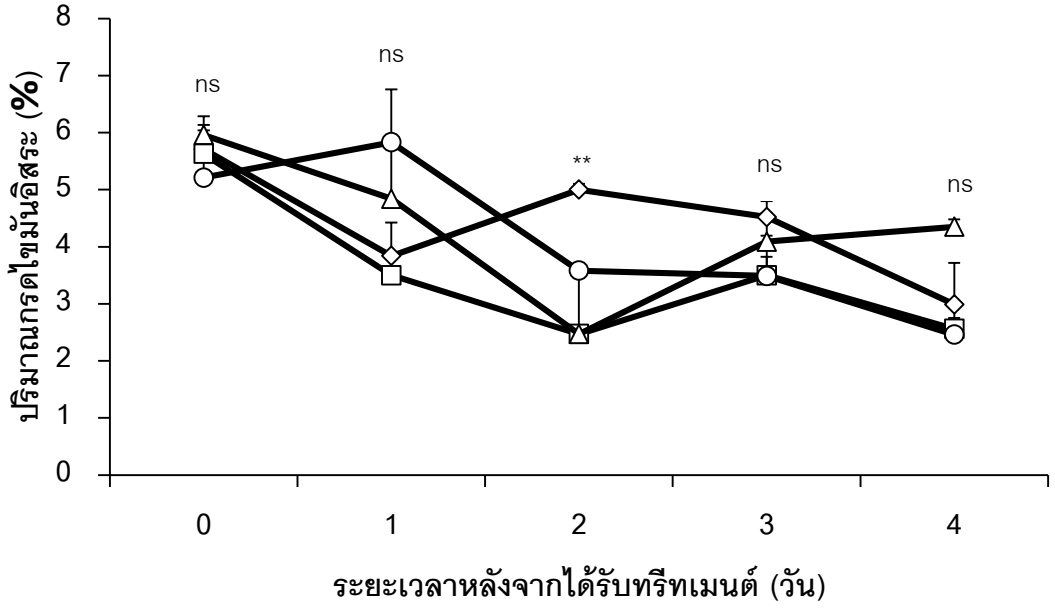
** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

3.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ก่อนการให้ทรีทเมนต์กับทะลายปาล์มน้ำมัน ได้เก็บตัวอย่างผลปาล์มน้ำมันเพื่อวัดปริมาณกรดไขมันอิสระเทียบกับกรดปาล์มิติก ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระของผลปาล์มน้ำมันในชุดควบคุม เอทิลีน 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนมีค่ากรดไขมันอิสระมากกว่า 5% จากนั้นเมื่อให้ทรีทเมนต์ต่างๆ กับทะลายปาล์มน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มลดลงตั้งแต่วันที่ 1 หลังได้รับทรีทเมนต์และทุกทรีทเมนต์มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งแตกต่างกับวันที่ 2 หลังจากได้รับทรีทเมนต์ปริมาณกรดไขมันอิสระมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน 1-MCP และ1-MCP ร่วมกับเอทิลีนมีปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าผลปาล์มน้ำมันชุดควบคุม แสดงว่าเอทิลีน และ 1-MCP มีผลต่อการชะลอการเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 42)



ภาพที่ 42 ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับทรีทเมนต์เอทิลีนและสาร 1-MCP

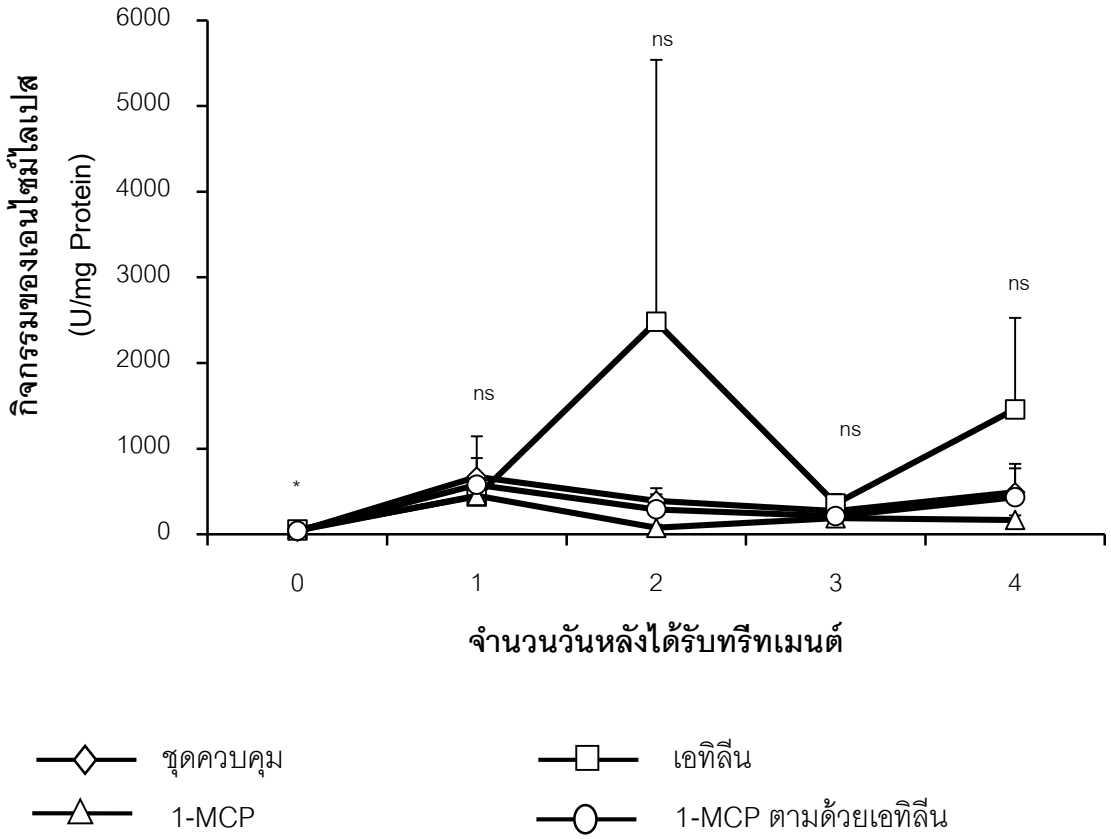
** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

3.7 การวัดกิจกรรมเอนไซม์ไลเปส

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสจากผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน 1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน เปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสดังนี้ ในวันที่ 2 หลังจากผลปาล์มน้ำมันได้รับทรีทเมนต์ต่าง ๆ กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนเพิ่มขึ้นสูงสุด ส่วนผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสไม่แตกต่างจากชุดควบคุม และผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสต่ำสุด (ภาพที่ 43)ถึงแม้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในทรีทเมนต์ต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่แสดงว่าเอทิลีนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ไลเปส ผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับทรีทเมนต์และเอทิลีนมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ1-MCP และ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน ในขณะที่ผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ทั้ง 2 ทรีทเมนต์มีกิจกรรมไลเปสต่ำสุดในผลทุกส่วนของทะลาย จึงมีแนวโน้มที่แสดงว่า 1-MCP อาจเกี่ยวข้องกับการชะลอการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ไลเปส



ภาพที่ 43 กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีนและสาร 1-MCP

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

บทที่ 4

วิจารณ์

เมื่อให้เอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μlL^{-1}กับทะลายปาล์มน้ำมันสามารถเร่งการเปลี่ยนแปลงสีผลทำให้ผลปาลมน้ำมันสุกได้เร็วขึ้นเนื่องจากผลปาล์มน้ำมันเป็นผลประเภทไคลแมคเทอริก (Tranbarger *et al*., 2011) เนื่องจากเอทิลีนไปกระตุ้นการเสื่อมสลายตัวของเม็ดสีคลอโรฟิลล์ทำให้เกิดการปรากฏของเม็ดสีแคโรทีนอยด์บริเวณเปลือกผล ซึ่งผลปาล์มน้ำมันมีการสะสมแคโรทีนอยด์ตั้งแต่ 120 วันหลังจากติดผลไปจนถึงวันที่ทำการเก็บเกี่ยวทะลายออกจากต้น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ฮอร์โมนเอทิลีนมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน ทำให้ผลปาล์มน้ำมันเป็นสีส้มแดงเพิ่มขึ้น (Tranbarger *et al*., 2011) ซึ่งการใช้ก๊าซเอทิลีนบ่มทะลายปาล์มน้ำมันนี้สามารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันในทะลายมีการสุกสม่ำเสมอทั้งทะลายมากขึ้น อาจเนื่องมาจากเอทิลีนมีสถานะเป็นก๊าซ ดังนั้นจึงมีการเคลื่อนที่ของก๊าซกระจายทั่วทั้งตู้รมสารและก๊าซสามารถซึมเข้าสู่เนื้อปาล์มน้ำมันได้ทั้ง ซึ่งให้ผลดีกว่าการใช้สารปลดปล่อยเอทิลีน เช่น เอทิฟอนที่ต้องใช้วิธีการจุ่มแขนงของปาล์มน้ำมันลงในสารละลายเอทิฟอนเพื่อให้ปลดปล่อยก๊าซเอทิลีน ทำให้สภาวะการบ่มทะลายมีความชื้นสูงจึงมีโอกาสเน่าเสียซึ่งเกิดการเข้าทำลายของเชื้อโรคได้ง่ายและ (ธีระพงศ์ และคณะ, 2539)

นอกจากนี้เอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μlL^{-1} สามารถเร่งการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายปาล์มน้ำมันได้ดี อาจเป็นผลเนื่องมาจากมีการผลิตเอทิลีนและกรดแอบซิซิกในเนื้อผลสูง (mesocarp) ในช่วงผลสุกหรือผลมีอายุประมาณ 140-160 วันหลังจากติดผล ทำให้ผลปาล์มน้ำมันเข้าสู่กระบวนการสุกและเกิดการหลุดร่วงของผลจากทะลาย (Tranbarger *et al*., 2011) เมื่อมีเอทิลีนจากภายนอกไปกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณการร่วง (abscission zone) เกิดการอ่อนตัวลงของเปลือกผล ทำให้ขั้วผลหลุดร่วงออกจากทะลายปาล์มน้ำมันได้อย่างรวดเร็วและง่ายดายเมื่อได้รับเอทิลีน (Ismail *et al*., 2011) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานผลการศึกษาการใช้สารปลดปล่อยเอทิลีนสามารถกระตุ้นให้ผลปาล์มน้ำมันสุกเร็วขึ้นและเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงของผลออกจากทะลาย (ธีระพงศ์ และคณะ, 2539; Ismail *et al*., 2010) ในกรณีการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายส่งผลดีต่อการจัดการในกระบวนการหีบสกัดน้ำมันสำหรับโรงงานสกัดน้ำมัน เนื่องจากกระบวนการหีบสกัดน้ำมันปาล์ม

ดิบต้องใช้พลังงานอย่างมากในกระบวนการอบทะลายด้วยไอน้ำ เพื่อแยกผลปาล์มออกจากทะลาย (วิชณีย์, 2547) ซึ่งการทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงจากทะลายก่อนเข้าโรงงานสกัดน้ำมันช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการอบทะลายด้วยไอน้ำ หรือลดการใช้แรงงานในการสับทะลายปาล์มน้ำมันทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันลดต่ำลง และสามารถสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ปริมาณมากขึ้นต่อกำลังการผลิตใน 1 รอบ ตัวอย่างเช่น การจัดตั้งโรงงานต้นแบบสกัดน้ำมันสหกรณ์นิคมอ่าวลึก จ.กระบี่ มีขนาดกำลังการผลิต 2 ตันทะลายต่อชั่วโมง โดยสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากผลปาล์มร่วงทั้งหมด แม้จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 10% แต่สามารถสกัดน้ำมันได้สูงถึง 30-35% ของน้ำหนักผลปาล์มน้ำมันที่เข้าสู่กระบวนการผลิต (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2558)

ผลการทดลองพบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูง เนื่องจากผลปาล์มน้ำมันเริ่มมีการสังเคราะห์และสะสมปริมาณน้ำมันในส่วนของเนื้อปาล์มน้ำมันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 15 หลังติดผลไปจนกระทั่งผลสุก หรือ 20-22 สัปดาห์หลังติดผล ซึ่งผลปาล์มน้ำมันในระยะสุกจะมีปริมาณน้ำมันหรือไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) สะสมอยู่สูงสุด (Sambanthamurthi *et al*.,2000) ทั้งนี้การผลิตเอทิลีนของผลปาล์มน้ำมันจะมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ปริมาณน้ำมัน โดยมีปริมาณเอทิลีนและปริมาณน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลปาล์มน้ำมันเข้าสู่กระบวนการสุก ซึ่งเอทิลีนมีผลต่อการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารสะสมของผลปาล์มน้ำมัน โดยผลปาล์มน้ำมันในระยะอ่อนจะสะสมฟอสโฟลิปิดเป็นหลัก และเปลี่ยนเป็นไตรกลีเซอไรด์หรือน้ำมันเมื่อเข้าสู่ระยะผลสุก (Tranbarger *et al*., 2011) เช่นเดียวกับปริมาณน้ำมันของผลปาล์มน้ำมันดิบที่ได้รับการบ่มด้วยการรดน้ำในสภาพลานเท มีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นช่วง 1-5 วันหลังบ่ม (เบญจมาภรณ์ และคณะ, 2552) ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณน้ำมันของผลปาล์มน้ำมันที่ปลูกในประเทศไทย อยู่ในช่วง 25-30 เปอร์เซ็นต์ (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2558) ดังนั้นผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับการบ่มมีการกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันที่สมบูรณ์และกระบวนการสุกแก่เต็มที่ ทำให้มีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปหลังจากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันจากต้นแล้วปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น การกระแทกของทะลายกับพื้นดิน การเกิดบาดแผล การเข้าทำลายเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างรอการขนส่งหรือสกัดน้ำมันในผลปาล์มน้ำมันที่สุกมากซึ่งอ่อนแอต่อเชื้อโรค ส่งผลให้เกิดสภาวะเครียด เกิดการเพิ่มขึ้นของเอทิลีน (Hadi *et al*., 2009) ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการใช้เอทิฟอนที่มี

ปริมาณกรดไขมันอิสระมากถึง 5% (ธีระพงศ์ และคณะ, 2539) แต่แตกต่างกับผลปาล์มน้ำมันที่มีการบ่มด้วยวิธีการรดน้ำซึ่งมีกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้นถึง 15% เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสทำให้ไขมันแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (เบญจมาภรณ์ และคณะ, 2552) อีกทั้งเอทิลีนมีผลต่อการออกซิเดชั่นของกรดไขมันเกิดกรดไขมันอิสระทำให้คุณภาพของน้ำมันลดลง อย่างไรก็ตามการใช้เอทิลีนกับผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยวไม่สามารถเก็บรักษาทะลายได้นานเนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ผลเหี่ยว ไม่สด จึงควรรีบจัดการหีบสกัดน้ำมันจากผลปาล์มร่วงให้หมด (นฤมล และ ลดาวัลย์, 2555)

การใช้สาร 1-MCP กับทะลายปาล์มน้ำมันให้ผลตรงข้ามกับเอทิลีน กล่าวคือ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} สามารถชะลอการสุก การหลุดร่วง และรักษาคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยวได้ดี เนื่องจาก 1-MCP สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีนและแย่งจับกับตัวรับเอทิลีนอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเอทิลีนถึง 10 เท่า (Blankenship and Dole, 2003; Watkins, 2006) โดยผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP มีการเปลี่ยนแปลงสีผลจากสีม่วงดำไปเป็นสีส้มแดงช้ากว่าชุดควบคุมและที่ได้รับเอทิลีน ซึ่งสีผลปาล์มน้ำมันยังคงเป็นสีม่วงดำหลังจากได้รับสาร เนื่องจาก 1-MCP มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารสี (pigment) โดยเข้าไปชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase ทำให้การเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ช้าลงการปรากฏของแคโรทีนอยด์จึงเกิดขึ้นได้ช้าลง (Watkins, 2006) อีกทั้ง 1-MCP สามารถชะลอการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันจากทะลายได้แตกต่างจากผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนและชุดควบคุม เนื่องจาก 1-MCP ไปชะลอกระบวนการผลิตเอทิลีนและการหายใจของผลผลิตทำให้การสุกเกิดขึ้นช้าลง และส่งผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงบริเวณการหลุดร่วงของผลทำให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงช้าลง (Watkins, 2006) นอกจากนี้ 1-MCP ยังสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันและปริมาณกรดไขมันมันอิสระได้ โดยมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ 50-60 % ซึ่งมากกว่าชุดควบคุมและมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพียง 4 % ซึ่งน้อยกว่าชุดควบคุมเนื่องจากเนื้อเยื่อส่วนเปลือกผลของพืชน้ำมันสามารถดูดซับ 1-MCP ได้ดี แสดงว่า 1-MCP มีประสิทธิภาพเมื่อใช้กับพืชน้ำมัน (Choi and Huber, 2009) ทำให้สามารถลดแตกตัวของกรดไขมันอิสระและมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูง น้ำมันที่ได้มีคุณภาพดี ทั้งนี้การรมปาล์มน้ำมันด้วย 1-MCP สามารถเก็บรักษาทะลายได้นาน และผลยังคงสดกว่ากว่าการรมด้วยเอทิลีน จึงเหมาะแก่การใช้ในการเก็บรักษาทะลายปาล์มน้ำมันในช่วงที่ผลผลิตล้นตลาดเพื่อรอการสกัดน้ำมัน (นฤมล และ ลดาวัลย์, 2555; Nualwijit *et al*., 2013)

การใช้สารทั้ง 2 ร่วมกันคือ 1-MCP และเอทิลีน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสาร 1-MCP และเอทิลีนต่อผลปาล์มน้ำมัน ซึ่งผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนมีการสุกของผลมากกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP และน้อยกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีน เช่นเดียวกับการหลุดร่วงของผลจากทะลาย แรงดึงขั้วผลให้หลุดจากทะลาย ปริมาณน้ำมัน และปริมาณกรดไขมัน แสดงว่าสาร 1-MCP สามารถชะลอการสุกการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันได้ช่วงระยะเวลาหนึ่งที่สาร 1-MCP เข้าไปแย่งจับกับตัวรับเอทิลีนที่มีการผลิตในช่วงเวลาที่ได้รับสาร 1-MCP แต่อย่างไรก็ตามผลปาล์มน้ำมันจะต้องพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุก ซึ่งมีการสังเคราะห์เอทิลีนและตัวรับเอทิลีนอย่างต่อเนื่อง การที่ผลปาล์มน้ำมันได้รับเอทิลีนจากภายนอกหรือจากการผลิตของผลปาล์มน้ำมันเองสารมารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันสุกและหลุดร่วงได้ในระยะเวลาต่อมาเมื่อสาร 1-MCP หมดประสิทธิภาพลง เช่นเดียวกับการทดลองใช้สาร 1-MCP ตามด้วยเอทิลีนกับมะเขือเทศที่สามารถชะลอการสุกของมะเขือเทศได้ในระยะเวลาหนึ่ง (Zhang *et al*., 2009)

การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสในผลปาล์มน้ำมันแต่ละทรีทเมนต์อาจยังไม่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสจะเพิ่มขึ้นชัดเจนในวันที่ 6 หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าในการสุ่มเก็บตัวอย่างที่ใช้จำนวนผลน้อยเกินไปหรือไม่เหมาะสมทำให้การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่สอดคล้องกัน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์ไลเปส อย่างไรก็ตามพบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน และได้รับ1-MCP เพียงอย่างเดียว มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสต่ำตลอดการทดลองและค่อนข้างสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่ต่ำกว่าชุดควบคุมและต่ำกว่าที่ได้รับเอทิลีน อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก 1-MCP สามารถชะลอการสุกของผลปาล์มน้ำมันได้ ชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระได้ดี (Nualwijit *et al*., 2013) กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสจึงน้อยกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับเอทิลีนหรือผลปาล์มน้ำมันสุก

จากการศึกษาบทบาทของเอทิลีนและ 1–MCP ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวหรือโรงงานสกัดน้ำมันทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยเอทิลีนสามารถเร่งให้ผลร่วงจากทะลายเร็วขึ้น ทำให้ลดการใช้พลังงานในโรงงานขนาดที่มีกำลังการผลิตสูง หรือทำให้โรงงานสกัดน้ำมันขนาดเล็กสามารถสกัดน้ำมันจากผลปาล์มน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ผลปาล์มน้ำมันร่วงเป็นที่ต้องการของโรงงานสกัดน้ำมันเนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลาย และกำจัดทะลายเปล่าที่มี

ปริมาณ 20 %ของทะลายออก สำหรับช่วงที่ทะลายปาล์มน้ำมันล้นตลาด ไม่สามารถสกัดน้ำมันได้ภายใน 24 ชั่วโมง การใช้ 1-MCP รมทะลายปาล์มน้ำมันในระหว่างรอสกัดน้ำมันทั้งในสภาพลานเทรับซื้อผลผลิตหรือบริเวณแหล่งรวบรวมผลผลิตปาล์มน้ำมันเพื่อสกัดน้ำมัน สามารถชะลอการหลุดร่วงของผลจากทะลายและรักษาคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันได้ดี ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของผลผลิตในระหว่างรอสกัดน้ำมันได้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาบทบาทของเอทิลีนและ 1-methylcyclopropene (1-MCP) ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยวพบว่า

1. การศึกษาผลของเอทิลีนต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ สามารถเร่งการสุกและการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมัน โดยเพิ่มระดับการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงจากส่วนปลายทะลายมายังส่วนโคนทะลาย เช่นเดียวกับการหลุดของผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลาย ซึ่งผลปาล์มน้ำมันจะหลุดร่วงจากผลส่วนปลายทะลายไปยังส่วนโคนทะลายเนื่องจากเอทิลีนสามารถลดแรงดึงขั้วผลให้หลุดจากทะลาย ซึ่งผลส่วนปลายทะลายใช้แรงดึงขั้วผลให้หลุดน้อยกว่าผลส่วนกลางและส่วนโคนทะลาย สำหรับคุณภาพภายในผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ มีปริมาณน้ำมันสูง มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระ แต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันปาล์มดิบจากสถาบัน The official Portal of Malaysia Palm Oil Board (MPOB) คือ ต่ำกว่า 5% และมีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ไลเปส

2. การศึกษาผลของ 1-methylcyclopropene ต่อการสุกของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว โดย 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $nl L^{-1}$ รมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง สามารถชะลอการสุกและการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันตลอดระยะเวลาการทดลอง สำหรับคุณภาพภายในผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $nl L^{-1}$ สามารถรักษาคุณภาพของน้ำมันได้ดี มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูง สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระได้ และมีการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ไลเปส

3. การใช้ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 $nl L^{-1}$ รมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ร่วมกับเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 $\mu l L^{-1}$ รมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า 1-MCP สามารถชะลอการสุกและการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันได้ระยะเวลาหนึ่ง และเมื่อได้รับเอทิลีนทำให้ผลปาล์มน้ำมันสุกและหลุดร่วงมากกว่าการได้รับ 1-MCP เพียงอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อผลปาล์มน้ำมันเข้าสู่กระบวนการสุกการสร้างเอทิลีนและตัวรับเอทิลีนอย่างต่อเนื่องหรือได้รับเอทิลีนจากภายนอกทำ

ให้ผลปาล์มน้ำมันสุกและหลุดร่วงต่อไป สำหรับคุณภาพภายในผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับ 1-MCP ตามด้วยเอทิลีน สามารถรักษาคุณภาพน้ำมันได้ดี ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าการได้รับ 1-MCP เพียงอย่างเดียว และมีกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาต่อในระดับชีวโมเลกุลที่เกี่ยวกับการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกและการหลุดร่วง เช่น ยีนในวิถีการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลีน กรดแอบ-ซิซิก (abscisic acid : ABA) การแสดงออกของยีนที่สังเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกรดไขมันอิสระชนิดต่างๆ เช่น ไลเปส เป็นต้น

2. ควรมีการศึกษาต่อยอดในการนำ 1-methylcyclopropene เพื่อประยุกต์ใช้ในการควบคุมการสุกในช่วงที่ปาล์มน้ำมันล้นตลาด ในสภาพจริง เช่น ลานเทรับซื้อปาล์มน้ำมันที่มีการกองรวมผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันเพื่อรวบรวมรอการขนส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมัน ซึ่งถ้าสามารถควบคุมคุณภาพผลผลิตปาล์มน้ำมันได้จากลานเทก็จะส่งผลดีต่อการจัดการของโรงงานสกัดน้ำมัน ทั้งนี้ควรเพิ่มระยะเวลาการทดลอง เป็น 10 ถึง 15 วัน

3. ควรมีการศึกษาต่อยอดในการใช้เอทิลีนเพื่อเร่งการหลุดร่วงในสภาพจริงในสวนปาล์ม ลานเทรับซื้อปาล์มน้ำมัน หรือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อลดต้นทุนในการใช้พลังงานในการแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายและคงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบไม่ให้มีกรดไขมันอิสระสูง ทั้งนี้ควรเพิ่มระยะเวลาการทดลอง เป็น 10 ถึง 15 วัน

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ. 2553. กระบี่ชู 3 ดี ก้าวสู่เมืองปาล์มน้ำมันคุณภาพ กรุงเทพฯ: หนังสือพิมพ์มติชน. 22 : 486.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. สงขลา : สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระพงศ์ จันทร์นิยม ประกิจ ทองคำ อรวรรณ จันทนฤกษ์ และ ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2539. การใช้ Calcium carbide และ Ethephon เพื่อเร่งการร่วงของผลปาล์ม. วารสารสงขลานครินทร์ 18 : 293-299.

นฤมล นวลวิจิตร และ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2555. ผลของเอทิลีนและเมทิลไซโคลโพรพีน ต่อการสุกและคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร พิเศษ 43 : 452-455.

เบญจมาภรณ์ พิมพา ดวงแข กาญจนโสภา และ โสภณ บุญล้ำ. 2552. การศึกษาผลของการบ่มปาล์มน้ำมันต่อปริมาณน้ำมันและกรดไขมันอิสระ. สัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2552 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประยงค์ สุขเตชะพันธ์. 2551. ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : เกษตรสยามบุ๊ค.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2549. คัมภีร์ปาล์มน้ำมันพืชเศรษฐกิจเพื่อการบริโภคและอุปโภค. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มติชน.

เพ็ญศิริ จำรัสฉาย วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน สุจิตรา พรหมเชื้อ และ วัชรี ศรีรักษา. 2554. รูปแบบการจัดการปาล์มน้ำมันของโรงงานสกัดน้ำมันมันปาล์ม. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://it.doa.go.th [สืบค้นเมื่อ 22/10/2554].

มูลนิธิชัยพัฒนา. 2558. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.chaipat.or.th/chaipat/ [สืบค้นเมื่อ 7/7/2558].

วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน. 2547. เอกสารวิชาการปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2554. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/botany.html [สืบค้นเมื่อ 30/1/2554].

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2558. พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1-6. สืบค้นจาก http://it.doa.go.th/palm/breed.html. [สืบค้นเมื่อ 21/7/2558].

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาของพืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรกิตติ ศรีกุล. 2547. วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวมาตรฐานและคุณภาพปาล์มน้ำมัน. ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.oae.go.th. [สืบค้นเมื่อ 16/8/2558].

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 8. 2557. องค์ความรู้เรื่องปาล์มน้ำมัน. สืบค้นจาก http://www.oard8.go.th/information/kpi/kpi_palm.html. [สืบค้นเมื่อ 9/8/2557]

Abdullah, M.Z., Guan, L.C. and Azemi, B.M.N.M. 2001. Stepwise discriminant analysis for colour grading of oil palm using machine vision system. Food and Bioproducts Processing 79 : 223-231 .

Blankenship, S.M. and Dole, J.M. 2003. 1-methylcyclopropene : a review. Postharvest Biology and Technology 28 : 1- 25.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Analytical Biochemistry 72 : 248-254.

Cho, H. T. and Cosgrove, D.J. 2004. Expansins as agents in hormone action. In : Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action . 3rd edition. Netherlands : Kluweer Acadamic Publishers.

Choi, S.T. and Huber, D.J. 2009. Differential sorption of 1-methylcyclopropene to fruit and vegetable tissues, storage and cell wall polysaccharides, oils, and lignins. Postharvest Biology and Technology 52 : 62- 70.

Chong, C.L. and Sambanthamurthi, R. 1992. Effects of mesocarp bruising on the rate of free fatty acid release in oil palm fruits. International Biodeterioration and Biodegradation 31: 65-70.

Corley, R. H. V. and Tinker, P. B. H. 2003. The Oil Palm. 4th edition. Oxford : Blackwell Publishing.

Davies, P. J. 2004. The plant hormone: Their nature, occurrence and function. In : Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action. 3rd edition. Netherlands : Kluweer Acadamic Publishers.

Ebongue, G. F. N., Dhouib, R., Carrière, F., Zollo, P. H. A. and Arondel, V. 2006. Assaying lipase activity from oil palm fruit (*Elaeis guineensis* Jacq.) mesocarp. Plant Physiology and Biochemistry 44 : 611-617.

Edem, D.O. 2002. Palm oil : biochemical, physiological, nutritional, hematological and toxicological aspects : a review. Plant Foods for Human Nutrition 57 : 319-341.

ExplorEnz-The Enzyme Database. 2014. Lipase. [Online] Available http://www.enzyme-database.org (access on 16/11/2014.)

Gan, S. 2004. The hormonal regulation of senescence. In : Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action. 3rd edition. Netherlands : Kluweer Acadamic Publishers.

Giovanoni, J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 52 : 725-749.

Hadi, S., Ahmad, D. and Akande, F.B. 2009. Determination of the bruise indexes of oil palm fruit. Journal of Food Engineering 95 : 322-326.

Henderson, J. and Osborne, D. J. 1991. Lipase activity in ripening and mature fruit of the oil palm stability in *vivo* and in *vitro*. Phytochemistry 30 : 1073-1078.

Ismail, W.I.W., Yip, L.W. and Razali, M.H. 2011. Determination of the optimum frequency for *Elaeis guineensis* Jacq. detachment. African Journal of Agricultural Research 25 : 5656-5663.

Jaeger, K. E. and Reetz, M.T.1998. Microbial lipase from versatile tools for biotechnology. Trends in biotechnology 16 : 396-403.

Junkwon, P., Takigawa, T., Okamoto, H., Hasegawa, H., Koike, M., Sakai, K., Siruntawineti, J., Chaeychomsri, W., Vanavichit, A., Titinuchanon, P. and Bahalayodhin, B. 2009. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of internalqualities for oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq. var. tenera). Agricultural Information Research 18 : 130-141.

Keshvadi, A., Endan, J.B., Harun, H., Ahmad, D. and Saleena, F. 2011. The relationship between palm oil quality index development and physical properties of fresh fruit bunches in the ripening process. Journal of Food Science and Technology 3 : 50-68.

Klee, H. J. and Clark, D. G. 2004. . Ethylene signal transduction in flower and fruits. In: Plant hormones biosynthesis, Signal transduction, action. 3rd edition. Netherlands : Kluweer Acadamic Publishers.

Lopes, D. B., Fraga, L. P. Fleuri, L. F. and Macedo, G. A. 2011. Lipase and esterase- to what extent can this classification be applied accurately?. Ciência e Tecnologia de Alimentos 31 : 608-613.

Lurie, S. 2000. Manipulating fruit development and storage quality using growth regulator. In : Plant Growth Regulators in Agriculture and Horticulture. London : Food Products Prens.

Murphy, D.J. 2009. Oil palm : future prospects for yield and quality improvements. Lipid Technology 21 : 257-260.

Murty, V.R., Bhat, J. and Muniswaran, P.K. A. 2002. Hydrolysis of oils by using immobilized lipase enzyme : a review. Biotechnology Bioprocess Engineering 7 : 57-66.

Narumol Naulwijit, Ladawan Lerslerwong and Wachiraya Imsabai. 2013. Ripening delay and reduction of free fatty acids of oil palm fruit in response to 1-methylcyclopropene. Acta Horticulturae. 1011 : 2013 : 343-349.

Narumol Nualwijit and Ladawan Lerslerwong. 2014. Postharvest ripening of oil palm fruit is accelerated by application of exogenous ethylene. Songklanakarin Journal of Science and Technology 36 (3) : 255-259.

Oo, K. C., Lee, K. B. and Ongt, A. S. H. 1985. Change in fatty acid composition of the lipid classes in developing oil palm mesocarp. Phytochemistry 25 : 405-407.

Sambanthamurthi, R., Sundram, K. and Tan, Y. A. 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil. Progress in Lipid Research 39 : 507-558.

Siew, W.L. and Mohamad, N. 1992. The effect of fruit storage on palm oil bleachability. Journal of the American Oil Chemists' Society 69 : 1266-1268.

Singh, R., Rahman, R.A.B.D. and Choo, C.S. 2006. Markers to predict skin colour of oil palm fruit. Malaysian Palm Oil Board 306 : 313-316.

Tranbarger, T.J., Dussert, S., Joët, T., Argout, X., Summo, M., Champion, A., Cros, D., Omore, A., Nouy, B. and Morcillo, F. 2011. Regulatory mechanisms underlying oil palm fruit mesocarp maturation, ripening, and functional specialization in lipid and carotenoid metabolism. Plant Physiology 156 : 564-584.

Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruit and vegetables. Biotechnology Advances 24 : 389-409.

Zhang, Z., Huber, D.J., Hurr, B.M., Rao, J. 2009. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene level. Postharvest Biology and Technology 54 : 1-8.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่าความสว่างของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 µlL^{-1}

วิธีการ	ค่าสี L*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
เอทิลีน 0 µlL^{-1}	40.03 a	39.87 b	40.70 b	40.39 b	39.94 b
เอทิลีน 250 µlL^{-1}	41.19 a	47.60 a	45.37 ab	47.24 a	46.05 a
เอทิลีน 500 µlL^{-1}	36.70 b	46.01ab	42.00 ab	44.25 ab	43.61 ab
เอทิลีน 1,000 µlL^{-1}	34.95 c	46.92 a	47.53 a	48.84 a	48.08 a
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	22.30	17.38	16.59	14.50	13.66

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 2 ค่าสีแดงของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 µlL^{-1}

วิธีการ	ค่าสี a*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
เอทิลีน 0 µlL^{-1}	25.11 a	28.34 a	29.20 b	28.6 b	28.93 b
เอทิลีน 250 µlL^{-1}	26.51 a	30.82 a	31.40 a	32.25 a	31.84 a
เอทิลีน 500 µlL^{-1}	22.46 b	24.40 b	25.43 c	27.64 b	28.25 b
เอทิลีน 1,000 µlL^{-1}	20.66 b	29.43 a	32.44 a	32.60 a	32.76 a
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	19.91	15.22	15.10	12.39	14.39

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 3 ค่าสีเหลืองของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$

วิธีการ	ค่าสี b*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
เอทิลีน 0 $\mu l L^{-1}$	23.80 a	24.96 b	25.75 b	26.07 c	24.68 c
เอทิลีน 250 $\mu l L^{-1}$	26.22 a	36.05 a	32.95 a	35.35 ab	33.52 ab
เอทิลีน 500 $\mu l L^{-1}$	17.86 b	30.89 ab	26.07 b	29.98 ab	29.00 bc
เอทิลีน 1,000 $\mu l L^{-1}$	17.03 b	35.43 a	35.86 a	37.27 a	36.24 a
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	55.83	35.11	35.76	30.51	29.95

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 4 การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$

วิธีการ	จำนวนผลร่วง				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
เอทิลีน 0 $\mu l L^{-1}$	0	0 b	2 b	5	12
เอทิลีน 250 $\mu l L^{-1}$	0	3 b	17 b	15	21
เอทิลีน 500 $\mu l L^{-1}$	0	6 b	20 b	27	35
เอทิลีน 1,000 $\mu l L^{-1}$	0	123 a	83 a	46	58
F-test		*	*	ns	ns
C.V. (%)		133.14	88.58	71.16	67.97

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 5 อัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$

วิธีการ	อัตราการหลุดร่วง (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
เอทิลีน 0 $\mu l L^{-1}$	0	0	0b	0.65b	1.31b
เอทิลีน 250 $\mu l L^{-1}$	0	0.16	1.03b	0.78b	1.44ab
เอทิลีน 500 $\mu l L^{-1}$	0	0.63	2.52b	5.12ab	9.09ab
เอทิลีน 1,000 $\mu l L^{-1}$	0	26.19	12.23a	9.51a	14.73a
F-test		ns	**	*	*
C.V. (%)		205.17	33.35	76.65	87.62

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 6 แรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีนความเข้มข้น 0 250 500 และ 1,000 $\mu l L^{-1}$

วิธีการ	แรงดึง (N)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
เอทิลีน 0 $\mu l L^{-1}$	260.53ab	83.62a	31.75a	21.04a	1.30a
เอทิลีน 250 $\mu l L^{-1}$	286.86a	7.33b	6.38ab	4.85b	1.00ab
เอทิลีน 500 $\mu l L^{-1}$	234.87b	3.36b	2.51b	2.07b	0.77ab
เอทิลีน 1,000 $\mu l L^{-1}$	259.53ab	3.02b	2.56b	1.28b	0.18b
F-test	*	*	*	*	*
C.V. (%)	26.61	206.54	317.97	63.12	202.00

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 7 ปริมาณน้ำมันของผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีน

วิธีการ	ปริมาณน้ำมัน (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
เอทิลีน 0 $\mu l L^{-1}$	31.33	40.59b	36.22 b	35.00	51.42
เอทิลีน 250 $\mu l L^{-1}$	46.67	44.65ab	33.39 b	44.00	58.33
เอทิลีน 500 $\mu l L^{-1}$	41.33	54.39a	37.29 b	42.41	56.67
เอทิลีน 1,000 $\mu l L^{-1}$	40.00	53.61a	45.28 a	46.22	68.56
F-test	*	*	**	ns	*
C.V.	12.82	26.98	18.38	22.82	20.37

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 8 ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับเอทิลีน

วิธีการ	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
เอทิลีน 0 $\mu l L^{-1}$	6.4	5.02ab	3.58	4.18a	3.93
เอทิลีน 300 $\mu l L^{-1}$	4.27	6.56a	4.44	3.27ab	3.34
เอทิลีน 500 $\mu l L^{-1}$	4.27	3.87b	3.07	2.47b	3.58
เอทิลีน 1,000 $\mu l L^{-1}$	5.29	3.84b	3.62	4.29a	4.07
F-test	ns	**	*	**	ns
C.V.	41.44	13.09	18.54	16.00	27.80

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 9 ค่าความสว่างของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

วิธีการ	ค่าสี L*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
1-MCP 0 nlL^{-1}	39.95	43.01a	45.25a	44.50a	44.65a
1-MCP 500 nlL^{-1}	37.98	39.34b	39.33b	40.78b	40.83b
1-MCP 1,000 nlL^{-1}	39.24	37.34b	40.35b	39.97b	41.05b
F-test	ns	**	*	*	*
C.V.	12.68	14.00	13.92	12.05	11.20

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 10 ค่าสีแดงของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

วิธีการ	ค่าสี a*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
1-MCP 0 nlL^{-1}	26.44	27.27b	29.80a	30.32a	31.38a
1-MCP 500 nlL^{-1}	27.40	29.59a	30.02a	30.37a	31.52a
1-MCP 1,000 nlL^{-1}	27.37	26.55b	27.73b	27.84b	29.52b
F-test	ns	*	*	*	*
C.V.	16.97	16.20	15.51	16.67	12.84

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 11 ค่าสีเหลืองของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

วิธีการ	ค่าสี b*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
1-MCP 0 nlL^{-1}	22.85	28.12 a	30.87 a	29.06 a	29.50
1-MCP 500 nlL^{-1}	21.45	23.45 ab	23.15 b	25.30ab	25.75
1-MCP 1,000 nlL^{-1}	22.66	19.24 b	23.52 b	23.25 b	25.00
F-test	ns	**	*	*	ns
C.V.	33.30	32.82	32.26	28.93	25.18

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 12 การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

วิธีการ	จำนวนผลร่วง				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
1-MCP 0 nlL^{-1}	0	4 a	8	11.33 a	15.33 a
1-MCP 500 nlL^{-1}	0	0.67 b	2.33	3.67 b	6.33 b
1-MCP 1,000 nlL^{-1}	0	0 b	0.33	1.00 b	2.33 b
F-test		*	ns	*	*
C.V.		67.76	82.68	48.41	36.44

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่มีแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 13 อัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

วิธีการ	อัตราการหลุดร่วงของผล (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
1-MCP 0 nlL^{-1}	0	2.51	8.53	15.02	30.14
1-MCP 500 nlL^{-1}	0	0.32	0.71	1.29	2.00
1-MCP 1,000 nlL^{-1}	0	0	0.12	0.74	2.00
F-test		ns	ns	ns	ns
C.V.		190.21	183.62	159.12	112.74

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 14 ค่าแรงดึงขั้วผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

วิธีการ	แรงดึงผล (N)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
1-MCP 0 nlL^{-1}	308.78ab	71.21b	2.12	1.22	0.38
1-MCP 500 nlL^{-1}	282.22b	75.58b	48.74	4.04	1.65
1-MCP 1,000 nlL^{-1}	395.22a	127.32a	71.09	15.83	1.62
F-test	**	*	ns	ns	ns
C.V.	13.22	94.14	140.26	198.91	119.86

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่มีแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางที่ 15 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

วิธีการ	ปริมาณน้ำมัน (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
1-MCP 0 nlL^{-1}	31.89	34.78 c	32.44 c	40.33 b	44.78
1-MCP 500 nlL^{-1}	38.06	42.80 b	37.39 b	49.89 a	51.78
1-MCP 1,000 nlL^{-1}	38.21	48.21 a	41.21 a	50.08 a	50.25
F-test	ns	**	**	*	ns
C.V.	14.12	20.35	19.55	19.51	21.18

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 16 ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 0 500 และ 1,000 nlL^{-1}

วิธีการ	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
1-MCP 0 nlL^{-1}	5.50	2.52	3.33	4.18	7.98a
1-MCP 500 nlL^{-1}	5.12	3.10	4.48	4.48	4.65b
1-MCP 1,000 nlL^{-1}	3.24	2.99	2.21	3.33	4.94b
F-test	ns	ns	ns	ns	*
C.V.	16.54	26.04	47.29	32.81	29.25

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 17 ค่าความสว่างของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับทรีทเมนต์

วิธีการ	ค่าสี L*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	54.90 a	49.51 a	48.57 a	50.09 a	51.13 a
เอทิลีน	46.10 b	47.32 ab	51.82 a	50.17 a	52.26 a
1-MCP	39.07 c	42.27 bc	47.68 ab	46.67 ab	43.03 b
1-MCP ร่วมกับเอทิลีน	39.83 c	41.15 c	42.66 b	42.71 b	41.84 b
F-test	**	*	**	*	**
C.V.	13.01	12.72	13.24	12.92	11.87

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 18 ค่าสีแดงของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับทรีทเมนต์

วิธีการ	ค่าสี a*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	32.32	29.34 ab	31.26 b	32.72 b	33.97 ab
เอทิลีน	29.95	33.69 a	35.79 a	36.30 a	37.29 a
1-MCP	27.86	28.05 b	31.73 b	31.83 b	31.47 b
1-MCP ร่วมกับเอทิลีน	28.72	28.75 b	31.46 a	31.05 a	31.40 b
F-test	ns	*	*	**	**
C.V.	16.15	12.36	11.12	9.30	9.78

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 19 ค่าสีเหลืองของสีผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับทรีทเมนต์

วิธีการ	ค่าสี b*				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	47.00 a	34.60 ab	35.88 ab	39.13 a	41.00 a
เอทิลีน	34.14 b	38.40 a	42.50 a	40.20 a	43.11 a
1-MCP	22.68 c	27.43 bc	34.58 b	33.61 ab	28.23 b
1-MCP ร่วมกับเอทิลีน	23.69 c	25.35 c	28.36 b	28.40 b	26.79 b
F-test	**	**	**	*	**
C.V.	28.36	26.01	25.90	26.16	24.46

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 20 การหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับทรีทเมนต์

วิธีการ	จำนวนผลร่วง				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	0	1b	18.33ab	26.67	40.33
เอทิลีน	0	134.67a	64.33a	30	28
1-MCP	0	0 b	0 b	4.33	21.33
1-MCP ร่วมกับเอทิลีน	0	0 b	0 b	1	40.67
F-test		**	**	ns	ns
C.V.		87.35	101.23	137.46	131.19

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 21 อัตราการหลุดร่วงของผลปาล์มน้ำมันหลังได้ทรีทเมนต์

วิธีการ	อัตราการหลุดร่วง (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	0	0.48 b	4.77 b	10.46 ab	17.79
เอทิลีน	0	55.45 a	81.44 a	38.04 a	24.54
1-MCP	0	0 b	0 b	0.27 b	6.03
1-MCP ร่วมกับเอทิลีน	0	0 b	0 b	1.27 b	13.71
F-test		**	**	**	ns
C.V.		83.36	76.33	73.95	99.24

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 22 แรงดึงผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับทรีทเมนต์

วิธีการ	แรงดึง (N)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	200	5.77	5.91b	4.09ab	4.44ab
เอทิลีน	178.44	3.89	0.86b	0.93ab	1.1b
1-MCP	191.14	40.34	26.89a	6.46a	11.42a
1-MCP ร่วมกับเอทิลีน	205.32	39.03	7.01b	1.79b	3.51ab
F-test	ns	ns	**	**	**
C.V.	30.91	62.17	60.22	91.52	86.21

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 23 ปริมาณน้ำมัน ของผลปาล์มน้ำมันหลังได้รับทรีทเมนต์

วิธีการ	ปริมาณน้ำมัน (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	39.28	37.39 bc	36.78	49.22 a	42.83 b
เอทิลีน	36.06	33.61 c	34.17	38.61 b	42.44 b
1-MCP	41.61	39.72 ab	39.00	51.94 a	57.56 a
1-MCP ร่วมกับเอทิลีน	42.89	42.42 a	39.78	52.44 a	55.61 a
F-test	ns	*	ns	*	**
C.V.	20.38	22.46	22.31	25.78	16.21

หมายเหตุ: * แตกต่างทางสถิติที่ระดับ 95%

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับ 99%

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 24 ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับทรีทเมนต์

วิธีการ	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	5.71	3.84	5.00 a	4.52	2.99
เอทิลีน	5.63	3.50	2.47 c	3.50	2.56
1-MCP	5.96	4.84	2.47 c	4.09	4.35
11-MCP ร่วมกับเอทิลีน	5.21	5.83	3.58 b	3.49	2.46
F-test	ns	ns	**	ns	ns
C.V.	17.89	26.44	10.52	30.82	29.36

หมายเหตุ: ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับ 99%

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

ตารางภาคผนวกที่ 25 ความจำเพาะของกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสในผลปาล์มน้ำมันหลังจากได้รับทรีทเมนต์

วิธีการ	ความจำเพาะของกิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (U/mg protein)				
	จำนวนวันหลังได้รับทรีทเมนต์				
	0	1	2	3	4
ชุดควบคุม	32.65 b	672.42	393.14	272.30	492.94
เอทิลีน	57.28 a	443.47	2481.59	360.02	1459.70
1-MCP	45.90 ab	450.79	77.02	188.71	169.70
1-MCP ร่วมกับเอทิลีน	42.79 ab	580.71	293.00	214.63	433.28
F-test	*	ns	ns	ns	ns
C.V.	61.31	72.15	294.00	63.84	88.04

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD

วิธีการคำนวณและการเตรียมสารให้ทรีทเมนต์

1. การคำนวณปริมาตรตู้รมสาร

ปริมาตรตู้ กว้าง 100 cm ยาว 100 cm สูง 100 cm
โดยเทียบหน่วยวัดปริมาตรและน้ำหนักในระบบเมตริกได้ดังนี้

1 cm^3	เท่ากับ 1,000 หรือ 10^3 ml^3
1 m^3	เท่ากับ 1,000,000 หรือ 10^6 cm^3
1 cm^3	เท่ากับ 1 ml
1 L	เท่ากับ 1,000 หรือ 10^3 cm^3
1,000 L	เท่ากับ 1 m^3
ดังนั้น ปริมาตรของตู้รมสาร	เท่ากับ 100 cm × 100 cm × 100 cm
	เท่ากับ 1 m × 1 m × 1 m
	เท่ากับ 1 m^3
ตู้รมสารจึงมีปริมาตร	เท่ากับ 1,000 L

2. การคำนวณปริมาตรเอทิลีน

2.1 เอทิลีนความเข้มข้น 250 μlL^{-1}

ต้องการเอทิลีนความเข้มข้น 250 μlL^{-1} ในภาชนะ 1 m^3 หรือ 1,000 L
ใช้เอทิลีนกี่ ml โดยความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ 99.98% หรือ 100%
เอทิลีน 250 ppm เท่ากับ 250 μlL^{-1} ฉีดใส่ภาชนะ 1,000 L
250 μlL^{-1} × 1,000 L เท่ากับ 250,000 μl
เมื่อฉีดเอทิลีน 1 ml เท่ากับ 1,000 μl
ต้องใช้เอทิลีน $\frac{250,000}{1,000}$ μl × 1 ml เท่ากับ 250 ml

2.2 เอทิลีนความเข้มข้น 500 μl/L

ต้องการเอทิลีนความเข้มข้น 500 μl ในภาชนะ 1 m^3 หรือ 1,000 L
ต้องใช้เอทิลีนกี่ ml ความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ 99.98% หรือ 100%
เอทิลีน 500 ppm เท่ากับ 500 μl/L ฉีดใส่ภาชนะ 1,000 L
500 μl × 1,000 L เท่ากับ 500,000 μl
เมื่อฉีดเอทิลีน 1 ml เท่ากับ 1,000 μl
ต้องใช้เอทิลีน $\frac{500,000}{1,000}$ μl × 1 ml เท่ากับ 500 ml

2.3 เอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μl/L

ต้องการเอทิลีนความเข้มข้น 1,000 μl ในภาชนะ1 m^3 หรือ1,000 L
ต้องใช้เอทิลีนกี่ ml ความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ 99.98% หรือ 100%
เอทิลีน 1,000 ppm เท่ากับ 1,000 μl ฉีดใส่ภาชนะ 1,000 L
1,000 ไมโครลิตร/ลิตร × 1,000 ลิตร เท่ากับ 1,000,000 μl
เมื่อฉีดเอทิลีน 1 ml เท่ากับ 1,000 μl
ต้องใช้เอทิลีน $\frac{1,000,000}{1,000}$ μl × 1 ml เท่ากับ 1,000 ml

3. การคำนวณ 1-MCP ของบริษัท Floralife/Rohm and Hass (Ethybloc®)

ความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ 0.14% สารประกอบ 99.86%

100 g ของ Ethybloc มีปริมาณ 1-MCP เท่ากับ 0.14 กรัม (140 mg)

1 g ของ Ethybloc มีปริมาณ 1-MCP เท่ากับ 0.0014 กรัม (1.4 g)

ก๊าซ 1-MCP จาก 1,000 mg

น้ำหนักโมเลกุลของ 1-MCP เท่ากับ 54 g/M

เท่ากับ 54 mg/mM

ดังนั้น 1-MCP 1.4 mg เท่ากับ $\frac{1.4\ \text{mg}}{54\ \text{mg/mmole}}$

เท่ากับ 0.0259 mM

จากสูตรกฎของแก๊ส PV เท่ากับ nRT

โดย p เท่ากับ 1 atm

n เท่ากับ 1 M

R เท่ากับ 0.08206 L. atm:$K^{-1}mol^{-1}$

T เท่ากับ 273 + 25 K

ที่อุณหภูมิ 25 ºC 1 M ของ 1-MCP ปลดปล่อยแก๊ส

เท่ากับ 0.08206 × 298 เท่ากับ 24.45 L

1 mM ของ 1-MCP ปลดปล่อยแก๊ส

เท่ากับ 0.08206 × 298 เท่ากับ 24.45 L

0.0259 mM ของ 1-MCP ปลดปล่อยแก๊ส เท่ากับ 24.45 × 0.0259 nl

V เท่ากับ 0.633 ml เท่ากับ 633,000 nl

เพราะฉะนั้น Ethybloc 1 g ปลดปล่อยแก๊ส 1-MCP 633,000 nl ที่ 25 ºC

3.1 1-MCP ความเข้มข้น 500 nlL^{-1}

1-MCP ความเข้มข้น 500 ไมโครลิตร/ลิตร ในภาชนะ 1 m^3 หรือ 1,000 L ต้องใช้ Ethybloc กี่ mg ความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ 0.14%

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$633{,}000 \times V_1 = 500 \times 1{,}000{,}000$$

$$V_1 = \frac{500{,}000{,}000}{633{,}000}$$

$$V_1 = 789.57 \approx 800 \text{ mg/l}$$

ดังนั้นต้องชั่งสาร 1-MCP 800 mg

3.2 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1}

1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nlL^{-1} ในภาชนะ 1 m^3 หรือ 1,000 L ต้องใช้ Ethybloc กี่ mg ความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ 0.14%

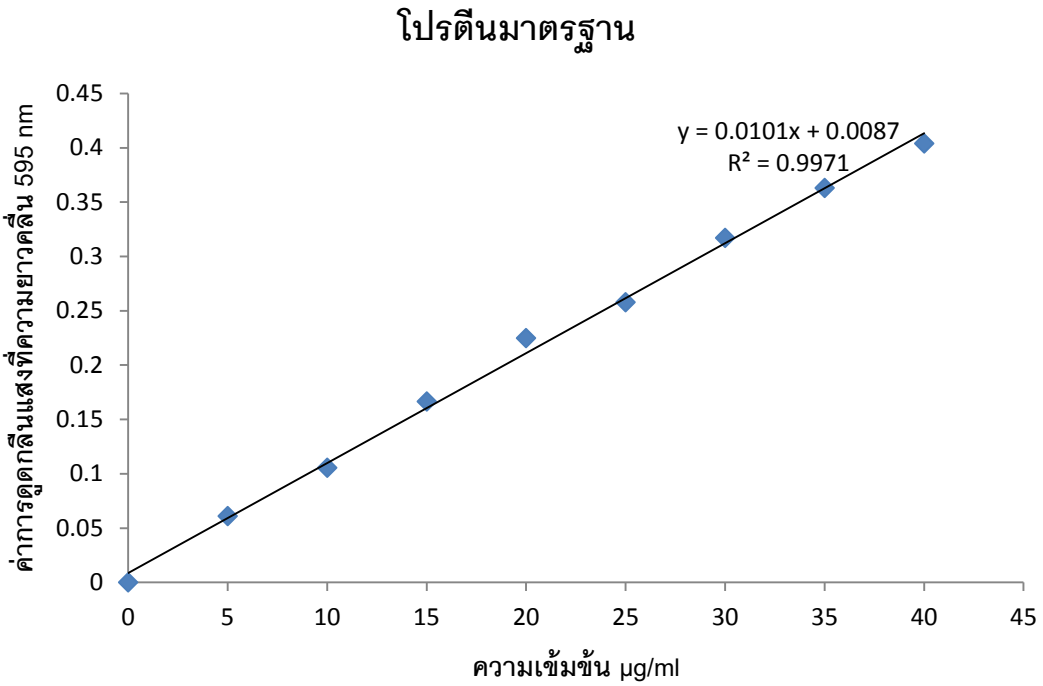
$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$633{,}000 \times V_1 = 1{,}000 \times 1{,}000{,}000$$

$$V_1 = \frac{1{,}000{,}000{,}000}{633{,}000}$$

$$V_1 = 1{,}579.78 \approx 1{,}600 \text{ mg/l}$$

ดังนั้นต้องชั่งสาร 1-MCP 1,600 mg



ภาพภาคผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน BSA ที่ระดับความเข้มข้น 0-40 mg/ml กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 nm

วิธีการเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์

1. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

1.1 สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 N (MW 40)

ชั่ง NaOH 4 g ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 ml

1.2 สารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้น 1%

ชั่ง phenolphthalein 1 g ละลายในแอลกอฮอล์ปริมาตร 70 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 ml

2. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส

2.1 สารละลาย NaOCl ความเข้มข้น 0.5%

ตวง NaOCl 83.33 ml จาก Chlorox® ความเข้มข้น 6% ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 ml

2.2 สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.01 M

ชั่ง NaOH 0.4 g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 ml

2.3 สารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้น 0.1%

ชั่ง phenolphthalein 0.1 g ละลายด้วยแอลกอฮอล์ปริมาตร 70 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 ml

2.4 สารละลาย Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.002 M pH 9 ประกอบด้วยส่วนผสมของสารละลายดังนี้

สารละลาย A คือ สารละลาย Tris ความเข้มข้น 0.002 M (MW 121.14)

ชั่ง Tris 0.24228 g ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 ml

สารละลาย B คือ HCl ความเข้มข้น 5 N (MW 36.46) มีกรด HCl ความเข้มข้น 37% มีเนื้อกรด 440.3 g กรด HCl มีความเข้มข้น 12 N

ตวง HCl 41.67 ml ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 ml

จากนั้นนำสารละลาย A มาปรับ pH ให้ได้ 9 ด้วยสารละลาย B ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลาย Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.002 M pH 9 (เก็บรักษาในตู้เย็น)

2.5 สารละลาย NaCl ความเข้มข้น 150 mM (MW 58.44)

ชั่งสาร NaCl 8.766 g ละลายละลายในสารละลาย Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.002 M pH 9 ปรับปริมาตรจนครบ 1,000 ml (เก็บรักษาในตู้เย็น)

2.6 สารละลาย Gum arabic ความเข้มข้น 1% (W/V)

ชั่งสาร Gum arabic 10 g ละลายในสารละลาย Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.002 M pH 9 ปรับปริมาตรจนครบ 1,000 ml (เก็บรักษาในตู้เย็น)

2.7 สารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 10 mM (MW 147.02)

ชั่งสาร $CaCl_2$ 1.4702 g ละลายในสารละลาย Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.002 M pH 9 ปรับปริมาตรจนครบ 1,000 ml (เก็บรักษาในตู้เย็น)

2.8 สารละลาย Tetrahydrolipstatin; THL ความเข้มข้น 1 mM (MW 495.73) โดยเตรียมจากสารละลาย THL ความเข้มข้น 1 mM

เตรียม THL ความเข้มข้น 1 mM

ชั่งสาร THL 0.0005 g ละลายในเฮกเซนปรับปริมาตรจนครบ 10 ml

จากนั้นนำสารละลายที่ได้มา Dilute จนได้ความเข้มข้น 1 nM ละลายในเฮกเซน ปรับปริมาตรจนครบ 1,000 ml

3. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

3.1 สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 30 35 และ 40 µg/ 100 µl โดยเตรียมจากสารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 µg/100 ml

3.1.1 สารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 µg/ 100 ml

ชั่งโปรตีน BSA 0.1 g ละลายใน buffer ที่ใช้สกัดเอนไซม์ (น้ำกลั่น) ปริมาตร 100 ml จะได้สารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 µg/ 100 ml

3.1.2 สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA

.เตรียมสาระลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 30 35 และ 40 µg/ 100 µl โดยเตรียมจากสารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 µl ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย buffer ที่ใช้สกัดเอนไซม์ (น้ำกลั่น) จนได้ปริมาตรสุดท้าย 20 ml โดยปริมาตรที่ใช้ในแต่ละความเข้มข้นแสดงในตารางภาคผนวกที่ 17 (เก็บรักษาในตู้เย็น)

หมายเหตุ สาร BSA ละลายได้ดีในสารละลายที่มีส่วนผสมของน้ำ หรือในน้ำกลั่น แต่ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน ดังนั้นจึงได้ใช้น้ำกลั่นในการเตรียมสารละลาย BSA

ตารางภาคผนวกที่ 16 สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 30 35 และ 40 µg/ 100 µl ปริมาตรสุทธิ 20 ml ที่ละลายในน้ำกลั่น

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน BSA (µg/ 100 µl)	**สารละลาย** BSA **ความเข้มข้น** 100 µg/ 100 µl (ml)	**น้ำกลั่น** (ml)
0	0	20
5	1	19
10	2	18
15	3	17
20	4	16
25	5	15
30	6	14
35	7	13
40	8	12

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนฤมล นวลวิจิตร

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5310620054

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2552

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถานวิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแหน่ง พนักงานสงเคราะห์สวนยางระดับ 3

สถานที่ทำงาน การยางแห่งประเทศไทย (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง) สาขาอำเภอเมืองกระบี่ จังหวัดกระบี่

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

นฤมล นวลวิจิตร และลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์. 2555. ผลของเอทิลีนและเมทิลไซโคลโพรพีนต่อการสุกและคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร พิเศษ 43 : 452-455.

Narumol Nualwijit and Ladawan Lerslerwong. 2014. Postharvest ripening of oil palm fruit is accelerated by application of exogenous ethylene. Songklanakarin Journal of Science and Technology 36 (3) : 255-259.

Narumol Naulwijit, Ladawan Lerslerwong and Wachiraya Imsabai. 2013. Ripening delay and reduction of free fatty acids of oil palm fruit in response to 1-methylcyclopropene. Acta Horticulturae. 1011 : 2013 : 343-349.