



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชสวน

พืชสวน

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการตกค้างของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในผลมะพร้าวอ่อน

Factors Affecting Sodium Metabisulfite Residues in Young Coconuts

นามผู้วิจัย นายกฤษณ์ท์ เหมาะประมาณ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ศาสตราจารย์จริงแท้ ศิริพานิช, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( รองศาสตราจารย์ประศาสตร์ เกื้อมณี, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์ภาสันต์ สารทูลทัต, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์, D.Agr. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปัจจัยที่มีผลต่อการตกค้างของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในผลมะพร้าวอ่อน

Factors Affecting Sodium Metabisulfite Residues in Young Coconuts

โดย

นายกรินทร์ เหมาะประมาณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิรินันท์ เหมาะประมาณ 2553: ปัจจัยที่มีผลต่อการตกค้างของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในผลมะพร้าวอ่อน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์จรัสแท้ ศิริพานิช, Ph.D. 66 หน้า

การปกเปลือกลีเขียวของมะพร้าวอ่อนออกทำให้เกิดสีน้ำตาลและเชื้อราสามารถเข้าทำลายได้ง่าย จึงนิยมใช้สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์แช่ผลมะพร้าวอ่อนภายหลังการตัดแต่ง ซึ่งอาจทำให้มีสารตกค้างและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และระยะเวลาในการแช่ผลมะพร้าวอ่อนปกเปลือกต่อปริมาณสารตกค้างในส่วนที่บริโภคได้ พบว่าผลที่แช่ในสารละลายความเข้มข้นสูงและระยะเวลานานมีโอกาสพบสารตกค้างสูงกว่าผลที่แช่ในสารละลายความเข้มข้นต่ำและแช่ในระยะเวลาสั้น โดยผลที่แช่ในสารละลายความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์และระยะเวลาในการแช่ผลตั้งแต่ 10 นาทีลงไปนั้นไม่พบสารตกค้าง เมื่อศึกษาปริมาณสารตกค้างในมะพร้าวอ่อนแต่ละอายุ พบว่ามะพร้าวอ่อนอายุประมาณ 170 วันหลังจันทัน (เนื้อชั้นเดียว) มีโอกาสพบสารตกค้างในส่วนของเนื้อและน้ำสูงกว่ามะพร้าวอายุ 180-185 วันหลังจันทัน (เนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง) และอายุ 200-210 วันหลังจันทัน (เนื้อสองชั้น) ตามลำดับ สำหรับการทดสอบการซึมของสารผ่านเปลือกภายหลังการแช่ผลด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ พบว่าสารสามารถซึมผ่านเปลือกบริเวณด้านต่ำ (stem end หรือด้านที่มีตา) ได้มากที่สุด 5.5 มิลลิเมตร รองลงมาคือ ด้านข้าง และด้านบน (stylar end) ตามลำดับ การศึกษาทางกายวิภาคแสดงให้เห็นว่าสารสามารถซึมผ่านเข้าไปในผลได้ทางช่องว่างภายในเปลือกมะพร้าว ผ่านกลุ่มเนื้อเยื่อท่อลำเลียงผ่านส่วนของตานี้เข้าไปในผล ในทางปฏิบัติจึงควรแช่ผลด้วยสารละลายความเข้มข้นไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์และระยะเวลาแช่ไม่เกิน 5 นาที และเลือกใช้ผลมะพร้าวอ่อนที่มีเนื้อหนาหนึ่งชั้นครึ่งขึ้นไป รวมถึงตัดแต่งเปลือกออกให้น้อยที่สุดสามารถป้องกันการตกค้างของสารดังกล่าวได้

Kiranun Mohpraman 2010: Factors Affecting Sodium Metabisulfite Residues in Young Coconuts. Master of Science (Agriculture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture. Thesis Advisor: Professor Jingtair Siriphanich, Ph.D. 66 pages.

Trimmed young coconuts turn an unattractive brown color and are highly susceptible to mold. The use of sodium metabisulfite (SMS) can remedy this problem. However, SMS residues in a coconut kernel may be harmful to the consumers. The effects of SMS concentrations and dipping durations were studied. Measurement of SMS in the water and pulp of young coconut samples showed that those dipped in high concentrations and longer duration of SMS solution had a higher chance to have SMS residues. It was also shown that the fruit dipped in 3% of concentration for  $\leq 10$  minutes contained no SMS residues. The effect of fruit maturity on SMS residues was also studied. It was found that fruit of 170 day after anthesis (DAA) had higher chance to have SMS residues than those of 180-185 DAA and 200-210 DAA, respectively. Results also showed that SMS penetrated the husk at the stem end (eye site) of the young coconut by 4 mm, deeper than that on the other sites. The anatomical study showed that SMS solution can penetrate the husk via air channels in the husk, the vascular tissue and through the soft eye. It is recommended from the study that young coconut should be 180-185 DAA or older, with minimal peeling, and be dipped in  $\leq 3$  percent of SMS solution for  $\leq 5$  minutes.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. จริงแท้ ศิริพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. ประศาสตร์ เกี่ยมณี และ อาจารย์ ดร. ภาสันต์ ศาลทูลทัต อาจารย์ที่  
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา แนะนำตลอดมา รวมถึงตรวจ  
แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. วชิรญา อิ่มสบาย  
ประธานการสอบ และ อาจารย์ ดร. ศิริวรรณ แดงน้ำ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ให้คำแนะนำ และตรวจ  
แก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคุณชูศักดิ์ คุณไทย คุณเกรียงไกร มีถาวร คุณประพิณพร แต่สกุล คุณวิชุดา  
สมส่วน คุณอิชยา ภูสิทธิกุล คุณจุฑามาศ คุณณฤมิตร คุณอุกฤษฏ์ จงจตุพร คุณวีรณัฐ ศักดิ์สิงห์  
คุณกิตติ ไสยวรรณ คุณอนรรฆม พรรคเจริญ รวมถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ทั้งที่ศูนย์  
เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร  
กำแพงแสนทุกท่านที่มีได้กล่าวนามมาในที่นี้ ที่คอยช่วยเหลือทั้งร่างกายและกำลังใจตลอดมา  
ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตกำแพงแสนจังหวัดนครปฐม และภาควิชาพืชสวน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ และอำนวยความสะดวก  
สะดวกในการปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้  
การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ ป้าใหญ่ ป้าอืด คุณพ่อ คุณแม่ พ่อคุณ และแม่คุณ ที่คอย  
ช่วยเหลือสนับสนุนการศึกษา และเป็นกำลังใจเสมอมา

กิรินันท์ เหมาะะประมาณ

เมษายน 2553

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	17
ผลและวิจารณ์	26
ผล	26
วิจารณ์	45
สรุป	50
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	51
ภาคผนวก	57
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	66

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับความเข้มข้นของสารประกอบซัลไฟด์ที่สามารถก่อให้เกิดอาการ ผิดปกติแก่ผู้บริโภค	15
2	ค่าเฉลี่ยระยะทางที่สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์สามารถซึมผ่านเข้าไปในผล มะพร้าวอ่อนได้ในตำแหน่งต่าง ๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาต่างๆกัน	29
3	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างที่ตรวจพบในผลมะพร้าว อ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ กัน ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 วัน	32
4	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างที่ตรวจพบในผลมะพร้าว อ่อนอายุผลต่างๆที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดและจุ่มครึ่งผลลงในสารละลาย โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 วัน	35
5	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างในเนื้อและน้ำของผล มะพร้าวอ่อนรูปแบบคั่ววันที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลา 5 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 และ 7 วัน	38
6	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างในเนื้อและน้ำของผล มะพร้าวอ่อนรูปแบบคั่ววันที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน ภายหลังจากเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 และ 7 วัน	39

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยระยะทางที่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนได้ในตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5 \pm 1$ °C เป็นเวลาต่างๆกัน	61
2	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆกัน ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5 \pm 1$ °C เป็นเวลา 1 วัน	63
3	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในผลมะพร้าวอ่อนอายุผลต่างๆที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดและจุ่มครึ่งผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5 \pm 1$ °C เป็นเวลา 1 วัน	65

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	บริเวณที่เนียนเปลือกเพื่อวิเคราะห์สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในแต่ละผล	18
2	ภาพแสดงตำแหน่งที่ตัดชิ้นตัวอย่างมะพร้าวอ่อนเพื่อใช้ทำสไลด์ถาวร	24
3	ความลึกของเปลือกมะพร้าวอ่อนที่ยังคงพบสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนได้ในตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5\pm 1$ °C เป็นเวลาต่าง ๆ กัน	27
4	ปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในแต่ละระดับความหนาของเปลือกที่ตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5\pm 1$ °C เป็นเวลาต่าง ๆ กัน	28
5	ปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดที่จุ่มในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น และระยะเวลาการจุ่มผลต่าง ๆ กัน ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน	31
6	ปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนอายุผลต่างๆที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดแล้วจุ่มครึ่งผลในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน	34
7	ลักษณะของกะลาด้านในที่ถูกฟอกให้เป็นสีขาวของผลมะพร้าวที่ปอกเปลือกเหลือแต่กะลาภายหลังจากจุ่มผลลงในสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที	36
8	ลักษณะของโพรงที่พบบนเปลือกมะพร้าวอ่อนด้านขั้วผลที่มีโพรงขนาดเล็ก (ก) และโพรงขนาดใหญ่ (ข)	40
9	ภาพตัดตามขวาง (cross section) ของเปลือกมะพร้าว อายุผล 180-185 วันหลังจับบาน เรียงลำดับตามความลึกของเนื้อเยื่อจากชั้นนอกสุด (ก) กลาง (ข) และชั้นในสุด (ค) ตามลำดับ	42

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	ภาพตัดตามยาว (long section) ของตามะพร้าว (ตาบาง) อายุผล 180-185 วันหลัง จั่นบาน	43
11	ภาพตัดตามขวาง (cross section) ของตามะพร้าว (ตาบาง) อายุผล 180-185 วันหลัง จั่นบาน เรียงลำดับจากด้านนอกสุดตอเปลือก (ก) กลาง (ข) และในสุด (ค) ตามลำดับ	44
<b>ภาพผนวกที่</b>		
1	ชุดวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง ส่วนประกอบต่อ 1ชุด ประกอบด้วย 1) round bottom Flask 2 neck 2) air inlet tube 3) reduction adaptor 4) condenser 5) adaptor for condenser 6) adaptor for flask 7) adaptor for tube 8) test tube with joint 9) erlenmeyer flask 250 ml with joint	58
2	ความลึกของเปลือกมะพร้าวอ่อนที่ยังคงพบสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถ ซึมผ่านเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อน ได้ในตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ $5 \pm 1$ °C เป็นเวลาต่างๆกัน	59
3	ปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในแต่ละระดับความหนา ของ เปลือกที่ตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $5 \pm 1$ °C เป็นเวลา ต่างๆกัน	60
4	ปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของเนื้อและน้ำของ ผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดที่จุ่มในสารละลายโซเดียมเมตาไบ ซัลไฟต์ความเข้มข้น และระยะเวลาการจุ่มผลต่างๆกัน ภายหลังจากเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 1 วัน	62
5	ปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของเนื้อและน้ำของ ผลมะพร้าวอ่อนอายุผลต่างๆที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดแล้วจุ่มครึ่งผลใน สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน	64

# ปัจจัยที่มีผลต่อการตกค้างของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในผลมะพร้าวอ่อน

## Factors Affecting Sodium Metabisulfite Residues in Young Coconuts

### คำนำ

มะพร้าวเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีการปลูกกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายและไม่ต้องการดูแลรักษามากนัก นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ได้หลากหลายแทบทุกส่วนของต้น โดยเฉพาะการนำผลอ่อนไปรับประทานสด ในปัจจุบันความต้องการมะพร้าวอ่อนทั้งภายในและต่างประเทศสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะมะพร้าวน้ำหอมซึ่งเป็นพันธุ์ที่สำคัญของประเทศไทยที่ปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศเนื่องจากมีลักษณะพิเศษ คือ น้ำมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตยอีกทั้งยังมีรสหวาน เกษตรกรจึงนิยมปลูกเป็นการค้ากันมาก (จุลพันธ์, 2544)

รูปแบบการจำหน่ายมะพร้าวอ่อนมักทำการปกปิดเปลือกสีเขียวออก แต่งผลให้สวยงามเพื่อดึงดูดใจผู้บริโภค แต่ผลมะพร้าวที่ทำการแต่งผลเช่นนี้จะเกิดสีน้ำตาลได้อย่างรวดเร็วและเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ สามารถเข้าทำลายได้ง่าย ดังนั้นในการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงนิยมใช้สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ซึ่งมีคุณสมบัติในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา โดยการจุ่มผลทันทีหลังจากทำการตัดแต่งแล้ว (สุพจน์, 2543)

ในปัจจุบันผู้บริโภคได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของอาหารที่ปลอดภัยรวมถึงกฎระเบียบในการใช้สารเคมีต่าง ๆ ที่มากขึ้น ความปลอดภัยในการใช้สารเคมีจึงเป็นสิ่งสำคัญแต่ปัจจุบันยังไม่มีรายงานที่ชัดเจนว่าผลมะพร้าวที่มีการใช้สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพื่อควบคุมการเกิดสีน้ำตาล มีโอกาสตกค้างอยู่ภายในผลหรือไม่ และสารนี้สามารถผ่านเข้าไปในผลได้อย่างไร หรือสารที่ตรวจพบนั้นอาจปนเปื้อนมาจากขั้นตอนการผ่าผล จึงได้ทำการทดลองตรวจสอบหาปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ตกค้างและทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของผลมะพร้าวอ่อน โดยเฉพาะเปลือก กะลาและเนื้อเพื่อให้ทราบแน่ชัดว่าสารเคมีชนิดนี้สามารถปนเปื้อนเข้าไปในเนื้อและน้ำมะพร้าวหรือไม่และอย่างไร และปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อสารตกค้างที่ตรวจพบ

## วัตถุประสงค์

เพื่อให้ทราบว่าปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในมะพร้าวอ่อนตัดแต่งเปลือกแล้ว  
ขึ้นอยู่กับปัจจัยใดบ้าง และจะลดการตกค้างได้อย่างไร



## การตรวจเอกสาร

มะพร้าวเป็นพืชในวงศ์ปาล์ม (Palmae) สกุล *Cocos* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn (ศุภจน, 2543; ฌรงค์, 2530) มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ต่อมาแพร่หลายไปยังอเมริกา อินเดีย มาดากัสการ์ และแอฟริกา ชาวสเปนเป็นผู้นำไปยังเกาะเวสต์อินดีส และทะเลแคริบเบียนตอนใต้ แหล่งปลูกและผลิตมะพร้าวในปัจจุบันอยู่ตามหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ทวีปอเมริกาใต้ ทวีปอเมริกาเหนือ เม็กซิโก อินเดีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา อินโดนีเซีย มาเลเซีย และประเทศไทย (นพพร, 2542) มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งซึ่งจัดได้ว่าเป็นพืชสารพัดประโยชน์ ทั้งนี้เพราะแทบทุกส่วนของต้นมะพร้าวมีประโยชน์ทั้งนั้น การใช้ประโยชน์ประเด็นหลัก ๆ คือการใช้เป็นอาหาร ผลแก่นำไปปรุงอาหารในครัวเรือน ทำอาหารคาวหวาน ผลอ่อนนำไปรับประทานสด น้ำมะพร้าวอ่อนมีคุณค่าทางโภชนาการสูงซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลและเกลือแร่ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม วิตามินซี วิตามินบี 2 บี 5 และบี 6 กรดโฟลิก กรดอะมิโน และสารควบคุมการเจริญเติบโตพืช (กรมวิชาการเกษตร, 2546) รวมทั้งยังมีสารไซโตไคนิน ช่วยในการแบ่งเซลล์ในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณทางสมุนไพร และสามารถแปรรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ จึงทำให้มะพร้าวได้รับสมญาว่า ต้นไม้เพื่อชีวิต (Tree of life) (ปิยนุช, 2536; Child, 1974) ประเทศไทยมีมะพร้าวเป็นสินค้าออกที่สำคัญ โดยส่งออกมะพร้าวผลแก่ทั้งในรูปของเนื้อมะพร้าวตากแห้ง และน้ำมันมะพร้าว ปัจจุบันผลมะพร้าวอ่อนนับเป็นสินค้าที่มีขายแพร่หลายทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศอีกชนิดหนึ่ง การปลูกมะพร้าวน้ำหอมเพื่อผลิตมะพร้าวอ่อนเป็นการค้า อยู่ในแถบภาคกลางและภาคใต้ตอนบน ได้แก่ จังหวัด สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ราชบุรี นครปฐม ลพบุรี สุพรรณบุรี กาญจนบุรี สิงห์บุรี เพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ เป็นต้น สำหรับจังหวัดสมุทรสาครนั้นเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่การผลิตมากที่สุดเท่ากับ 13,119 ไร่ ประเทศไทยสามารถผลิตมะพร้าวอ่อนได้ปีละประมาณ 49,523 ตันต่อปี รวมทั้งมีการส่งออกปีละประมาณ 16,088 ตันต่อปี มูลค่าประมาณ 235 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

### พันธุ์มะพร้าว

มะพร้าวถูกแบ่งโดยอาศัยเกณฑ์การเจริญเติบโตของลำต้น อายุที่เริ่มให้ผล และการบานของดอกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ (ฌรงค์, 2530) ดังนี้

1. กลุ่มต้นสูง ส่วนมากเป็นมะพร้าวที่ปลูกเพื่อขายผลแก่หรือทำมะพร้าวแห้ง มะพร้าวในกลุ่มนี้ลักษณะของต้นมีขนาดใหญ่ มีทางยาว หลังปลูกต้องใช้เวลานานจึงตกผล ระยะเวลาให้ผลประมาณ 5 ปีหลังปลูก ผลขนาดใหญ่ ติดผลไม่ค่อยคดก้น พื้นที่ปลูกมีมากแถบสมุทรสาคร ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี ได้แก่ มะพร้าวใหญ่ กลาง กะทิ ปากจก น้ำตาล พวงร้อย เปลือกหวาน มะพร้าว หัวลิง และชอ

2. กลุ่มต้นเตี้ย กลุ่มนี้มีขนาดลำต้นเล็ก มีทางสั้น พุ่มใบเล็ก หลังปลูกประมาณ 2-3 ปีก็จะให้ผลได้ ผลมีขนาดไม่ใหญ่นัก แต่ติดผลดก ปีหนึ่งอาจเก็บได้ 120 ผลต่อต้น ปัจจุบันมะพร้าวเพื่ออุตสาหกรรมให้ความสำคัญกับมะพร้าวต้นเตี้ยมากขึ้น เพราะปลูกได้จำนวนมาก จำนวนผลต่อต้นมาก รวมทั้งการเก็บเกี่ยวสะดวก ได้แก่มะพร้าวนกคุ้ม หมูสีเขียว พุงเค็ด ปะทิว น้ำหอม หมูสีเหลือง ไฟ ต้น คก นิ่ม นาฬิกา

ในแง่ของมะพร้าวอ่อนนั้นจัดอยู่ในกลุ่มต้นเตี้ย ซึ่งมีมะพร้าวน้ำหอมและมะพร้าวน้ำหวาน ข้อแตกต่างของมะพร้าวทั้งสองชนิดนี้คือ มะพร้าวน้ำหอมจะมีกลิ่นหอมในตัวเองคล้ายใบเตย ส่วนใหญ่น้ำจะไม่ค่อยหวาน ต้องปล่อยให้อายุของผลมากขึ้น เนื้อหนา รสชาติหวาน เหมาะต่อการนำไปทำเป็นมะพร้าวเผา ช่วงเนื้อบางก็สามารถปอกเปลือกขายได้ ส่วนมะพร้าวน้ำหวานนั้นพบว่ามีกลิ่นหอมน้อยแต่หวานจัดตั้งแต่อายุของผลไม่มากนัก สำหรับมะพร้าวน้ำหอมนี้เป็นพันธุ์ที่เชื่อว่ากลายพันธุ์มาจากพันธุ์หมูสีเขียวนั้นยังแบ่งเป็นสายพันธุ์ย่อยได้อีก 3 สายพันธุ์ (กวิศร์, 2538) คือ

ชนิดผลยาวหรือผลเล็ก มะพร้าวน้ำหอมชนิดนี้มีขนาดผลค่อนข้างเล็ก ผลยาวรี ลักษณะของกะลามีลักษณะหัวแหลมท้ายแหลม เป็นผลที่ตลาดไม่ต้องการ

ชนิดผลกลม มะพร้าวน้ำหอมชนิดนี้มีขนาดผลใหญ่ที่สุดในบรรดามะพร้าวน้ำหอมด้วยกัน มีผลกลม เปลือกบาง กะลาแตกง่าย และปอกให้เป็นรูปทรงตามความนิยมของตลาดได้ยากจึงไม่นิยมปลูกกัน

ชนิดผลรีหรือก้นจีบ เป็นมะพร้าวน้ำหอมที่มีลักษณะกึ่งกลางระหว่างชนิดผลยาวกับชนิดผลกลม มีผลปานกลาง ทรงผลรี ทำให้เมื่อปอกจะได้อุปทรงตามที่ตลาดต้องการได้ง่าย และมีกะลาหนา ไม่แตกง่าย เป็นที่นิยมของตลาดและชาวสวนนิยมปลูก

ปัจจุบันมะพร้าวน้ำหอมกำลังเป็นที่สนใจของเกษตรกร เป็นพันธุ์ที่สำคัญของประเทศไทย และนิยมปลูกเป็นการค้ากันมากที่สุด (ศักดิ์สิทธิ์, 2532) เนื่องจากมีลักษณะพิเศษ คือ น้ำของมะพร้าวจะมีกลิ่นหอม และรสหวาน จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ

### ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลมะพร้าว

ผลมะพร้าวเกิดจากการเจริญเติบโตของดอกตัวเมียที่ถูกผสมแล้ว โดยเริ่มพัฒนารูปทรงอย่างช้าๆ ใน 2 สัปดาห์แรก แล้วจึงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลอย่างรวดเร็ว (รัชณี, 2532) อัตราการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวเป็นแบบ double sigmoid curve (มนู, 2523) ผลมะพร้าวจัดเป็น non-climacteric fruit (รวี, 2526) ซึ่งเป็นกลุ่มของผลไม้ที่อัตราการหายใจไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างที่ผลไม้สุก สังเคราะห์เอทิลินได้น้อย และอัตราการหายใจแบบจะลดลงตลอดเวลาหลังการเก็บเกี่ยว (दनัย, 2540) ผลมะพร้าวเป็นผลไม้ประเภท simple fruit เกิดจากรังไข่เดี่ยว ลักษณะของผลเป็นแบบ fibrous drupe (fiber = เป็นเส้น, drupe = ผลเมล็ดเดี่ยวแข็ง) เรียกว่า nut (พร, 2541; เกษร, 2542; นพพร, 2542; สุพจน์, 2543) ประกอบด้วย 3 carpels กับ 1 locule (วิจิตร, 2529) ผลมะพร้าวเกิดเป็นช่อเรียกว่า ทะลาย (bunch) ส่วนของเปลือก (pericarp) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น (นพรัตน์, 2536; พร, 2541; สุพจน์, 2543) ดังนี้

ผนังผลชั้นนอกหรือ exocarp คือ เปลือกชั้นนอกสุด หรือผนังผลชั้นนอกของผลมะพร้าว ประกอบด้วยเส้นใยที่เหนียว และแข็ง Child (1974) มีผิวเรียบ เมื่อยังอ่อนอยู่มีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ ตั้งแต่สีเขียว เหลือง ส้ม น้ำตาล และสีงาช้าง (สุภาวดี, ม.ป.ป.) เมื่อผลแก่เต็มที่จะมีสีของผิวไม่ว่าแต่เดิมจะเป็นสีใดก็ตามจะกลายเป็นสีน้ำตาลไหม้ หรือสีค่อนข้างดำ (พร, 2541) สอดคล้องกับรายงานของ Padua-Resurreccion and Banzan (1979) และ Child (1974) ว่าเมื่อมะพร้าวเริ่มแก่ สีของเปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีน้ำตาลอมเทา

ผนังผลชั้นกลางหรือ mesocarp หรือ coir คือ เปลือกชั้นกลาง เรียกว่ากาบมะพร้าว (husk) ประกอบด้วยส่วนของเนื้อเยื่อทั้งหมดใต้เปลือกชั้นนอกจนถึงกะลา มีความหนาประมาณ 2-15 เซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ เมื่อผลยังอ่อนอยู่จะมีความชื้นสูงอัดกันแน่น และมีสีขาว เมื่อผลแก่มีลักษณะเป็นเส้นใยมีความยืดหยุ่น และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน (พร, 2541) Velasco (1978) รายงานว่าเมื่อมะพร้าวมีอายุเพิ่มขึ้น น้ำหนักเปลือกจะลดลงในขณะที่น้ำหนักกะลาจะเพิ่มขึ้น

ผนังผลชั้นในหรือ endocarp คือ เปลือกชั้นใน เป็นส่วนของกะลามะพร้าว (shell) รูปร่างกลมมีเส้นแบ่งเป็นสันนูน 3 เส้นชัดเจน ซึ่งตรงส่วนบริเวณขั้วของผลจะมีตา 3 ตา เป็นรอยแผลของท่อเรณู ซึ่งแต่ละตาจะอยู่ระหว่างเส้นแบ่งกะลาเป็น 3 ส่วน เป็นตาแข็ง ('hard eye' 'non-fertile eye' หรือ 'non-functional eye') 2 ตา ส่วนอีกตาเป็นตานิ่ม ('soft eye' 'fertile eye' หรือ 'functional eye') มีขนาดใหญ่ และอยู่ตรงส่วนที่กว้างที่สุดของกะลา เมื่อต้นอ่อนงอกจะแทงทะลุตานิ่มนี้ออกมา (Smit, 1970) ขณะที่ผลยังอ่อนกะลาจะมีสีขาวและอ่อนนิ่ม และสีจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจนถึงสีดำเมื่อแก่เต็มที่ เช่นเดียวกับความแข็งของกะลาที่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้นจนถึงเป็น ส่วนที่แข็งที่สุดของมะพร้าวเมื่อผลแก่เต็มที่ (พร, 2541) นอกจากนี้ยังมีลักษณะแห้ง ขณะที่ส่วนอื่นๆ ยังคงเป็นเนื้อนุ่มอยู่ (วิจิตร, 2529)

ภายในผลของมะพร้าวอ่อนจะประกอบไปด้วยส่วนของเมล็ด (seed) ซึ่งอยู่ภายในกะลา ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) (นพพร, 2542) ซึ่งเป็นแผ่นบางสีน้ำตาลไปจนถึง endosperm (สุภาวดี, ม.ป.ป.) ผลมะพร้าวมี endosperm อยู่ 2 ชนิด ได้แก่

เนื้อมะพร้าว ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากด้านที่อยู่ตรงข้ามขั้วผล และขยายออกไปบริเวณรอบๆ ภายในผล โดยในช่วงแรกเนื้อมะพร้าวจะบาง และมีลักษณะเป็นวุ้น ต่อมาจะมีความหนา และความแข็งเพิ่มขึ้น (Child, 1974a; Thampan, 1975) และมีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น (Winton and Winton, 1950) หลังจากการผสมเกสร มะพร้าวอยู่ในช่วง liquid phase ซึ่ง embryonal sac จะขยายใหญ่ขึ้นมาก จนสุดท้ายกลายเป็นโพรงของมะพร้าว ต่อจากนั้นจะเกิดของเหลวหนืดซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่จับซ้อนรวมกลุ่มกัน และเนื้อเยื่อจะถูกสร้างขึ้น แต่ในระยะนี้จะเป็นลักษณะของเซลล์ที่ลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระ โดยเนื้อมะพร้าวเริ่มสร้างจากเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งในตอนแรกมีลักษณะเป็นวุ้น และจะมีเนื้อแน่นขึ้น (Fremond, 1973) ทั้งนี้ Ceniza *et al.* (1993) รายงานว่าเนื้อมะพร้าวที่มีอายุมากขึ้นจะมีกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acid) เพิ่มขึ้น และมีกรดไขมันสายยาว (long-chain fatty acid) ลดลง ซึ่งผลการวิจัยพบว่าด้านปลายผลจะมีกรดไขมันสายสั้นมากกว่าส่วนอื่นๆ แสดงว่าเนื้อมะพร้าวจะสร้างจากบริเวณปลายผล (ส่วนที่อยู่ตรงข้ามตานิ่ม) ไปยังขั้วผล

น้ำมะพร้าว เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดภายในกะลา ซึ่งจะเพิ่มปริมาณขึ้นระหว่างการเจริญเติบโต (Child, 1974) หลังจากนั้นจะเริ่มสร้างเนื้อมะพร้าวขึ้นและเมื่อผลมะพร้าวมีอายุมากขึ้น ปริมาณน้ำมะพร้าวจะลดลง และมีโพรงอากาศอยู่ภายใน เป็นผลให้น้ำหนักลดลง และมีเสียงน้ำโคลน (Thampan, 1975) ซึ่งสังเกตได้จากการเขย่า การที่ปริมาณน้ำมะพร้าวลดลงนี้อาจเป็นเพราะการดูดซับน้ำจากเนื้อเยื่อที่สะสมอาหาร (endosperm tissue) หรือเพราะการระเหย ทั้งนี้ยังไม่

สามารถหาข้อสรุปได้ (Child, 1974) น้ำมะพร้าวจะมีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท และกรดอะมิโนสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ต่อมาผลมะพร้าวมีการสูญเสีย น้ำ และเกิดน้ำตาลซูโครสขึ้นในน้ำมะพร้าว (Winton and Winton, 1950) เมื่อมะพร้าวมีอายุมากขึ้น พบว่าน้ำมะพร้าวมีปริมาณน้ำตาลลดลง เนื่องจากมีกระบวนการซึ่งใช้น้ำตาลเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตเป็นกรดไขมันและใช้กรดไขมันในการสร้างไขมันในเนื้อมะพร้าวต่อไป (Child, 1974) จากปฏิกิริยาทางเอนไซม์ในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นไขมันนี้ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในน้ำมะพร้าวอ่อน (Child, 1974) แต่ในมะพร้าวแก่ พบว่าก๊าซที่เกิดขึ้นในช่องว่างในผลมะพร้าวส่วนใหญ่เป็นก๊าซไนโตรเจน (Child, 1974) และยังประกอบไปด้วยก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนที่ไม่แน่นอนขึ้นกับอัตราการหายใจ (Child, 1974a) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมะพร้าวมีการสูญเสียสารอาหารเกิดขึ้น เมื่อมะพร้าวมีอายุมากขึ้น (Winton and Winton, 1950)

เมื่อผลแก่เชื้อหุ้มเมล็ดจะติดแน่นกับเนื้อมะพร้าว ส่วนน้ำมะพร้าวจะถูกใบเลี้ยง (cotyledons) ของต้นอ่อนดูดเข้าไปภายในและค่อยๆ ขยายขนาดขึ้นจนเต็มผล เรียกว่า จาว ซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำหรับการงอกของต้นอ่อน (นพพร, 2542) ส่วนสำคัญที่สุดที่อยู่ในเมล็ดก็คือ คัพภะหรือส่วนที่เป็นต้นอ่อน (embryo) ซึ่งเป็นอวัยวะที่แทรกตัวอยู่ในเนื้อใต้ตาน้ำ ขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุด มีสีเหลืองอ่อน (ณรงค์, 2530)

#### ความหวานและความหอมของมะพร้าว

มะพร้าวทั่วไปนำภายในผลจะมีความหวานเป็นคุณสมบัติอยู่แล้ว แต่จะหวานมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของมะพร้าว ในระยะที่ผลอ่อนมากน้ำในผลจะไม่มีรสหวาน มีแต่รสเปรี้ยวเล็กน้อย ความหวานของน้ำมะพร้าวจะเพิ่มขึ้นตามความแก่ของผล สำหรับมะพร้าวอ่อนที่นำมาบริโภคนั้นจะมีความหวานที่แตกต่างกันไป ส่วนใหญ่มะพร้าวอ่อนที่นำมาบริโภคจะมีอายุประมาณ 190-200 วันนับจากวันที่ดอกบาน ซึ่งมีความหวานอยู่ระหว่าง 6.5-7.0 บริกซ์ หากความหวานต่ำกว่า 6.0 บริกซ์ จะไม่ค่อยหวาน แต่หากปล่อยให้มียุสผลมากขึ้นเนื้อมะพร้าวอาจจะเริ่มหนาเกินไป ความหวานจะเริ่มลดลงและมีรสซ่าเกิดขึ้นตามมา (จุลพันธ์, 2544)

น้ำมะพร้าวประกอบไปด้วยกลูโคสร้อยละ 5-6 และมีซูโครสเล็กน้อยในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ เมื่อผลเริ่มแก่ปริมาณกลูโคสจะลดลงแต่ซูโครสจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีสารอื่นที่เซลล์ของเนื้อมะพร้าวขับออกมารวมทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำมะพร้าวมีรสหวานอมเปรี้ยวและเป็นฟองเล็กน้อย (นพรัตน์, 2536)

ความหอมนั้นเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของมะพร้าว น้ำหอม ซึ่งแตกต่างจากมะพร้าวอ่อนทั่วไป จึงเป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค องค์ประกอบของกลิ่นตามธรรมชาติของเนื้อหรือน้ำมันมะพร้าวเกือบทั้งหมด คือ  $\delta$ -lactone ซึ่งมีประมาณ 15 ชนิด โดยมีองค์ประกอบหลักคือ  $\delta$ -C<sub>8</sub> และ  $\delta$ -C<sub>10</sub> lactone และ n-octanol (Child, 1974) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์หาชนิดของกลิ่นในเนื้อมะพร้าวของ Lin and Wilkens (1970) ที่พบว่าประกอบไปด้วย สาร 15 ชนิด คือ  $\delta$ -C<sub>8</sub> และ  $\delta$ -C<sub>10</sub> lactone และ n-octanol เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย secondary alcohol (C<sub>7</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>11</sub>) อีกด้วย สำหรับองค์ประกอบของกลิ่นในน้ำมะพร้าว Lin and Wilkens (1970) รายงานว่าประกอบด้วย saturated methyl ketone ที่จำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่ (C<sub>7</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>11</sub>, C<sub>13</sub>, C<sub>15</sub>) และ saturated lactone ที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ ( $\delta$ -lactone; C<sub>6</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>10</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>14</sub>)

ปัญหาที่ผู้ปลูกมะพร้าว น้ำหอมพบบ่อย คือ ความหอมของน้ำมะพร้าวจะหายไปโดยไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด แม้ว่าหน่อพันธุ์ที่ปลูกจะเป็นพันธุ์แท้และเคยหอมมาก่อน ซึ่งจากการศึกษาในระยะต่อมาพบว่าละอองเกสรเพศผู้ที่เข้าผสมนั้นมีอิทธิพลต่อความหอมของน้ำและเนื้อด้วย มะพร้าว น้ำหอมที่ผสมกับมะพร้าวใหญ่และมะพร้าวน้ำหวานผลมะพร้าวจะไม่มีกลิ่นหอม แต่ถ้าผสมตัวเองหรือผสมกับมะพร้าว น้ำหอมด้วยกันผลที่ได้จะมีความหอมไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่า ละอองเกสรเพศผู้ก็มีผลต่อความหวานของน้ำมะพร้าวเช่นเดียวกัน (จุลพันธ์, 2544)

### ลักษณะการเก็บเกี่ยวผลมะพร้าวอ่อน

การเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อนควรเก็บเกี่ยวเมื่อเนื้อมะพร้าวมีความอ่อนนุ่มและหนาพอสมควร ถ้าเก็บมะพร้าวที่แก่เกินไปเนื้อจะหนาแข็งใช้ช้อนตักรับประทานลำบาก แต่น้ำจะหวานจัดกว่ามะพร้าวที่อ่อนเกินไป ถ้าปล่อยให้เนื้อมะพร้าวแห้งน้ำจะไม่หวาน ดังนั้นจึงต้องเก็บเกี่ยวมะพร้าวในระยะที่พอดี จึงจะได้เนื้อที่อ่อนนุ่มและหนาพอควร รวมทั้งได้น้ำที่หอมหวานชื่นใจ (สายนที, 2533; ปิยนุช, 2538) ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวจึงต้องใช้ความชำนาญเป็นพิเศษ คุณภาพของมะพร้าว น้ำหอมที่มีวัยหรือความแก่ที่เหมาะสมยอมทำให้ได้ผลที่มีคุณภาพดี เพราะวัยของมะพร้าวที่เก็บเกี่ยวมีผลโดยตรงต่อคุณภาพในการรับประทาน (Child, 1974) Tongdee *et al.* (1991) รายงานว่าผลมะพร้าวในทะเลสาบที่อยู่ด้านบนสุดของต้นจะมีอายุผลน้อยกว่าผลที่อยู่ในทะเลสาบที่ต่ำลงและผลอ่อนแตกได้ง่ายกว่าผลที่แก่กว่า สำหรับผลที่เหมาะสมต่อการบริโภคนั้นต้องใช้แรงดกกระทบ (rupture force) อยู่ระหว่าง 97 และ 182 กิโลกรัมจึงจะทำให้ผลแตก และพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้นตามอายุผลแล้วลดลงในผลมะพร้าวแก่

Terdwongworakul *et al.* (1991) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน อายุต่าง ๆ กัน พบว่า ความถ่วงจำเพาะ แรงกระทบที่ทำให้เปลือกปริแตก (husk rupture force) และความแข็งของเปลือก (husk firmness) ลดลงตามอายุผล ส่วนการศึกษาอื่น ๆ ด้านคุณภาพของผล ได้แก่ การสั่นพ้อง (resonant frequency) แรงตกกระทบที่ทำให้กะลาแตก (shell rupture force) ความแข็งของกะลา (shell firmness) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความหนาเนื้อ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเนื้อ พบว่าเพิ่มขึ้นตามอายุผลเช่นกันสอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะพร้าวน้ำหอมอายุ 22 สัปดาห์ ถึง 25 สัปดาห์หลังดอกบานของธีรนุต และ สมนึก (2551) ซึ่งพบว่าปริมาณเนื้อ ความหนาเนื้อ ความแน่นเนื้อ และน้ำหนักแห้งของเนื้อมะพร้าวเพิ่มขึ้นตามอายุผล ส่วนน้ำมะพร้าวมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง

สำหรับลักษณะมะพร้าวอ่อนที่เก็บเกี่ยวกันมีอยู่ 3 แบบคือ มะพร้าวชั้นเดียว มะพร้าวชั้นครึ่ง และมะพร้าวสองชั้น (สาขนท์, 2533; ปิยนุช, 2538)

มะพร้าวชั้นเดียว หมายถึงมะพร้าวอ่อนที่เริ่มมีเนื้อเล็กน้อย เนื้อส่วนที่ใกล้ตาผลจะค่อนข้างบางและมีลักษณะค่อนข้างใส ส่วนเนื้อที่โคนค่อนข้างหนามากและจะมีลักษณะสีขาวนวล มะพร้าวชั้นเดียวเนื้อมะพร้าวจะบางมาก มีลักษณะเป็นวุ้นเล็กน้อย มีเนื้อบางๆติดอยู่เพียงครึ่งผลเท่านั้น ที่หัวมะพร้าวด้านในจะเห็นกะลาสีเหลืองอ่อน มีอายุหลังจันทานประมาณ 170 วัน (5 เดือน 3 สัปดาห์) น้ำในผลยังไม่ค่อยหวาน วัดความหวานได้ประมาณ 5-5.6 บริกซ์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, มปป.) ถือว่าเป็นมะพร้าวอ่อนเกินไป ยังไม่ควรเก็บเกี่ยว

มะพร้าวหนึ่งชั้นครึ่ง เป็นมะพร้าวอ่อนที่มีเนื้อมากขึ้นกว่ามะพร้าวชั้นเดียว มีเนื้อมากจนเกือบจะเต็มผล แต่บริเวณหัวของผลยังเป็นวุ้นอยู่บ้าง มีอายุหลังจันทานประมาณ 180 – 185 วัน (6 เดือน-6 เดือน 1 สัปดาห์) น้ำเริ่มหวานขึ้น วัดความหวานได้ประมาณ 6-6.6 บริกซ์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, มปป.) มะพร้าวชนิดนี้ยังถือว่าอ่อน ไม่เหมาะกับการขายทั้งผล แต่เหมาะสำหรับบรรจุถุงหรือแก้วแช่ในตู้เย็นเพื่อบริโภคเองหรือจำหน่าย (สุพจน์, 2543) อย่างไรก็ตามมีผู้บริโภคบางรายชอบบริโภคมะพร้าวแบบชั้นครึ่งนี้เหมือนกัน

มะพร้าวสองชั้น หมายถึงมะพร้าวที่อ่อนที่มีเนื้อเต็มแล้วแต่ยังไม่แก่จนเกินไป หรือไม่แก่จนเนื้อภายในแข็ง มีอายุหลังจันทานประมาณ 200-210 วันหรือประมาณ 7 เดือน น้ำมีรสหวาน ความหวานได้ประมาณ 6.6-7.0 บริกซ์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, มปป.) ผลมะพร้าวระยะนี้เหมาะ

แก่การส่งตลาดเป็นมะพร้าวอ่อนเพื่อรับประทาน มะพร้าวสองชั้นเป็นช่วงที่น้ำในผลมีเปอร์เซ็นต์ความหวานที่เหมาะสมแก่การรับประทานผลสดที่สุด ถ้าปล่อยให้แก่กว่านี้ น้ำในผลจะมีรสที่ผิดปกติไป

โดยเฉลี่ยมะพร้าวอ่อนที่เก็บสดมีรสหวานไม่เปรี้ยวจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ตั้งแต่ 7 บริกซ์ขึ้นไป และมีสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อกรดสูงกว่า 95 สำหรับมะพร้าวหนึ่งชั้นครึ่งและมะพร้าวชั้นเดียว ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะใกล้เคียงกันประมาณ 6-7 บริกซ์ หากสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อกรดยังน้อยน้ำมะพร้าวจะยิ่งเปรี้ยวดังนั้นสำหรับการส่งออกแล้วควรเก็บมะพร้าวที่มีความหนาเนื้อประมาณหนึ่งชั้นครึ่งถึงสองชั้น (เบญจมาศ และ สมุทรศรี, 2534)

#### การเก็บเกี่ยวผลมะพร้าวอ่อน

ในการเก็บเกี่ยวนี้ ผู้เก็บเกี่ยวไม่อาจมองเห็นการเจริญของเนื้อภายในผลได้ จะต้องสังเกตจากการเจริญของผลในทะลายเป็นหลัก ซึ่งมีหลายวิธีการ ข้อสังเกตในการเก็บเกี่ยวแต่ละวิธีจึงควรประยุกต์ใช้เหมาะสมกับฤดูกาลด้วย วิธีสังเกตความพอเหมาะของการเก็บเกี่ยวมีดังนี้ (สุพจน์, 2543)

นับทะลาย ต้นมะพร้าวที่สมบูรณ์และออกจั่นสม่ำเสมอตลอดปี จะแทงจั่นออกมาโดยเฉลี่ยประมาณ 20 วันต่อหนึ่งจั่น หรือทุกครั้งที่มีทางใหม่ขึ้นมา นับทะลายที่จะเก็บเกี่ยวเป็นทะลายที่หนึ่งแล้วนับทะลายที่ออกตามมาเป็นทะลายที่สองและสามไปเรื่อย ๆ เมื่อจั่นที่ 12 แทงออกและกาบหุ้มยังไม่แตกเป็นระยะที่มะพร้าวทะลายแรกอยู่ในช่วงที่อ่อนกำลังดี

สังเกตทางหนู มะพร้าวที่แก่จัดจนกะลามีสีดำ ทางหนูจะแห้งตั้งแต่ปลายไปจนจดขั้วผล มะพร้าวอ่อนทางหนูแห้งครั้งหนึ่ง ส่วนอีกครั้งหนึ่งยังสดอยู่ วิธีนี้อาจตลาดเคลื่อนได้ในฤดูร้อนที่แดดจัดมาก ๆ เพราะทางหนูอาจจะแห้งก่อนกำหนด

สังเกตจากสีผล บริเวณรอยต่อของขั้วกับตัวผลของมะพร้าวอ่อนจะมีสีขาวเป็นวงรอบขั้วผล ถ้าสีขาวยังเป็นวงกว้างก็แสดงว่าผลมะพร้าวยังอ่อนอยู่มาก ต่อเมื่อส่วนสีขาวบริเวณรอยต่อเหลือเพียงเล็กน้อยพอเป็นวงรอบขั้วก็แสดงว่าได้ระยะเก็บเกี่ยวพอดี อย่างไรก็ตามมะพร้าวที่มีทะลายอยู่ในด้านที่ได้รับแสงมากเป็นพิเศษก็อาจสังเกตสีตลาดเคลื่อนเช่นเดียวกัน

สังเกตจากชั้นที่อยู่เหนือขึ้นไป ปกติมะพร้าวจะมีทางเรียงเป็นชุดจำนวน 5 ชุด รอบต้นทางมะพร้าวแต่ละชุดจะเกิดต่อกันมาจนเรียงตัวในแนวเดียวกัน ทำมุมเฉียงเล็กน้อยจากโคนถึงยอดในระหว่างทางใบแต่ละชุดเป็นช่องว่างให้มองลอดขึ้นไปได้ มะพร้าวปกติจะมีทะลายอยู่บนทางใบทุกทาง ถ้าทะลายล่างสุดคือทะลายที่จะเก็บเกี่ยวให้นับเป็นทะลายที่ 1 สังเกตได้ว่าทะลายที่อยู่เหนือขึ้นไปนั้นเป็นมะพร้าวอ่อนมาก นับเป็นทะลายที่ 2 และเหนือขึ้นไปอีกทางหนึ่ง บนชอกทางใบนี้จะมีจั่นใหม่แทงขึ้นมาให้นับเป็นทะลายที่ 3 จากทะลายที่ต้องการเก็บเกี่ยว ข้อสังเกตคือ ถ้ากาบหุ้มจั่นเริ่มแตกออก หากเก็บเกี่ยวทะลายที่ 1 จะได้ผลที่มีเนื้อชั้นเดียว ถ้าจั่นแตกออกและบานเต็มที่แล้ว มีดอกเพศผู้อยู่มาก ดอกเพศเมียยังไม่บานหากเก็บเกี่ยว จะได้ผลที่มีเนื้อชั้นครึ่ง ถ้าปล่อยให้ดอกบานเต็มทีและผลเล็กๆ ที่โคนจั่นเริ่มมีสีเขียวเล็กน้อย หากเก็บเกี่ยวจะได้ผลที่มีเนื้อสองชั้นที่ตลาดต้องการมากที่สุด ซึ่งวิธีการนี้อาจคลาดเคลื่อนได้ เมื่อผลมะพร้าวนั้นอยู่ในช่วงฤดูร้อน ซึ่งผลจะแก่เร็วกว่าผลที่อยู่ในช่วงฤดูฝน

การเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อนจะแตกต่างจากการเก็บเกี่ยวมะพร้าวแก่ เพราะมะพร้าวแก่จะใช้แรงคนหรือลิงปลิดลงมาที่ผล แต่มะพร้าวอ่อนจะตัดลงมาที่เดือยทั้งทะลาย โดยใช้เชือกโยงทะลายไว้ให้แข็งแรงแล้วค่อย ๆ หย่อนลงพื้น เพื่อไม่ให้เกิดการแตกเสียหายของผล (กรมส่งเสริมการเกษตร, มปป)

ผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วอาจพบว่าผลที่ไม่สมบูรณ์อีกร้อยละ 5-10 เช่น ผลลีบ ผลเล็ก ผิดปรกติ ผลที่ไม่มีเนื้อ มีแต่น้ำที่มีรสเปรี้ยว เป็นต้น (จุลพันธ์, 2538) ผลมะพร้าวอ่อนมีส่วนประกอบทางภายในอัตราส่วนของน้ำ: เนื้อ: กะลา: เปลือก เท่ากับ 18: 6: 8: 68 ตามลำดับ (บัณฑิต และ เสกสรร, 2539)

โดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอมประมาณ 20 วัน ต่อครั้ง ดังนั้นใน 1 ปี หากมะพร้าวแทงจั่นทุกครั้งที่ออกทางใหม่ก็จะเก็บมะพร้าวได้ทั้งสิ้นประมาณ 16 ครั้ง (สาขนท์, 2533)

### การปฏิบัติหลังเก็บเกี่ยว

การผลิตมะพร้าวอ่อนเพื่อวางจำหน่ายนั้นจะเริ่มจากการรวบรวมผลผลิตมะพร้าวจากชาวสวนมายังผู้ขายปลีกอีกต่อหนึ่ง โดยทำการซื้อขายกันทั้งทะลาย หลังจากนั้นผู้ค้าปลีกจะเป็นผู้แปรรูปมะพร้าวให้เป็นรูปแบบต่างๆ เพื่อจำหน่ายสู่ผู้บริโภค มะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายมี 3 รูปแบบ ดังนี้ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2541)

1. น้ำมะพร้าว เป็นการจำหน่ายทั้งน้ำและเนื้อของมะพร้าวพร้อมๆกัน โดยผู้บริโภคไม่ต้องเสียเวลาในการผ่าผลมะพร้าวเพื่อชูดเอาเนื้อมารับประทาน ผู้ค้าปลีกจะผ่าผลแล้วชูดเอาเนื้อออกมาบรรจุพร้อมกัมน้ำลงในแก้ว หรือถุงพลาสติก แล้วแช่ในตู้เย็น เพื่อจำหน่ายต่อไป แต่ข้อเสียของการจำหน่ายในรูปแบบนี้คือเก็บรักษาไว้ไม่ได้นาน

2. มะพร้าวทั้งผล เป็นรูปแบบที่นิยมจำหน่ายกันมากที่สุดภายในประเทศและต่างประเทศ ด้วย มะพร้าวทั้งผลที่จำหน่ายกันในท้องตลาดมี 3 แบบ คือ

2.1 ผลที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก โดยมากมักจะขายกันทั้งทะลาย ขนส่งได้สะดวกและเก็บรักษาไว้ได้นานหากมีลูกค้าต้องการซื้อเป็นผล ผู้ขายจะตัดผลออกจากทะลายนับผลขาย

2.2 มะพร้าวควั่น (เจียน) (trimmed coconut) เป็นมะพร้าวที่ได้รับการตัดแต่งหรือปอกเปลือกสีเขียว (exocarp) ออกทั้งหมดหรือบางส่วนออก (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551) เรียกว่าการชำแหละผลซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้รูปทรงที่สวยงาม ตัดแต่งเอารอยตำหนิจากศัตรูพืชออก ทำให้วางตั้งได้ดี และเป็นที่ยึดศูใจของผู้บริโภคมากกว่ามะพร้าวที่มีเปลือกสีเขียวทั้งผล หลังการควั่นผลแล้วผลมีรูปทรงด้านปลายผลมีลักษณะแหลมเป็นรูปทรงกรวยป้านเพื่อความสะดวกในการเฉาะผลเพื่อรับประทาน ทรงผลเป็นรูปทรงกระบอกสอบลงด้านล่าง ด้านบนเป็นรูปฝ่ามือหรือดอกแฉะเฉพาะด้านบนเป็นรูปฝ่ามือ ด้านข้างผลตัดตรงๆใช้ตั้งให้ผลอยู่ได้ ดังนั้นข้างผลจึงอยู่ด้านล่าง และปลายผลอยู่ด้านบน มะพร้าวควั่นนี้เป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมค่อนข้างสูง ทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ

2.3 มะพร้าวเจีย (กลิ้ง) (polished/ ground coconut) เป็นมะพร้าวที่เปลือกสีเขียวและขาว (mesocarp) ถูกปอกออกจนหมด ถึงกะลาเหลือเพียงบางส่วนไว้เป็นฐานหรือจุกแล้วเจีย จากนั้นนำไปขัดกะลาจนเรียบและสะอาด

3. มะพร้าวเผาหรือมะพร้าวคั้ม เป็นมะพร้าวน้ำหอมอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับคความนิยมบริโภค เนื่องจากรสชาติของน้ำมะพร้าวที่แปลกแตกต่างจากน้ำมะพร้าวปกติ น้ำมีความหวานมากกว่า แต่ความหอมยังคงอยู่ ปัจจุบันมีผู้ผลิตมะพร้าวเผาเทียมกันขึ้น โดยคั้มมะพร้าวที่เจียนเปลือกจนเหลือเฉพาะผลภายในจากนั้นนำผลไปคั้มจนกระทั่งสุก แล้วนำมาเผาไฟพอลวกๆอีกครั้งหนึ่ง วิธีทำมะพร้าวคั้มจะทำได้ง่ายกว่ามะพร้าวเผา แต่รสชาติที่ได้จะคั้มดีกว่ามาก สำหรับมะพร้าว

ที่นำมาทำมะพร้าวเผาจะไม่ใช้มะพร้าวสองชั้นเหมือนกับที่ขายผลสดแต่ต้องเป็นมะพร้าวที่แก่กว่านั้น

ปัจจุบันยังไม่ทราบถึงปริมาณความต้องการบริโภคมะพร้าวอ่อนภายในประเทศที่แน่นอน แต่คาดว่าความต้องการบริโภคทั้งในรูปแบบผลมะพร้าวสดและมะพร้าวอ่อนแปรรูปจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น สำหรับตลาดต่างประเทศถือเป็นตลาดที่แน่นอน จำหน่ายได้ราคาดี และเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการจำหน่ายผลผลิตไม่ให้ล้นตลาดภายในประเทศ (สุพจน์, 2543) ตลาดส่งออกที่สำคัญเช่น สหรัฐอเมริกา ไต้หวัน ฮองกง จีน มาเลเซีย สิงคโปร์ ออสเตรเลีย และแคนาดา เป็นต้น ประเทศที่นำเข้ามากที่สุดคือ สหรัฐอเมริกา รองลงมาคือ ไต้หวัน ฮองกง และจีน ซึ่งในปัจจุบันมีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 241 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2552)

### การเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้

การเกิดสีน้ำตาล (browning) เป็นปรากฏการณ์ที่พบได้เสมอในพืชทั้งในส่วนของพืชที่มีชีวิต และส่วนของพืชที่ตายแล้ว การเกิดสีน้ำตาลนี้มีประโยชน์ต่อพืชในการช่วยปกป้องการเข้าทำลายจากแมลงและจุลินทรีย์ต่าง แต่สำหรับผู้บริโภคแล้วการเกิดสีน้ำตาลนั้นถือเป็นข้อเสียที่ทำให้ผลผลิตไม่สวยงามและไม่เป็นที่ต้องการ ทำให้อายุการวางจำหน่ายของผลิตผลสั้นลง โดยเฉพาะในผักและผลไม้ที่ผ่านการตัดแต่ง การเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้มักเกิดจากเอนไซม์ (enzymatic browning) การเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์นี้ต้องประกอบไปด้วยการทำปฏิกิริยากันขององค์ประกอบ 3 อย่าง คือ ออกซิเจนในอากาศ เอนไซม์และสารตั้งต้น (substrate) หรือสารประกอบฟีนอล เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยานี้คือเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ากิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD) อาจเป็นเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยานี้ด้วย ดังเช่นในลิ้นจี่ซึ่งพบว่าในระหว่างการเกิดสีน้ำตาลมีกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD) สูงขึ้น (Jiang et al., 2004) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มียุทธศาสตร์ที่สรุปได้แน่ชัด (จริงแท้, 2550) ประชิต (2540) ได้ศึกษาองค์ประกอบของเปลือกมะพร้าวอ่อนที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล คือสารประกอบฟีนอลและเอนไซม์ พบว่าเปลือกมะพร้าวอ่อนมีสารประกอบฟีนอลทั้งหมด  $117.48 \pm 2.95$  ไมโครกรัม/กรัม และการเกิดสีน้ำตาลนั้นเป็นผลจากกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ซึ่งพบว่าพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงกว่าเอนไซม์ POD ถึง 4 เท่า

## สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล

การส่งออกมะพร้าวผลอ่อนที่มีรูปแบบการจำหน่ายโดยปอกเปลือกสีเขียวออกแล้วแต่งรูปทรงให้สวยงามเพื่อดึงดูดใจผู้ซื้อนั้นมักพบปัญหาการเปลี่ยนสีของเปลือกจากสีขาของผลที่ปอกเปลือกแล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้อายุการวางจำหน่ายและเก็บรักษาลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่จะเกิดบนผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกแล้ว โดยใช้สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (sodium metabisulphite) ในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล สารนี้จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบซัลไฟต์ ซึ่งนิยมใช้กันมากในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลใน ผัก ผลไม้ และอาหารต่าง ๆ นอกจากจะสามารถควบคุมไม่ให้เกิดสีน้ำตาลจากการทำงานของ เอนไซม์ PPO แล้วยังมีคุณสมบัติในการฟอกสีและยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ต้องใช้ เอนไซม์ (non-enzymatic browning) ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้อีกด้วย (จริงแท้, 2550) ปัจจุบันความเข้มข้นของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ใช้สำหรับ มะพร้าวอ่อนเพื่อส่งออกต่างประเทศอยู่ที่ 2-4 เปอร์เซ็นต์ โดยจะทำการแช่ผลทันทีที่เนื้อเปลือกเสร็จ (Tongdee *et al.*, 1991)

โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีความสำคัญมากในการช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และมีราคาถูก แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการพิจารณาบททวนการใช้สารกลุ่มนี้ใหม่เนื่องจากพบว่าก่อให้เกิดอันตรายในหมู่มนุษย์ที่เป็นโรคหอบหืดที่เกี่ยวข้องกับสเตอรอยด์ ซึ่งในปี 1987 สำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ได้รับรายงานว่ามีผู้เสียชีวิตเนื่องจากสารนี้กว่า 20 ราย จึงเป็นผลให้มีการประกาศห้ามใช้สารกลุ่มซัลไฟต์ในผักผลไม้สดในสหรัฐอเมริกา ยกเว้นองุ่น (Davidson and Juneja, 1990; จริงแท้, 2549) และมันฝรั่งปอกเปลือก (Anonymous, 1986) ส่วน องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดให้ค่าความปลอดภัยไว้ว่าปริมาณที่ได้รับไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัม/คน/วัน (ADI : Acceptable Daily Intake) (กองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวง สาธารณสุข, 2544)

สำหรับผลลำไยสดในประเทศไทย สำนักงานมาตรฐานและอาหารแห่งชาติ (2549) ได้อนุญาตให้ลำไยที่ผ่านการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อลำไยได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัมเช่นเดียวกับปริมาณสารตกค้างที่ไม่ให้มีเกินในผลองุ่นสด (Anonymous, 1986) นอกจากนี้ Codex Alimentarius Commission (2009) ยังได้กำหนดปริมาณสารตกค้างสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในผลไม้ที่ใช้สารประกอบซัลไฟต์ภายหลังการเก็บเกี่ยวไม่ให้มีเกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

อนุมูลซัลไฟด์ที่เหลือในอาหาร ถ้าหากอยู่ในปริมาณที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะผู้ที่เป็โรคนภูมิแพ้ต่างๆ ระดับความเข้มข้นของสารประกอบซัลไฟด์ที่สามารถก่อให้เกิดอาการผิดปกติแก่ผู้บริโภคได้ มีดังนี้

**ตารางที่ 1** ระดับความเข้มข้นของสารประกอบซัลไฟด์ที่สามารถก่อให้เกิดอาการผิดปกติแก่ผู้บริโภค

ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)	ลักษณะอาการที่เกิดขึ้น
0.2	ผู้บริโภคอาจได้กลิ่นซัลเฟอร์
150.0	ประสาทรับกลิ่นเป็นอัมพาต
250.0	เลือดออกในปอด
500.0	เกิดอาการผิดปกติกับระบบหายใจภายใน 0.5-1 ชั่วโมง
1,000.0	เกิดอาการอัมพาตแบบเฉียบพลัน
5,000.0	ตายอย่างเฉียบพลัน

**ที่มา:** ศิวาพร (2546)

จากข้อจำกัดข้างต้นจึงทำให้มีความพยายามศึกษาหาวิธีในการลดการเกิดสีน้ำตาลของผลมะพร้าวอ่อนเพื่อใช้ทดแทนสารประกอบซัลไฟด์ จากการทดลองของ ประชิต (2540) พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิก 2.5 เปอร์เซ็นต์ + กรดซิตริก 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดี เมื่อสิ้นสุดการทดลองในระยะเวลา 5 สัปดาห์พบว่าการใช้สารทดแทนให้ผลในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้ดีพอสมควร แต่ไม่มีข้อมูลการเกิดเชื้อราที่ผิวของมะพร้าว นอกจากนี้ยังมีความพยายามลดปริมาณการใช้สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ลง จากการทดลองของ โสภิตา (2549) พบว่า สามารถลดการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ลงจาก 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ 1 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับเกลือ 4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มะพร้าวอ่อนมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวน้อยที่สุด และเกิดเชื้อราใกล้เคียงกับการใช้สารความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการศึกษาของ Tongdee *et al.* (1991) ซึ่งทำการทดลองจุ่มผลมะพร้าวควั่นในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ความเข้มข้น 0.25 – 4 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามะพร้าวที่ใช้จุ่มใน

สารละลายจะมีผิวหน้าที่สัมผัสกับสาร โดยเฉลี่ย 550 ตารางเซนติเมตร/ผล ซึ่งสามารถดูดซึม สารละลายได้ประมาณ 4.38 มิลลิลิตร ภายหลังจากการจุ่มผลเป็นเวลา 2 นาที ซึ่งการซึมผ่านของ สารนี้ไปยังผลน่าจะเข้าไปได้ในระยะทางไม่ไกลนัก ดังนั้นจึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ต่อมา ไพลิน (2550) ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบหาปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างในผล มะพร้าวอ่อนภายหลังการจุ่มผลในสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน และระยะเวลา ในการจุ่มผลต่างกัน รวมทั้งตรวจสอบสารตกค้างในมะพร้าวน้ำหอมที่ผลิตจำหน่ายในตลาดขายส่ง สำคัญของประเทศ พบว่ามีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนปก เปลือกที่จุ่มลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ เพียงบางผลเท่านั้น และไม่สัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้จุ่มผล ส่วนการศึกษาระยะเวลาในการ จุ่มผล กลับไม่พบสารตกค้างในตัวอย่างที่นำมาศึกษา และจากการสุ่มตรวจปริมาณโซเดียมเมตาไบ ซัลไฟด์ในผลมะพร้าวรูปแบบต่างๆ จากตลาดไทพบสารตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวทุก ชนิด โดยพบในมะพร้าวควั่น 7.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารตกค้างเฉลี่ยเฉพาะผลที่ตรวจพบเท่ากับ 0.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะพร้าวเจียคิบ 9.23 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารตกค้างเฉลี่ยเฉพาะผลที่ตรวจ พบเท่ากับ 0.35 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มะพร้าวเจียคัมและแตก 100 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารตกค้างเฉลี่ย เท่ากับ 7.82 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ มะพร้าวเผา 55.9 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารตกค้างเฉลี่ยเฉพาะผล ที่ตรวจพบเท่ากับ 5.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

อานนท์ (2551) ได้ทำการทดลองสุ่มตัวอย่างมะพร้าวที่วางจำหน่ายในตลาดปทุมมงคล จังหวัดนครปฐม มาวิเคราะห์ปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้าง แต่ไม่พบสารตกค้างใน ตัวอย่างดังกล่าว และให้ผลที่แตกต่างจากการทดลองของไพลินที่นำตัวอย่างจากตลาดไทมา วิเคราะห์ อานนท์ (2551) ได้ให้คำอธิบายว่าการที่ไพลินตรวจพบสารตกค้างในบางตัวอย่างนั้นพบ ในปริมาณที่น้อยมากและพบเพียงบางตัวอย่างที่ไม่มีความสม่ำเสมอในแต่ละการทดลองอาจ เนื่องมาจากมีการปนเปื้อนของอุปกรณ์ในขณะที่ลอกเปลือกหรือเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง และ อีกสาเหตุหนึ่งที่ตรวจไม่พบสารตกค้างดังกล่าวอาจเนื่องมาจากการผู้ประกอบการมีการใช้สารชนิด นี้ต่ำกว่าการใช้ของผู้ประกอบการที่ตลาดไท ดังนั้นเพื่อพิสูจน์ให้ชัดเจนว่าสารประกอบซัลไฟด์จะ ปนเปื้อนเข้าไปในเนื้อและน้ำมะพร้าวได้หรือไม่จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมพร้อมกับศึกษาปัจจัยที่ อาจส่งผลต่อการตกค้างของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ในผลมะพร้าวอ่อน

## อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน และในส่วนที่ 2 ทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของส่วนต่าง ๆ ของผลมะพร้าวที่น่าจะมีโอกาสเป็นช่องทางที่ยอมให้สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ซึมผ่านเข้าไปสะสมภายในผลได้

### การทดลองที่ 1 ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน

1.1 ระยะเวลาที่สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเปลือกมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการตัดแต่งแล้ว

นำมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง ที่ผ่านการตัดแต่งรูปทรงให้สวยงาม ด้านท้ายเรียบด้านบนมียอดแหลม (มะพร้าวควั่น) มาจุ่มในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที ปล่อยให้ผิวมะพร้าวแห้ง จากนั้นจึงหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) แล้วนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ  $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$

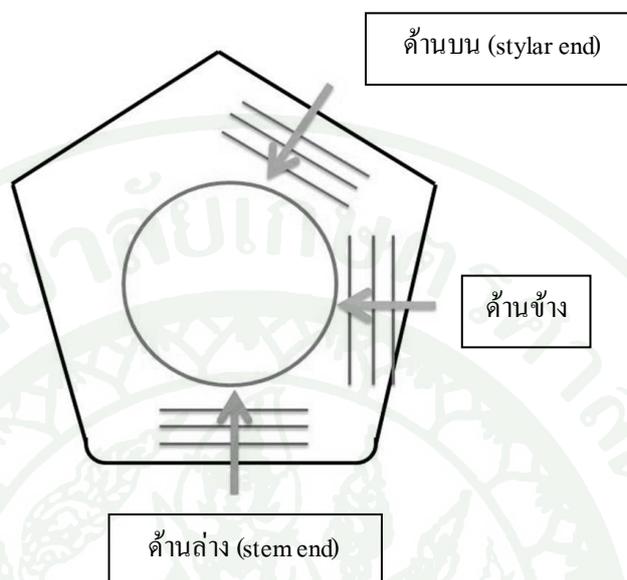
วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จัดตั้งทดลองแบบ 3 x 4 factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 ตำแหน่งเปลือกที่ทำการตรวจวัด มี 3 ระดับคือ ด้านบน (stylar end) ด้านข้าง และด้านล่าง (stem end) ของผล

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาการเก็บรักษา มี 4 ระดับคือ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

แบ่งการทดลองออกเป็น 12 ทริทเมนต์คอมบินเนชัน ทริทเมนต์ละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล นำมาตรวจหาระยะทางของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ซึมผ่านเปลือกเข้าไปได้ภายหลังการเก็บรักษาโดยผ่านเปลือกจากตำแหน่งต่างๆเป็นแผ่นบางๆ ให้มีขนาด 3 x 5 เซนติเมตร ความหนาชั้นละ 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1 ชั่งน้ำหนัก (ประมาณ 4- 5 กรัม) ก่อนนำไปใส่ในภาชนะพลาสติก

แล้วเติมน้ำกลั่น หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์ปริมาณ  $\text{SO}_2$  ตกค้าง มาตรฐาน Monier-Williams Method (AOAC, 1984) ดังนี้



ภาพที่ 1 บริเวณที่เลื่อนเปลือกเพื่อวิเคราะห์สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างในแต่ละผล

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมอินดิเคเตอร์ โดยชั่ง methylene blue และ methyl red อย่างละ 0.05 และ 0.10 กรัม ตามลำดับแล้วนำไปละลายใน ethanol 95 เปอร์เซ็นต์ จนได้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลาย hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ โดยตวง  $\text{H}_2\text{O}_2$  ที่มีความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วหยดอินดิเคเตอร์ลงไปจนสารละลายกลายเป็นสีม่วง จากนั้นหยดสารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้น 0.1 N ลงไปจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน
3. เตรียมสารละลาย sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 N โดยการชั่ง NaOH จำนวน 4.0 และ 0.4 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร ตามลำดับ

### ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง

1. เทตัวอย่างพร้อมน้ำกลั่นที่เตรียมใส่ภาชนะพลาสติกไว้ใส่ลงในขวดก้นกลมชนิดสองคอ ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้ประมาณครึ่งหนึ่งของขวดก้นกลม
2. ใส่กรด HCl เข้มข้น (36-38 เปอร์เซ็นต์) 20 มิลลิลิตร ลงขวดก้นกลม แล้วประกอบเข้ากับ reduction adapter และ condenser
3. เท  $H_2O_2$  ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ประมาณ 100 มิลลิลิตร และใส่ลงใน boiling tube ประมาณ 10 มิลลิลิตร
4. นำไปประกอบเข้ากับชุดเครื่องแก้วที่ใช้ในการสกัด (ภาพผนวกที่ 1)
5. สวมท่อनाแก๊สเข้ากับขวดก้นกลมสองคอ เปิดน้ำให้ไหลเข้าที่คอนเดนเซอร์ และเปิดเตาให้ความร้อน
6. จับเวลาหลังจากตัวอย่างเดือดประมาณ 50-60 นาที หลังจากนั้นปิดเตาให้ความร้อน และถอดท่อนำแก๊สออก
7. นำสารละลาย  $H_2O_2$  ที่อยู่ใน boiling tube มาเทรวมกับสารละลาย  $H_2O_2$  ที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ (สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูถ้ามีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในตัวอย่าง)
8. นำสารละลาย  $H_2O_2$  ไปไทเทรตกับ NaOH 0.01 N
9. นำผลการไทเทรตที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง ตามสูตร

$$\text{ปริมาณ } SO_2 \text{ ตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)} = \frac{N \text{ NaOH} \times \text{ml NaOH} \times 32 \times 1,000}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างมะพร้าว (กรัม)}}$$

โดย  $N \text{ NaOH} = 0.01 \text{ N}$

$\text{ml NaOH} =$  จำนวนมิลลิลิตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต

32 = เลขมวลโมเลกุลของซัลเฟอร์

## 1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน

### 1.2.1 ผลของความเข้มข้นและระยะเวลาในการจุ่มผลต่อปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน

นำมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่งที่ผ่านการลอกเปลือกจนถึงกะลามาจุ่มในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาจุ่มผลต่าง ๆ กัน ฝั้ให้ผิวมะพร้าวแห้งจากนั้นจึงนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จัดสิ่งทดลองแบบ 4 x 3 factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของ SMS มี 4 ระดับคือ 1 3 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาการจุ่มผล มี 3 ระดับคือ 5 10 และ 15 นาที

แบ่งการทดลองออกเป็น 12 ทริทเมนต์คอมบินเนชั่น ทริทเมนต์ละ 7 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล นำมาตรวจหาสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในน้ำและเนื้อมะพร้าวอ่อนภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน เตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์โดยการล้างผลเพื่อป้องกันสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ปนเปื้อนอยู่ที่ผิวของกะลาติดไปกับมีดที่ใช้เปิดผลมะพร้าว หลังจากนั้นนำน้ำและเนื้อออกมาโดยระวังไม่ให้ น้ำและเนื้อไปสัมผัสกับกะลามะพร้าวอ่อนด้านนอก หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักเนื้อ (ประมาณ 50 กรัม) และน้ำ (ประมาณ 100 กรัม) มะพร้าวอ่อนก่อนนำไปใส่ภาชนะพลาสติกแยกกัน สำหรับส่วนของเนื้อให้เติมน้ำกลั่นลงไปให้ท่วมตัวอย่าง นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างโดยใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณ  $\text{SO}_2$  ตกค้างมาตรฐาน Monier-Williams Method เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

### 1.2.2 ผลของอายุผลและตำแหน่งในการจุ่มผลต่อปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน

นำมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมที่มีระดับอายุผลต่าง ๆ กันซึ่งผ่านการลอกเปลือกจนถึงกะลามาจุ่มลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เพียงครั้ง

ผล เป็นระยะเวลา 15 นาที ผึ่งให้ผิวมะพร้าวแห้งจากนั้นจึงนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จัดสิ่งทดลองแบบ 3 x 2 factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 อายุผล มี 3 ระดับคือ มะพร้าวหนึ่งชั้น มะพร้าวหนึ่งชั้นครึ่ง และมะพร้าวสองชั้น  
ปัจจัยที่ 2 ตำแหน่งที่จุ่มผล มี 2 ระดับคือ จุ่มผลเฉพาะด้านที่มีตา (stem end) หรือด้านที่ไม่มีตา (stylar end)

แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ทริทเมนต์คอมบินเนชัน ทริทเมนต์ละ 7 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล นำมาตรวจหาสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในน้ำและเนื้อมะพร้าวอ่อนภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.2.1 และวิเคราะห์ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างโดยใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณ  $\text{SO}_2$  ตกค้าง มาตรฐาน Monier-Williams Method (AOAC, 1984) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

### 1.3 ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อนทั้งผล

1.3.1 ผลของความเข้มข้นต่อปริมาณของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน

นำมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง ที่ผ่านการตัดแต่งรูปทรงให้สวยงาม ด้านท้ายเรียบด้านบนมียอดแหลม (มะพร้าวเจียน) มาจุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นต่างๆทันที เป็นเวลา 5 นาที ผึ่งให้ผิวมะพร้าวแห้ง จากนั้นจึงทำการหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) แล้วนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จัดสิ่งทดลองแบบ 4 x 2 factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของ SMS มี 4 ระดับคือ 1 3 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาการเก็บรักษา มี 2 ระดับคือ 1 และ 7 วัน

แบ่งการทดลองออกเป็น 8 ทริทเมนต์คอมบินเนชัน ทริทเมนต์ละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล นำมาตรวจหาสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างในน้ำและเนื้อมะพร้าวอ่อนภายหลังการเก็บรักษาเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์โดยการล้างผลเพื่อป้องกันสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่ปนเปื้อนอยู่ที่ผิวนอกของกะลาติดไปกับมีดที่ใช้เปิดผลมะพร้าว หลังจากนั้นนำน้ำและเนื้อออกมาโดยระวังไม่ให้น้ำและเนื้อไปสัมผัสกับกะลามะพร้าวอ่อนด้านนอก หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักเนื้อ (ประมาณ 50 กรัม) และน้ำ (ประมาณ 100 กรัม) มะพร้าวอ่อนก่อนนำไปใส่ภาชนะพลาสติกรวมกัน หลังจากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างโดยใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณ  $\text{SO}_2$  ตกค้างมาตรฐาน Monier-Williams Method เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

1.3.2 ผลของระยะเวลาในการจุ่มผลต่อปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน

นำมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง ที่ผ่านการตัดแต่งรูปทรงให้สวยงาม ด้านท้ายเรียบด้านบนมียอดแหลม (มะพร้าวเจียน) มาจุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ฝั่งให้ผิวมะพร้าวแห้ง จากนั้นจึงทำการหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) แล้วนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จัดตั้งทดลองแบบ 3 x 2 factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 ระยะเวลาการจุ่มผล มี 3 ระดับคือ 5 10 และ 15 นาที

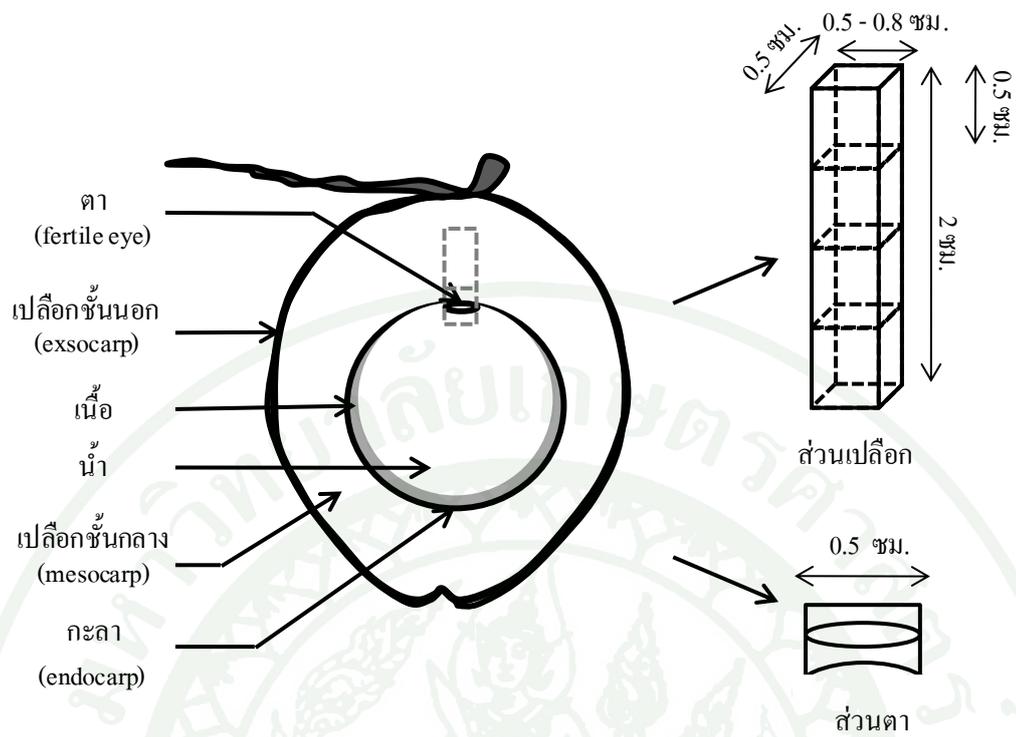
ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาการเก็บรักษา มี 2 ระดับคือ 1 และ 7 วัน

แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ทริทเมนต์คอมบินเนชัน ทริทเมนต์ละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล นำมาตรวจหาสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างในน้ำและเนื้อมะพร้าวอ่อนภายหลังการเก็บรักษา โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.3.1 และวิเคราะห์ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างโดยใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณ  $\text{SO}_2$  ตกค้าง มาตรฐาน Monier-Williams Method เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1

## การทดลองที่ 2 ลักษณะทางกายวิภาคของผลมะพร้าวอ่อน

เก็บตัวอย่างพืชโดยตัดชิ้นส่วน 2 ส่วนของผลมะพร้าวคือ ส่วนเปลือก (ด้านขั้วผลซึ่งอยู่ติดกับตำแหน่งของตาน้ำ) ขนาดประมาณ  $0.5 \times (0.5-0.8) \times 2$  เซนติเมตร แล้วตัดแบ่งเป็นชิ้นเล็กๆที่มีความหนา 0.5 เซนติเมตร และส่วนของตาน้ำขนาด  $0.5 \times (0.5-0.8)$  (ภาพที่ 2) หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนพืชทั้งหมดมาทำ paraffin section (ตัดตัวอย่างตามขวาง) โดยนำไปผ่านกระบวนการดังต่อไปนี้

1. คงสภาพตัวอย่างพืชไว้ในสารละลาย FAA (formalin-aceto-alcohol) 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วทิ้งไว้ให้สารซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช อย่างน้อย 24 ชั่วโมง
2. นำชิ้นส่วนพืชมาล้างด้วย ethanol 50 เปอร์เซ็นต์ 3 ครั้ง แช่ทิ้งไว้ครั้งละ 3 ชั่วโมง
3. แช่ชิ้นส่วนพืชใน tertiary butyl alcohol (TBA) 50 70 85 95 100 เปอร์เซ็นต์ และ pure TBA ตามลำดับ ความเข้มข้นละ 12 ชั่วโมง
4. แช่ชิ้นส่วนพืชใน pure TBA 3 ครั้ง ๆ ละ 12 ชั่วโมง
5. แช่ชิ้นส่วนพืชใน pure TBA ผสมกับ paraffin oil ในอัตราส่วน 1 : 1 นาน 12 ชั่วโมง
6. แช่ชิ้นส่วนพืชลงไปแช่ใน parplast ที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  3 ครั้ง ๆ ละ 12 ชั่วโมง
7. เทตัวอย่างลงในเบ้าซึ่งติดอยู่กับที่ยึดตัวอย่าง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วตัดแต่งตัวอย่างให้เหมาะสมกับการนำไปตัดต่อไป
8. ตัดตัวอย่างด้วยเครื่อง rotary microtome ยี่ห้อ Microm รุ่น HM 335E ของประเทศเยอรมัน โดยใช้ความหนาประมาณ 14-16 ไมโครเมตร
9. วางชิ้นตัวอย่างพืชลงบนสไลด์โดยใช้ Fomalin 3 เปอร์เซ็นต์ และ Haupt's adhesive เป็นตัวยึด วางสไลด์ลงบน slide warmer ที่อุณหภูมิประมาณ  $40 - 50^{\circ}\text{C}$
10. เก็บสไลด์ไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าสไลด์จะแห้งสนิท หลังจากนั้นนำสไลด์ไปย้อมด้วยสี Safranin O และ Fast Green แล้วปิดตัวอย่างด้วยกระจกปิดสไลด์ โดยใช้ Permout เป็น mounting medium นำสไลด์ถาวรที่ได้ไปทำการศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์และเก็บข้อมูล รูปภาพ ลักษณะและชนิด รวมถึงปริมาณของเซลล์ที่พบ



ภาพที่ 2 ภาพแสดงตำแหน่งที่ตัดชิ้นตัวอย่างมะพร้าวอ่อนเพื่อใช้ทำสไลด์ถาวร

## สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

### สถานที่ทำการวิจัย

1. แปลงทดลอง 2 ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

2. ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

3. ห้องปฏิบัติการกายวิภาคพืช ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

4. ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

### ระยะเวลาในการวิจัย

ตุลาคม 2550 – มกราคม 2553

## ผลและวิจารณ์

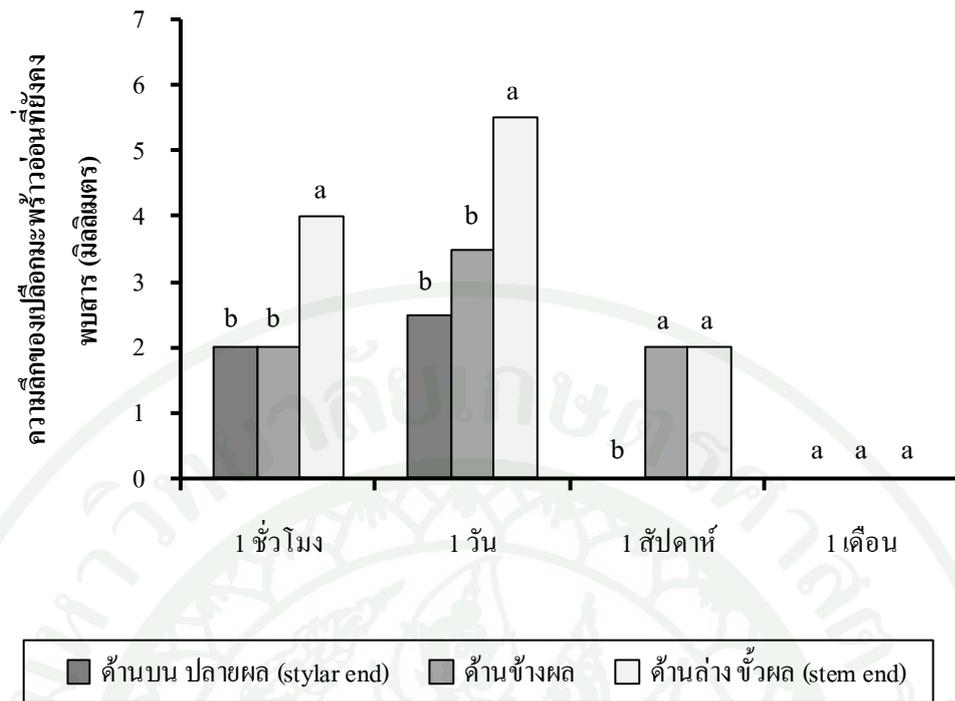
### ผล

#### ระยะทางการซึมผ่านของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

จากการศึกษาการซึมผ่านของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนที่ตัดแต่งเปลือกแล้วภายหลังจากการเก็บรักษาที่ระยะเวลาแตกต่างกัน โดยวิเคราะห์การซึมผ่านของสารที่ตำแหน่งต่างๆ คือ ส่วนบนหรือด้านปลายผล (stylar end) ด้านข้าง และด้านล่างหรือขั้วผล (stem end) พบว่า ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ทางด้านบน (stylar end) และด้านข้างของผลพบสารตกค้างเข้าไปลึกเฉลี่ย 2 มิลลิเมตร ส่วนด้านล่าง (stem end) พบสารตกค้างเข้าไปลึกเฉลี่ย 4 มิลลิเมตรนับจากผิว เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเป็นระยะเวลา 1 วัน พบสารลึกเข้าไปเป็น 2.5 3.5 และ 5.5 มิลลิเมตรตามลำดับ แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเป็น 1 สัปดาห์ ไม่พบสารตกค้างในส่วนของด้านบน (stylar end) สำหรับด้านข้างและด้านล่าง (stem end) นั้นพบว่าระยะทางที่ยังคงพบสารตกค้างนั้นลดลงเป็น 2 มิลลิเมตร แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเป็นระยะเวลา 1 เดือนนั้นตรวจไม่พบสารตกค้างใดๆ ดังแสดงในภาพที่ 3 และการทดลองซ้ำก็ให้ผลซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน (ภาพผนวกที่ 2)

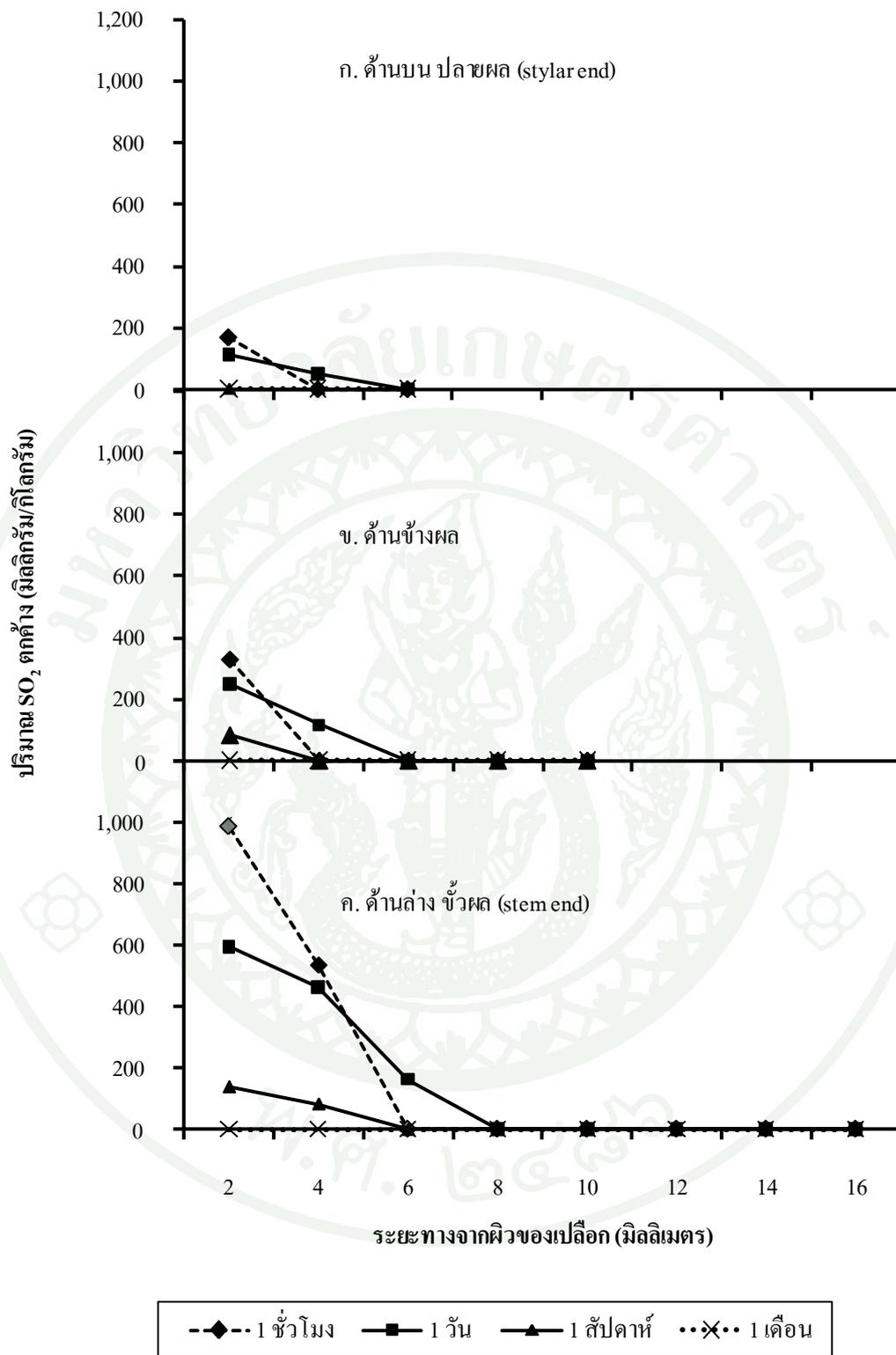
จากการวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างในแต่ละตำแหน่งจะพบว่านอกจากสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะซึมผ่านด้านล่างของผลได้ลึกที่สุดแล้วบริเวณนี้ยังพบสารตกค้างสูงที่สุดด้วย รองลงมาคือ ด้านข้าง และด้านบนของผล ตามลำดับ (ภาพที่ 4) และสังเกตได้ว่าการเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้นปริมาณสารตกค้างในแต่ละส่วนก็จะลดลงด้วย

นอกจากนั้นการทดลองในครั้งนี้ตรวจไม่พบสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในส่วนที่ใช้บริโภคเลย สำหรับความหนาของเปลือกมะพร้าวอ่อนที่ตัดแต่งรูปแบบควั่นที่ตำแหน่งด้านล่างหรือขั้วผลซึ่งเป็นตำแหน่งที่สารซึมผ่านเข้าไปได้ง่ายที่สุด พบว่ามีความหนาสูงสุดประมาณ 28 มิลลิเมตร ความหนาต่ำสุดประมาณ 19 มิลลิเมตร และความหนาเฉลี่ยประมาณ 20 มิลลิเมตร



**ภาพที่ 3** ความลึกของเปลือกมะพร้าวอ่อนที่ยังคงพบสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนได้ในตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากการรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลาต่างๆกัน

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ตำแหน่งและระยะเวลาการรักษาเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซึมผ่านของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้าไปในผลมะพร้าวอ่อน และพบอิทธิพลร่วมระหว่างตำแหน่งกับระยะเวลาการรักษา (ตารางที่ 2 และตารางผนวกที่ 1)



ภาพที่ 4 ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในแต่ละระดับความหนาของเปลือกที่ตำแหน่งต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลาต่างๆกัน

**ตารางที่ 2** ค่าเฉลี่ยระยะทางที่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนได้ในตำแหน่งต่าง ๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลาต่าง ๆ กัน

ตำแหน่ง	ระยะทางที่สารสามารถซึมผ่านได้ (มิลลิเมตร)
ด้านบน ปลายผล (stylar end)	1.13 c <sup>1/</sup>
ด้านข้าง	1.88 b
ด้านล่าง ขั้วผล (Stem end)	2.88 a
ระยะเวลาการเก็บรักษา	ระยะทางที่สารสามารถซึมผ่านได้ (มิลลิเมตร)
1 ชั่วโมง	2.67 b
1 วัน	3.83 a
1 สัปดาห์	1.33 c
1 เดือน	0.00 d
ปัจจัย	P-value
ตำแหน่ง	<0.0001
ระยะเวลาการเก็บรักษา	<0.0001
ตำแหน่ง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	<0.0001
C.V. (%)	25.53

<sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P > 0.05$  ไม่แตกต่างทางสถิติ

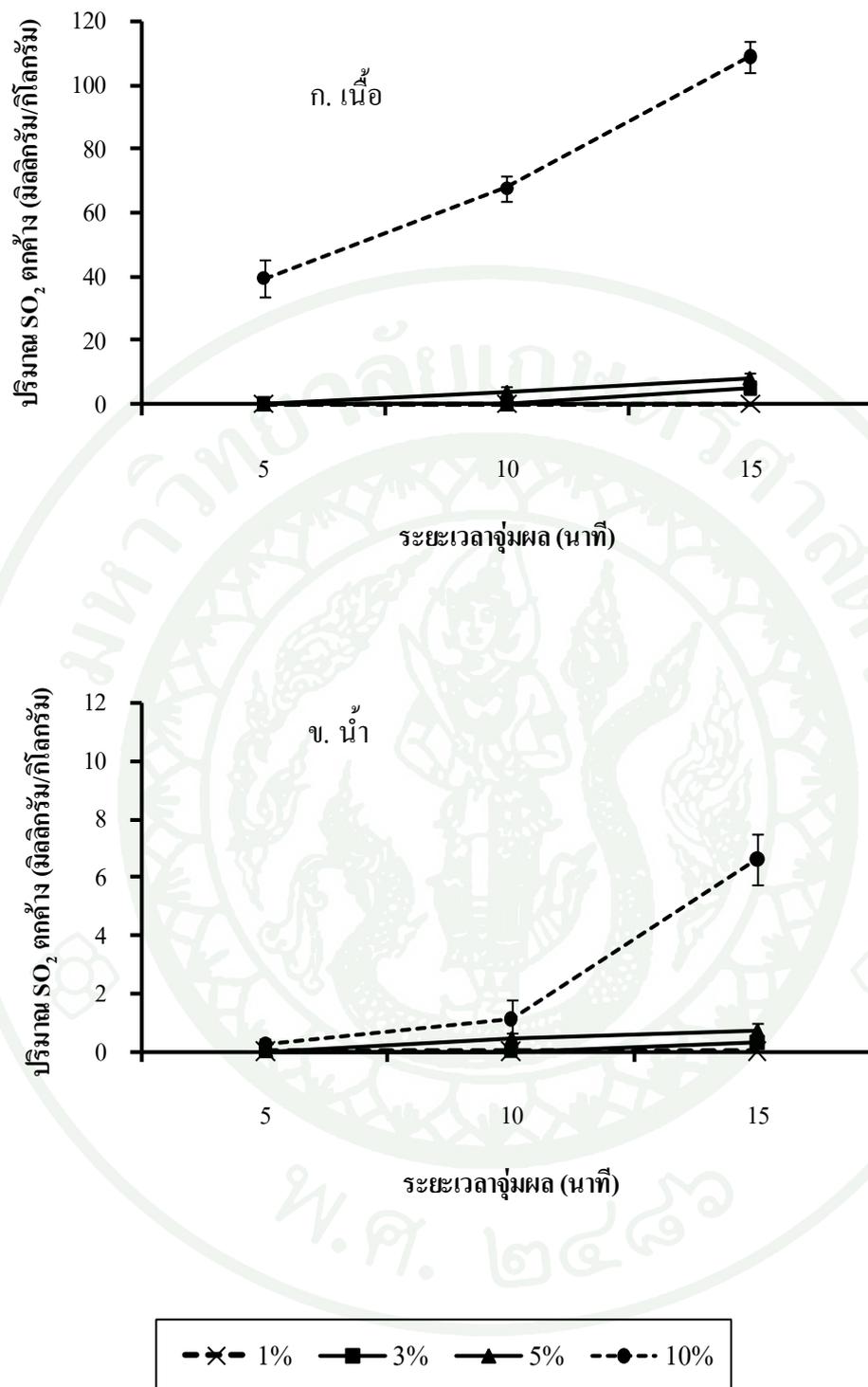
$0.01 < P \leq 0.05$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P \leq 0.01$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

## ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้าง

ความเข้มข้นของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และระยะเวลาในการจุ่มผล

จากการศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการจุ่มผล 4 ระดับ คือ 1 3 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับระยะเวลาในการจุ่มผล 3 ระดับ คือ 5 10 และ 15 นาที ต่อ ปริมาณสารตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนที่ตัดแต่งเปลือกออกทั้งหมดจนเหลือแต่กะลา พบว่า ปริมาณสารตกค้างในส่วนของเนื้อที่ตรวจพบภายหลังจากการเก็บรักษาของผลที่จุ่มลงใน สารละลายระดับความเข้มข้นสูงสุด คือ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารตกค้างสูงกว่าการจุ่มผลใน ระดับความเข้มข้นอื่นๆ โดยการจุ่มผลเป็นเวลา 5 นาที พบว่าทุกผลมีสารตกค้างเฉลี่ย 39.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และผลที่จุ่มนานขึ้นเป็น 10 และ 15 นาที ตรวจพบสารตกค้างทุกผลมีสารตกค้าง เฉลี่ย 67.7 และ 109.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 5 ก) ส่วนผลที่จุ่มลงในสารละลายความ เข้มข้นที่ต่ำลงมาพบสารตกค้างในระดับความเข้มข้นที่ต่ำมาก โดยผลที่จุ่มในสารละลาย 5 เปอร์เซ็นต์ เริ่มพบสารตกค้างเมื่อจุ่มผลนาน 10 นาที และพบสารตกค้างสูงสุดเฉลี่ย 8.1 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม เมื่อจุ่มผลนานขึ้นเป็นเวลา 15 นาทีซึ่งพบสารตกค้างทุกผล สำหรับผลที่จุ่มผลลงใน สารละลายความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ จะตรวจพบสารตกค้างเมื่อจุ่มผลนาน 15 นาทีพบสารตกค้าง ในเนื้อมะพร้าว 6 ผลจากมะพร้าวอ่อนทั้งหมด 7 ผล คิดเป็น 85.71 เปอร์เซ็นต์ โดยพบสารตกค้าง เฉลี่ยเพียง 5.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่การจุ่มผลลงในความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นั้นตรวจไม่พบสาร ตกค้างแม้จะจุ่มผลนานถึง 15 นาที ปริมาณสารตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของน้ำนั้นพบว่ามีความ น้อยกว่าในส่วนของเนื้อประมาณ 20 เท่า และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับส่วนของเนื้อคือการจุ่มผล ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาในการจุ่มผลที่นานขึ้นจะพบสารตกค้างสูงขึ้น โดยการจุ่มผลที่ ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ พบสารตกค้างเฉลี่ย 0.27 1.10 และ 6.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อจุ่มผลนาน 5 10 และ 15 นาที สำหรับผลที่จุ่มลงในสารละลายความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เริ่มพบสารตกค้างเมื่อจุ่มผลนาน 10 นาที พบสารตกค้างสูงสุดเฉลี่ย 0.7 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม เมื่อจุ่มผลนานขึ้นเป็นเวลา 15 นาที ส่วนผลที่จุ่มผลลงในสารละลายความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ พบสารตกค้างเฉพาะผลที่จุ่มผลนาน 15 นาที พบสารตกค้างเฉลี่ย 0.29 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ส่วนการจุ่มผลลงในความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นั้นตรวจไม่พบสารตกค้างดังแสดงใน ภาพที่ 5 ข และการทดลองซ้ำก็ให้ผลซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน (ภาพผนวกที่ 3)



ภาพที่ 5 ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดที่จุ่มในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น และระยะเวลาการจุ่มผลต่างๆกัน ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ กัน ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลา 1 วัน

ความเข้มข้น	ปริมาณสารตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	เนื้อ	น้ำ
1%	0.00 d <sup>1/</sup>	0.00 c
3%	1.70 c	0.10 cb
5%	3.99 b	0.37 b
10%	72.07 a	2.67 a
ระยะเวลาการจุ่มผล	ปริมาณสารตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	เนื้อ	น้ำ
5 นาที	9.87 c	0.06 c
10 นาที	17.89 b	0.38 b
15 นาที	30.56 a	1.90 a
ปัจจัย	P-value	
	เนื้อ	น้ำ
ความเข้มข้น	<0.0001	<0.0001
ระยะเวลาการจุ่มผล	<0.0001	<0.0001
ความเข้มข้น x ระยะเวลาการจุ่มผล	<0.0001	<0.0001
C.V. (%)	25.81	96.76

<sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P > 0.05$  ไม่แตกต่างทางสถิติ

$0.01 < P \leq 0.05$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

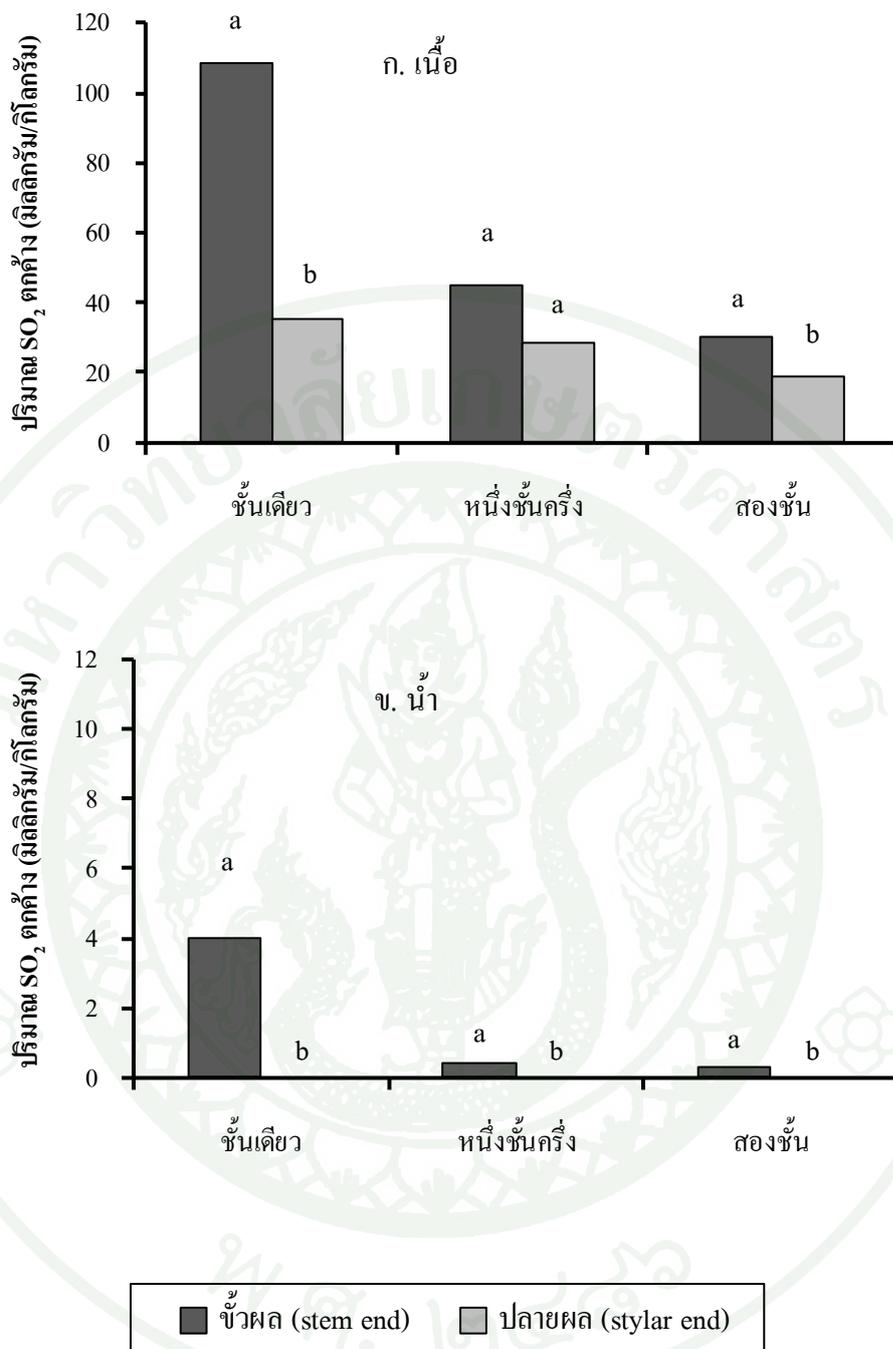
$P \leq 0.01$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ใช้ในกา รุ่มผล และระยะเวลาในการรุ่มผล มีอิทธิพลที่ส่งผลต่อปริมาณสารตกค้างในส่วนของเนื้อและน้ำ และ ปริมาณสารตกค้างทั้งในส่วนของเนื้อและน้ำยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้น ของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ใช้กับระยะเวลาในการรุ่มผลด้วย (ตารางที่ 3 และตารางผนวกที่ 2)

#### อายุผลและตำแหน่ง

การศึกษาปัจจัยของอายุผล 3 ระดับอายุ คือ ความหนาเนื้อชั้นเดียว (อายุประมาณ 170 วัน หลังจันทัน) หนึ่งชั้นครึ่ง (อายุประมาณ 180-185 วันหลังจันทัน) และสองชั้น (อายุประมาณ 200-210 วันหลังจันทัน) ร่วมกับตำแหน่งในการรุ่มผล 2 ระดับ คือ รุ่มครึ่งผลเฉพาะด้านขั้วผล (stylar end) หรือปลายผล (stem end) ลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที ต่อปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดจนเหลือแต่กะลาพบว่า ปริมาณสารตกค้างในส่วนของเนื้อที่ตรวจ พบภายหลังจากการเก็บรักษาของผลมะพร้าวอ่อนความหนาเนื้อหนึ่งชั้นมีปริมาณสารตกค้างสูง ที่สุด ผลที่รุ่มเฉพาะขั้วผลมีสารตกค้างเฉลี่ย 108.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนผลที่รุ่มเฉพาะปลายผล พบสารตกค้างน้อยกว่าคือ 35.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ผลที่มีความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่งขึ้นพบสาร ตกค้างต่ำกว่าถึงประมาณ 2 เท่าตัว โดยผลที่รุ่มเฉพาะขั้วผลมีสารตกค้างเฉลี่ย 45.1 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ส่วนผลที่รุ่มเฉพาะปลายผลพบสารตกค้าง 28.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับผลที่มีความ หนาเนื้อสองชั้นพบสารตกค้างต่ำที่สุดคือ ผลที่รุ่มเฉพาะขั้วผลมีสารตกค้างเฉลี่ย 30.2 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ส่วนผลที่รุ่มเฉพาะปลายผลพบสารตกค้าง 19.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ภาพที่ 6 ก)

สำหรับสารตกค้างในส่วนของน้ำพบว่า มีปริมาณสารตกค้างน้อยกว่าในส่วนของเนื้อมาก ถึงประมาณ 20 เท่า พบสารตกค้างเฉลี่ยในผลมะพร้าวอ่อนที่รุ่มครึ่งผลเฉพาะด้านขั้วผลคือ 4.03 0.38 และ 0.28 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในผลความหนาเนื้อหนึ่งชั้น หนึ่งชั้นครึ่ง และสองชั้นตามลำดับ แต่ผลที่รุ่มเฉพาะด้านปลายผลลงในสารละลายนั้นตรวจไม่พบสารตกค้างดังแสดงในภาพที่ 6 ข และการทดลองซ้ำก็ให้ผลซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน (ภาพผนวกที่ 4)



ภาพที่ 6 ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนอายุผลต่างๆที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดแล้วจุ่มครึ่งผลในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน

**ตารางที่ 4** ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในผลมะพร้าวอ่อนอายุผลต่างๆที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดและจุ่มครึ่งผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลา 15 นาที ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 วัน

อายุผล	ปริมาณสารตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	เนื้อ	น้ำ
ชั้นเดียว	71.77 a <sup>1/</sup>	2.01a
หนึ่งชั้นครึ่ง	36.70 b	0.19 b
สองชั้น	24.58 c	0.14 b
ตำแหน่งที่จุ่มผล	ปริมาณสารตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	เนื้อ	น้ำ
ขั้วผล (stem end)	61.20 a	1.56 a
ปลายผล (stylar end)	27.50 b	0.00 b
ปัจจัย	P-value	
	เนื้อ	น้ำ
อายุผล	<0.0001	0.0035
ตำแหน่งที่จุ่มผล	<0.0001	0.0024
อายุผล x ตำแหน่งที่จุ่มผล	<0.0001	0.0035
C.V. (%)	30.08	198.36

<sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

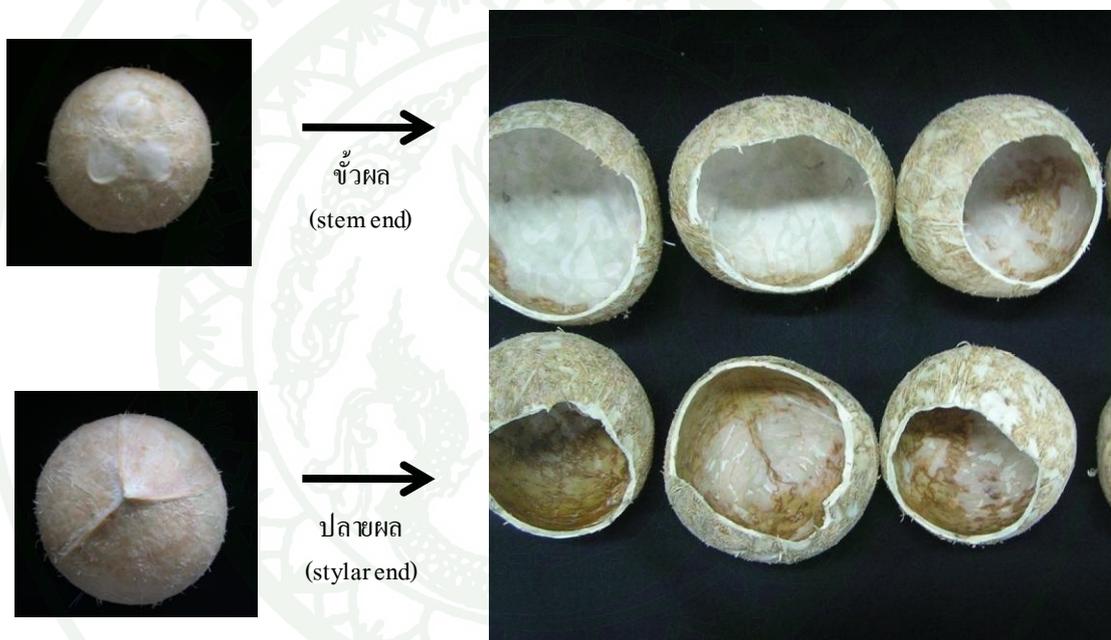
$P > 0.05$  ไม่แตกต่างทางสถิติ

$0.01 < P \leq 0.05$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P \leq 0.01$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความหนาเนื้อและตำแหน่งที่ทำการจุ่มผลเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสารตกค้างที่ตรวจพบทั้งในส่วนของเนื้อและน้ำ นอกจากนี้อิทธิพลร่วมระหว่างอายุผลและตำแหน่งที่จุ่มผลต่อปริมาณสารตกค้างด้วยเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4 และตารางผนวกที่ 3)

นอกจากนี้เมื่อสังเกตสีของกะลาด้านในภายหลังจากการจุ่มผลและลอกเอาเนื้อออกไปแล้วพบว่าสีของกะลาถูกฟอกเปลี่ยนเป็นสีขาวทั้งผลที่จุ่มด้านขั้วผล (stem end) และปลายผล (stylar end) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในผลที่จุ่มลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เป็นระยะเวลา 15 นาที (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ลักษณะของกะลาด้านในที่ถูกฟอกให้เป็นสีขาวของผลมะพร้าวที่ลอกเปลือกเหลือแต่กะลาภายหลังจากการจุ่มผลลงในสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที

#### ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อนทั้งผล

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นต่อปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อนรูปแบบความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง ที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1 3 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 5 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาเป็น

ระยะเวลา 1 และ 7 วัน พบว่าผลมะพร้าวอ่อนที่จุ่มผลลงในสารละลายความเข้มข้น 1 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตรวจไม่พบสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในทุกระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับผลที่จุ่มลงในสารละลายความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ พบสารตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อน 4 ผล จากมะพร้าวอ่อนทั้งหมด 6 ผล คิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์ การเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้นเป็น 7 วัน สารตกค้างเฉลี่ยที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างกันเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณสารตกค้างเฉลี่ยที่พบเท่ากับ 0.08 และ 0.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 5 สำหรับผลที่มีการตกค้างสูงสุดพบว่ามีสารตกค้าง 0.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

การศึกษาผลของระยะเวลาในการจุ่มผลต่อปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อนรูปแบบความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง ที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 5 10 และ 15 นาที ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 และ 7 วัน พบว่าผลที่จุ่มผลเป็นระยะเวลา 5 นาที มีสารตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อน 4 ผล จากมะพร้าวอ่อนทั้งหมด 6 ผล คิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์ พบสารตกค้างเฉลี่ย 0.08 และ 0.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ภายหลังจากการเก็บรักษา 1 และ 7 วัน ตามลำดับ ผลที่มีการตกค้างสูงสุดพบว่ามีสารตกค้าง 0.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ผลที่จุ่มผลเป็นระยะเวลา 10 นาที พบสารตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อน 4 ผล จากมะพร้าวอ่อนทั้งหมด 6 ผล คิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์ พบสารตกค้างเฉลี่ย 0.40 และ 0.33 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ภายหลังจากการเก็บรักษา 1 และ 7 วัน ตามลำดับ ผลที่มีสารตกค้างสูงสุดพบสารตกค้าง 0.77 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนผลที่จุ่มผลเป็นระยะเวลา 15 นาที พบสารตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนสูงกว่าการจุ่มผลที่ระยะเวลาอื่น ๆ โดยพบสารตกค้าง 4 ผล จากมะพร้าวอ่อนทั้งหมด 6 ผล คิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์ พบสารตกค้างเฉลี่ย 0.73 และ 0.66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ภายหลังจากการเก็บรักษา 1 และ 7 วัน ตามลำดับ ผลที่มีสารตกค้างสูงสุดพบสารตกค้าง 1.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสารตกค้างที่ตรวจพบภายหลังจากการเก็บรักษาที่ระยะเวลา 1 และ 7 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อน  
รูปแบบควันที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน  
เป็นระยะเวลา 5 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 และ 7 วัน

ความเข้มข้น (%)	ปริมาณสารตกค้าง (mg/kg)		
	วันที่ 1	วันที่ 7	เฉลี่ย
1	0.00	0.00	0.00 b
3	0.00	0.00	0.00 b
5	0.00	0.00	0.00 b
10	0.08	0.07	0.08 a
เฉลี่ย	0.02	0.02	
ปัจจัย	P-value		
ความเข้มข้น	<0.0001		
ระยะเวลาเก็บรักษา	0.9003		
ความเข้มข้น x ระยะเวลาเก็บรักษา	0.9972		
C.V. (%)	228.07		

$P > 0.05$  ไม่แตกต่างทางสถิติ

$0.01 < P \leq 0.05$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P \leq 0.01$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อน  
รูปแบบควั่นที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์  
เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 และ 7 วัน

ระยะเวลาการจุ่มผล	ปริมาณสารตกค้าง (mg/kg)		
	วันที่ 1	วันที่ 7	เฉลี่ย
5 นาที	0.08	0.07	0.08 c
10 นาที	0.40	0.33	0.37 b
15 นาที	0.73	0.66	0.69 a
เฉลี่ย	0.41	0.34	
ปัจจัย	P-value		
ระยะเวลาการจุ่มผล	0.0007		
ระยะเวลาเก็บรักษา	0.9699		
ความเข้มข้น x ระยะเวลาเก็บรักษา	0.9004		
C.V. (%)	82.81		

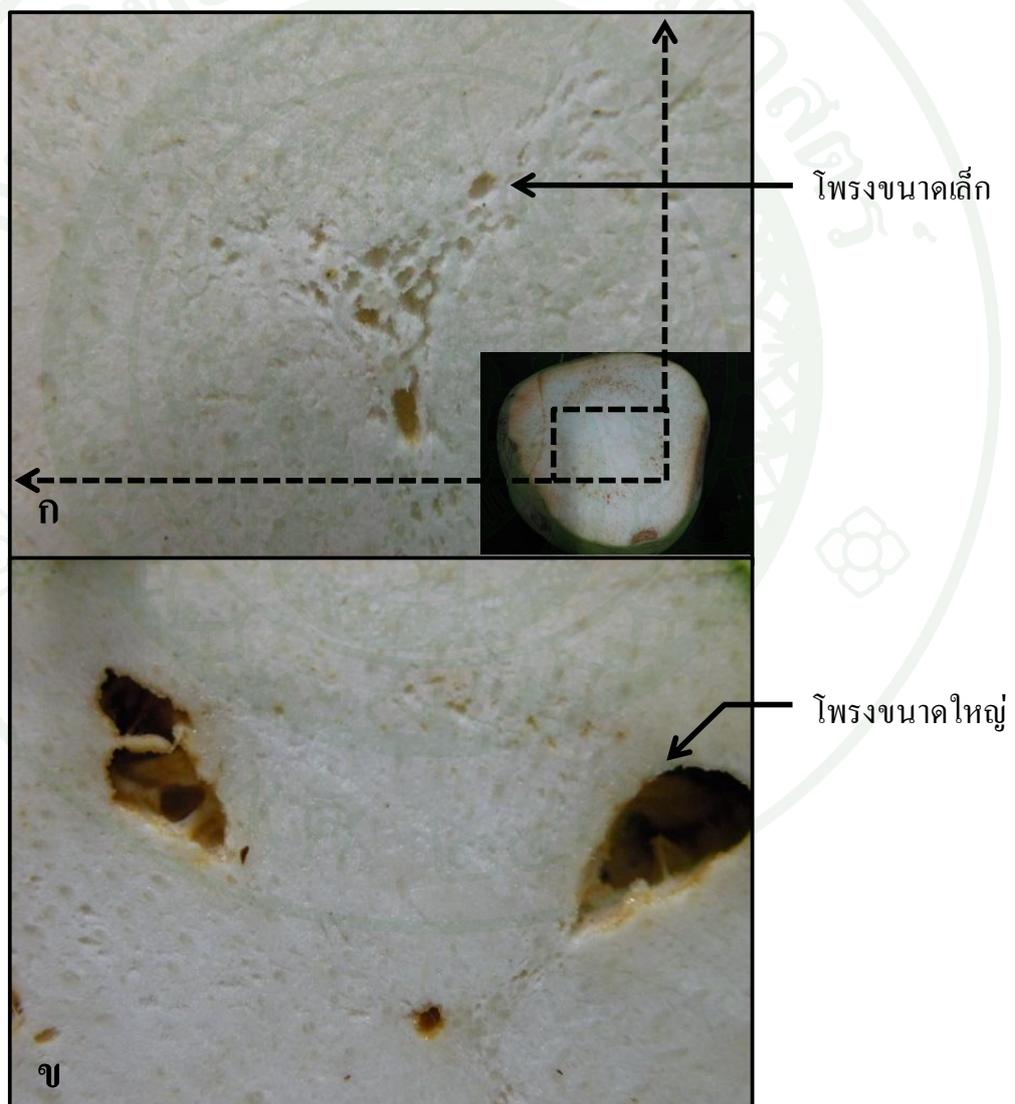
$P > 0.05$  ไม่แตกต่างทางสถิติ

$0.01 < P \leq 0.05$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P \leq 0.01$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

## การทดลองที่ 2 ลักษณะทางกายวิภาคของผลมะพร้าวอ่อน

จากการศึกษาเบื้องต้น โดยการสังเกตลักษณะของเปลือกผลมะพร้าวอ่อนรูปแบบคว้น ภายหลังจากตัดแต่งพบว่าส่วนเปลือกบริเวณด้านล่าง (stem end) จะแตกต่างจากตำแหน่งอื่นๆ โดยพบว่ามีโพรงขนาดเล็กแทรกอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะบริเวณกลางผล ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตรไปจนถึง 2 มิลลิเมตรและยังคงพบโพรงเหล่านี้ที่อยู่ลึกลงไปก่อนถึงส่วนของกะลาประมาณ 0.5 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าบางผลมีโพรงขนาดใหญ่ที่คล้ายรอยฉีกอีกด้วย (ภาพที่ 8)



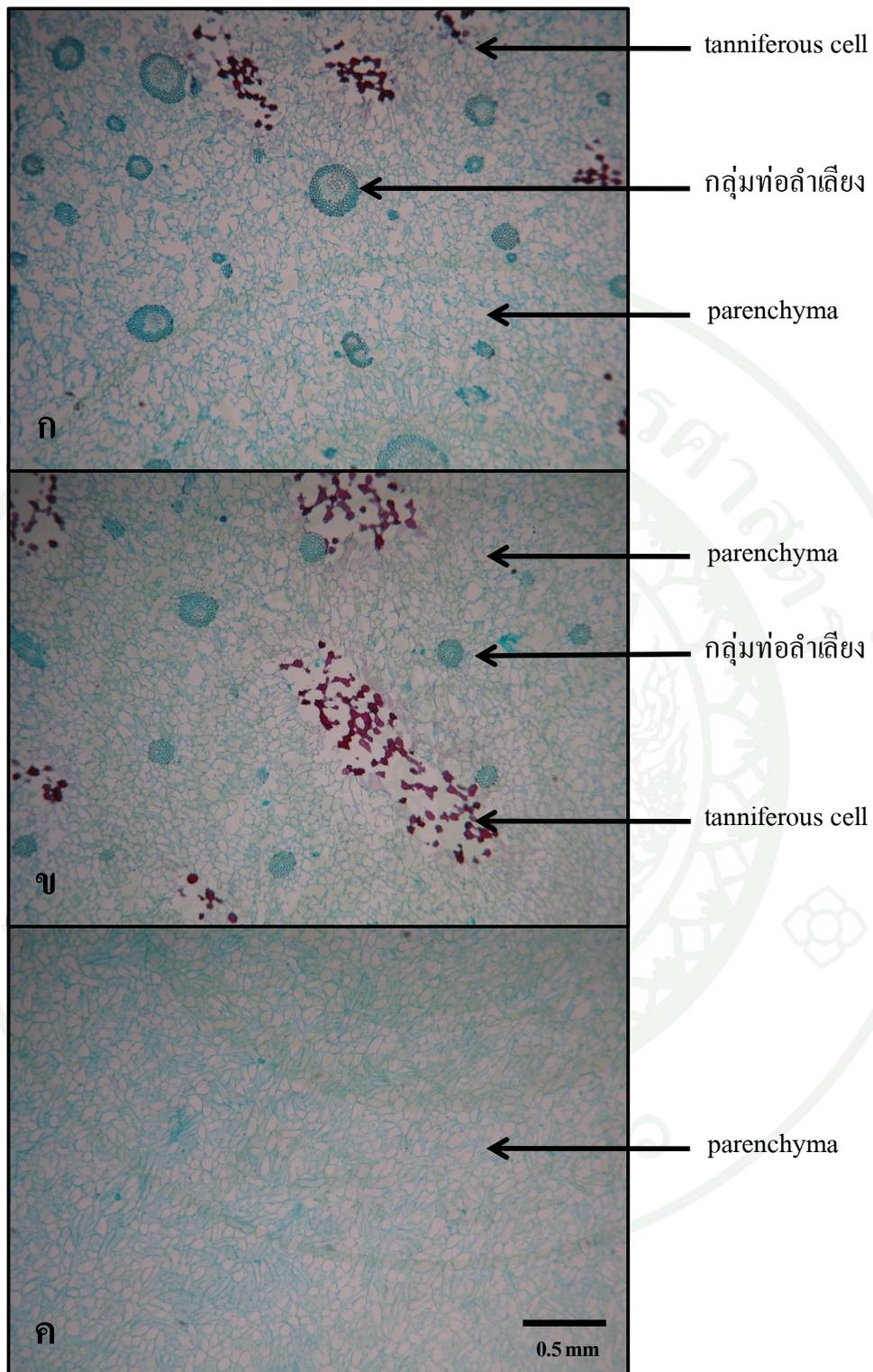
ภาพที่ 8 ลักษณะของโพรงที่พบบนเปลือกมะพร้าวอ่อนด้านขั้วผลที่มีโพรงขนาดเล็ก (ก) และโพรงขนาดใหญ่ (ข)

## ลักษณะทางกายวิภาคของเปลือก

การศึกษาส่วนของเปลือกมะพร้าว (mesocarp) ด้านตัดขวาง (cross section) พบว่าประกอบด้วยเซลล์ parenchyma ซึ่งเป็นเซลล์ผนังบาง (ติดสีเขียวของ Fast green) และยังพบเซลล์ parenchyma ที่มีการสะสมแทนนิน (tanniferous cell) ไว้ภายในเซลล์ (ติดสีแดงของ Safranin O) แทรกอยู่กับเซลล์ที่ไม่มีการสะสมแทนนินซึ่งเซลล์ดังกล่าวอาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม พบส่วนของเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียง (ลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์ที่เรียงตัวกันเป็นวงรี ติดทั้งสีเขียวของ Fast green และสีแดงของ Safranin O) แทรกกระหว่างเซลล์ parenchyma กระจายอยู่ทั่วชั้นเนื้อเยื่อตัวอย่าง เนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงที่พบมีทั้งขนาดขนาดใหญ่และขนาดเล็กปะปนกัน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.07 ไปจนถึง 0.8 มิลลิเมตร มีการจัดเรียงตัวตามขวางและตามยาว โดยพบว่าเนื้อเยื่อตัวอย่างที่อยู่ด้านนอกสุด (ภาพที่ 9 ก) ซึ่งอยู่เหนือส่วนของตาประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และพบเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนเนื้อเยื่อตัวอย่างที่อยู่ด้านในเข้ามา (ภาพที่ 9 ข) พบว่าขนาดของเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงมีขนาดเล็กลง อีกทั้งจำนวนเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงที่พบยังมีปริมาณลดลงด้วย จนในที่สุดไม่พบเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงในชั้นเนื้อเยื่อตัวอย่างที่อยู่ติดส่วนของตาบาง (functional eye) ดังแสดงในภาพที่ 9 ค

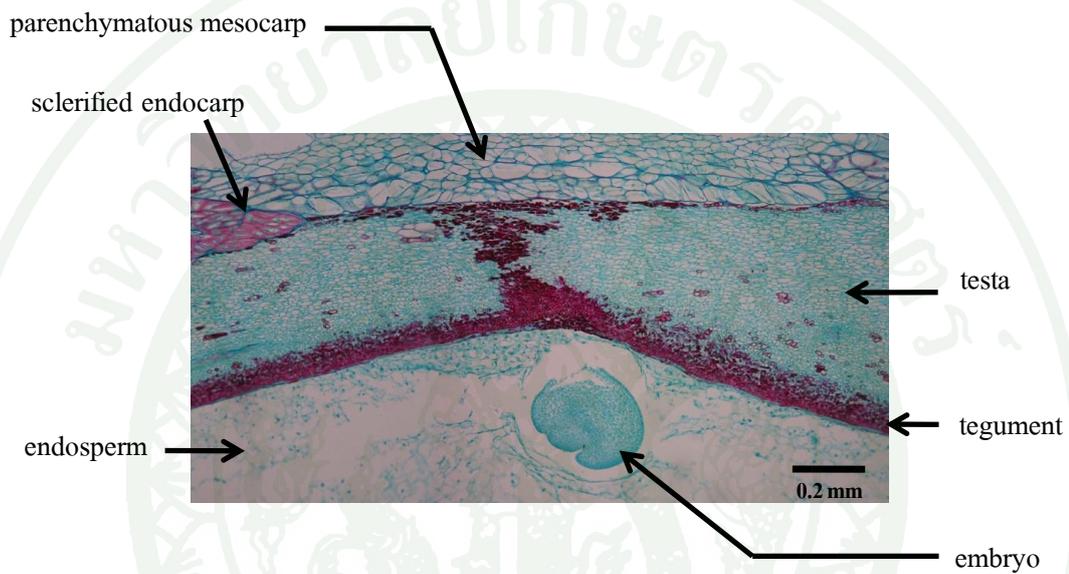
## ลักษณะทางกายวิภาคของตา

การศึกษาส่วนของตามะพร้าวด้านตัดตามยาว (long section) พบว่าเนื้อเยื่อตัวอย่างของตาซึ่งอยู่ติดกับชั้น เซลล์ parenchyma ที่มีขนาดใหญ่ (ติดสีเขียวของ Fast green) ของเปลือกมะพร้าว (mesocarp) อยู่ระหว่างเซลล์ sclereid (ติดสีแดงของ Safranin O) ของกะลามะพร้าว พบว่าด้านนอกสุดหรือส่วนของ testa ประกอบด้วยชั้นเซลล์ sclereid เรียงตัวเป็นชั้นบาง ๆ ประมาณ 1 – 3 ชั้น และประกอบด้วยชั้นเซลล์ parenchyma ซึ่งเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นและมีขนาดเล็กกว่าเซลล์ parenchyma ของเปลือกมะพร้าว อาจพบเซลล์ sclereid แทรกเป็นบางแห่งในส่วนนี้ สำหรับส่วนในสุดหรือ tegmen ประกอบด้วยชั้นเซลล์ parenchyma ที่มีการสะสมแทนนิน (tanniferous cell) ซึ่งมี sclereid แทรกอยู่เล็กน้อย (ติดสีแดงของ Safranin O) ขนาดเล็กเรียงตัวซ้อนประมาณ 12- 15 ชั้นเซลล์ ยกเว้นตรงกึ่งกลางของตามะพร้าวที่พบว่ามีควมหนาแน่นมากกว่าประมาณ 2 เท่า ส่วนชั้นเซลล์ด้านล่างสุดถัดจากส่วนของตามะพร้าวจะเป็นส่วนของเนื้อมะพร้าวที่ประกอบด้วยเซลล์ parenchyma (ติดสีเขียวของ Fast green) และพบว่าตรงกึ่งกลางใต้ส่วนของตาจะมี embryo อยู่ด้วย (ภาพที่ 10)

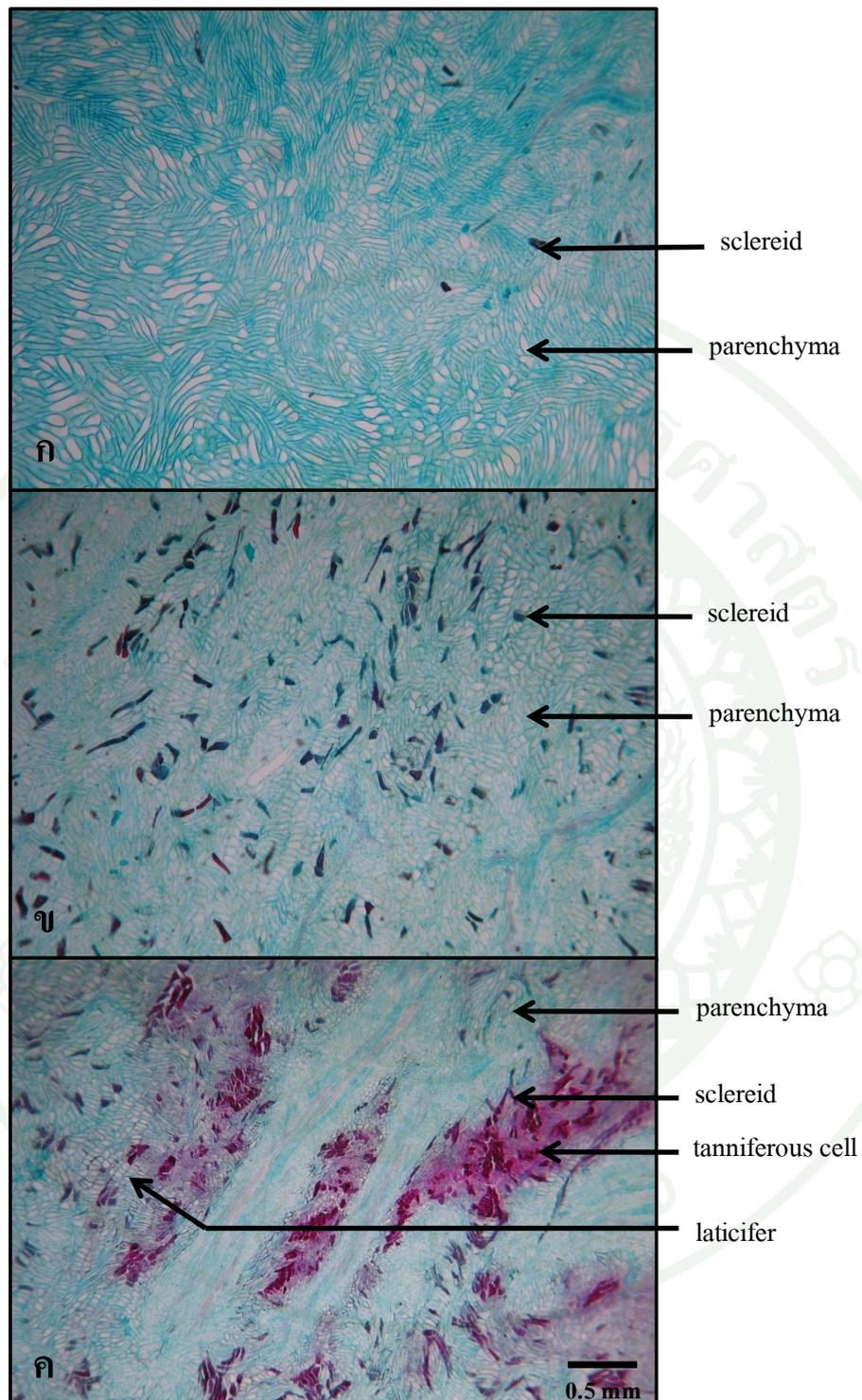


ภาพที่ 9 ภาพตัดตามขวาง (cross section) ของเปลือกมะพร้าว อายุผล 180-185 วันหลังจันทันบาน เรียงลำดับตามความลึกของเนื้อเยื่อจากชั้นนอกสุด (ก) กลาง (ข) และด้านในสุด (ค)

สำหรับการศึกษาด้านตัดขวาง (cross section) ของส่วนตาคพบว่า ชั้นเซลล์เปลือกที่อยู่ติดส่วนตานั้นจะเป็นเซลล์ parenchyma ขนาดใหญ่เรียงตัวชิดติดกัน (ติดสีเขียวของ Fast green) (ภาพที่ 11 ก) เมื่อตัดชิ้นตัวอย่างเข้าไปลึกขึ้นจนถึงส่วนตาคจะเริ่มพบว่ามี sclereid แทรกอยู่เล็กน้อย (ติดสีแดงของ Safranin O) แทรกอยู่เล็กน้อยและเพิ่มมากขึ้นไปจนถึงชั้นที่อยู่ด้านในสุด นอกจากนี้ยังพบเซลล์ที่มีการสะสมสารแทนนิน (tanniferous cell) และท่อน้ำยาง (laticifer) (ภาพที่ 11 ข-ค)



ภาพที่ 10 ภาพตัดตามยาว (long section) ของตามะพร้าว (ตาน้ำ) อายุผล 180-185 วันหลังจันทัน



ภาพที่ 11 ภาพตัดตามขวาง (cross section) ของตามะพร้าว (ตาน้ำ) อายุผล 180-185 วันหลังจันทัน  
 บาน เรียงลำดับจากด้านนอกสุดจากด้านนอกสุดติดเปลือก (ก) กลาง (ข) และในสุด (ค)  
 ตามลำดับ

## วิจารณ์

### ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน

#### ระยะทางการซึมผ่านของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

การศึกษาการซึมผ่านของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนที่ตัดแต่งเปลือกแล้ว (มะพร้าวเจียน) ในครั้งนี้พบว่าสารสามารถซึมผ่านเปลือกทางด้านล่างหรือขั้วผล (stem end) ได้ลึกกว่าทั้งทางด้านข้างและด้านบนหรือปลายผล (stylar end) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าด้านล่าง (stem end) เป็นช่องทางสำคัญที่ทำให้สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีโอกาสผ่านเข้าไปในผลได้ เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการที่เปลือกบริเวณนี้มีกามีโพรงขนาดเล็กแทรกอยู่มากมาย และอาจพบโพรงขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเหมือนรอยฉีก (ภาพที่ 10) ลักษณะเช่นนี้แตกต่างกับเปลือกด้านบน (stylar end) และด้านข้างของผลซึ่งภายหลังการตัดแต่งจะพบว่าผิวค่อนข้างเรียบไม่มีโพรง ประกอบกับการที่ผลมะพร้าวมีเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงอ้อมผ่านจากด้านขั้วผลไปยังปลายผล ดังนั้นการตัดแต่งทางด้านล่าง (ขั้วผล) ซึ่งเป็นการตัดขวางผ่านเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงจึงทำให้สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เคลื่อนที่ไปพร้อมกับน้ำผ่านเข้าไปในผลได้ง่ายยิ่งขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยในการเก็บรักษาไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งใดพบว่าการเก็บรักษานานขึ้นจาก 1 ชั่วโมงเป็น 1 วัน สารจะเริ่มซึมผ่านเข้าไปได้มากขึ้น ภายหลังจากนั้น 1 สัปดาห์ระยะทางที่ยังคงพบสารลดลง จนกระทั่งเก็บรักษานานเป็นระยะเวลา 1 เดือนตรวจไม่พบสารตกค้าง การที่ไม่พบสารตกค้างนี้แสดงให้เห็นว่าสารมีการสลายตัวไปในระหว่างการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการสลายตัวของสารโซอาเบนดาโซลในเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนซึ่งสุปราณีและมารศรี (2538) ได้ทำการศึกษาไว้ และสอดคล้องกับลักษณะการสลายตัวของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง ภายหลักรมผลของลำไย (มารศรี และสุปราณี, 2534) กีวี (Cheah *et al.*, 1992) และลิ้นจี่ (Paull *et al.*, 1998) นอกจากนี้สารอาจสลายหายไปพร้อมกับการคายน้ำของผลมะพร้าวอ่อนเองได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ตรวจไม่พบสารตกค้างในส่วนของเนื้อและน้ำเลยอาจเนื่องจากการจุ่มผลมะพร้าวในการทดลองนี้ใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ และจุ่มผลเป็นเวลาสั้น ๆ เพียง 5 นาที ดังนั้นหากความเข้มข้นและระยะเวลาในการจุ่มผลเพิ่มมากขึ้นก็อาจ

ส่งผลให้พบสารตกค้างในส่วนที่ใช้บริโภคได้ นอกจากนี้การตัดแต่งเอาเปลือกส่วนล่าง (stem end) ออกมาก ๆ ก็อาจส่งเสริมให้พบสารตกค้างในส่วนของน้ำและเนื้อได้เช่นกัน

### ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้าง

ผลมะพร้าวอ่อนนอกจากจะมีส่วนเปลือกห่อหุ้มแล้วยังมีส่วนของกะลาที่มีความแข็งแรง ห่อหุ้มส่วนเนื้อและน้ำอยู่ สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จึงอาจไม่สามารถซึมผ่านส่วนของกะลาเข้าไปในผล ได้ดังข้อสันนิษฐานของ Tongdee *et al.* (1991) ดังนั้นในการทดลองที่ 2 นี้เพื่อยืนยันให้เห็นข้อสรุปที่ชัดเจนว่าสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเข้าไปในกะลาได้หรือไม่จึงใช้ผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดเหลือแต่กะลาในการศึกษา ซึ่งพบว่าสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านกะลาเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนได้จริงโดยสังเกตว่าพบสารตกค้างในส่วนเนื้อและน้ำภายหลังการจุ่มผลเป็นเวลานานในความเข้มข้นสูง ๆ และนอกจากนี้เมื่อสังเกตสีของกะลาด้านในภายหลังจากเอาส่วนของเนื้อออกไปแล้ว พบว่าสีของกะลาถูกฟอกให้ขาวขึ้น (ภาพที่ 11) ซึ่งผลจากการศึกษานี้ขัดแย้งกับข้อสันนิษฐานของ Tongdee *et al.* (1991) ที่กล่าวว่าสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ไม่สามารถผ่านเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนได้ เนื่องจากการทดลองของ Tongdee และคณะไม่ได้ศึกษาปริมาณสารตกค้างในส่วนที่ใช้บริโภคของผลมะพร้าวอ่อนรูปแบบควั่น แต่วิเคราะห์สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างเฉพาะส่วนของผิวเปลือกด้านนอกสุดเท่านั้น

#### ความเข้มข้นของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และระยะเวลาในการจุ่มผล

การตรวจสอบสารตกค้างในผลมะพร้าวอ่อนความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่งที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดก่อนการจุ่มผลยังช่วยแสดงให้เห็นผลของความเข้มข้นและระยะเวลาในการจุ่มผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยพบว่าผลการจุ่มผลลงในสารละลายความเข้มข้นสูงมีโอกาสพบสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในเนื้อและน้ำสูงกว่าการจุ่มผลในระดับความเข้มข้นต่ำ โดยการจุ่มผลที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ตรวจพบสารตกค้างสูงที่สุดรองลงมาคือ 5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน ที่จุ่มผลลงในความเข้มข้นต่าง ๆ กัน (มารศรี และสุปราณี, 2534)

สำหรับการจุ่มผลที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงให้เห็นการจุ่มผลที่ระยะเวลานานทำให้มีสารตกค้างในเนื้อและน้ำสูงกว่าผลที่จุ่มในระยะเวลาสั้นๆ สอดคล้องกับปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างภายหลังการรมผลของ ลำไย (มารศรี และสุปราณี, 2534) กิวี (Cheah *et al.*, 1992)

และลินี (Paull *et al.*, 1998) ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ กัน อย่างไรก็ตามผลมะพร้าวที่จุ่มลงในสารละลายความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ในการศึกษานี้ตรวจไม่พบสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้าง แม้จะจุ่มผลเป็นระยะเวลานานขึ้น แสดงให้เห็นว่าสารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่ำมาก ๆ ไม่สามารถซึมผ่านกะลาได้ หรือเป็นไปได้ว่าอาจมีสารตกค้างแต่มีปริมาณน้อยเกินกว่าจะตรวจพบได้ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าสารมีการสลายไปก่อนหน้าที่จะตรวจพบ

### อายุและตำแหน่ง

การศึกษาปัจจัยเรื่องอายุผลและตำแหน่งแสดงให้เห็นว่าผลมะพร้าวอ่อนที่นำมาจุ่มผลหากมีอายุผลน้อยมีโอกาสพบสารตกค้างสูงกว่าผลที่มีอายุผลมากกว่า โดยผลที่อายุผล 170 วันหลังจันทัน (ความหนาเนื้อชั้นเดียว) พบสารตกค้างสูงกว่าผลที่มีอายุผล 180 - 185 วันหลังจันทัน (ความหนาเนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง) และ 200 - 210 วันหลังจันทัน (ความหนาเนื้อสองชั้น) อาจเนื่องจากผลที่มีอายุผลน้อยจะมีการพัฒนาของผลที่ต่ำกว่าผลที่มีอายุมากกว่า กะลาและส่วนของตาอาจบอบบางกว่าผลที่มีอายุผลมากกว่า ดังนั้นสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จึงสามารถซึมผ่านได้ง่าย ในทางกลับกันหากผลมีอายุมาก ความบริบูรณ์ของผลจะสูงขึ้น ส่วนของกะลาและตามีความแข็งแรงสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จึงซึมผ่านได้ยากกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Terdwongworakul *et al.* (1991) ที่รายงานว่าความแข็งของกะลาจะเพิ่มขึ้นตามอายุผลของมะพร้าวอ่อนที่เก็บเกี่ยว นอกจากนี้ในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าข้าวผล (ตำแหน่งที่มีตา) เป็นตำแหน่งที่สารสามารถซึมผ่านได้ง่ายกว่าการซึมผ่านทางด้านปลายผลซึ่งมีแต่กะลาเพียงอย่างเดียว

### ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อนทั้งผล

การศึกษาปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในผลมะพร้าวอ่อนทั้งผล (มะพร้าวเจียน) พบว่ามีเพียงผลมะพร้าวอ่อนที่จุ่มผลลงในสารละลายความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่ตรวจพบสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างในส่วนที่ใช้บริโภคได้ ไม่สอดคล้องกับการทดลองของไพลิน (2550) ที่พบว่ามีสารตกค้างเพียงบางทริตเมนต์อย่างไม่เป็นแบบแผนและพบเฉพาะผลที่มีรอยแตกเพียงเท่านั้น สำหรับทริตเมนต์ที่ตรวจพบสารตกค้างนั้นเป็นทริตเมนต์ที่ใช้ระดับความเข้มข้นของสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการจุ่มผลสูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าโอกาสที่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะซึมผ่านเข้าไปในผลนั้นมีโอกาสน้อย

เมื่อศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการจุ่มผลโดยการจุ่มผลมะพร้าวอ่อนลงในสารละลาย ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่าผลที่จุ่มลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบ ซัลไฟด์เป็นเวลานานมีปริมาณสารตกค้างสูงกว่าผลที่จุ่มลงในสารละลายความเข้มข้นต่ำโดยการจุ่ม ผลเป็นระยะเวลา 15 นาทีที่พบสารตกค้างสูงสุด รองลงมาคือ 10 และ 5 นาทีตามลำดับ

อย่างไรก็ตามปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างสูงสุดที่ตรวจพบในผลมะพร้าว อ่อนรูปแบบเขียนในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณ สารตกค้างน้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็น ปริมาณสารตกค้างสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในผลไม้ที่ใส่สารประกอบซัลไฟด์ภายหลังการเก็บเกี่ยว ตามที่ Codex Alimentarius Commission (2009) ได้กำหนดไว้ถึงประมาณ 37 เท่า นอกจากนี้ ปริมาณสารตกค้างที่ตรวจพบนั้นยังต่ำกว่า 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามที่กำหนดให้มีได้ในผลองุ่น สดอีกด้วย (Anonymous, 1986) สอดคล้องกับปริมาณสารตกค้างในผลมะพร้าวอ่อนรูปแบบเขียนที่ ไพลิน (2550) สุ่มตรวจจากตลาดไท

#### ลักษณะทางกายวิภาคของผลมะพร้าวอ่อน

นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาไปแล้วข้างต้น โครงสร้างของผลมะพร้าวอ่อนเองอาจเป็น ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่ตกค้างภายในผลได้ จึงทำการศึกษา โครงสร้างของส่วนประกอบสำคัญของผลที่น่าจะเป็นช่องทางที่สารจะสามารถซึมผ่านเข้าไปใน ผลได้ ในการศึกษาข้างต้นเรื่องระยะการซึมผ่านของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ผ่านเปลือกของผล มะพร้าวเขียนพบว่าสารสามารถซึมผ่านทางด้านล่าง (stem end) ได้ลึกที่สุดดังการทดลองที่ 1.1 (ภาพที่ 3 และภาพผนวกที่ 2) ประกอบกับการศึกษาการซึมของสารผ่านกะลาในการทดลองที่ 1.2.2 แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากการจุ่มผลที่ตัดแต่งเปลือกออกหมดจนเหลือแต่กะลา พบสารตกค้างใน ผลที่จุ่มเฉพาะด้านขั้วผลหรือด้านที่มีตา (stem end) สูงกว่าการจุ่มด้านปลายผลหรือด้านที่ไม่มีตา (stilar end) ดังนั้นส่วนที่สนใจศึกษาเป็นพิเศษจึงมีเพียง 2 ส่วน คือส่วนของเปลือกที่อยู่ด้านขั้วผล และตา

จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่าส่วนของเปลือกชั้นกลาง (mesocarp) ของ มะพร้าวอ่อนประกอบไปด้วยกลุ่มท่อลำเลียงกระจายตัวแทรกอยู่ระหว่างเซลล์ parenchyma สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์สามารถผ่านไปพร้อมกับน้ำโดยสารประกอบซัลไฟด์จะรวมตัวกับน้ำได้ เป็นกรดซัลเฟอร์รัส ( $H_2SO_3$ ) (จริงแท้, 2550) สารละลายนี้สามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในท่อลำเลียง น้ำ (xylem) ที่ถูกตัดขาดจากการปก และสารบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านทางผนังเซลล์ (cell wall) และ

ช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) ที่เรียกรวม ๆ ว่า apoplast จนเข้าไปถึงส่วนของตาแล้ว ซึมผ่านเข้าไปในผลต่อไป นอกจากนี้สารอาจเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเซลล์ ผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ด้วยวิธีการ osmosis หลังจากนั้นจึงเคลื่อนที่ผ่านไปสู่เซลล์ข้างเคียงได้โดยเคลื่อนที่ผ่านทาง plasmodesmata (symplast) ซึ่งเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าช่องทางอื่น ๆ จนถึงส่วนของตาแล้วเข้าไปในส่วนของเนื้อและน้ำต่อไป

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของเซลล์แล้วจะพบว่าส่วนของเนื้อเยื่อท่อลำเลียงหายไปก่อนถึงส่วนของตาบางประมาณ 0.5 เซนติเมตร อาจเนื่องมาจากเป็นจุดสิ้นสุดของท่อลำเลียงและอีกประการหนึ่งลักษณะของกลุ่มท่อลำเลียงจะกระจายอ้อมส่วนของกะลามะพร้าว ไปดังนั้นสารจึงซึมผ่านได้เพียงวิธี symplast และ apoplast เท่านั้น สารจึงซึมผ่านเข้าไปถึงส่วนของกะลาได้ยาก การตัดแต่งเปลือกบริเวณขั้วผลจนบางติดกับส่วนตามะพร้าวเกินไปก็อาจเป็นการเพิ่มโอกาสให้สารซึมผ่านไปถึงส่วนของกะลาได้เร็วขึ้น ดังนั้นสารจึงมีโอกาสเข้าไปในผลได้มากขึ้น

สำหรับส่วนของตาพบว่ามีลักษณะบอบบางกว่าส่วนของกะลาที่ประกอบด้วยเซลล์ sclereid ที่แข็งแรงและมีผนังเซลล์หนากว่า ส่วนของตานี้ประกอบด้วยเซลล์ parenchyma และมีเซลล์ sclerid กระจายอยู่เพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงน่าจะเป็นช่องทางที่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเข้าไปในส่วนที่ใช้บริโภคได้ง่าย สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 1.2 .2 ซึ่งศึกษาตำแหน่งของผลต่อการซึมผ่านของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์โดยพบว่าสารสามารถซึมผ่านทางขั้วผลหรือด้านที่มีตาได้ง่ายกว่าด้านปลายผล ดังนั้นหากสารสามารถซึมผ่านเปลือกเข้ามาถึงส่วนของตานี้ ได้สารจึงอาจเข้าไปตกค้างภายในส่วนที่บริโภคได้ นอกจากนี้สาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ยังอาจส่งผลบางอย่างกับโครงสร้างผลได้เช่นมีรายงานว่าสารประกอบซัลไฟต์ทำให้เกิดแผลขนาดเล็กซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.1-5 มิลลิเมตร บนผิวของแอปเปิลและสาลี่ (Amiri and Bompeix, 2005) ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาเนื้อเยื่อของผลมะพร้าวอ่อนภายหลังจากการจุ่มผลแล้วเพิ่มเติมเพื่อสังเกตว่าสาร โซเดียมจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์แล้วส่งผลกระทบต่อค้ำของสารหรือไม่อย่างไร

## สรุป

สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านผลมะพร้าวอ่อนได้โดยซึมผ่านทางด้านขั้วผล ผ่านตาบางเข้าไปในส่วนที่ใช้บริโภคคือ ส่วนเนื้อและน้ำ โดยปริมาณสารตกค้างที่มีโอกาสพบ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายและระยะเวลาที่ใช้ในการจุ่มผล และอายุ ผล นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับการตัดแต่ง หากตัดเอาส่วนเปลือกที่อยู่ใกล้กับส่วนล่าง (stem end) มาก หรือหากผลมีรอยร้าวภายหลังการจุ่มผลก็มีโอกาสพบสารตกค้างสูงขึ้น

การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคแสดงให้เห็นว่าสารสามารถซึมผ่านเข้าไปในผลทั้งทาง ช่องว่างภายในเปลือก ทางกลุ่มเนื้อเยื่อท่อลำเลียง ช่องว่างระหว่างเซลล์ รวมทั้งผนังเซลล์ จนถึงตานิ่ที่มีความบอบบางและผ่านเข้าไปในเนื้อและน้ำได้โดยง่าย

ในทางปฏิบัติเพื่อป้องกันการตกค้างของสาร โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในส่วนที่ใช้บริโภคจึง ควรแช่ผลด้วยสารละลายความเข้มข้นไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์และระยะเวลาแช่ผลไม่เกิน 5 นาที และ เลือกลงใช้ผลมะพร้าวอ่อนที่มีเนื้อหนาหนึ่งชั้นครั้งขึ้นไป รวมถึงการตัดแต่งเปลือกด้านล่างหรือขั้วผล ออกให้น้อยที่สุด

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2546. มะพร้าวน้ำหอม. ข้อมูลพืช กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา:  
[http://210.246.186.28/pl\\_data/COCONUT/1STAT/st01.html](http://210.246.186.28/pl_data/COCONUT/1STAT/st01.html), 20 เมษายน 2551.

กรมศุลกากร. 2552. สถิติการนำเข้า-ส่งออก. แหล่งที่มา:  
<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp>, 1 สิงหาคม 2552.

กรมส่งเสริมการเกษตร. มปป. แหล่งที่มา: <http://fs.doae.go.th/doc>, 20 พฤษภาคม 2550.

\_\_\_\_\_. 2551. การปลูกมะพร้าว: วิธีการเพาะมะพร้าว. แหล่งที่มา:  
<http://fs.doae.go.th/Library/htm/detail/coconut/coco6.htm>, 10 ธันวาคม 2551.

กองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2544. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide : SO<sub>2</sub>). แหล่งที่มา: <http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/food/files/aboutfood3.htm>, 9 พฤษภาคม 2551.

กวิศร์ วานิชกุล. 2538. มะนาวหรือมะพร้าวน้ำหอม: บทวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบสำหรับการตัดสินใจ. วารสาร ช.ก.ส. เมษายน-กรกฎาคม 2538: 45-64.

เกษร สุนทรเสรี. 2542. มะพร้าว ต้นไม้แห่งชีวิต. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ.

จุลพันธ์ เพ็ชพิรุณ. 2538. มะพร้าวน้ำหอม, น. 1 – 5. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาการพัฒนา มะพร้าวน้ำหอมในเชิงเศรษฐกิจเพื่อบริโภคภายในและเพื่อการส่งออก. 21-22 มิถุนายน 2538. โรงแรมลองบีช อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดเพชรบุรี. สถาบันวิจัยพืชสวน. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2544. มะพร้าวน้ำหอม, น. 39 – 44. ใน พานิชย์ยศปัญญา. มะพร้าวพืชสารพัดประโยชน์. สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 น.

\_\_\_\_\_. 2550. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 453 น.

ณรงค์ โฉมเฉลา. 2530. **เชื้อพันธุ์มะพร้าว**. 770 พหลโยธิน 32, กรุงเทพฯ. 106 น.

คนัย บุญเกียรติ. 2540. **สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์ และ สมนึก ทองบ่อ. 2551. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะพร้าวอ่อนก่อนและภายหลังการเก็บเกี่ยว, น. 128. ใน **บทคัดย่อการสัมมนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 6**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นพพร สายัมพล. 2542. มะพร้าว, น. 233-249. ใน **ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร. พืชเศรษฐกิจ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2536. **พืชหลักปลูกได้**. บริษัท ดันอ้อ แกรมมี จำกัด, กรุงเทพฯ.

นวลจันทร์ นิโกธธา. 2537. **ผลของลักษณะการปลูกผลมะพร้าวอ่อนแบบต่าง ๆ ต่ออายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C และอุณหภูมิห้อง**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

บัณฑิต จิรมโนภาส และ เสกสรร สีหวงษ์. 2539. การศึกษาเบื้องต้นสถานภาพการผลิตผลมะพร้าวอ่อนเพื่อตลาดบริโภคสด. **วิทยาศาสตร์เกษตร (สังคม)**. 17: 12-18.

เบญจมาศ รัตนชินกร และ สมทรงศน์ นันทะไชย. 2534. เทคนิคการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อน. **วิทยาสารสถาบันวิจัยพืชสวน**. 13(9): 77-80.

ประชิด อยู่หว่าง. 2540. การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลมะพร้าวอ่อนโดยใช้สารทดแทนซัลไฟด์ และการบรรจุแบบบรรยากาศตัดแปลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปิยนุช นาคะ. 2536. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปมะพร้าว. น. 125 – 131. ใน กรมวิชาการเกษตร. เทคโนโลยีการผลิตและการเก็บเกี่ยวพืชสวนในภาคใต้เพื่อการส่งออก. กรุงเทพฯ.

พร รุ่งแจ้ง. 2541. มะพร้าว, น. 110-116. ใน วาสนา วงษ์ใหญ่, อุดม พูลเกษ, รั้งสฤษฏ์ กาวิฑีระ และ วิทยา แสงแก้วสุข, บรรณาธิการ. พฤษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ไพลิน นงค์คำ. 2550. การศึกษาปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างในผลมะพร้าวอ่อน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

มารศรี อุดมโชค และ สุปราณี อิมพิทักษ์. 2534. การสลายตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยเพื่อการส่งออก. ข่าวสารวัตถุดิบพืช. ตุลาคม2534-ธันวาคม2534: 160-164.

\_\_\_\_\_. 2538. พืชตกค้างและการสลายตัวของโซอานเบนดาโซลในมะพร้าวอ่อนเพื่อการส่งออก, น.83-90. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่33 สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

มนู สัตวณิช. 2523. พืชสวน. สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์, กรุงเทพฯ.

รวี เศรษฐภักดี. 2526. การสร้างสวนผลไม้. มิตรสยาม, กรุงเทพฯ.

รัชณี จิตวานิช. 2532. เครื่องใช้จากมะพร้าว. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์, กรุงเทพฯ.

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. 2532. การปลูกมะพร้าว. โครงการหนังสือชุมชน. กรุงเทพฯ. 72 น.

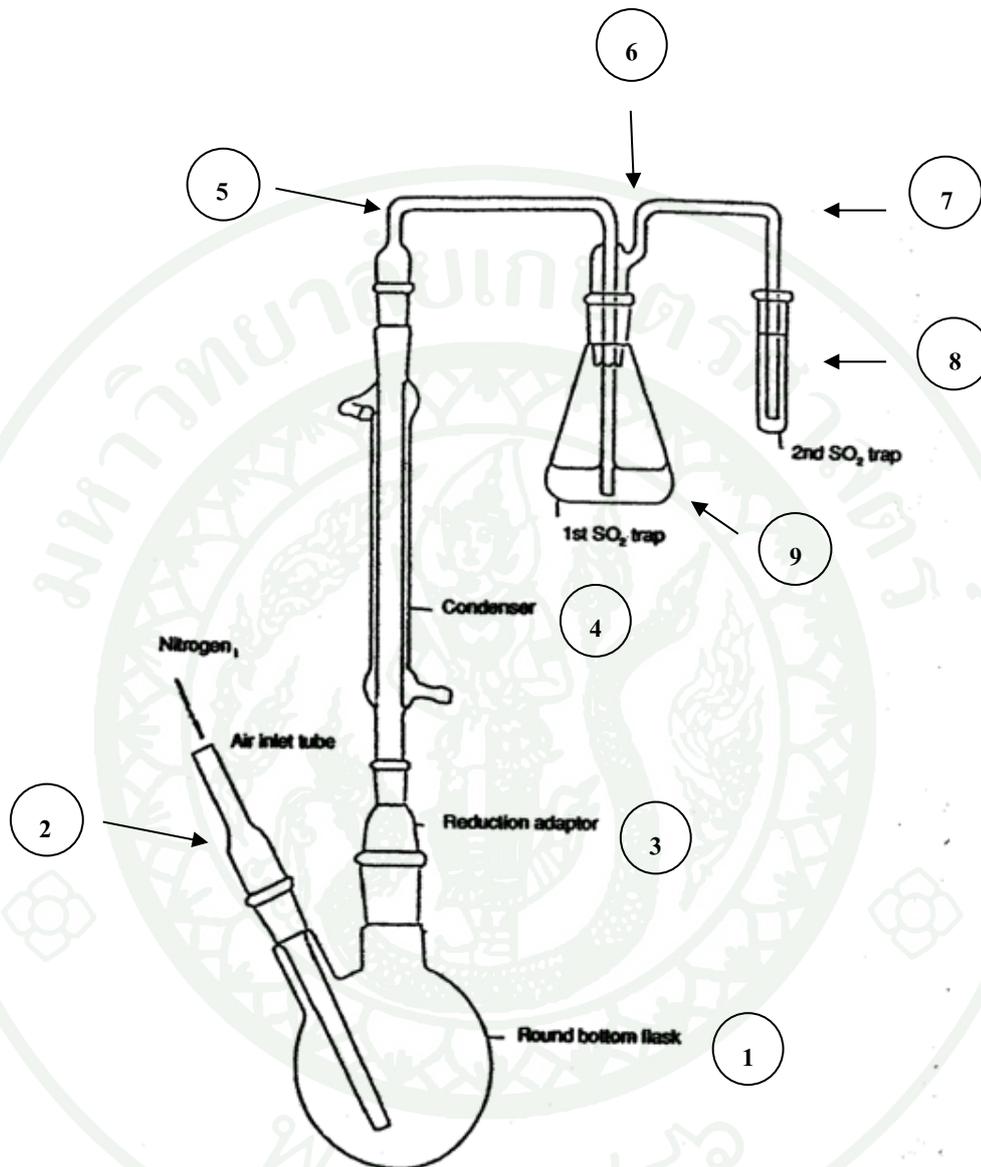
- คิยาวพร คิวเวชช 2546. วัตถุประสงค์ปนอาหาร เล่ม 1. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม. 380 น.
- สายนที บัวทองศรี. 2533. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุนทำสวนมะพร้าวอ่อนในเขตภาคกลางของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุพจน์ ตั้งจิตุพร. 2543. เอกสารประกอบการเรียนการสอนเรื่องมะพร้าวน้ำหอม. วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีชลบุรี. ชลบุรี. 366 น.
- สุภาวดี ภัทร โกศล. ม.ป.ป. การปลูกมะพร้าวในประเทศไทย. กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติเรื่อง มะพร้าวน้ำหอม (มกอช. 15 - 2550). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 10 น.
- \_\_\_\_\_. 2549. สารพิชตกค้าง: ปริมาณสารพิชตกค้างสูงสุด. แหล่งที่มา: [http://www.acfs.go.th/standard/general/download/max\\_residue.limits.pdf](http://www.acfs.go.th/standard/general/download/max_residue.limits.pdf), 17 กุมภาพันธ์ 2552.
- โสภิตา ริยะกุล. 2549. การลดปริมาณการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและเชื้อราบนผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกแล้ว. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- อานนท์ ทรงจำรอง. 2551. การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตกค้างในมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกจากตลาดปฐมมงคล จังหวัดนครปฐม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- Amiri, A. and G. Bompeix. 2005. Micro-wound detection on apple and pear fruit surfaces using sulfur dioxide. *Postharvest Biol. Technol.* 36: 51-59.

- Anonymous. 1986. **GRAS status of outfitting agents for use on fresh and frozen food revoked. Fed. Reg.** 51: 25021.
- A.O.A.C. 1984. **Official Method of Analysis.** Assosiation of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia. 1298 p.
- Ceniza, M.S., S. Ueda and Y. Sugimura. 1993. *In vitro* culture of coconut endosperm: callus induction and its fatty acid. **Phil. J. Coconut Studies.** 18(2):16-19.
- Chean, L.H., A.W. Hunt and P. Lorentz. 1992. Effect of sulphur dioxide fumigation on botrytis storage rot and residues in kiwifruit. **Postharvest Biol. Technol.** 3 (1993): 11-16.
- Child, R. 1974. **Coconuts.** 2<sup>nd</sup> ed. Longman Group Ltd., London, UK. 324 p.
- Codex Alimentarius Commission. 2009. **Codex General Standard for Food Additives (GSFA) Online Database.** Available from:  
<http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/index.html?lang=en> [2009, December 14].
- Davidson, M.P. and K.V. Juneja. 1990. Antimicrobial agents, pp.102-105. *In* L.A. Branen and M.P. Davidson. **Food Additives.** Marcel Dekker, New York.
- Fremont, Y., R. Ziller and M.N. Lamothe. 1973. **The Coconut Palm.** International Potash Institute Berne, Switzerland.
- Jiang, Y., X. Duan, D. Joyce, Z. Zhang and J. Li. 2004. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. **Food Chem.** 88: 443-446.
- Lin, F.M. and W.F. Wilkens. 1970. Volatile flaver components of coconut meet. **J. Food Sci.** 35 (5): 538-539 .

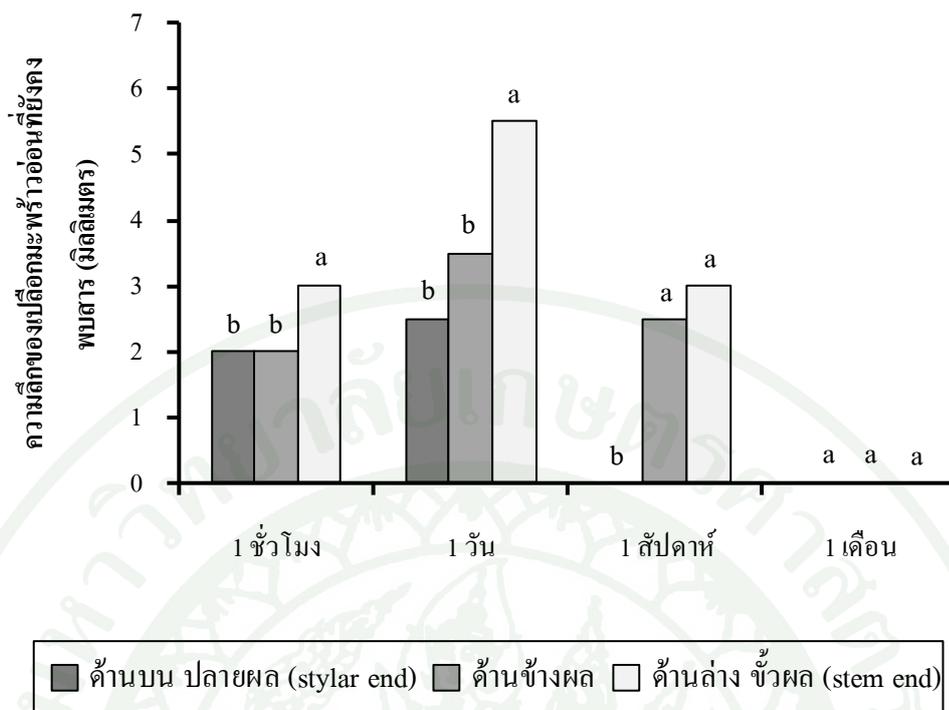
- Padua-Resurreccion, A.B. and J.A. Banzan. 1979. Fatty acid composition of the oil from progressively maturing bunches of coconuts. **Phil. J. Coconut Studies**. 4(3): 1-15.
- Paul, R. E., M. E. Q. Reyes and M. U. Reyes. 1998. Sulfite residues on litchi fruit treated with sulfur dioxide. **Postharvest Biol. Technol.** 14 (1998): 229-233.
- Smit, E. H. D. 1970. **Morphological and anatomical studies of the coconut**. Department of botany, Agricultural University, Wageningen, Netherlands
- Terdwongworakul, A., S. Chaiyapong, B. Jarimopas and W. Meeklangsaen. 2009. Physical properties of fresh young Thai coconut for maturity sorting. **Biosyst. Eng.** 103 (2009): 208-216.
- Thampan, P.K. 1975. **The Coconut Palm and Its Products**. Green Villa Publishing House, Jakarta.
- Tongdee, S.C., A. Suannagul and S. Neamprem. 1991. Postharvest handling of tender coconut. **ASEAN Food J.** 6(2): 74-75.
- Velasco, J.R. 1978. Studies on coconut products utilization in the national institute of science and technology. **Phil. J. Coconut Studies**. 3(2): 9-25. Cited H.S.Walker. 1906. The coconut and its relation to the production of coconut oil. **Phi. J. Sci.** 1: 58.
- Winton, A.L. and K.B. Winton. 1932. **The Structure and Composition of Foods**. John Wiley and Sons, Inc., London.



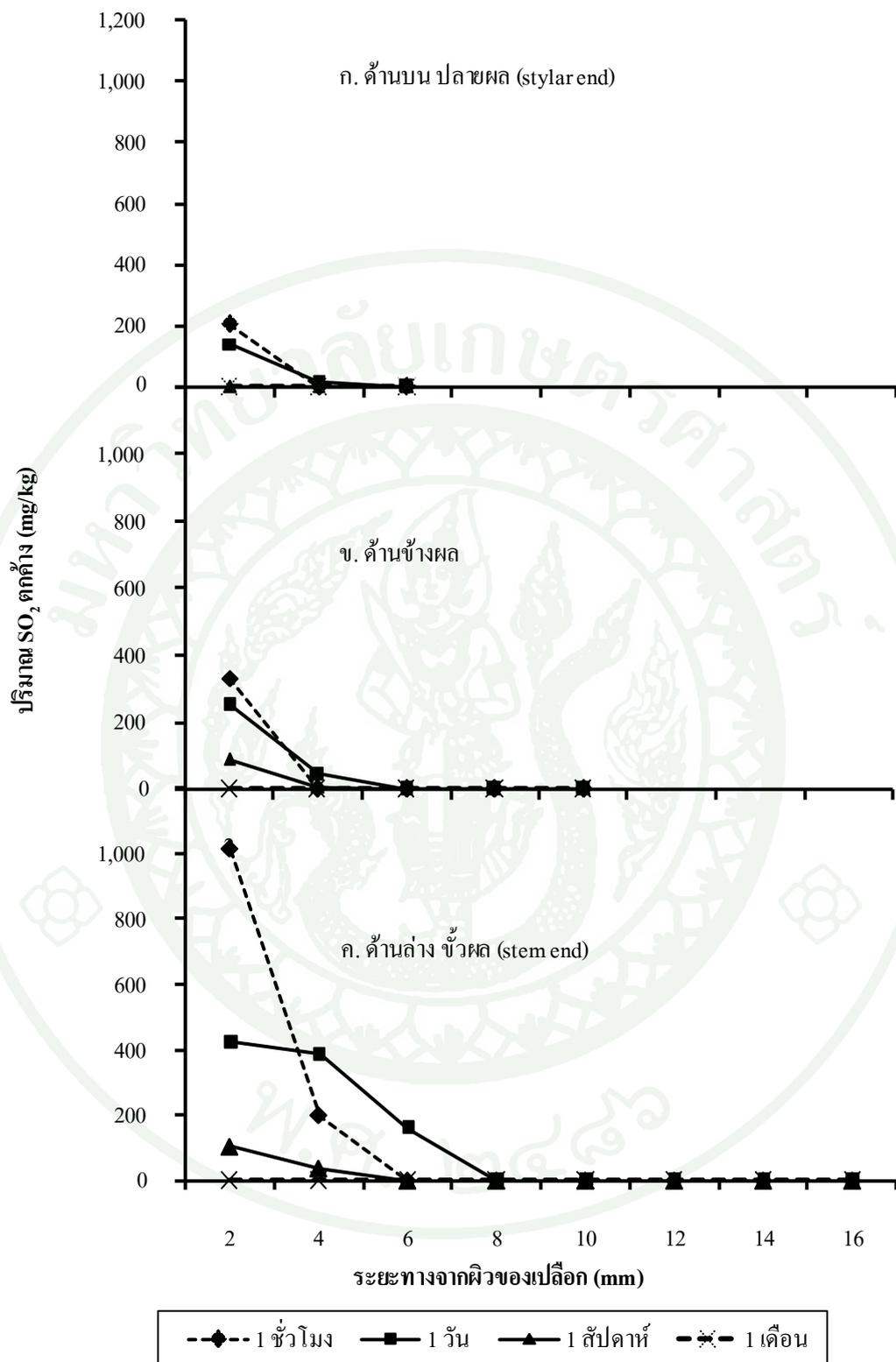
## ชุดเครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง



ภาพผนวกที่ 1 ชุดวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง ส่วนประกอบต่อ 1 ชุด ประกอบด้วย 1) round bottom Flask 2 neck 2) air inlet tube 3) reduction adaptor 4) condenser 5) adaptor for condenser 6) adaptor for flask 7) adaptor for tube 8) test tube with joint 9) erlenmeyer flask 250 ml with joint



ภาพผนวกที่ 2 ความลึกของเปลือกมะพร้าวอ่อนที่ยังคงพบสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนได้ในตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลาต่างๆกัน



ภาพผนวกที่ 3 ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในแต่ละระดับความหนาของเปลือกที่ตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลาต่างๆกัน

**ตารางผนวกที่ 1** ค่าเฉลี่ยระยะทางที่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถซึมผ่านเข้าไปในผลมะพร้าวอ่อนได้ในตำแหน่งต่างๆ ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลาต่างๆกัน

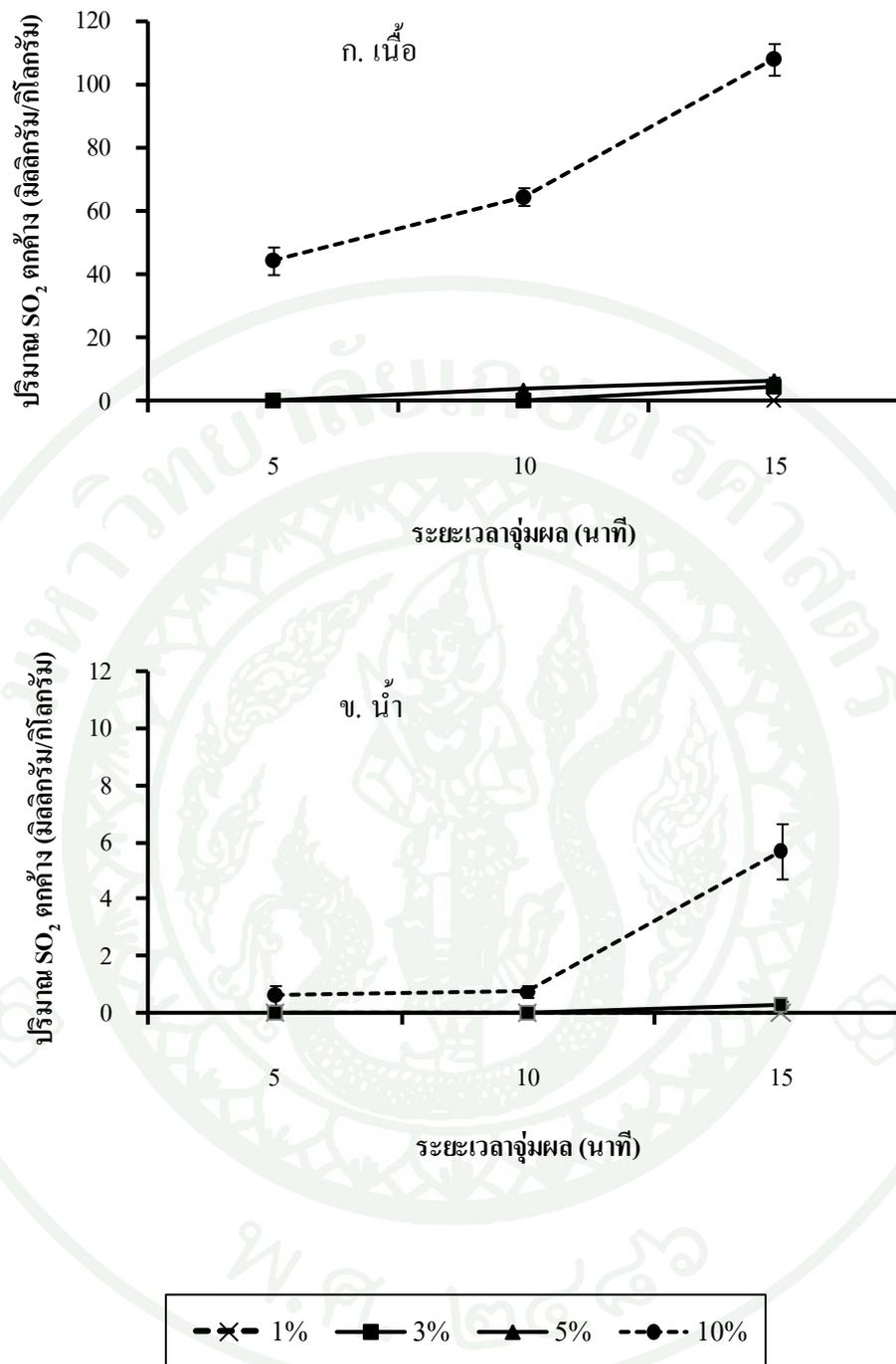
ตำแหน่ง	ระยะทางที่สารสามารถซึมผ่านได้ (mm)
ด้านบน ปลายผล (stylar end)	1.13 c <sup>1/</sup>
ด้านข้าง	2.00 b
ด้านล่าง ขั้วผล (Stem end)	2.88 a
ระยะเวลาการเก็บรักษา	ระยะทางที่สารสามารถซึมผ่านได้ (mm)
1 ชั่วโมง	2.33 b
1 วัน	3.83 a
1 สัปดาห์	1.83 c
1 เดือน	0.00 d
ปัจจัย	P-value
ตำแหน่ง	<0.0001
ระยะเวลาการเก็บรักษา	<0.0001
ตำแหน่ง x ระยะเวลาการเก็บรักษา	<0.0001
C.V. (%)	20.42

<sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P > 0.05$  ไม่แตกต่างทางสถิติ

$0.01 < P \leq 0.05$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P \leq 0.01$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพผนวกที่ 4 ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดที่จุ่มในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น และระยะเวลาการจุ่มผลต่างๆกัน ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน

**ตารางผนวกที่ 2** ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในผลมะพร้าวอ่อนที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดที่จุ่มผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆกัน ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลา 1 วัน

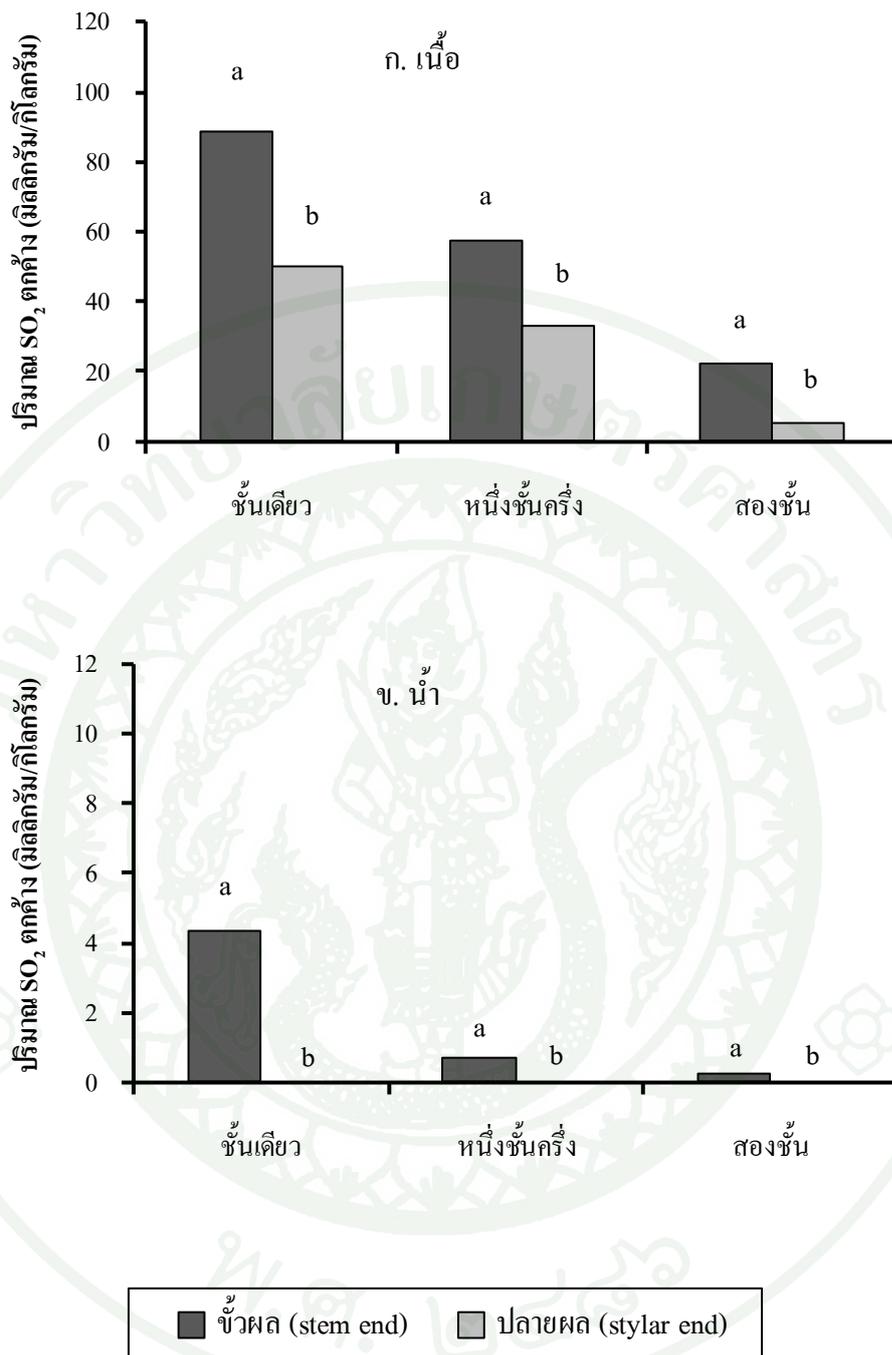
ความเข้มข้น	ปริมาณสารตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	เนื้อ	น้ำ
1%	0.00 d <sup>1/</sup>	0.00 c
3%	1.45 c	0.09 cb
5%	3.37 b	0.28 b
10%	72.34 a	2.34 a
ระยะเวลาการจุ่มผล	ปริมาณสารตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	เนื้อ	น้ำ
5 นาที	11.11 c	0.16 b
10 นาที	16.97 b	0.18 b
15 นาที	29.78 a	1.70 a
ปัจจัย	P-value	
	เนื้อ	น้ำ
ความเข้มข้น	<0.0001	<0.0001
ระยะเวลาการจุ่มผล	<0.0001	<0.0001
ความเข้มข้น x ระยะเวลาการจุ่มผล	<0.0001	<0.0001
C.V. (%)	23.42	89.46

<sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P > 0.05$  ไม่แตกต่างทางสถิติ

$0.01 < P \leq 0.05$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P \leq 0.01$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพผนวกที่ 5 ปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในส่วนของเนื้อและน้ำของผลมะพร้าวอ่อนอายุผลต่างๆที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดแล้วจุ่มครึ่งผลในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วัน

**ตารางผนวกที่ 3** ค่าเฉลี่ยปริมาณสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ตกค้างที่ตรวจพบในผลมะพร้าวอ่อน อายุผลต่างๆที่ปอกเปลือกออกทั้งหมดและจุ่มครึ่งผลลงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 15 นาที ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $5 \pm 1$  °C เป็นเวลา 1 วัน

อายุผล	ปริมาณสารตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	เนื้อ	น้ำ
ชั้นเดียว	69.42 a <sup>1/</sup>	2.15a
หนึ่งชั้นครึ่ง	45.19 b	0.35 b
สองชั้น	13.73 c	0.12 b
ตำแหน่งที่จุ่มผล	ปริมาณสารตกค้าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	เนื้อ	น้ำ
ขั้วผล (stem end)	56.08 a	1.75 a
ปลายผล (stylar end)	29.49 b	0.00 b
ปัจจัย	P-value	
	เนื้อ	น้ำ
อายุผล	<0.0001	<0.0001
ตำแหน่งที่จุ่มผล	<0.0001	<0.0001
อายุผล x ตำแหน่งที่จุ่มผล	0.0392	<0.0001
C.V. (%)	25.61	67.04

<sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P > 0.05$  ไม่แตกต่างทางสถิติ

$0.01 < P \leq 0.05$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$P \leq 0.01$  แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายกริรนนท์ เหมาะประมาณ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 17 ตุลาคม 2527
สถานที่เกิด	ราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-