

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การตรวจสอบคุณภาพของผลไม้โดยไม่ทำลายผล

โครงการนำร่อง Phase ที่ 2 :

การประเมินความแก่อ่อนของทุเรียนและคุณภาพภายใน
มั่งคุดโดย X-ray Computed Tomography และ NMR imaging

โดย

ดร. ธงชัย ยันตรศรี

และคณะ

วันที่	22 มิ.ย. 2546
เลขทะเบียน	00203
	Rm 41
เลขเรียกหนังสือ	7

0030

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ห้องสมุด

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
ชั้น 14 อาคาร เอส เอ็ม ทาวเวอร์
เลขที่ 979/17-21 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10400
โทร 298-0455 โทรสาร 298-0476
Home page : <http://www.trf.or.th>
E-mail : trf-info@trf.or.th



BY:.....

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ โรงพยาบาลเชียงใหม่-ราม และโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ และศูนย์วินิจฉัยโรค เอ็ม.อาร์.ไอ. และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ชลบุรี อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตลอดมา กับคณะผู้วิจัยในการทำเอกซเรย์ และเอ็ม.อาร์.ไอ.

ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี โดยคุณสุวัฒน์ จันทรปรณิก ผู้อำนวยการศูนย์ฯ ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ ผลิต และที่พักรอคอยในการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯ ทุกท่านที่มีส่วนให้คำปรึกษา และแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี

ขอขอบพระคุณ คุณนพรัตน์ ธนาพาณิชย์ ที่ให้คำแนะนำ และผลิตบางส่วนในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยประสานงานให้กับโครงการวิจัย

คณะนักวิจัย

กันยายน 2543

รายชื่อคณะผู้ร่วมงาน

อ. ดร. ธงชัย ยันตรศรี	หัวหน้าโครงการ ผู้รับผิดชอบ X-ray CT
รศ. ดร. จินดา ศรศรีวิชัย	นักวิจัย ผู้รับผิดชอบงานด้าน X-ray CT ผลมั่งคุด
ผศ. ดร. จำนงค์ อุทัยบุตร	นักวิจัย ผู้รับผิดชอบงานด้านคุณภาพของผลทุเรียน
ผศ. ดร. กอบเกียรติ แสงนิล	นักวิจัย ผู้รับผิดชอบงานด้าน X-ray CT ผลมั่งคุด
รศ. ดร. สมบูรณ์ อนันตลาโภชัย	นักวิจัย ผู้รับผิดชอบงานด้าน MRI ผลทุเรียน
อ. สมโภชน์ โกมลมนี	นักวิจัย ผู้รับผิดชอบงานด้านคุณภาพของผลทุเรียน
Dr. Zaman Alikhani	นักวิจัย ผู้รับผิดชอบงานด้าน MRI ผลทุเรียน
นาย ภัลย์ ภัลยาณมิตร	ผู้ช่วยวิจัย
อ. นพ. เชษฐ ศิวะสมบูรณ์	ที่ปรึกษางานวิจัยด้าน X-ray CT และ MRI
พญ. วิไลวรรณ ยอดศรี	ที่ปรึกษางานวิจัยด้าน X-ray CT และ MRI
นาย สุวัฒน์ จันทรปรณิก	ที่ปรึกษางานด้านคุณภาพของผลทุเรียน

บทคัดย่อ

มังคุด และทุเรียน เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลผลิต ได้แก่ การเกิดอาการเนื้อแก้ว และยางไหล ซึ่งเป็นลักษณะอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาภายในของผลมังคุด ขณะที่ปัญหาที่สำคัญของทุเรียน คือการคละปนของผลอ่อนในกลุ่มผลแก่ เนื่องจากขาดวิธีการคัดที่เหมาะสม ดังนั้นการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการใช้เทคนิคเอกซเรย์ (X-ray Computed Tomography; X-ray CT) และ MRI (Nuclear Magnetic Resonance Imaging) ในทางการแพทย์ มาใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตแบบวัตถุวิสัย โดยอ่านค่าการดูดกลืน X-ray photon เป็นค่า CT number และการใช้ภาพจากเทคนิคทั้งสองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับคุณภาพที่มีปัญหาข้างต้น

จากผลการทดลองพบว่าผลมังคุดสามารถจัดกลุ่มโดยแยกตามลักษณะภายในเป็นผลปกติ ผลที่มีอาการเนื้อแก้ว ผลที่เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และผลที่มีอาการยางไหล โดยทั้งเทคนิคเอกซเรย์ และ MRI สามารถแสดงภาพให้เห็นความแตกต่างระหว่างผลปกติกับผลผิดปกติลักษณะต่างๆ โดยสามารถระบุตำแหน่งของการเกิดอาการข้างต้นได้ ส่วนค่า CT Number ที่อ่านจากเทคนิคเอกซเรย์ในบริเวณเนื้อที่มีอาการผิดปกติมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่เทคนิค MRI ที่ T1 effect ซึ่งเน้นกิจกรรมของน้ำมัน สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเนื้อแก้วและยางไหลได้ชัดเจนกว่าเทคนิคเอกซเรย์

สำหรับผลทุเรียน การชิมเนื้อผลโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้นำมาใช้เป็นเกณฑ์แบ่งระดับความแก่ โดยมีการชิมเนื้อของผลเมื่อสุก และเมื่อผลยังดิบ ความแก่ที่ประเมินได้สามารถจัดแบ่งกลุ่มเป็น 6 ระดับ คือ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100% ค่า CT number ของเนื้อผลที่อ่านได้จากเทคนิคเอกซเรย์ สามารถแยกระดับความแก่ที่ประเมินโดยวิธีการชิมเนื้อผลได้ โดยค่า CT number ที่ -44 สามารถแยกผลที่ระดับความแก่ 70% ว่าเป็นระดับความแก่ที่บริบูรณ์ที่ผลจะสุกได้อย่างมีคุณภาพ ออกจากความแก่ที่ 60 และ 50% ซึ่งเป็นความแก่ที่ไม่บริบูรณ์ได้ ส่วนระดับความแก่ที่ 80% ขึ้นไป มีค่า CT number ที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถแยกระดับความแก่ได้ ส่วนเทคนิค MRI พบว่าให้ค่าความเข้มที่มีความสัมพันธ์กับความแก่โดยมีค่าต่ำสุดที่ความแก่ 70-80% เมื่อนำเกณฑ์แบ่งระดับความแก่โดยการชิมมาตรวจสอบการประเมินโดยวิธีอื่น ได้แก่ การคัดโดยผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน การนับระยะเวลาที่ใช้ในการสุก และการนับอายุผลหลังดอกบาน ซึ่งในกรณีหลังพบว่ามีค่าแปรปรวนสูงที่สุด ขณะที่ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และน้ำหนักแห้ง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับเกณฑ์ความแก่ข้างต้น

ABSTRACT

Mangosteen and durian are among the most important economical fruit crop in Thailand. There are some quality problems such as gamboge, translucent pulp disorder and the combination of both symptoms in mangosteen. The problem of durian is immature fruit in the market because there is no appropriated sorting technology available. It is the objective of this research to develop objective and non-destructive methodologies based on medical techniques: X-ray CT (X-ray Computed Tomography) and MRI (Nuclear Magnetic Resonance Imaging) to accurately determine the internal disorder of mangosteen and the maturity of durian cv. Monthong. The correlation between the absorption of X-ray photon as CT number and MRI image as intensity value versus the quality problems have been analyzed.

The mangosteen fruits used in the study were classified according to the type of symptom as normal fruit, gamboge fruit, fruit with translucent pulp disorder and fruit with the combination of both symptoms. Image monitored by X-ray CT and MRI techniques can identify the difference of internal disorder symptoms and can precisely localize the bright density patch scatter in the rind concise with the area of water accumulation. CT number obtained from the X-ray technique was found to have a significant correlation with the disordered area while intensity value obtained from MRI at T1 effect focusing on oil shows the better differentiation between translucent and gamboge symptoms.

For durian, separating the maturity stage is evaluated by the sensory method using a trained taste panel. The maturity level can be separated into 6 stages: 50, 60, 70, 80, 90 and 100%. Using non-destructive X-ray technique, the CT number showed a significant correlation to the maturity stages. CT number at -44 could separate 70% maturity, minimum acceptable stage of maturity for a market, from the less matured fruit, 50 and 60%. For MRI technique, there is significant correlation between intensity value and maturity stage with minimum intensity at 70-80% maturity. The maturity level evaluated by taste panel was significantly correlated with the level of maturity determined by the high experience harvesters, the days to ripen and the days after full bloom. The last method, however, had the highest standard deviation. The measurement

of chemical properties, which consisted of total soluble solids, total sugars, carbohydrates and dry weight content could significantly correlate to each level of maturity determined by the panel.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	๗
รายชื่อผู้ร่วมงาน	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	14
บทที่ 4 ผล และวิจารณ์ผลการวิจัย	27
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	70

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันวิธีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลสดที่ใช้กันได้แก่การสังเกตลักษณะภายนอก เช่น ขนาด รูปร่าง สี เป็นต้น ตลอดจนการสุ่มตัวอย่างผลิตผลมาผ่าตรวจสอบ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังให้ผลไม่แน่นอน เนื่องจากผลิตผลที่สุ่มอาจมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะเป็นตัวแทนของผลิตผลทั้งหมด อีกทั้งต้องทำลายผลิตผลที่ตรวจสอบ ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจอีกทางหนึ่ง

มังคุด และทุเรียน เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพโดยปัญหาลักษณะของผลมังคุด คือการเกิดลักษณะอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาภายในผล ได้แก่ อาการเนื้อแก้ว (Translucent) และยางไหล (Gamboge) ขณะที่ปัญหาที่สำคัญของทุเรียนที่พบ ได้แก่การตรวจแยกระดับความแก่อ่อนของผลทุเรียน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาผลทุเรียนอ่อนปนเข้าไปในตลาด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำลายผล (Nondestructive Technique; NDT) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทำให้เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำลายผลได้รับการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เทคนิคเอกซเรย์ และ Nuclear Magnetic Resonance (NMR) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทันสมัยในทางการแพทย์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ มุ่งเน้นความเป็นไปได้ของการนำเทคนิค X-ray Computed Tomography (X-ray CT) และ NMR มาใช้ตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุด และความแก่อ่อนของผลทุเรียน โดยใช้การตรวจสอบภาพและค่า CT number ที่หาได้จากการใช้เทคนิคเอกซเรย์ และการตรวจสอบภาพและค่า intensity ที่ได้จากเทคนิค NMR มาสัมพันธ์กับคุณภาพภายในของผลิตผลเพื่อใช้เป็นดัชนีสำหรับการตรวจสอบคุณภาพภายในของผลิตผลต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ได้ภาพเอกซเรย์ และค่า attenuation coefficient โดยการอ่านค่า CT number จากเครื่อง X-ray Computed Tomography (X-ray CT) ที่สอดคล้องกับอาการเนื้อแก้วและยางไหล ของมังคุด และระดับความแก่อ่อนของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยไม่ทำลายผล .
2. เพื่อให้ได้ภาพ Nuclear Magnetic Resonance Imaging (MRI) จากเครื่อง NMR apparatus ที่สอดคล้องกับระดับความแก่อ่อนของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง และความผิดปกติของเนื้อมังคุด

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) อยู่ในวงศ์ Guttiferae เป็นผลไม้เขตร้อน และมีถิ่นกำเนิดในแถบคาบสมุทรมลายู แต่ในปัจจุบันมีปลูกอยู่ทั่วไปในประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย พม่า ศรีลังกา ไทย เวียดนาม กัมพูชา และหมู่เกาะซุนด้า (Ochse *et al.*, 1961) แหล่งที่ปลูกในประเทศไทยมีแหล่งปลูกมังคุดที่มากที่สุดของประเทศไทย คือ ภาคใต้ รองลงมาเป็นภาคตะวันออก และภาคกลาง สำหรับในภาคเหนือมีปลูกบ้างเล็กน้อย จังหวัดที่มีการปลูกมังคุดมากได้แก่ ชุมพร นครศรีธรรมราช นราธิวาส สุราษฎร์ธานี จันทบุรี ระยอง ตราด และปราจีนบุรี เป็นต้น (เกียรติเกษตร และคณะ, 2530 และ นพรัตน์, 2536)

มังคุดมีผลแบบ berry มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลประมาณ 3.5-7.0 เซนติเมตร เปลือกหนา 0.8 -1.0 เซนติเมตร เนื้อภายในมีสีขาวขุ่น อ่อนนุ่ม เนื้อแบ่งออกเป็น 4-8 กลีบ แล้วแต่จำนวนไข่อ่อน (Ochse *et al.*, 1961 ; Almeyda and Matin, 1976) เมื่อผลยังดิบเปลือกมีสีเขียวตองอ่อน และมียางสีเหลืองอยู่มาก เมื่อผลเริ่มแก่จะเกิดจุด หรือประสีม่วงแดงเป็นปื้นขึ้นบริเวณเปลือก เรียกว่า “สายเลือด” เมื่อผลสุกเต็มที่จะเป็นสีม่วงแดงจนถึงดำกระจายทั้งผล ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มติดผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 11-12 สัปดาห์ (กวิศร์ และสุรพงษ์, 2522)

ในปี 2538 ประเทศไทยผลิตมังคุดได้ 129,227 ตัน (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2540) แต่คุณภาพของมังคุดที่ผลิตได้ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอ และไม่ตรงกับความต้องการของตลาด คือ ผลมีขนาดเล็ก เปลือกแข็ง มีร่องรอยการเข้าทำลายของแมลงอย่างเด่นชัด มีอาการเนื้อแก้ว และยางไหลในผลเป็นจำนวนมาก แต่มังคุดที่ตลาดต้องการ คือ ผลมีขนาดใหญ่ มีผิวสวยเรียบเป็นมัน ไม่มีร่องรอยการเข้าทำลายของแมลงหรือมีน้อย คุณภาพเนื้อดี ไม่มีอาการเนื้อแก้ว และยางไหลภายในผล (อัมพิกา และคณะ, 2539) แต่ในอนาคตมังคุดผลที่มีขนาดเล็ก (38 มิลลิเมตร หรือ มีน้ำหนัก 30 กรัมขึ้นไป) ยังคงจำหน่ายได้ แต่ต้องเป็นมังคุดคุณภาพดีตามมาตรฐานของ CODEX โดยยอมให้มีผลเสียปะปนอยู่ได้แต่ต้องไม่เกินร้อยละ 5 ของผลมังคุดทั้งหมด สำหรับคุณภาพชั้นพิเศษ และไม่เกินร้อยละ 10 สำหรับคุณภาพชั้น 1 โดยไม่มีผลที่มีเปลือกแข็ง และต้องผ่าผลออกได้ตามปกติ คือ ต้องไม่มียางไหลภายในผล คุณภาพมังคุดของไทยจึงจะเข้าสู่มาตรฐานโลกได้ (สุรพงษ์, 2540) การที่มีมังคุดคุณภาพไม่ดีปะปนอยู่ด้วยนั้นอาจแบ่งสาเหตุออกได้เป็น 2 ประเด็นใหญ่ๆ คือ การเก็บเกี่ยวมังคุดที่ไม่ระมัดระวัง และเกษตรกรไม่ได้ทำการคัดเลือกมังคุดผลเสียออกไปก่อนจำหน่าย (สุรพงษ์, 2532)

ปัญหาการเกิดลักษณะอาการผิดปกติภายในผลมังคุด

การเจริญเติบโต การออกดอก และการติดผล จนกระทั่งเก็บเกี่ยวได้ของผลมังคุดจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละรอบปี โดยจะมีผลถึงคุณภาพของผลมังคุด เช่น ผลมีขนาดเล็ก ยางไหล โรคเน่า อาการเนื้อแก้วของมังคุดโดยเฉพาะอาการเนื้อแก้วเมื่อเกิดอาการนี้แล้ว เนื้อผลปกติซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่ม สีขาวขุ่น จะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อแข็งใสและกรอบเหมือนวุ้น (สุรกิตติ, 2531 และวรภัทร, 2539ก) จากการศึกษาของ ศรียนต์ (2529) พบว่า อาการเนื้อแก้วนี้อาจพบเพียงบางส่วนของผล หรืออาจพบว่าเป็นเนื้อแก้วทั้งผลก็ได้ ลักษณะการเกิดอาการเนื้อแก้วนั้นมักเกิดกับเมล็ดใหญ่ที่สุดของผล ในขณะเดียวกันเปลือกด้านในส่วนที่ติดกับเนื้อผลก็มีอาการฉ่ำน้ำด้วย อาการเนื้อแก้วนี้อาจเกิดร่วมกับอาการเนื้อเหลืองหรือเรียกว่า “อาการยางไหล” ซึ่งพบว่ามียางสีเหลืองหยดเปื้อนเนื้อผล หรือไหลซึมเข้าไปในเนื้อผลมังคุด และถ้าหากมียางไหลในรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกผล เปลือกผลในบริเวณนั้นจะแข็งและติดกับเนื้อผลทำให้แกะเปลือกออกได้ยาก นอกจากนี้มังคุดที่เก็บเกี่ยวในระยะต่างๆ กันคือ กลุ่มที่มีผลสีเขียว สีชมพู และสีม่วง นั้นพบว่ามีอาการเนื้อแก้วอยู่ทุกระยะเก็บเกี่ยวในอัตราใกล้เคียงกัน เมื่อนำผลมังคุดไปวินิจฉัยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ และศึกษาโครงสร้างของเนื้อเยื่อ พบว่าไม่ปรากฏเชื้อจุลินทรีย์แต่อย่างใด เนื้อเยื่อของมังคุดเนื้อแก้ว และเนื้อปกติ ประกอบด้วยเซลล์พารენไคมา (parenchyma) และมีช่องว่างขนาดใหญ่ (pore) เช่นเดียวกันกับผลการทดลองของ Pankasemsuk et al. (1996) ซึ่งพบว่ากลุ่มของเซลล์พารენไคมาของมังคุดเนื้อแก้วมีลักษณะกลม และมีความเต่งมากกว่าในเนื้อปกติ และเมื่อบังคับน้ำเข้าไปในผลมังคุด พบว่าผลมังคุดที่ได้รับน้ำเข้าไปมากจะเกิดอาการเนื้อแก้วตามมาและมีความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 0.98 เป็น 1.02 โดยเฉลี่ย นอกจากนี้ยังพบว่าผลมังคุดที่ได้รับน้ำมากยังมีอาการยางไหลในผลร่วมด้วย ศรีสังวาลย์ (2537) ได้รายงานว้ปริมาณน้ำที่ต้นมังคุดได้รับในช่วงระหว่างฤดูการเก็บเกี่ยวผลิตผล มีความสัมพันธ์กับอาการเนื้อแก้ว และยางไหลภายในผลมังคุด โดยเฉพาะเมื่อมีฝนตกหนักในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวติดต่อกันนานหลายวัน อาการดังกล่าวจะมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น จากการทดลองของ วรภัทร (2539ข) ยืนยันว่าอาการเนื้อแก้วของมังคุดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในผลเป็นสาเหตุหลัก และพบว่ามังคุดเนื้อแก้วมีปริมาณน้ำมากกว่าเนื้อปกติ 1.21 % มีปริมาณอากาศน้อยกว่าปกติ 15 เท่า และมีความแน่นเนื้อมากกว่ามังคุดเนื้อปกติมากกว่า 3 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเพกตินที่ละลายได้ในน้ำ (water soluble pectin) น้อยกว่าเนื้อปกติ 0.55 นาโนกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และเมื่อทดลองให้น้ำทางก้านผลด้วยความดันสูงทำให้ผลแตก และเกิดการเปลี่ยนสีไปเป็นสีม่วงเข้มอย่างรวดเร็วภายใน 2 วัน ซึ่งเร็วกว่าการเปลี่ยนสีตามปกติ แต่ไม่ทำให้เกิดอาการเนื้อแก้วในผลแต่อย่างใด

ทุเรียน (*Durio zibethinus* Murray) เป็นผลไม้ในเขตร้อนที่มีรสชาติอร่อย จัดอยู่ในวงศ์ Bombacaceae มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชีย ปลูกกันแพร่หลายในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ (Roy and Joshi, 1995; Salunkhe and Desai, 1984, ประเทศไทยสามารถปลูกทุเรียนได้แทบทุกภาคของประเทศ แต่แหล่งปลูกสำคัญเชิงการค้าอยู่ในภาคตะวันออก และภาคใต้ จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมากได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ระยอง ชุมพร ตราด นราธิวาส และนครศรีธรรมราช เป็นต้น ในจำนวนนี้มากกว่า 40 % เป็นผลิตผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง 36 % เป็นทุเรียนพันธุ์ชะนี ที่เหลือเป็นพันธุ์กระดุมทอง ก้านยาว และพันธุ์อื่นๆ เกษตรกรชาวสวนที่เลือกทำสวนทุเรียนจะได้รับผลตอบแทนค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับผลไม้ชนิดอื่นหลายชนิด ประมาณว่ารายได้จากธุรกิจการค้าทุเรียนเฉพาะในภาคตะวันออกคิดเป็นมูลค่าปีละกว่า 10,000 ล้านบาท (เปรมปรี, 2539) ทุเรียนเป็นผลไม้ส่งออกสำคัญไปยังตลาดเอเชีย และอเมริกาเหนือ โดยประเทศไทยเป็นประเทศส่งออกทุเรียนมากที่สุดในโลก เปรมปรี (2539) รายงานว่าในปี 2537 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกทุเรียน 719,666 ไร่ ผลิตผลรวมของทุเรียน 787,512 ตัน สำหรับผลิตผลทุเรียนสดส่งออกในปี 2538 เท่ากับ 48,716 ตัน คิดเป็นมูลค่าสูงถึง 1,004.1 ล้านบาท (รวี, 2539)

ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (cv. Monthong) เป็นทุเรียนที่มีผู้นิยมปลูกกันมากเพราะตลาดต้องการ ขายได้ราคาดี มีผู้นิยมบริโภคทั้งในประเทศ และภายนอกประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นทุเรียนพันธุ์ที่ถูกแนะนำว่าควรทำวิจัยมากที่สุดจากทุเรียนในท้องตลาดที่มีอยู่ 4 พันธุ์หลัก คือ กระดุมทอง ชะนี ก้านยาว และหมอนทอง (พีรเดช, 2540)

ทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีลักษณะทั่วไป คือลำต้นมีลักษณะลุ่มๆ ดอนๆ ไม่ค่อยกลม กิ่งตั้งฉากกับลำต้นแต่เนื่องจากกิ่งอ่อนจึงทำให้ลู่ลง ขนาดของโคนกิ่งไม่ใหญ่จึงไม่แข็งแรง ขณะเดียวกันกิ่งมีแขนงยาวจึงทำให้กิ่งทอดลง แต่กิ่งที่แตกออกมาใหม่ๆ ปลายกิ่งจะชูขึ้นตามปกติ ลักษณะทรงพุ่มโปร่ง กิ่งแขนงห่าง ช่อบีแต่ละใบก็ห่างกันด้วยจึงดูว่าเรือนพุ่มไม้ทึบ ดอกของทุเรียนจะแปรรูปไปเรื่อยๆ ชาวสวนจะเรียกชื่อไปตามระยะต่างๆดังนี้คือ ระยะไข่ปลา เหยียดต้นหนู ลูกกระดุม หัวกำไล ดอกบาน และปิ่นหรือไม้กลัด (แสงว, 2527) ลักษณะใบยาว ปลายใบเรียวเด่นชัดกว่าพันธุ์อื่น ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีขนาดใหญ่ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร พูหนึ่งๆ มี 5-6 ยวง ร่องพุ่มมองเห็นไม่ชัด มีพูใหญ่เพียงอันเดียวเรียกว่าพูเอก ลักษณะเด่นของทุเรียนพันธุ์นี้คือเนื้อหนา เนื้อมาก (อัตราส่วนเนื้อ/ผล) สีเนื้อเหลืองอ่อนมากแต่ไม่ถึงกับซีดขาว รสหวานมัน กลิ่นน้อย เมล็ดค่อนข้างเล็ก งามแล้วเนื้อไม่แฉะ เก็บไว้ได้นานเนื้อไม่ละเอนเสีย คุณภาพเนื้อเหมาะแปรรูป เช่น หอม กวน แช่แข็ง มีอาการแค้น เต่าเผา ไล่ชิม่น้อย ติดผลดี (นิรัญ และคณะ, 2541)

ปัญหา และความจำเป็นของการตรวจสอบความแก่ผลทุเรียน

ปัญหาทุเรียนผลอ่อนคละปนไปกับทุเรียนผลแก่เป็นปัญหาสำคัญที่สุดประการหนึ่งที่เกิดขึ้นกับธุรกิจการค้าทุเรียนของไทย จริงแท้และบัณฑิต (2536) ศึกษาความเสียหายของทุเรียนหลังการเก็บเกี่ยว จากการสัมภาษณ์ผู้เก็บรวบรวมจากจังหวัดระยอง และจันทบุรี ผู้ขายส่ง และผู้ขายปลีกทุเรียนในกรุงเทพมหานคร พบว่าความเสียหายรวมของทุเรียนพันธุ์ชะนี และหมอนทองทั้งหมดอยู่ระหว่าง 6.5-13.5 และ 5.5-8.5 % ตามลำดับ ความเสียหายส่วนใหญ่เกิดจากการเก็บเกี่ยวทุเรียนชะนี และหมอนทองในขณะที่ผลอ่อน ทำให้มีผลอ่อนคละปนไปกับผลแก่เท่ากับ 9 และ 5 % ตามลำดับ โดยพบส่วนใหญ่ในช่วงต้นฤดู ในบางครั้งอาจพบใน ผู้ค้าหน้าใหม่ ตั้งแต่ 50 ถึง 100 % สำหรับความเสียหายในส่วนอื่นๆ มีไม่มากนัก

นอกจากนั้นความแก่ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา จากรายงานการศึกษากการเก็บผลทุเรียนที่มีความแก่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่ามีบางผลที่ยังมีคุณภาพดีอยู่ แต่ส่วนใหญ่สุกเกินไป และผลแตก บางผลไม่สุก แม้ว่าให้เอทริลลีนเพื่อเร่งขบวนการสุกกก็ตาม ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า ความแก่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา วิธีการคัดเลือกในขณะนี้เป็นการคัดเลือกผลที่อ่อน และผลที่เริ่มสุกออกเท่านั้น ถ้าสามารถคัดแยกทุเรียนออกได้หลายระยะความแก่จะเป็นวิธีการที่ดีกว่า ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์เพื่อตรวจสอบความแก่ของทุเรียนจึงเป็นสิ่งสำคัญ (จริงแท้, 2539ก)

ผลการประชุมวางแผนปฏิบัติการโครงการทุเรียน จัดโดยสำนักเลขาธิการชุดโครงการไม้ผล และผลิตภัณฑ์จากผลไม้ พบว่าปัญหาขาดแคลนอุปกรณ์ตรวจสอบความแก่ของผลไม้เป็นหนึ่งในปัญหาหลายๆ ประการที่ต้องแก้ไข ควรมีเทคโนโลยีตรวจสอบความแก่ และคุณภาพภายในอย่างแม่นยำ และรวดเร็วเพื่อลดการคละปน (พีรเดช, 2539) จากแผนพัฒนาทุเรียนในแผนพัฒนาพืช ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2540-2544 กำหนดเป้าหมายให้มีการมีเทคโนโลยีตรวจสอบความแก่ และคุณภาพภายในอย่างแม่นยำ และรวดเร็วโดยไม่ทำลายผลเพื่อลดการปลอมปนคุณภาพเป็นหนึ่งในเป้าหมายที่กำหนดไว้ (กรมวิชาการเกษตร และกรมส่งเสริมการเกษตร, 2540)

วิธีการตรวจสอบความแก่ของผลทุเรียนที่ใช้ในปัจจุบัน

การตรวจสอบความแก่ของผลทุเรียนที่ใช้ในปัจจุบันอาศัยผู้ที่มีความชำนาญสังเกตลักษณะภายนอกของผลทุเรียน ได้แก่ สังเกตจากปลายหนามของผลทุเรียนโดยที่ผลทุเรียนแก่ปลายหนามจะแห้ง ผิวเปลือกขึ้นนวลชัดเจนดี ปากปลิงที่ขั้วเป็นร่องชัดเจน ดมดูมีกลิ่นหอม ก้านผลอบโต สาก ขนาดเบากว่าทุเรียนอ่อนที่ผลเท่าๆกัน เมื่อทุเรียนแก่ ส่วนเนื้อกับเปลือกของทุเรียนจะแยกออกจากกัน ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเปลือกกับเนื้อ เมื่อใช้เล็บครูด กรีด หรือใช้

มีดบาดหรือด้ามมีดเคาะเบาๆ จะได้ยินเสียงโพก แต่ถ้าทุเรียนไม่แก่ไม่มีเสียงโพก เสียงจะแน่นทึบ (เกศินี, 2528; จริงแท้, 2538; ดีพร้อม, 2532; แสง, 2527)

วิธีการนับอายุผลตั้งแต่ดอกบาน เป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับกันมากในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งระยะความแก่ สำหรับทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีอายุผลตั้งแต่เริ่มติดผลจนพร้อมเก็บเกี่ยวประมาณ 120-127 วัน (พีระพงษ์, 2540) จริงแท้ (2538) รายงานว่าทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีดัชนีการเก็บเกี่ยวที่สามารถใช้ส่งออกได้ตั้งแต่ 115-130 วันหลังดอกบาน (ผลจะสุกใน 10 วัน ถึง 3 วัน หลังการเก็บเกี่ยว) แต่อย่างไรก็ตามสภาพภูมิอากาศมีผลต่อความแม่นยำของวิธีการนี้กล่าวคือ สภาพอากาศร้อน แสงแดดแรง การเจริญ และการพัฒนาของทุเรียนให้สั้นเข้า ทุเรียนจะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่เร็วขึ้น (จริงแท้ 2539ก; ดีพร้อม, 2532; หิรัญ และคณะ, 2535) ขณะที่ถ้ามีฝนตกในช่วงเก็บเกี่ยว ความชื้นอากาศต่ำทำให้ผลคายน้ำสูง เกิดการแตกใบอ่อน จะทำให้การเก็บเกี่ยวล่าช้าออกไป 5-15 วัน ตามแต่สภาพการแตกใบอ่อน รวมทั้งการจัดการของเจ้าของสวน การปล่อยให้ปริมาณผลต่อต้นมากจะทำให้เก็บเกี่ยวได้ช้ากว่าต้นที่มีปริมาณผลต่อต้นน้อยกว่า (เกียรติศักดิ์, ดนัย, และนพรัตน์ ติดต่อบริษัท)

จากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ดังกล่าว ทำให้เกิดความพยายามพัฒนาวิธีการตรวจสอบความแก่ขึ้นมาหลายวิธีเพื่อใช้แทนวิธีการแบบจิตวิสัย (subjective) ข้างต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการแบบวัตถุวิสัย (objective) ที่สามารถอ้างอิงค่าเป็นตัวเลขได้ เพื่อให้ได้วิธีการตรวจสอบและคัดแยกระดับความแก่ของทุเรียนที่มีความเที่ยงตรง และเป็นประโยชน์ต่อการค้าทุเรียนของไทยในอนาคต

การตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำลายผลผลิต

การตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำลายผลผลิต เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลเกษตร โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของผลิตผลเกษตรกับคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตผลเกษตรนั้นๆ เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำลายผลผลิต เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์สามารถนำมาใช้กับผลิตผลเกษตรบางชนิดได้ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตผลที่ตรวจสอบ เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำ และเป็นวิธีการแบบวัตถุวิสัย (Chen, 1996) วิธีการตรวจสอบมีหลายวิธีการ ตั้งแต่เทคนิคพื้นฐานที่สามารถทำได้ง่าย เช่น การใช้ความถี่เฉพาะที่ต่างกันระหว่างผลิตผลที่อ่อนและแก่เพื่อใช้ตรวจแยกความแก่ เช่น อรรถพร และคณะ (2532) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ดีมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม มี TSS (total soluble solids) สูง เมื่อมะม่วงที่มีความถี่เฉพาะมากกว่า 1.0 ส่วนมะม่วงที่มีความถี่เฉพาะน้อยกว่า 1.0 คุณภาพต่ำไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ชิม การใช้แสงที่มองเห็นได้ (visible light) ตรวจแยกผลที่มีรสฝาด และผลที่มีรสหวาน พบว่าผลที่มีรสฝาดสามารถดูดกลืนแสง

น้อยกว่าผลที่มีรสหวาน (Akimoto, 1994) นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่ใช้เครื่องมือทาง การแพทย์ มาประยุกต์เพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตผล Yantarasri *et al.* (1996; 1997) รายงานว่า สามารถใช้ NMR (Nuclear Magnetic Resonance) และ X-ray CT (X-ray Computed Tomography) ตรวจสอบลักษณะภายใน เช่น ความเสียหายภายในผลมะม่วง ความแก่-สุก การเกิดเนื้อแก้ว และการเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้ในผลมะม่วง

กรณีของทุเรียน นักวิจัยของไทยพยายามหาเทคนิคตรวจสอบความแก่ที่ง่ายและสะดวก มาใช้กับผลทุเรียน อาทิเช่น การพยายามพัฒนาเครื่องมือวัดความแข็งของก้านทุเรียน พบว่า ความแข็งของก้านเพิ่มขึ้นตามความแก่ของผลทุเรียนที่มากขึ้น (Chattavongsin and Siriphanich, 1990; รัชฎา, 2533) แต่วิธีการนี้ยังไม่เหมาะสมที่นำไปใช้จริง เพราะมีความผันแปรสูงมากเมื่อ ทุเรียนปลูกในพื้นที่ที่สภาพแวดล้อมต่างกัน (จริงแท้, 2539ข) ทิซัมพร (2530) รายงานว่า ความถ่วงจำเพาะของทุเรียนพันธุ์หมอนทองลดลงตามความแก่ที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ความถ่วงจำเพาะทั้งของผลทุเรียนอ่อนและแก่มีค่าน้อยกว่า 1.0 จึงลายน้ำทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถใช้น้ำคั้ดแยกคุณภาพตามค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกันได้ (Chattavongsin and Siriphanich, 1990) ชูศักดิ์ และคณะ (2539) นำเทคนิคการวัดความถี่ของเสียงเคาะมาใช้กับผล ทุเรียน เพื่อนำมาทดแทนการเคาะฟังเสียงโดยผู้ชำนาญการ โดยพบว่าความถี่มีค่าลดลงขณะที่ อายุผลทุเรียนมากขึ้น สอดคล้องกับงานของ อนุพันธ์ (2540) ซึ่งพบว่าดัชนีความถี่ธรรมชาติ (f) ที่ $f^2 \ln(m^{23})$ ลดลงขณะผลทุเรียนแก่มากขึ้น

กรณีของผลมังคุด Sornsriwichai *et al.* (1999) รายงานว่าค่าความถ่วงจำเพาะ 0.98 สามารถคั้ดแยกผลที่มีอาการเนื้อแก้วและผลที่เป็นยางไหลได้ดี แต่ความเที่ยงตรงในการคั้ดขึ้นกับ ปริมาณน้ำในเปลือกที่มีอยู่มาก และโพรงอากาศในเนื้อจากเมล็ดที่ผ่อและเนื้อฟาม ซึ่งทำให้ความ แม่นยำลดลง

ทฤษฎี และประโยชน์ของเทคนิคเอกซเรย์ กับผลิตผลเกษตร

1. คุณสมบัติของเอกซเรย์ (X-ray)

เอกซเรย์ คือแสงชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีลักษณะเช่นเดียวกับคลื่น แสง คลื่นความร้อน และคลื่นวิทยุ ต่างกันที่ความถี่ของคลื่นแต่ละชนิดเท่านั้น เอกซเรย์มีช่วง คลื่นสั้นมาก ความยาวช่วงคลื่นตั้งแต่ 5-0.01 อังสตรอม (หน่วยวัดความยาวของช่วงคลื่น 1 อังสตรอม ($\text{\AA}$) เท่ากับ 10^{-7} เซนติเมตร) อยู่ระหว่างรังสีแกมมากับรังสีอัลตราไวโอเล็ต คุณสมบัติ ของเอกซเรย์นั้นคล้ายคลึงกับแสงสว่างธรรมดาส่วนใหญ่ แต่มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุต่างๆ มากกว่า โดยความสามารถในการผ่านตัวกลางขึ้นอยู่กับความหนาแน่น และน้ำหนักอะตอมของ วัตถุที่ผ่าน (ชูศักดิ์, 2524)

เอกซเรย์มีลักษณะ และคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีช่วงคลื่นสั้นมาก คืออยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.04-1000 อังสตรอม หรืออยู่ในช่วงระหว่างรังสีแกมมากับรังสีอัลตราไวโอเล็ต
- 2) มีคุณสมบัติเหมือนแสง โดยเดินทางเป็นเส้นตรง ถ้าเดินทางในสุญญากาศแล้วจะเดินทางด้วยความเร็วเท่ากับแสงคือ 186,000 ไมล์ต่อวินาที หรือ 3×10^{10} เซนติเมตรต่อวินาที นอกจากนั้นแล้วยังมีการสะท้อนกลับ หักเห และเบี่ยงเบนได้เช่นเดียวกับแสง
- 3) ไม่หักเหโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- 4) ทำให้เกิดการเรืองแสง (fluorescence และ phosphorescence) ในสารพิเศษบางอย่าง
- 5) ทำให้เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้า (ionization) เมื่อผ่านเข้าไปในอากาศหรือก๊าซ
- 6) เกิดจากการที่อนุภาคอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงไปชนเป้า อิเล็กตรอนดังกล่าวจะไปชนอิเล็กตรอนตัวอื่นๆที่อยู่ในวงโคจรของอะตอมของเป้าให้หลุดกระเด็นออกนอกวงโคจร อิเล็กตรอนของเซลล์นั้นอกัดออกไปจะวิ่งเข้ามาแทนที่ และคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของเอกซเรย์และความร้อน
- 7) ถูกดูดกลืน (absorbed) โดยสสาร (matter) ทุกชนิด มากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับความหนาแน่น และน้ำหนักของอะตอมของสสารนั้น
- 8) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่นเมื่อเอกซเรย์ไปถูกฟิล์มถ่ายรูป ทำให้ฟิล์มดำ จึงนำผลนี้มาใช้บันทึกภาพรังสีลงบนแผ่นฟิล์มเอกซเรย์
- 9) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวะ เช่นทำให้เซลล์ร่างกายเปลี่ยนแปลง หรือเกิดการผ่าเหล่า (genetic mutation) ถ้าได้รับรังสีเป็นจำนวนมาก และนานเกินไป
- 10) มีอำนาจทะลุทะลวง (penetration) สูง สามารถทะลุผ่านเนื้อหนังของมนุษย์ และสัตว์ได้ แต่ไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นตะกั่วหรือคอนกรีตหนาๆ ได้

ความสามารถทะลุทะลวงยังขึ้นอยู่กับช่วงคลื่น (wavelength) โดยเอกซเรย์ที่มีช่วงคลื่นยาว (0.6-0.3 Å) เรียกว่า Soft X-ray เพราะมีอำนาจการทะลุทะลวงต่ำ ถูกดูดกลืนโดยวัตถุมาก ส่วนเอกซเรย์ที่มีช่วงคลื่นสั้น เรียกว่า Hard X-ray (0.06-0.01 Å) มีอำนาจการทะลุทะลวงวัตถุสูง เนื่องจากลำแสงเอกซเรย์ที่ออกมาจากหลอดเอกซเรย์ประกอบด้วย Soft และ Hard X-ray ที่มีช่วงคลื่นต่างๆ ดังนั้นเมื่อเอกซเรย์ผ่านวัตถุจึงมีบางส่วนถูกดูดกลืน ซึ่งการถูกดูดกลืนของรังสีเอกซเรย์โดยวัตถุใดๆ นั้น ขึ้นกับองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการคือ ความยาวช่วงคลื่นของเอกซเรย์ ส่วนประกอบของวัตถุที่เอกซเรย์ผ่าน และความหนาหรือความแน่นทึบของวัตถุ บางส่วนทะลุออกมายังฟิล์ม ทำให้เกิดรูปภาพหรือเงา (X-ray image) ปรากฏอยู่บนฟิล์ม

ภาพเอกซเรย์มีคุณลักษณะเฉพาะแยกเป็น 2 ประการคือ radiographic density และ radiographic contrast radiographic density หมายถึงความดำของภาพ เป็นผลเนื่องจากการที่เกลือเงินบนฟิล์มที่เป็นส่วนผสมสำคัญที่ทำให้เกิดภาพทำปฏิกิริยากับแสงเอกซเรย์ ภายหลังจากนำไปล้างด้วยวิธีการทางเคมีแล้ว เกลือเงินดังกล่าวเปลี่ยนสภาพเป็นโลหะสีเงินดำ เกาะอยู่ทั้งสองด้านของฟิล์ม ส่วนเกลือเงินที่ไม่ถูกเอกซเรย์จะหลุดออกไปหมดเมื่อถูกน้ำยาคงสภาพ (fixer) ความดำของภาพนี้เอง เรียกว่า radiographic density บริเวณใดของฟิล์มได้รับเอกซเรย์มากภาพของบริเวณนั้นจะดำมาก และบริเวณใดได้รับเอกซเรย์น้อยจะดำน้อย สำหรับองค์ประกอบที่มีผลต่อความดำของภาพ ได้แก่

- 1) Kilovoltage (kV) คือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับป้อนให้เครื่องเอกซเรย์
- 2) Milliampere (mA) คือค่าของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดเอกซเรย์ที่ใช้
- 3) เวลาในการถ่าย (exposure time) คือเวลาที่ใช้ถ่ายเอกซเรย์
- 4) ระยะจากจุดโฟกัสของหลอดเอกซเรย์ถึงฟิล์ม
- 5) ความหนาของส่วนที่ตรวจ (thickness of the part)

ส่วน radiographic contrast เป็นลักษณะความแตกต่างของความดำของภาพที่เกิดจากการใช้เอกซเรย์ผ่านส่วนประกอบของเนื้อเยื่อชนิดต่างๆ ซึ่งมีความทึบหรือโครงสร้างต่างกัน เอกซเรย์ถูกดูดกลืนมากบ้างน้อยบ้าง ทำให้เกิดภาพของส่วนหรือบริเวณต่างๆของภาพที่มีความดำแตกต่างกัน ความดำที่แตกต่างกันนี้ทำให้มองเห็นเป็นภาพ และเห็นรายละเอียดของภาพได้ว่าส่วนไหนคืออะไร (ข้าवाल, 2528)

เครื่องเอกซเรย์มีอยู่หลายชนิด แต่เครื่องเอกซเรย์สมัยใหม่ที่ให้ผลการตรวจสอบที่ดีที่สุด และนิยมใช้ในการแพทย์ปัจจุบันในกรณีที่ต้องการความละเอียดของข้อมูล ได้แก่เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (X-ray Computed Tomography; X-ray CT) ซึ่งได้มีการใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์มาช่วยสร้างภาพ หลักการทำงานของ X-ray CT คือยิงเอกซเรย์ลำแคบออกไปจากหลอดเอกซเรย์ (X-ray source) แล้วให้หัววัดเอกซเรย์ (detector) ตั้งไว้ฝั่งตรงข้าม เคลื่อนหลอดเอกซเรย์ให้เอกซเรย์ลำแคบตัดผ่านไปในระนาบของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการตรวจสอบ การเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงแบบนี้ 1 ครั้ง ได้ข้อมูลความเข้มของเอกซเรย์ 1 โปรไฟล์ เมื่อการเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงครั้งแรกจบลง การเคลื่อนที่ตัดจะเริ่มขึ้นอีก แต่คราวนี้เอกซเรย์ลำแคบจะบิดเบือนไปจากเดิม 1 องศา แล้วเคลื่อนที่ตัดแบบเดิมในระนาบเดิม การเคลื่อนที่ตัดจะกระทำจนครบ 180 องศา ข้อมูลความเข้มเอกซเรย์จำนวนทั้งหมด 180 โปรไฟล์ ถูกนำไปใช้คำนวณสร้างภาพต่อไป

ภาพจาก X-ray CT ที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยเซลล์เล็กๆ ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจำนวนมากเรียงเป็นระเบียบทั้งแนวนอน และแนวตั้ง เซลล์เล็กๆ ที่กล่าวถึงนี้ เมื่อมองลงไปตั้งฉากกับระนาบของภาพแต่ละเซลล์ที่เห็นเรียกว่า pixel ถ้ามองใน 3 มิติ แต่ละเซลล์เรียกว่า voxel (มานัส, 2532) ในแต่ละ pixel ทำให้เกิดรายละเอียดของ density หรือระดับความสว่างของภาพที่ปรากฏบนจอรังสีแคโทด (Cathode-Ray; CTR) ระดับความสว่างนี้สัมพันธ์กับตัวเลขระหว่าง -1,000 ถึง +1,000 ซึ่งเรียกว่าค่า CT number หรือ Hounsfield unit (Bushong, 1988)

ภาพของเอกซเรย์สร้างจากคอมพิวเตอร์โดยแต่ละ pixel ถูกแทนด้วยค่าตัวเลข ค่าเหล่านี้เรียกว่า CT number ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่นทางกายภาพของเนื้อเยื่อ ดังสมการที่ 1

$$\text{CT number} = \left[\frac{\rho_{\text{เนื้อเยื่อ}} - \rho_{\text{น้ำ}}}{\rho_{\text{น้ำ}}} \right] \times 1,000 \quad (1)$$

โดยที่ : ρ = density

น้ำจะเป็นค่าอ้างอิงใน CT number scale และกำหนดให้มีค่าเป็น 0 เนื้อเยื่อหรือวัสดุอื่นๆ ที่หนาแน่นกว่าน้ำมีค่า CT number เป็นบวก ถ้ามีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมีค่าเป็นลบ (Sprawis, 1990)

ในทางการแพทย์ ค่า CT number เท่ากับ -1,000 หมายถึงบริเวณนั้นเป็นอากาศ ค่าเท่ากับ +1,000 หมายถึงบริเวณนั้นเป็นกระดูกที่มีความหนาแน่นมาก และค่าเท่ากับ 0 หมายถึงบริเวณนั้นเป็นน้ำ นอกจากนี้เนื้อเยื่ออื่นๆ ของร่างกายมนุษย์มีค่า CT number แตกต่างกันไปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า CT number ของเนื้อเยื่อต่างๆ ของมนุษย์

Tissue	CT number
Air	-1,000
Fat	-100
Water	0
Cerebrospinal fluid	15
White matter	46
Gray matter	43
Blood	40
Dense bone	+1,000

ที่มา : Bushong (1988)

2. การใช้เอกซเรย์ตรวจสอบคุณภาพภายในของผลิตผลเกษตร

การนำเทคนิคเอกซเรย์ทางการแพทย์มาประยุกต์ใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลเกษตร ถูกพัฒนา และศึกษาวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง Marcelis *et al.* (1995) ศึกษาวิธีตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายผลิตผลหลายวิธีการรวมทั้งการใช้เอกซเรย์เพื่อตรวจสอบคุณภาพภายในหัว radish พบว่าเอกซเรย์สามารถใช้ตรวจสอบการเกิด spongy tissue ของหัว radish ได้ดี Yantarasri and Sornsrivichai (1998) พบว่า X-ray CT สามารถตรวจสอบการเกิดลักษณะผิดปกติภายในของ ส้มสีทอง ฝรั่ง และแมคคอร์ธ ได้แก่การเกิดเนื้อฟามเป็นไต (granulation) ฟามแห้ง (dry juice sacs) หลวม (loose peel) และ sunburn ใช้ตรวจสอบคุณภาพภายในของทุเรียน และ มังคุด (Yantarasri *et al.*, 1998) นอกจากนี้สามารถใช้เทคนิค X-ray CT (120 kV 80-100 mA 2.8 sec. slice หนา 10 mm) ตรวจสอบการเข้าทำลายของแมลงวันทองได้ (Yantarasri *et al.*, 1997) เอกซเรย์สามารถใช้ตรวจสอบอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาและการเข้าทำลายของแมลงภายในผลิตผลเกษตรได้อีกหลายชนิด Diener *et al.* (1970) ใช้เอกซเรย์ตรวจแยกผลที่ซ้ำออกจากผลแอปเปิ้ลปกติ Thomas *et al.* (1993) ใช้เอกซเรย์ตรวจแยกมะม่วง Alphonso ที่เกิด spongy tissue ได้ถูกต้องถึง 97.06 % Suzuki *et al.* (1994) ใช้ X-ray CT (Toshiba-60A type, 120 kv 180 mA slice หนา 10 mm ตรงกลางผล) และค่า CT number ตรวจแยกมะละกอที่เกิดความเสียหายเนื่องจาก vapor heat treatment ออกจากมะละกอกปกติ Sonogo *et al.* (1995) ใช้ X-ray CT (GE : 80kv 40mA 25s slice หนา 10 mm) ตรวจแยกผล nectarine ที่เกิดอาการ woolly breakdown นอกจากนี้เอกซเรย์สามารถนำมาใช้ตรวจสอบความแก่ของผลิตผลเกษตร โดย Lenker and Adrain (1971) ใช้เอกซเรย์ตรวจแยกความแก่ของหัวผักกาดหอมโดยแบ่งหัว ผักกาดหอมออกเป็นหัวนิ่ม หัวแน่น และหัวแข็ง Brecht *et al.* (1991) และ Thai *et al.* (1997) ใช้ X-ray CT ตรวจแยกความแก่ของมะเขือเทศในระยะ mature green

ในทางการค้า การใช้เอกซเรย์ตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลเกษตรถูกนำมาใช้กับผลิตผลหลายชนิด ในเขตอเมริกาเหนือมีปัญหาการเกิด hollow heart ในหัวมันฝรั่งระหว่าง 5-25 % ทำให้เกิดปัญหาต่อเนื่องถึงการทำมันฝรั่งทอด เอกซเรย์ถูกนำมาใช้ตรวจแยกหัวมันฝรั่งที่เกิด hollow heart และเศษหินที่ปนมา บริษัท Sunkist Growers พัฒนาเอกซเรย์ขึ้น เพื่อใช้ตรวจแยกผลส้มที่เกิดความเสียหายเนื่องจากความเย็น (freeze damage) ได้ด้วยความเร็ว 600 ผล/นาที/ช่อง (Tollner, 1993) นอกจากนี้เอกซเรย์ถูกนำมาใช้ตรวจแยกรอยบุ๋ม (pit) ในผลเชอร์รี่ด้วยความเร็วถึง 40 ผล/วินาที/ช่อง และมีความผิดพลาดเพียง 1 ใน 28,350 ผล (Tollner *et al.*, 1993)

ทฤษฎี และประโยชน์ของเทคนิค NMR กับผลิตผลเกษตร

1. คุณสมบัติของ Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

NMR เป็นเทคนิคที่ตรวจสอบความเข้มข้นของ nuclei (protons) ของวัตถุ โดยจับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของ nuclei สามารถนำไปสร้างภาพได้ซึ่งเรียกว่าเทคนิค Magnetic Resonance Imaging (MRI) ซึ่งเป็นการสร้างภาพจากการเกิดการกำทอนแม่เหล็ก หรือการเกิดภาพกำทอนแม่เหล็กของนิวเคลียสของอะตอมที่เป็นองค์ประกอบของสาร (Morris, 1986; Chen *et al.*, 1989) เมื่อมีการส่งคลื่นแม่เหล็กเป็น radio frequency (RF) ไปกระตุ้นระบบนิวเคลียส ทำให้โปรตอนของไฮโดรเจน ที่ spin อยู่ในสนามแม่เหล็ก เบี่ยงเบนและจะปล่อยพลังงานกำทอนออกมาขณะที่คืนตัวกลับสมดุล พลังงานนี้จะถูกตรวจวัดและเปลี่ยนเป็น spectrum ที่เรียกว่า NMR spectrum ซึ่งจะบ่งบอกสถานะของ binding stage water หรือน้ำมันได้ (Chen *et al.*, 1989) เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้ในการประเมินความชื้น และปริมาณน้ำมันในธัญพืชและเมล็ดพืช สำหรับในผักและผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงหลายประการระหว่างขบวนการสุกแก่ เมื่อผลไม้แก่มากขึ้น น้ำ น้ำมัน และ/หรือ น้ำตาลมีการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้นิวเคลียสไฮโดรเจนเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยเทคนิค NMR

สัญญาณของ NMR ที่ทำให้เกิดภาพมีพื้นฐานจากความเข้มของ nuclei แต่จะมีอีกหลายตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ spin-lattice relaxation time (T1) คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานระหว่างการกระตุ้น nuclear spin และสิ่งแวดล้อม และ spin-spin relaxation time (T2) คือการลดลงแบบ exponential ภายในสัญญาณ นอกจากนี้ parameter เกี่ยวกับ interpulse delay (TR) และ echo delay (TE) สามารถเปลี่ยนแปลง Effect ของ T1 และ T2 ได้ ในผลไม้ส่วนใหญ่ค่า T1 มักมีความสัมพันธ์กับปริมาณของน้ำมัน ขณะที่ค่า T2 มักมีความสัมพันธ์กับปริมาณของน้ำ (Chen, 1996)

2. การใช้เทคนิค NMR ตรวจสอบคุณภาพภายในของผลิตผลเกษตร

ในเชิงการแพทย์ ได้มีการใช้เทคนิค NMR เพื่อตรวจสอบมะเร็ง วิเคราะห์ความปกติของเนื้อเยื่ออื่น ๆ การใช้ MRI ตรวจสอบคุณภาพในผักผลไม้ได้เริ่มวิจัยขึ้น เนื่องจาก MRI ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูงมากพอที่จะวิเคราะห์โครงสร้างภายในผลไม้โดยไม่ต้องทำลายผล Wang *et al.*, (1988) ใช้เทคนิค MRI ในการศึกษาการกระจายการเกิด water core ในแอปเปิ้ลโดยไม่ต้องผ่าผล และประเมินความสุกแก่ของมะเขือเทศ (Ishida *et al.*, 1989, Pech *et al.*, 1990; Salveit, 1991) Chen *et al.*, (1993) รายงานว่าภาพ MRI ของผลอะโวคาโดแก่ จะมีสีขาวกว่าผลอ่อน ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันในผล ภาพ MRI ยังสามารถแสดงลักษณะโพรงภายใน ซึ่งเกิดจากการทำลายของหนอน หรืออาการแห้งในผลส้ม (Chen *et al.*, 1989) และความเสียหายภายในจาก

vapor heat treatment ในผลมะม่วง (Joyce *et al.*, 1993) ผลงานวิจัยเมื่อไม่นานมานี้แสดงให้เห็นผลว่า เทคนิค NMR สามารถแสดงปริมาณน้ำตาลในแอปเปิ้ลและกล้วย (Chen, 1996) และปริมาณน้ำมันในผลอะโวคาโด (Chen *et al.*, 1993) ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถบอกข้อมูลคุณภาพภายในได้ซึ่งวิธีการอื่นไม่สามารถบอกได้โดยไม่ทำลายตัวอย่างในการวิเคราะห์

การปรับเปลี่ยน parameter ของ interpulse delay (TR) และ echo delay (TE) จะมีผลต่อภาพรายละเอียดของโครงสร้างที่ต้องการเน้นได้ เช่น high-contrast out line ของเมล็ดบริเวณที่สุกเกิน (over-ripe) และ stage ของความแก่ของผลไม้ ตัวอย่างเช่น การสแกนภาพชนิด T1 effect ของผลอะโวคาโดตามขวางด้วย TR ที่ 50 ms และ TE ที่ 15 ms จะให้ความสัมพันธ์ระหว่าง intensity ของภาพกับปริมาณน้ำมัน หากเปลี่ยนเพิ่ม TR และ TE เพิ่มขึ้นเป็น 1,000 และ 40 ms ตามลำดับ เมื่อสแกนภาพแบบ T2 effect จะให้ความสัมพันธ์ที่สูงมากระหว่าง intensity ของภาพกับปริมาณน้ำ ทำให้ได้ภาพแสดงรายละเอียดของเมล็ดในส้มโอ เนื้อดำในมะม่วงและบริเวณ soft-tissue ใน melon (Chen *et al.*, 1989; Chen, 1996)

ในการวิจัยด้าน NMR กับผลไม้ หากมีการวิจัยความสัมพันธ์ของ NMR parameter ที่วัดกับองค์ประกอบคุณภาพ (quality factors) ของผลไม้ก็สามารถนำไปพัฒนาเทคนิค NMR เพื่อคัดคุณภาพของผลผลิตที่ความเร็วสูง เช่นเทคนิคที่กำลังพัฒนาโดยทีมวิจัยที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ในการคัดคุณภาพของผลอะโวคาโด (Chen, 1996)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยแบ่งได้ 2 ส่วน ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ มังคุด และ ทูเรียน ซึ่งขั้นตอนการวิจัยแสดงไว้ในภาพที่ 1 สำหรับมังคุด ได้ศึกษาถึงลักษณะอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาภายในผล ได้แก่อาการเนื้อแก้วและยางไหลในแบบต่างๆโดยการผ่าเปิดผลเพื่อดูลักษณะอาการภายใน สำหรับการตรวจแบบไม่ทำลายใช้เทคนิคเอกซเรย์ (X-ray CT) และ MRI โดยศึกษา parameter และ วิธีการทดสอบที่เหมาะสม รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า CT number จากเทคนิคเอกซเรย์ กับคุณภาพภายในของมังคุด และภาพที่ได้จากเทคนิค MRI กับคุณภาพภายในของมังคุด

สำหรับทูเรียน ได้ศึกษาถึงการใช้ sensory test เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการแบ่งระดับความแก่ เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการคัดคุณภาพโดย การนับจำนวนวันของผลหลังดอกบาน การใช้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผล และการนับจำนวนวันที่ผลดิบใช้ในการสุก รวมทั้งการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยทดสอบทั้งทูเรียนเมื่อผลสุก และทูเรียนผลดิบ ณ วันที่เก็บเกี่ยว การใช้ sensory test รวมทั้งการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ใช้เนื้อตรงกลางพูเอกจากผลเดียวกัน ผลวิเคราะห์ที่ได้ทั้งหมดถือว่าเป็นข้อมูลของผลเดียวกัน ในส่วนนี้จะศึกษาโดยให้ทูเรียนทั้งผล กรณีการตรวจแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ และ MRI จะศึกษา parameter และวิธีการทดสอบที่เหมาะสม รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า CT number จากเทคนิคเอกซเรย์กับคุณภาพภายในของทูเรียน และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม Intensity ของภาพที่ได้จากเทคนิค MRI กับคุณภาพภายในของทูเรียน การศึกษาด้วยเทคนิคเอกซเรย์จะศึกษาใน 2 ลักษณะ กล่าวคือ ลักษณะแรก ใช้พูเอกด้านบนที่ติดกับขั้วของแต่ละระดับความแก่นำมามัดรวมขึ้นตามขวางโดยถือเป็นตัวแทนของแต่ละผล แล้วนำไปเอกซเรย์โดยให้ได้ภาพตัดขวางพร้อมกันใน 1 ภาพของแต่ละชุดที่นำมามัดรวมกันโดยมีประมาณ 5-6 ความแก่ และลักษณะที่สอง ศึกษาจากการใช้ผลทูเรียนทั้งผลมาสร้างภาพเอกซเรย์ของแต่ละผล ภาพละ 1 ผล ส่วนเทคนิค MRI จะศึกษาเฉพาะในลักษณะแรกเท่านั้น

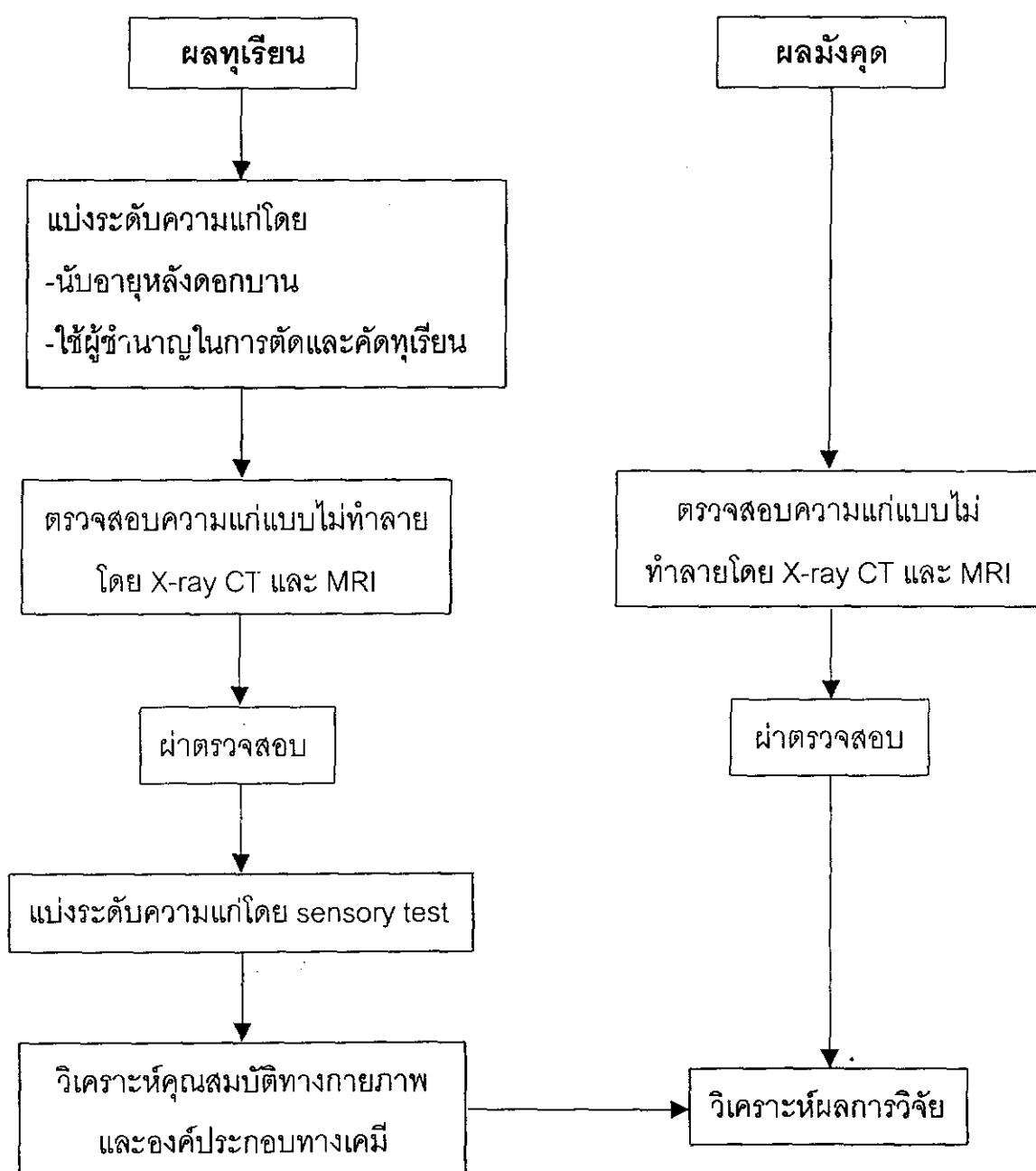
1. มังคุด

ผลมังคุดที่ใช้ศึกษาเก็บเกี่ยวจากสวนของศูนย์วิจัยพืชสวนจันทร์และได้จากร้านค้าผลไม้ในจังหวัดเชียงใหม่ในระหว่างช่วงปี 2540-2542 จำนวนทั้งหมด 500 ผล โดยคัดเลือกผลที่ไม่มี

ดำหนิและไม่มีรอยข้ำหรือแตก และมีขนาดใกล้เคียง นำผลมาทำความสะอาดแล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษ เพื่อนำไปตรวจสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ และ MRI ต่อไป

1.1 การศึกษาลักษณะอาการผิดปกติภายในผล

นำผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวได้จากศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรีมาตรวจสอบลักษณะภายนอก และผ่าผลเพื่อตรวจสอบและประเมินลักษณะอาการผิดปกติภายในผลแบบต่างๆที่พบโดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 3 คน



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวิจัยโดยสรุปของทั้งผลทุเรียน และผลมังคุด

1.2 การตรวจสอบคุณภาพภายในผล โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์

ก. การปรับค่าตัวแปรต่างๆ ในการสแกนภาพ

นำผลมังคุดมาทำเครื่องหมายบนผลทุกผล บรรจุลงในกล่องกระดาษ (ขนาด 10 x 12 นิ้ว) และ นำไปสแกนภาพให้ผ่านกึ่งกลางของผลตามแนวขวางด้วยเครื่องเอกซเรย์ โดยใช้เครื่อง Spiral Computed Tomography Scan ของบริษัท General Electric (GE) รุ่น ProSpeed SX ของ ศูนย์วินิจฉัยโรค เอ็ม.อาร์.ไอ และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ชลบุรี อำเภอมะนัง จังหวัดชลบุรี และ เครื่อง X-ray Computed Tomography ของบริษัท Shimadzu รุ่น SCT-4500 ณ ห้องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ โรงพยาบาลเชียงใหม่-ราม อำเภอมะนัง จังหวัดเชียงใหม่

การจัดการตัวแปรต่างๆในการปรับภาพเพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุดจะปรับเปลี่ยนค่า ความต่างศักย์ (kV) และกระแสหลอดเอกซเรย์ (mA) ที่ 80-120 kV และ 80-200 mA สแกนภาพ ด้วยความหนา 5 และ 10 mm และใช้เวลาในการถ่ายภาพ 2 และ 3 วินาที หลังจากนั้นนำผลมาผ่าเพื่อเปรียบเทียบลักษณะอาการของผลกับภาพเอกซเรย์ที่ได้

ข. การวินิจฉัยอาการผิดปกติภายในของมังคุดโดยใช้ภาพจากเอกซเรย์ เทียบกับ รูปแบบการเกิดอาการ

การวินิจฉัยอาการผิดปกติภายในของมังคุดจะอาศัยการสังเกตภาพที่ได้จากการทำ เอกซเรย์เปรียบเทียบกับภาพผ่าผลจริงตรวจสอบในตำแหน่งเดียวกับการทำเอกซเรย์โดยตรวจสอบ และประเมินความแตกต่างระหว่างลักษณะเนื้อของผลปกติและผลที่มีอาการผิดปกติแบบต่างๆ ได้แก่ อาการเนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล รวมทั้งรูปแบบของภาพที่ปรากฏ (image pattern) และตำแหน่งการเกิดอาการผิดปกติภายในผล

ค. การประเมินอาการผิดปกติภายในเนื้อผลมังคุดจากภาพเอกซเรย์

การประเมินอาการผิดปกติภายในเนื้อผลมังคุดจากภาพเอกซเรย์เป็นการทดสอบความ เป็นไปได้และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากการประเมินด้วยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้ว จำนวน 3 คน การประเมินภาพจากฟิล์มเอกซเรย์ จะคัดแยกผลมังคุดออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. ผลปกติ
2. ผลที่เนื้อเกิดแก้วเล็กน้อย
3. ผลที่เกิดเนื้อแก้วปานกลาง-รุนแรง หรือผลที่เกิดยางไหล หรือผลที่เกิดเนื้อแก้วร่วมกับ ยางไหล หรือผลที่เกิดเปลือกติดกลีบเนื้อ

หลังจากการประเมินลักษณะต่างๆจากฟิล์มเอกซเรย์ นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบความถูกต้องกับผลการผ่าผลมั่งคุดจริงตรวจสอบ และคิดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดแยก ดังสมการ

$$\text{ความถูกต้องในการคัดแยก (\%)} = \frac{\text{จำนวนผลเฉลี่ยที่ผู้ประเมินทั้ง 3 คนประเมินได้}}{\text{จำนวนผลทั้งหมด}} \times 100 \quad (2)$$

ง. การอ่านค่า CT number ในบริเวณที่มีอาการผิดปกติภายในเนื้อผลจากภาพเอกซเรย์

การหาค่า CT number ของภาพ ในบริเวณที่มีอาการผิดปกติภายในเนื้อผลโดยใช้โปรแกรมที่มีในเครื่องเอกซเรย์หาค่า CT number โดยใช้การตีวงกลมขนาดพื้นที่ที่ต้องการ 0.04 cm^2 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.226 cm) เท่ากันทุกจุดที่วัด

1.3 การตรวจสอบคุณภาพภายในผล โดยใช้เทคนิค MRI

นำผลมั่งคุดมาทำเครื่องหมายบนผลทุกผล บรรจุลงในกล่องกระดาษ และนำไปสแกนภาพให้ผ่านกึ่งกลางของผลตามแนวขวาง ณ ห้อง เอ็ม.อาร์.ไอ ศูนย์วินิจฉัยโรค เอ็ม.อาร์.ไอ และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ชลบุรี อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี โดยใช้เครื่องของบริษัท General Electric (GE) รุ่น VECTRA III

เทคนิค MRI นี้ ภาพที่ได้เกิดจากค่า SD ซึ่งเป็นความเข้มข้นของจำนวนนิวเคลียสของไฮโดรเจนของเนื้อเยื่อที่คลื่นแม่เหล็กผ่าน และเวลาการผ่อนคลาย spin lattice T1 (Spin-lattice relaxation Time) และ T2 (spin-spin relaxation time) การสร้างภาพที่มีความละเอียดสูงจะขึ้นอยู่กับทางเลือกเทคนิคในการกระตุ้นนิวเคลียสของเนื้อเยื่อให้เหมาะสม ซึ่งเทคนิคเหล่านี้เป็นขั้นตอนของการ scanning sequencing ซึ่งมีหลายรูปแบบด้วยซึ่งต้องการจัดการ parameter ต่าง ๆ เพื่อให้ได้คุณภาพของ NMR image ที่แยกแยะความแตกต่างของเนื้อเยื่อได้ ขณะเดียวกันโปรตรอนของไฮโดรเจนของสารประกอบต่างกันก็จะให้ NMR spectrum ที่ต่างกัน ซึ่งเป็น parameter หนึ่งที่ต้องคำนึงในการสร้างภาพ MRI

ในการวิจัยครั้งนี้จะเน้นการวัดสัญญาณที่ได้จากเนื้อจำนวน 2 ความถี่ คือความถี่ที่เน้นการตอบสนองของสัญญาณของน้ำในเนื้อมั่งคุด และความถี่ที่เน้นการตอบสนองของไขมันในเนื้อมั่งคุดเป็นหลัก โดยการปรับเปลี่ยน parameter ได้แก่ interpulse delay (TR) และ echo delay (TE) ซึ่งมีผลต่อการปรับรายละเอียดความชัดของโครงสร้างหรือความแตกต่างเฉพาะที่ต้องการเน้นได้ สัญญาณที่ตอบสนองจะนำมาสร้างเป็นภาพขาวดำในลักษณะ negative ขาวดำ ซึ่งนำมาใช้เป็นภาพเปรียบเทียบลักษณะอาการของผลกับภาพที่ได้จากการผ่าผลตรวจสอบโดยตรง

2. ทูเรียน

ผลทุเรียนที่ใช้ศึกษาเก็บเกี่ยวจากสวนของศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สวนทุเรียนในเขตอำเภอเมือง และอำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี และสวนทุเรียนในเขตอำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด ระหว่างช่วงปี 2540-2542 จำนวนทั้งหมด 257 ผล

2.1 การประเมินความแก่ของผลโดยการชิมเนื้อทุเรียน (sensory test)

เนื่องจากเกณฑ์ที่ใช้บ่งบอกความแก่ของผลทุเรียนที่ใช้ในปัจจุบันยังไม่ชัดเจน บางแห่งใช้การนับจำนวนวันที่ผลดิบใช้ในการสุกของผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว หรือได้จากการนับอายุผลหลังดอกบาน อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้หน่วยของเปอร์เซ็นต์ความแก่ ซึ่งได้จากการประสมการณของบุคคลที่มีอาชีพตัดและคัดผลทุเรียน โดยความเที่ยงของเกณฑ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อย่างไรก็ตามการชิมเนื้อ (sensory test) จะบ่งบอกคุณภาพได้ และสัมพันธ์กับความแก่ของเนื้อโดยตรง ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงนำวิธีการแบ่งระดับความแก่โดยการชิมมาใช้ ประเมินการตรวจสอบความแก่โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์และเทคนิค MRI พร้อมทั้งใช้วิธีการชิมมาประเมินความแม่นยำของเกณฑ์อื่นๆ ข้างต้นด้วย

การประเมินแบ่งระดับความแก่ของผลโดยใช้ sensory test จะเน้นที่การชิมเนื้อของทุเรียนเป็นหลัก ร่วมกับการสังเกตลักษณะของเนื้อและเมล็ด และการดมกลิ่น โดยการประเมินจะทำกับชุดการทดลองที่ปล่อยผลให้สุกก่อน และชุดการทดลองที่ชิมเนื้อผลดิบในวันเดียวกับที่สแกนภาพเอกซเรย์ และ MRI ทั้งนี้เนื่องจากการชิมเมื่อผลสุกเป็นการชิมที่ต้องรอให้ผลทุเรียนสุกก่อนจึงสามารถนำเนื้อทุเรียนมาตรวจสอบได้ แต่ในสภาพความเป็นจริงการตรวจสอบความแก่ควรกระทำเมื่อผลทุเรียนยังดิบเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ส่งออกและเกษตรกรที่ต้องการวิธีการประเมินคุณภาพเมื่อผลยังดิบอยู่

วิธีการประเมินความแก่ของผลโดยใช้การชิมผลสุก จะดัดแปลงจากเกณฑ์การวิเคราะห์คุณภาพของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองเมื่อผลสุกของศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี การประเมินใช้เกณฑ์การการชิมดังนี้คือ ความหวาน ความมัน ความเหนียวเนื้อ เส้นใยเนื้อ ความละเอียดเนื้อ และความชอบ เมื่อให้คะแนนเกณฑ์การชิมครบทุกเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินจะสรุปเป็นเปอร์เซ็นต์ความแก่ โดยกำหนดเกณฑ์ความแก่เป็น 6 ระดับตั้งแต่ 50-100% เพื่อให้สอดคล้องกับการประเมินในความแก่ในทางปฏิบัติของผู้ชำนาญในการตัดและคัดทุเรียน โดยความแก่ต่ำสุดที่ 50 % ผู้ชิมคาดคะเนว่าเป็นผลอ่อนที่ไม่สามารถสุกได้ ที่ความแก่ 60 % ยังคงเป็นผลที่แก่ไม่เต็มที่ สามารถสุกได้แต่คุณภาพไม่ดีเท่ากับผลที่แก่กว่านี้ ระดับสูงสุดที่

100 % เป็นเนื้อผลสุกรับประทานได้ นอกจากนี้แล้วจะมีการบันทึก สีเนื้อโดยสังเกตด้วยตา กลิ่น และสีผิวเมล็ดด้วย

สำหรับวิธีการประเมินความแก่ของผลโดยใช้การชิมผลขณะที่ยังไม่สุก(ดิบ) จะนำผลที่แยกแยะระดับโดยผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน ร่วมกับข้อเสนอแนะจากเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรีที่ศึกษาเกี่ยวกับทุเรียนพันธุ์หมอนทองมาประเมินการชิม โดยใช้เกณฑ์การชิมดิบดังนี้คือ ความหวาน ความมัน และความกรอบ เมื่อให้คะแนนเกณฑ์การชิมครบทุกเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นแล้ว ขั้นสุดท้ายของการประเมินจะสรุปเป็นเปอร์เซ็นต์ความแก่ของผลทุเรียนจำนวน 6 ระดับ เช่นเดียวกับการประเมินขณะผลสุก นอกจากนี้แล้วจะมีการบันทึก สีเนื้อโดยสังเกตด้วยตา กลิ่น สีผิวเมล็ด และลักษณะเนื้อภายในเมล็ด

2.2 การนำระดับความแก่ของผลที่แยกโดยวิธีการชิมเนื้อทุเรียนสุก มาประเมินเปรียบเทียบกับวิธีแยกแยะระดับความแก่แบบอื่นๆ

2.2.1 การใช้วิธีการชิมเนื้อของผลทุเรียนสุก

การใช้การชิมผลสุกเป็นวิธีการหลักเพื่อประเมินการคัดความแก่อ่อนของผล จะนำมาใช้ประเมินวิธีการแบ่งระดับความแก่วิธีการรองแบบอื่นๆ 3 วิธี คือ การนับอายุผลหลังดอกบาน การใช้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผล และการนับจำนวนวันที่ผลดิบใช้ในการสุก โดยใช้กลุ่มผู้มีการประเมินและกลุ่มผู้ได้รับการฝึกฝนเพื่อให้เกิดความชำนาญเพื่อชิมตรวจสอบจำนวน 5 คน ในการประเมินเทียบความแม่นยำของวิธีทั้ง 3 ข้างต้น

การคัดแยกความแก่ของวิธีการทั้ง 3 มีรายละเอียดดังนี้

ก. การนับอายุผลหลังดอกบาน

การเตรียมผลทุเรียนทำได้โดยทำเครื่องหมายเมื่อดอกทุเรียนบานเต็มที่จำนวน 3 ครั้งๆ ละ 100 ดอก แต่แต่ละครั้งห่างกัน 1 อาทิตย์ เพื่อจะได้ผลทุเรียนที่มีอายุต่างกัน 3 ระดับต่อการเก็บเกี่ยว 1 ครั้ง ณ วันเดียวกัน โดยกลุ่มที่ 1 เก็บเกี่ยวผลทุเรียนจากชุดที่ทำเครื่องหมายดอกครั้งที่ 1 ผลมีอายุ 111 วันหลังดอกบาน ครั้งที่ 2 ผลมีอายุ 104 วัน และครั้งที่ 3 ผลมีอายุ 97 วัน สำหรับการเก็บเกี่ยวกลุ่มที่ 2 เก็บเกี่ยวผลทุเรียนจากชุดที่ทำเครื่องหมายดอกครั้งที่ 1 ผลมีอายุ 132 วัน ครั้งที่ 2 ผลมีอายุ 125 วัน และครั้งที่ 3 ผลมีอายุ 118 วัน ซึ่งจะทำให้ได้ผลทุเรียนทั้งหมด 6 ระดับความแก่ คือผลทุเรียนที่มีอายุ 97, 104, 111, 118, 125 และ 132 วันหลังดอกบาน

ข. การนับจำนวนวันที่ผลดิบใช้ในการสุก

การเตรียมผลทุเรียนทำได้โดยนำผลทุเรียนมาปล่อยให้ผลสุกที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 24-33 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 85 %) ในการพิจารณาว่าผลใดสุกหรือไม่จะพิจารณาจาก



ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียนช่วยตรวจสอบโดยใช้การเคาะผล ตมกลิ้ง พิจารณาจาก สีผิวเปลือก และร่องหนาม เป็นหลัก

ค. การใช้ผู้ชำนาญในการตัด และคัดผลทุเรียน

การเตรียมผลทุเรียนทำได้โดยอาศัยผู้ที่มีอาชีพตัดทุเรียนแบ่งระดับความแก่ของผลทุเรียน เป็นเปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดให้ระดับความแก่สูงสุดคือความแก่ 100 % เทียบเท่ากับผลทุเรียนที่สุก บนต้น ซึ่งเป็นระดับที่มีคุณภาพสูงสุดที่ระดับความแก่น้อยกว่านี้คุณภาพจะด้อยลงจนไม่สามารถ สุกได้ที่ความแก่ต่ำกว่า 60 % การทดลองนี้ใช้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียนของศูนย์วิจัย พืชสวนจันทบุรี จำนวน 3 คน ซึ่งแต่ละคนมีประสบการณ์ในการเก็บเกี่ยวผลทุเรียนมาแล้วไม่น้อย กว่า 5 ปี สำหรับเกณฑ์ที่ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียนใช้ในการตรวจสอบ และแบ่งระดับ ความแก่ของผลทุเรียนพิจารณาจากลักษณะภายนอก ต่อไปนี้

- 1) การสังเกตสีเขียวของร่องหนาม ซึ่งจะจางลงตามความแก่ที่มากขึ้น
- 2) สังเกตความห่างของหนาม ถ้าความห่างของหนามมากขึ้นแสดงว่าผลมีความแก่ มากขึ้น
- 3) สังเกตความแห้งของปลายหนาม โดยเปรียบเทียบความแห้ง สีน้ำตาลของ ปลายหนาม รวมทั้งความอ่อน-แข็งของปลายหนาม ผลที่แก่กว่าปลายหนามจะ แห้งมากขึ้น และปลายหนามแข็งขึ้น
- 4) สังเกตความอ่อน-แข็งของก้าน และปลิง (รอยต่อระหว่างหัวผล)
- 5) การเคาะเปลือกเพื่อฟังเสียงเปรียบเทียบความแน่นระหว่างผลต่างๆ ที่จะนำมา จัดแบ่งเป็นระดับความแก่ต่างๆ

นอกจากนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจมากขึ้นจะใช้วิธีสุ่มผ่าผลทุเรียนในต้นเดียวกันเป็น ตัวอย่าง โดยผ่าผลที่มาจากดอกที่บานชุดเดียวกันซึ่งมีอายุใกล้เคียงกัน เพื่อดูสีเนื้อ สีเมล็ด และ ชิมรสชาติประกอบการตัดสินใจ ในการตัดและคัดผลทุเรียนในการทดลองนี้ สามารถแยกระดับ ความแก่ของผลทุเรียนได้ 6 ระดับ คือ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 % โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระดับที่ 1 ความแก่ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลอ่อนมาก ไม่สามารถสุกได้ตามปกติ (อายุผล หลังดอกบานโดยประมาณ น้อยกว่า 100วัน)

ระดับที่ 2 ความแก่ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลอ่อน สามารถสุกได้ แต่ใช้เวลานานมากกว่า 2 สัปดาห์ และมีรสชาติไม่ดี (อายุผลหลังดอกบานโดยประมาณ น้อยกว่า 111-117 วัน)

ระดับที่ 3 ความแก่ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลแก่ในระดับต่ำสุดที่สามารถเก็บเกี่ยวเพื่อ จำหน่ายยังตลาดต่างประเทศที่ส่งออกโดยทางเรือ สามารถสุกได้ใน 7-10 วันหลังเก็บเกี่ยว โดยมี รสชาติยอมรับได้ (อายุผลหลังดอกบานโดยประมาณ น้อยกว่า 118-124 วัน)

ระดับที่ 4 ความแก่ 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลแก่ในระดับเก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายยังตลาดภายในประเทศ หรือตลาดต่างประเทศที่ส่งออกโดยทางเครื่องบิน สามารถสุกได้ใน 4-6 วัน หลังเก็บเกี่ยว โดยมีรสชาติดี (อายุผลหลังดอกบานโดยประมาณ น้อยกว่า 125-131 วัน)

ระดับที่ 5 ความแก่ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลแก่มาก สามารถสุกได้ใน 2-3 วันหลัง เก็บเกี่ยว โดยมีรสชาติดี (อายุผลหลังดอกบานโดยประมาณ น้อยกว่า 132-138 วัน)

ระดับที่ 6 ความแก่ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลที่สุกบนต้น สามารถรับประทานได้ โดยมีรสชาติดี (อายุผลหลังดอกบานโดยประมาณ น้อยกว่า มากกว่า 140 วัน)

ผลทุเรียนทุกผล จะนำมาหาค่าประกอบทางเคมีโดยวิเคราะห์ ปริมาณ soluble solids น้ำตาลทั้งหมด คาร์โบไฮเดรต และน้ำหนักรากของเนื้อ

การหาปริมาณ soluble solids (total soluble solids : TSS) ใช้วิธีการที่ดัดแปลงมาจาก วริรา (2538) โดยปั่นเนื้อทุเรียน 1 ส่วนต่อน้ำ 3 ส่วน ด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ นำเข้าเครื่องเหวี่ยง Beckman Avanti™30 Centrifuge ความเร็ว 10,000 รอบ / นาที ที่อุณหภูมิ 10 °C นาน 10 นาที นำสารละลายส่วนที่ใสมาหาปริมาณ soluble solids โดยใช้ hand refractometer ของ ATAGO รุ่น N1 คำนวณหาปริมาณ soluble solids จากสมการที่ 3

$$\text{ปริมาณ soluble solids} = \text{soluble solids ที่อ่านได้} \times 4 \quad (3)$$

เมื่อ 4 คือค่าการเจือจาง (dilution factor)

การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugars) ทำโดยนำสารละลายส่วนที่ใสจากการหาปริมาณ soluble solids มาหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี colorimetric phenol (Dubois et al., 1956) ดังรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี phenol reaction (Gerhardt et al., 1981) ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ก โดยนำสารละลายส่วนที่ใสจากการหาปริมาณ soluble solids มาหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

การหาน้ำหนักรากของเนื้อใช้วิธีการที่ดัดแปลงมาจาก สุดารัตน์ (2536) โดยชั่งเนื้อทุเรียน 20 กรัม นำไปอบในตู้อบความร้อนของ HEAEUS ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักรากจนได้น้ำหนักคงที่

2.2.2 การใช้วิธีการชิมเนื้อของผลทุเรียนดิบ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การชิมเนื้อทุเรียนดิบ เพื่อประเมินวิธีการแบ่งระดับความแก่ของผลทุเรียนทั้งผล 2 วิธี คือ

1. การนับอายุผลหลังดอกบาน
2. การใช้ผู้ชำนาญในการตัด และคัดผลทุเรียน

รวมทั้งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งวิธีการเตรียมผลทุเรียนในแต่ละวิธีสามารถทำได้โดยใช้วิธีการเดียวกับผลทุเรียนสุก ต่างกันเพียงแต่นำผลมาตรวจสอบ ณ วันที่เก็บเกี่ยวโดยไม่ต้องรอจนผลสุก

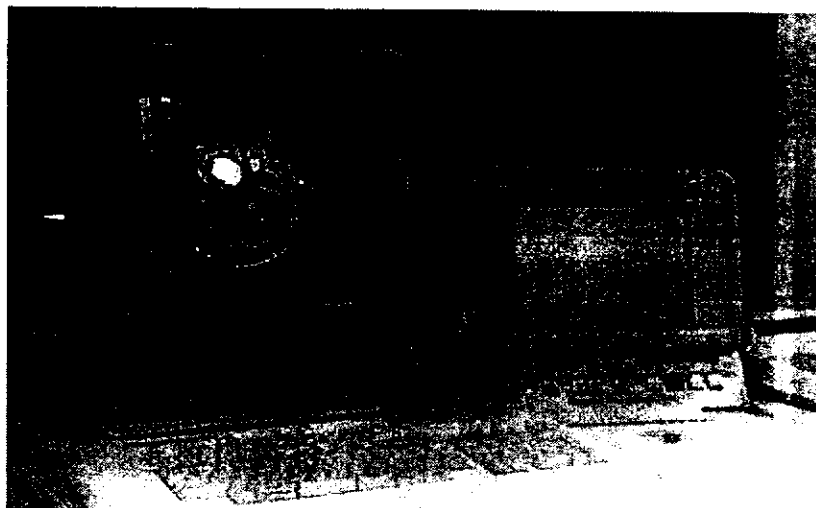
ผลของการแยกระดับความแก่โดยการชิมทั้งผลสุก และดิบ จะนำมาหาค่าความสัมพันธ์กับค่า CT number จากเทคนิคเอกซเรย์ และค่า intensity จากเทคนิค MRI รวมทั้งหาค่าความสัมพันธ์กับการประเมินความแก่ทั้ง 3 วิธี สำหรับผลสุก และ 2 วิธี สำหรับผลดิบ และสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

2.3 การตรวจสอบความแก่อ่อนของผล โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์

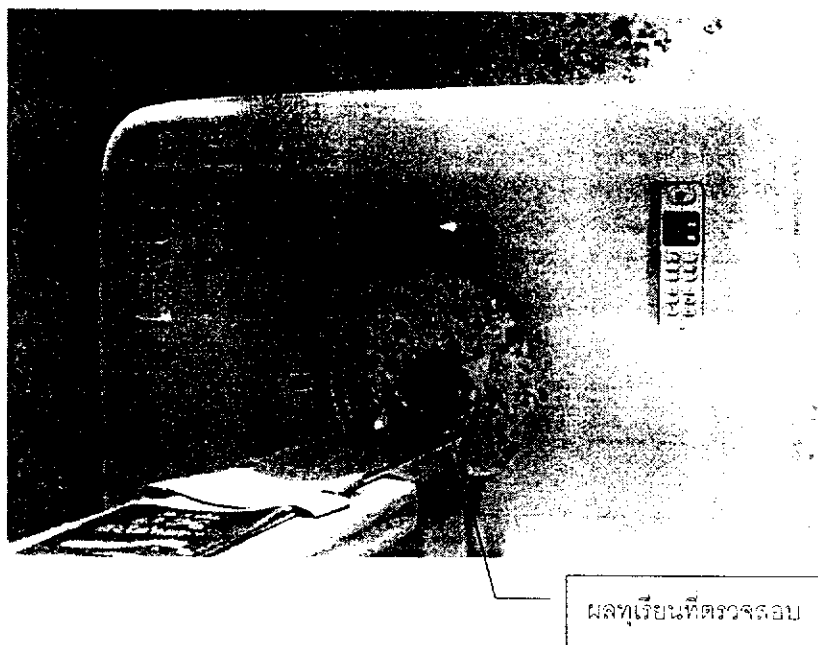
ก. การปรับค่าตัวแปรต่างๆ ในการสแกนภาพ

ในขั้นต้นเนื่องจากยังไม่ทราบว่าการสแกนภาพต่างครั้งกัน มีผลต่อความแตกต่างของภาพที่ได้หรือไม่ ดังนั้นจึงนำชิ้นส่วนของทุเรียนด้านบนที่ติดกับขั้วของแต่ละระดับความแก่มาวัดรวมขึ้นตามขวางแล้วเอกซเรย์ เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของภาพในการทำเอกซเรย์จากการตัดภาพ 1 ครั้ง ซึ่งต่อมาในการทดลองทุกครั้งจะนำผลทุเรียนทั้งผลมาตรวจสอบเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง โดยนำผลทุเรียนมาทำเครื่องหมายบนผลทุเรียน นำไปสแกนภาพให้ผ่านกึ่งกลางของผลตามแนวขวางและแนวยาว ณ ห้องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ศูนย์วิจัยโรค เอ็ม.อาร์.ไอ และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ชลบุรี อำเภอมะเมือง จังหวัดชลบุรี ด้วยเครื่อง Spiral Computed Tomography Scan ของบริษัท General Electric (GE) รุ่น ProSpeed SX (ภาพที่ 2) โดยเครื่อง X-ray CT มีหลักการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3

การจัดการตัวแปรต่างๆ ในการปรับภาพเพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุดจะปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ (kV) และกระแสหลอดเอกซเรย์ (mA) ที่ 80-160 kV และ 80-200 mA สแกนภาพด้วยความหนา 5 และ 10 mm และใช้เวลาในการถ่ายภาพ 3 วินาที

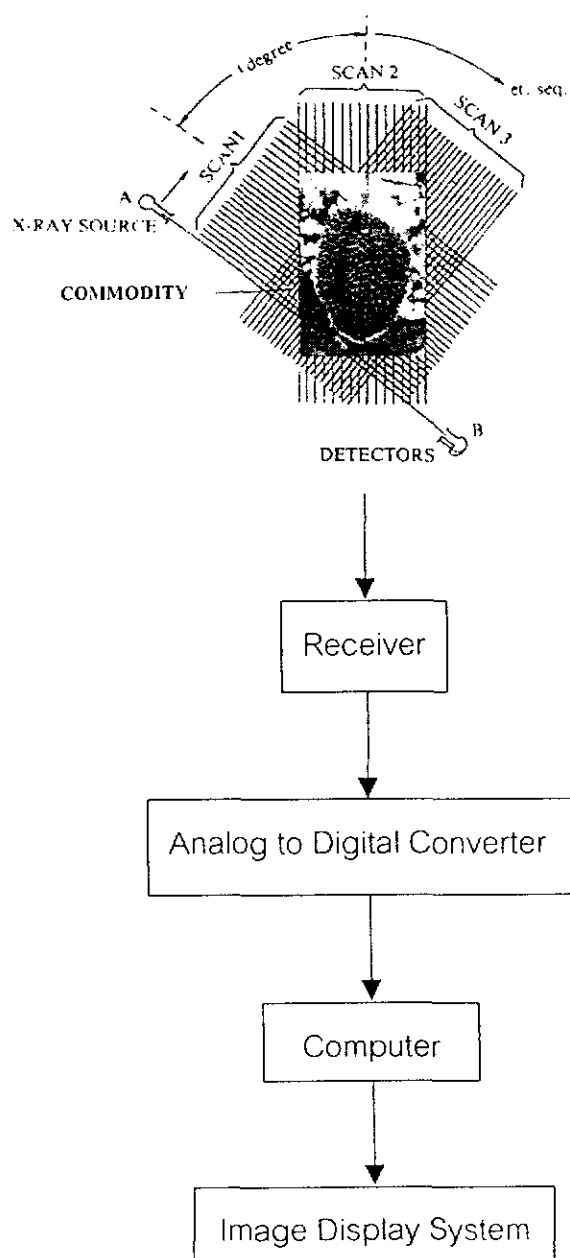


(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 เครื่อง Spiral Computed Tomography สแกน ของ GE รุ่น ProSpeed SX
 โดยที่ (ก) หน่วยคอมพิวเตอร์ และหน่วยแสดงผลจากการทำเอกซเรย์
 (ข) หน่วยสแกนเนอร์ของเครื่อง ซึ่งใช้ Body coil สำหรับวางผลทุเรียน



ภาพที่ 3 หลักการทำงานของเครื่อง X-ray CT

ข. การวินิจฉัยระดับความแก่ของผลทุเรียนโดยใช้ภาพจากเอกซเรย์

การประเมินภาพที่ได้จากการทำเอกซเรย์อาศัยการสังเกตภาพที่ได้จากการทำเอกซเรย์ที่มีความแก่ของผลแตกต่างกัน โดยตรวจสอบและประเมินความแตกต่างระหว่างลักษณะเนื้อ และความสว่าง-มืด (contrast) ของภาพที่ปรากฏ

ค. การอ่านค่า CT number ในบริเวณเนื้อผลที่มีความแตกต่างกัน

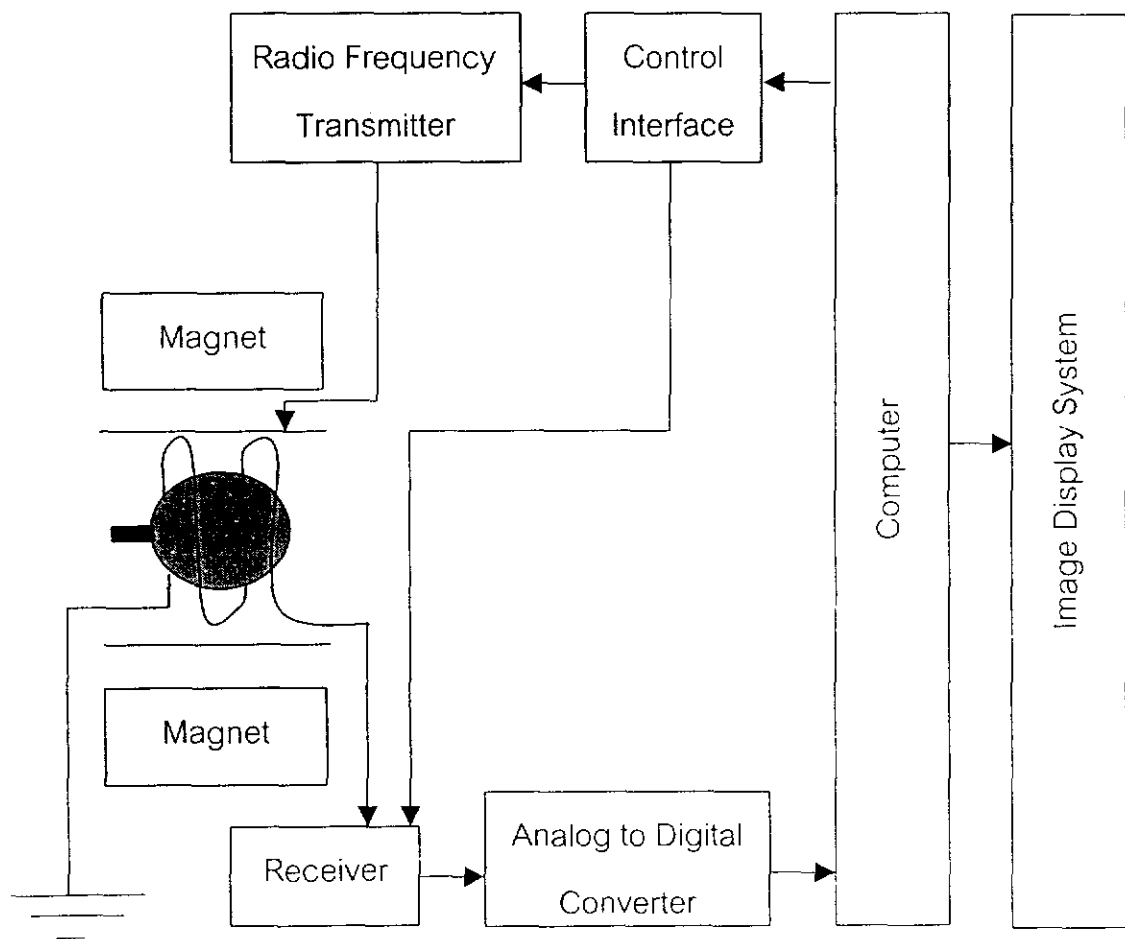
การอ่านค่า CT number ใช้โปรแกรมที่มีในเครื่อง X-ray CT หาค่า CT number ของภาพที่ได้จากการทำเอกซเรย์ การหาค่า CT number ใช้การตีเส้นแบบอิสระล้อมรอบบริเวณเนื้อทั้งหมดที่ต้องการหาค่า CT number โดยพยายามเลี้ยงไม่ให้ติดส่วนที่เป็นเมล็ด

การทำเอกซเรย์ผลทุเรียนทำเมื่อผลทุเรียนดิบ (ณ วันที่เก็บเกี่ยว) แต่เนื่องจากการชิมเนื้อทุเรียนได้ทำทั้งขณะผลสุก และผลดิบ ดังนั้นจึงนำการชิมทั้งเมื่อผลสุก และผลดิบ มาหาความสัมพันธ์กับค่า CT number ณ วันที่เก็บเกี่ยว เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ที่ได้กับวิธีประเมินความแก่แบบอื่นๆ นำค่า CT number ที่ได้จากการทดลองไปจัดแบ่งกลุ่ม เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการนำค่า CT number ไปใช้ในทางปฏิบัติในโอกาสต่อไป

2.4 การตรวจสอบคุณภาพภายในผล โดยใช้เทคนิค MRI

นำชิ้นส่วนของพูเอกด้านบนที่ติดกับหัวของแต่ละระดับความแก่มาตัดรวมขึ้นตามขวาง แล้วนำไปทำ MRI เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของภาพจากการสแกนภาพ 1 ครั้ง การสแกนภาพจะพยายามให้ผ่านกึ่งกลางของชิ้นทุเรียนที่มัดไว้ให้มากที่สุด การทำวิจัยจะใช้ห้อง เอ็ม.อาร์.ไอ. ของศูนย์วิจัยโรค เอ็ม.อาร์.ไอ. และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ชลบุรี อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี โดยใช้เครื่องของบริษัท General Electric (GE) รุ่น VECTRA III โดยเครื่อง MRI มีหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 4

การทดลองในส่วนของผลทุเรียนจะคล้ายคลึงกับการทดลองในผลมังคุด โดยในการวิจัยครั้งนี้จะเน้นการวัดสัญญาณที่ได้จากเนื้อจำนวน 2 ความถี่ คือความถี่ที่เน้นการตอบสนองของสัญญาณของน้ำในเนื้อทุเรียนและความถี่ที่เน้นการตอบสนองของไขมันในเนื้อทุเรียนเป็นหลัก โดยการปรับเปลี่ยน parameter ได้แก่ interpulse delay (TR) และ echo delay (TE) ซึ่งมีผลต่อการปรับรายละเอียดความชัดของโครงสร้างหรือความแตกต่างเฉพาะที่ต้องการเน้นได้ สัญญาณที่ตอบสนองจะนำมาสร้างเป็นภาพในลักษณะ negative ขาวดำ ซึ่งนำมาใช้เป็นภาพเปรียบเทียบลักษณะอาการของผลกับภาพที่ได้จากการผ่าผลตรวจสอบต่อไป



ภาพที่ 4 หลักการทำงานของเครื่อง MRI

บทที่ 4

ผล และวิจารณ์ผลการวิจัย

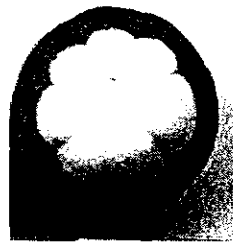
การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการตรวจสอบคุณภาพภายในแบบไม่ทำลายด้วย เทคนิคเอกซเรย์ (X-ray CT) และ MRI โดยวิเคราะห์จากภาพที่สแกนได้ ในรูปแบบของค่า CT number จากเทคนิคเอกซเรย์ และความดำขาว (intensity) จากเทคนิค MRI บริเวณตำแหน่งของผลที่สนใจ เช่น บริเวณที่เกิดเนื้อแก้วของผลมังคุด บริเวณเนื้ออ่อน-แก่ของผลทุเรียน ส่วนที่ 2 คือการตรวจสอบคุณภาพแบบทำลายด้วยเทคนิคการชิมโดย panelist และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์หาความสำคัญของความสัมพันธ์เชิงสถิติ

1. มังคุด

1.1 การศึกษาลักษณะอาการผิดปกติภายในผล

การผ่าผลเพื่อประเมินลักษณะอาการผิดปกติภายในทางสรีรวิทยาของผลมังคุด ได้แก่ อาการเนื้อแก้ว และยางไหล สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามลักษณะภายในได้ 6 ลักษณะ (ภาพที่ 5) ดังนี้

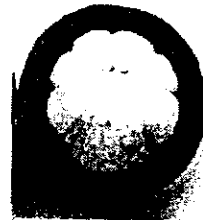
1. กลุ่มเนื้อปกติ (ภาพที่ 5ก)
2. กลุ่มเนื้อแก้วเล็กน้อย (มีอาการเนื้อแก้วร้อยละ 1 - 25 ของพื้นที่ผล ; ภาพที่ 5ข)
3. กลุ่มเนื้อแก้วปานกลาง (มีอาการเนื้อแก้วร้อยละ 26 - 50 ของพื้นที่ผล ; ภาพที่ 5ค)
4. กลุ่มเนื้อแก้วรุนแรง (มีอาการเนื้อแก้วมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ผล ; ภาพที่ 5ง)
5. กลุ่มยางไหลภายในผล (ภาพที่ 5จ)
6. กลุ่มมีอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลภายในผล (ภาพที่ 5ฉ)



เนื้อมาก



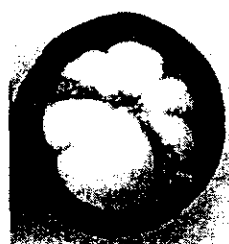
เนื้อแก้วเล็กน้อย



เนื้อแก้วปานกลาง



เนื้อแก้วรุนแรง



ยางไหล



เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล

ภาพที่ 5 ลักษณะของมังคุดเนื้อมาก (ก), เนื้อแก้วเล็กน้อย (ข), เนื้อแก้วปานกลาง (ค), เนื้อแก้วรุนแรง (ง), ยางไหล (จ) และ เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล (ฉ)

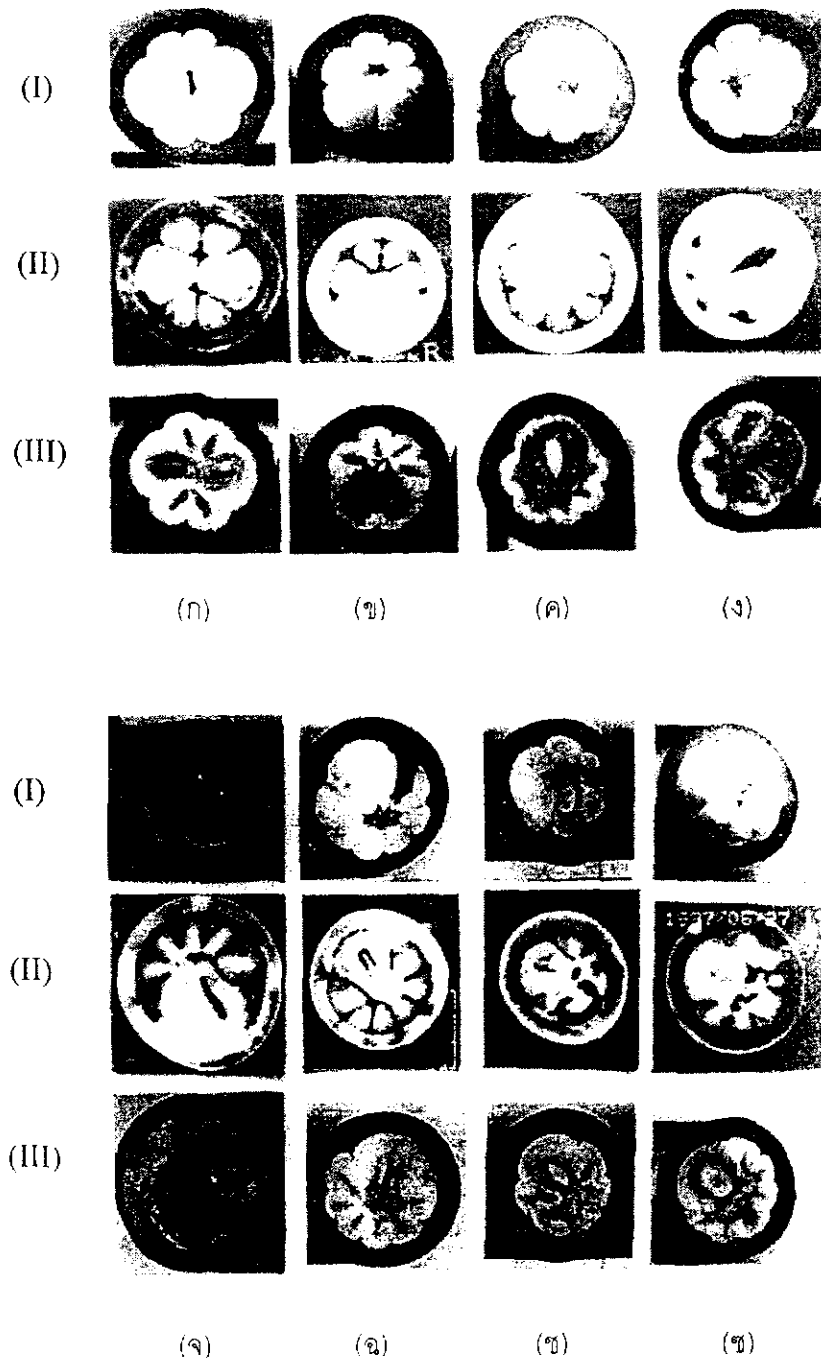
1.2 การตรวจสอบคุณภาพภายในผล โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์

ก. การปรับค่าตัวแปรต่างๆ ในการสแกนภาพ

การศึกษาค่าใช้ parameter ต่างๆ ของเครื่องเอกซเรย์เพื่อให้ได้ภาพสแกนที่แสดงอาการผิดปกติภายในที่ชัดเจน พบว่า parameter ที่เหมาะสมที่สุดคือที่ 120kV 200mA 3.0sec โดยความหนาของ slice image เท่ากับ 5mm

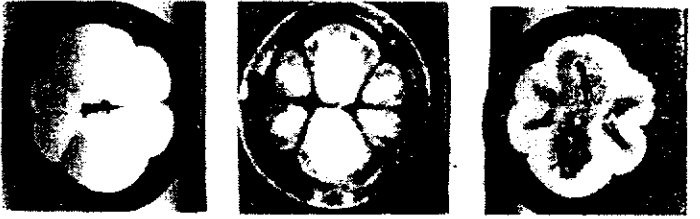
ข. การวินิจฉัยอาการผิดปกติภายในของมังคุดโดยใช้ภาพจากเอกซเรย์ เทียบกับรูปแบบการเกิดอาการ

ผลการวิเคราะห์ภาพเอกซเรย์ของผลมังคุดเนื้อมาก และผลที่คาดว่าจะมีอาการผิดปกติภายใน เปรียบเทียบกับการผ่าผลตรวจสอบ พบว่าภาพจากเอกซเรย์สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างลักษณะเนื้อมาก เนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล ทำให้ทราบลักษณะอาการผิดปกติภายในผลแบบต่างๆ ได้ชัดเจน (ภาพที่ 6) ตลอดจนสามารถแยกแยะรูปแบบของภาพที่ปรากฏ (image pattern) ทำให้สามารถวินิจฉัยอาการผิดปกติจากภาพเอกซเรย์ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏในภาพเอกซเรย์สามารถนำมาประมวลเป็นเกณฑ์ในการวินิจฉัยอาการผิดปกติแบบต่างๆ และระดับความรุนแรงของอาการได้ ดังนี้



ภาพที่ 6 ภาพของมังคุดที่มีลักษณะต่างๆ เมื่อเปิดเปลือกผล (I), ภาพเอกซเรย์ ที่ได้ (II), ภาพตัดขวางของผลมังคุด (III) โดยลักษณะเนื้อปกติที่มีน้ำในเปลือกปกติ (ก), เนื้อปกติที่มีน้ำในเปลือกมาก (ข), เนื้อแก้ว (ค), เนื้อแก้วรุนแรง (ง), เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล (จ), ยางไหลที่รอยต่อของเปลือกกับเนื้อผล (ฉ), ยางไหลในเนื้อผลที่มีโพรงอากาศ (ช), และ ยางไหลในไส้กลางผล (ซ)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการวินิจฉัยอาการผิดปกติภายในผลมะม่วงจากภาพเอกซเรย์

รูปแบบที่ Pattern	รูปแบบของภาพ Image Pattern	อาการผิดปกติ และ ความรุนแรง Disorder Symptom and Severity
1	เนื้อผลแต่ละกลีบแยกกันชัดเจน เนื้อส่วนนอกแต่ละกลีบในทุกๆกลีบปรากฏเป็นพื้นสีขาวเทาล้อมเนื้อส่วนในที่มีสีขาวกว่า และเนื้อส่วนนอกแต่ละกลีบอิสระไม่เชื่อมติดกับส่วนของเปลือกผล	เนื้อผลปกติทั้งผล 
2	เนื้อผลกลีบใหญ่มีส่วนสีขาวเชื่อมกับส่วนของเปลือกผลเพียงตำแหน่งเดียว ในขณะที่กลีบอื่นๆแยกเป็นอิสระจากส่วนเปลือก และเนื้อส่วนนอกปรากฏเป็นบริเวณสีเทาชัดเจนล้อมเนื้อส่วนในที่มีสีขาว	เนื้อแก้วเฉพาะกลีบใหญ่ ส่วนกลีบอื่นๆเป็นปกติ (อาจยอมรับเป็นผลปกติได้) 
3	กลีบใหญ่ และกลีบที่ขนาดข้างทั้งสองมีส่วนสีขาวเชื่อมกันเองเป็นบริเวณกว้าง และเชื่อมกับเปลือกผล	เนื้อแก้ว หรือเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลในเนื้อผลกลีบใหญ่ และกลีบที่ขนาดข้าง 

ตารางที่ 2 (ต่อ) ตัวอย่างการวินิจฉัยอาการผิดปกติภายในผลมังคุดจากภาพเอกซเรย์

รูปแบบที่ Pattern	รูปแบบของภาพ Image Pattern	อาการผิดปกติ และความรุนแรง Disorder Symptom and Severity
4	เปลือก และเนื้อผลมีสีขาวสว่างทั้งผล	เนื้อผลทุกกลีบเป็นเนื้อแก้ว หรือเนื้อแก้วที่มียางไหลทั้งผล ร่วมด้วย
		  
5	เนื้อผลยุบรวมกันไม่เป็นรูปร่างกลีบ และเนื้อผลมีสีขาวเชื่อมกับเปลือกในตำแหน่งกว้าง โดยที่ปรากฏบริเวณสีดำแทรกในพื้นที่สีขาวที่เชื่อมกัน	เนื้อผลเน่าเสียทั้งผล
		  
6	กลีบเล็กเชื่อมกันโดยกลีบใหญ่ไม่เป็น	ยางไหล หรือเปลือกติดเนื้อเฉพาะตำแหน่งที่มีการเชื่อมกับเปลือกผล
		  

1. ผลปกติ เนื้อผลแต่ละกลีบแยกกันชัดเจน เนื้อส่วนนอกแต่ละกลีบในทุกๆ กลีบปรากฏเป็นพื้นสีขาวเทาล้อมรอบเนื้อส่วนในที่มีสีขาวกว่า และเนื้อส่วนนอกแต่ละกลีบแยกอิสระไม่เชื่อมติดกับส่วนของเปลือกผล ในขณะที่เปลือกของเนื้อผลปกติที่มีน้ำในเปลือกในระดับปกติ จะเห็นเปลือกผลเป็นสีเทาดำ (ภาพที่ 6ก) แต่ผลปกติที่มีน้ำส่วนเกินซึมอยู่ในเปลือกมาก ในบริเวณของเปลือกผลนั้นเห็นเป็นสีขาวโดยตลอด และปรากฏแถบสีเทาอ่อนโดยรอบกลีบเนื้อทุกกลีบ และยังเห็นรอยแบ่งระหว่างเนื้อกับเปลือกได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 6ข)

2. ผลที่เกิดเนื้อแก้ว ผลที่เป็นเนื้อแก้วเพียงบางส่วน ในกลีบที่เป็นเนื้อแก้วนั้นมีรอยสีขาวสว่างโดยไม่เห็นทั้งรอยกลีบและรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกในบริเวณที่เป็นเนื้อแก้ว ในบริเวณเปลือกที่ติดกับเนื้อแก้วปรากฏให้เห็นเป็นแถบสีขาวเล็กๆ ที่คมชัดและสม่ำเสมอตลอดแนวของกลีบที่เป็นเนื้อแก้ว (ภาพที่ 6ค) แต่ถ้ามีอาการเนื้อแก้วรุนแรง พบว่าภาพที่เอกซเรย์ได้แสดงให้เห็นส่วนของเนื้อและเปลือกเป็นสีขาวทั้งผลและไม่เห็นขอบเขตของเนื้อกับเปลือกของผล มังคุดอย่างชัดเจน (ภาพที่ 6ง)

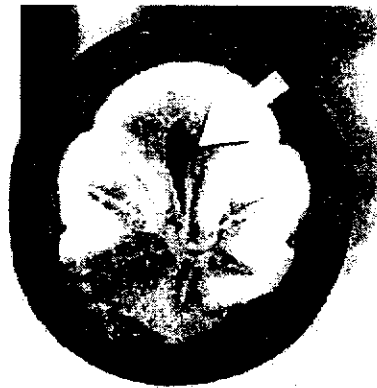
3. ผลที่เกิดเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล บริเวณที่เป็นเนื้อแก้วเป็นสีขาวสว่าง และเนื้อแก้วในส่วนที่ติดกับเปลือกผลนั้น ปรากฏให้เห็นเป็นรอยซึมเปื้อนสีขาวขอบไม่เรียบอย่างชัดเจน แต่ในด้านที่มียางไหลในเนื้อผลจะเห็นเป็นจุดใสสว่างภายในเนื้อบริเวณนั้น แต่ไม่ค่อยชัดเจนนัก (ภาพที่ 6จ)

4. ผลที่เกิดยางไหล การเกิดอาการยางไหลในเนื้อมังคุดสามารถเกิดได้หลายแบบ คือ ยางไหลติดเปลือก ยางไหลในเนื้อผล และยางไหลในไส้กลางผล โดยผลที่มีอาการยางไหลติดเปลือกมักจะเป็นผลที่มีอาการยางไหลไม่รุนแรงมากนัก ซึ่งจะเห็นเป็นรอยหยดสีขาวเปื้อนอยู่ทั่วไปตามรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกผลมังคุด ทำให้ไม่เห็นรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกในบริเวณที่มีรอยหยดนั้นได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 6ฉ) ในกรณีที่เป็นยางไหลในเนื้อ พบว่าบริเวณที่มียางไหลซึมเข้าไปในเนื้อนั้น ถ้าเกิดอาการยางไหลในเนื้อปกติ หรือไหลซึมเข้าไปในเนื้อแก้ว พบว่าภาพเอกซเรย์ ที่ได้ปรากฏเป็นรอยเปื้อนสีขาวในบริเวณนั้น แต่ถ้ายางไหลเข้าไปในเนื้อปกติที่มีโพรงอากาศแทรกอยู่ ภาพในบริเวณนั้นแสดงให้เห็นเป็นช่องสีดำ (ภาพที่ 6ซ) และในกรณีที่มียางไหลในไส้กลางผล จะเห็นเป็นจุดสีดำในไส้กลางผลเช่นกัน (ภาพที่ 6ช)

นอกจากนี้ในเมล็ดของผลมังคุดที่ฝ่อและยุบตัวไป และเกิดโพรงอากาศขึ้นในกลีบเนื้อของมังคุด ภาพเอกซเรย์สามารถแสดงให้เห็นโพรงสีดำซึ่งมีอากาศอยู่ภายในอย่างชัดเจน (ภาพที่ 7) คล้ายกับการศึกษาผล peach ที่มีไส้ผลแตก (split - pit) ซึ่งพบว่าช่องว่างระหว่างเมล็ดที่แตกแยกออกจากกันนั้นเป็นโพรงอากาศที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ ปรากฏภาพเป็นสีดำในบริเวณดังกล่าวเช่นเดียวกัน (Han et al., 1992)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 ลักษณะไฟโรคอากาศในเนื้อผลมังคุดที่เกิดจากเมล็ดที่ผ่อและยุบไป; ภาพเอกซเรย์ (ก) และเมื่อตัดผลตามขวาง (ข)

ลักษณะภาพเอกซเรย์ของเนื้อผลปกติปรากฏเป็นสีเทาอ่อนให้เห็นรอยแบ่งระหว่างเนื้อกับเปลือกอย่างชัดเจน อาจเนื่องจากเนื้อของมังคุดเป็นเซลล์พวก parenchyma ที่มีอากาศแทรกอยู่มากในบริเวณรอยต่อระหว่างเปลือกกับเนื้อจึงมีลักษณะฟูนุ่ม และมีความหนาแน่นต่ำ เมื่อผ่านการฉายด้วยเอกซเรย์เพื่อตรวจสอบ เนื้อของมังคุดในบริเวณนั้นสามารถดูดกลืนรังสีได้น้อย ภาพที่ปรากฏจะเป็นสีเทา สอดคล้องกับภาพเอกซเรย์ของผล nectarine ซึ่งเนื้อปกติมีส่วนประกอบของอากาศอยู่ในเนื้ออย่างสม่ำเสมอจึงดูดกลืนรังสีได้น้อยและให้ภาพเป็นสีเทาอ่อนอย่างสม่ำเสมอในเนื้อผล (Sonego *et al.*, 1995) ในขณะที่รอยสีขาวที่เห็นในบริเวณที่เป็นเนื้อปกติ (บริเวณที่ใสและนุ่ม) อาจมาเนื่องจากเนื้อเยื่อในบริเวณนี้มีน้ำอยู่มาก จึงดูดกลืนรังสีได้มากกว่า

สำหรับบริเวณของเนื้อมังคุดที่มีอาการเนื้อแฉะปรากฏเป็นสีขาวสว่างในภาพเอกซเรย์ เนื่องจากเนื้อเยื่อของมังคุดมีน้ำอยู่มาก ซึ่งมีผลทำให้เนื้อเยื่อในบริเวณนั้นจะเปลี่ยนสภาพจากเนื้อที่ใสและอ่อนนุ่ม ไปเป็นเนื้อใสที่แข็งกรอบ และมีเพคตินสูงกว่าปกติ จึงมีความหนาแน่นเนื้อสูงกว่าปกติถึง 3 เท่า (วรภัทร, 2539ข) ปริมาณน้ำที่มีมากขึ้นในเนื้อผลมังคุดนั้น สามารถดูดกลืนรังสีได้มาก ทำให้ได้ภาพในบริเวณนั้นเป็นสีขาวสว่างกว่าบริเวณที่เป็นเนื้อปกติใส

บริเวณที่เป็นเนื้อแฉะร่วมกับยางไหลในภาพจะปรากฏเป็นสีขาวสว่างมากขึ้นมากกว่าบริเวณที่เกิดเนื้อแฉะเพียงอย่างเดียว อาจเนื่องมาจากน้ำยาง (latex) ที่ไหลซึมในเนื้อแฉะนั้นเกาะประสานผนังเซลล์ที่เป็นเนื้อแฉะเข้าด้วยกันจึงทำให้เนื้อแฉะบริเวณนั้นมีความหนาแน่นแข็งสูงชันกว่าบริเวณที่เป็นเนื้อแฉะเพียงอย่างเดียว จึงดูดกลืนรังสีได้มากกว่า

สำหรับผลที่เป็นยางไหลนั้นถ้าหากมียางไหลในเปลือก ภาพเอกซเรย์ที่ได้ปรากฏเป็นสีขาวสว่างอาจเนื่องมาจากน้ำยางเกิดการตกผลึกและเกาะกับเซลล์ที่มีส่วนประกอบของลิกนิน

(ธนัชชัย, 2534) เข้าด้วยกันทำให้เกิดเปลือกแข็งเฉพาะที่ขึ้นเป็นจุดๆ ถ้ามียางไหลซึมเข้าไปในรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือก น้ำยางอาจเกาะประสานเซลล์ของเนื้อกับเปลือกเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดอาการยางไหลติดเปลือกและทำให้แกะเปลือกกับเนื้อออกจากกันได้ยาก

ค. การประเมินอาการผิดปกติภายในเนื้อผลมังคุดจากภาพเอกซเรย์

ในการทดสอบความเป็นไปได้ของการประเมินความถูกต้องในการคัดแยกคุณภาพจากภาพเอกซเรย์ โดยแยกผลมังคุดออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ เพียง 3 ลักษณะ คือ 1. ผลปกติ 2. ผลที่เกิดเนื้อแก้วเล็กน้อย และ 3. ผลที่เกิดเนื้อแก้วปานกลาง-รุนแรง หรือผลที่เกิดยางไหล หรือผลที่เกิดเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล หรือผลที่เกิดเปลือกติดกลีบเนื้อ โดยเปรียบเทียบจำนวนผลที่ประเมินได้กับจำนวนผลทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดแยก (ตารางที่ 3) จากการศึกษาพบว่าเมื่อทดลองประเมินอย่างง่าย ๆ ในครั้งแรก สามารถคัดแยกผลมังคุดลักษณะที่ 1 คือผลปกติได้ถูกต้อง 73.7 % คัดผลลักษณะที่ 3 ได้ถูกต้อง 51 % และลักษณะที่ 2 ได้ถูกต้องเพียง 29 % ความผิดพลาดพบมากในลักษณะที่ 2 และ 3 ซึ่งเกิดจากการขาดประสบการณ์ของผู้ประเมิน แต่คาดว่าสามารถลดความผิดพลาดได้เมื่อมีประสบการณ์เพิ่มขึ้น รวมทั้งการพัฒนาเทคนิค image processing เข้ามาช่วยแทนการประเมินด้วยตา

ตารางที่ 3 ความถูกต้องของการประเมินอาการผิดปกติภายในเนื้อผลมังคุด จากภาพเอกซเรย์

ลักษณะผลที่ประเมิน	จำนวนผลเฉลี่ยที่ประเมินได้/จำนวนผลทั้งหมดจากผู้ประเมิน 3 คน	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
1 ^{a/}	28/38	73.7
2 ^{b/}	7/24	29.2
3 ^{c/}	25/49	51.0
รวม	60/111	54.1

^{a/} ประเมินว่าเป็นผลปกติ

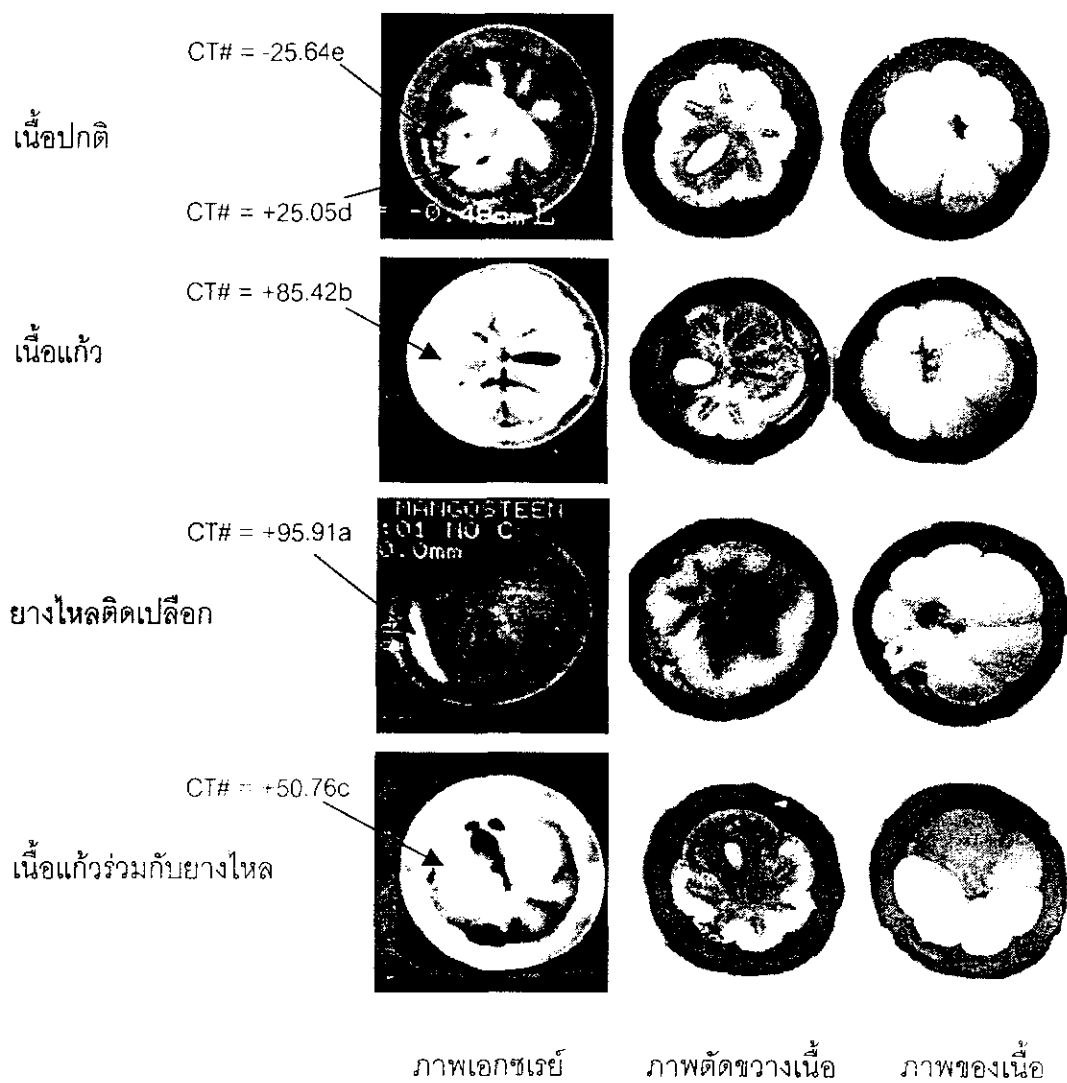
^{b/} ประเมินว่าเป็นผลที่เกิดอาการเนื้อแก้วเล็กน้อย

^{c/} ประเมินว่าเป็นผลที่เกิดอาการเนื้อแก้วปานกลาง-รุนแรง หรือผลที่เกิดยางไหล หรือผลที่เกิดเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล หรือผลที่เกิดเปลือกติดกลีบเนื้อ

ง. การอ่านค่า CT number ในบริเวณที่มีอาการผิดปกติภายในเนื้อผลจากภาพเอกซเรย์

เมื่อนำค่า CT number จากภาพเอกซเรย์ คำนวณโดยโปรแกรมของเครื่องเอกซเรย์ในพื้นที่วงกลม 0.04 cm^2 (diameter 0.226 cm) ในบริเวณที่มีลักษณะปกติสีเทา เนื้อปกติใส เนื้อแก้ว ยางไหลติดเปลือก และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล (ภาพที่ 8) มาเปรียบเทียบกับลักษณะเนื้อผลจริงที่บริเวณเดียวกันของผล พบว่าค่า CT number ของทุกลักษณะอาการมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยของเนื้อปกติ ซึ่งปรากฏเป็นสีเทาในภาพ มีค่าต่ำกว่าทุกๆ ลักษณะ โดยมีค่าเป็น -25.64 รองลงมา คือ เนื้อปกติใส เนื้อแก้ว เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และยางไหลติดเปลือก โดยมีค่าของ CT number เฉลี่ยเป็น +25.05, +50.76, +85.42 และ +95.91 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ค่า CT number ของลักษณะเนื้อแบบต่างๆ ที่มีค่าแตกต่างกันนี้เป็นผลเนื่องจากเนื้อเยื่อที่มีองค์ประกอบของน้ำ อากาศ รวมทั้งยางที่ต่างกัน แสดงถึงค่า attenuation coefficient ที่ต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืน photon ของเอกซเรย์ที่ฉายมาได้แตกต่างกัน

การอ่านค่าของ CT number ในบริเวณนั้นๆ สามารถบ่งชี้ได้ว่าบริเวณดังกล่าวมีอาการลักษณะใด ค่า CT number ในบริเวณที่มีอาการของแต่ละลักษณะมีค่าที่แตกต่างกันโดยเนื้อปกติสีเทานั้นให้ค่าติดลบ อาจเนื่องจากเนื้อเยื่อในบริเวณดังกล่าวเกาะกันอยู่อย่างหลวมๆ และมีลักษณะเป็นสีขาวฟูพุ่มเพราะมีอากาศแทรกอยู่โดยทั่วไป จึงมีความหนาแน่นต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ และมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีเอกซเรย์ได้น้อยทำให้ได้ค่าติดลบ ในเนื้อปกติสีขาวใส่นั้นเป็นเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มมีน้ำและของแข็งที่ละลายได้ในน้ำบรรจุอยู่ภายใน โดยมีอากาศแทรกอยู่ภายในน้อยจึงเห็นเป็นสีใสและดูดกลืนรังสีเอกซเรย์ไว้ได้มากขึ้น ทำให้ได้ค่า CT number เป็นบวก ในบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วนั้นเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มจะเปลี่ยนสภาพเป็นแข็งกรอบ และมีความหนาแน่นเนื้อสูงขึ้นมากกว่าปกติถึง 3 เท่า (วรภัทร, 2539) จึงทำให้บริเวณที่เป็นเนื้อแก้วมีค่าเป็นบวกมากขึ้น ในขณะที่ในบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลนั้น เมื่อมีน้ำยางไหลซึมเข้าไปในเนื้อ น้ำยางอาจตกผลึกและเกาะประสานเนื้อเยื่อในบริเวณนี้ให้แน่นทึบมากขึ้น จากการสังเกตพบว่าอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลนี้ มักมีความหนาแน่นเนื้อสูงกว่าบริเวณเนื้อแก้ว นอกจากนี้กรณีที่มียางไหลในเปลือกนั้น มีน้ำยางตกผลึกเกาะอยู่ในเปลือกทำให้เปลือกบริเวณนั้นแข็งเป็นจุดๆ หรือถ้าน้ำยางไหลซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเนื้อกับเปลือกผล จึงเกาะประสานระหว่างเนื้อกับเปลือกผลเข้าด้วยกัน ทำให้เปลือกกับเนื้อในบริเวณนั้นติดกันแน่นและแกะออกจากกันได้ยาก ดังนั้นเมื่อฉายรังสีเอกซเรย์ผ่านเนื้อเยื่อในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงนี้ จึงทำให้ได้ค่า CT number เป็นบวกมากขึ้นตามลำดับ



ภาพที่ 8 ค่า CT number (CT#) จากภาพเอกซเรย์ ในบริเวณที่มีลักษณะปกติสีเทาและเนื้อปกติใส เนื้อแก้ว ยางไหลติดเปลือก และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล

ตารางที่ 4 ค่า CT number เฉลี่ยของเนื้อผลมังคุดในบริเวณที่มีลักษณะอาการต่างๆ

ลักษณะ	ค่า CT number ¹
เนื้อปกติ (สีเขียว)	$-25.64^e \pm 15.58$
เนื้อปกติ (สีขาวใส)	$+25.05^d \pm 14.35$
เนื้อแก้ว	$+50.76^c \pm 9.06$
ยางไหลติดเปลือก	$+95.91^a \pm 17.30$
เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล	$+85.42^b \pm 19.64$
F-test	**
CV (%)	54.45

¹ ตัวเลขในกลุ่มเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามวิธีการวิเคราะห์แบบ

Least-significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)

จ. ข้อจำกัดในการวินิจฉัยอาการผิดปกติภายในโดยเทคนิคเอกซเรย์

การวินิจฉัยอาการจะคลาดเคลื่อนได้ในกรณีต่อไปนี้

1. slice ภาพไม่ผ่าน equator ของผล
2. อาการยางไหลที่ทำให้ส่วนเปลือกเชื่อมกับเนื้อผลที่เกิดขึ้นที่ขั้วผลด้าน top view แต่ไม่ได้เกิดลงถึง equator zone
3. อาการยางไหลที่เกาะติดเนื้อผลด้านบนใกล้ขั้วผล แต่ไม่มียางหรือเนื้อผลเชื่อมติดกับเปลือกผล ทำให้ดูภาพเป็นผลปกติ
4. อาการเปลือกแทรกติดในซอกกลีบเนื้อผลเล็กน้อย

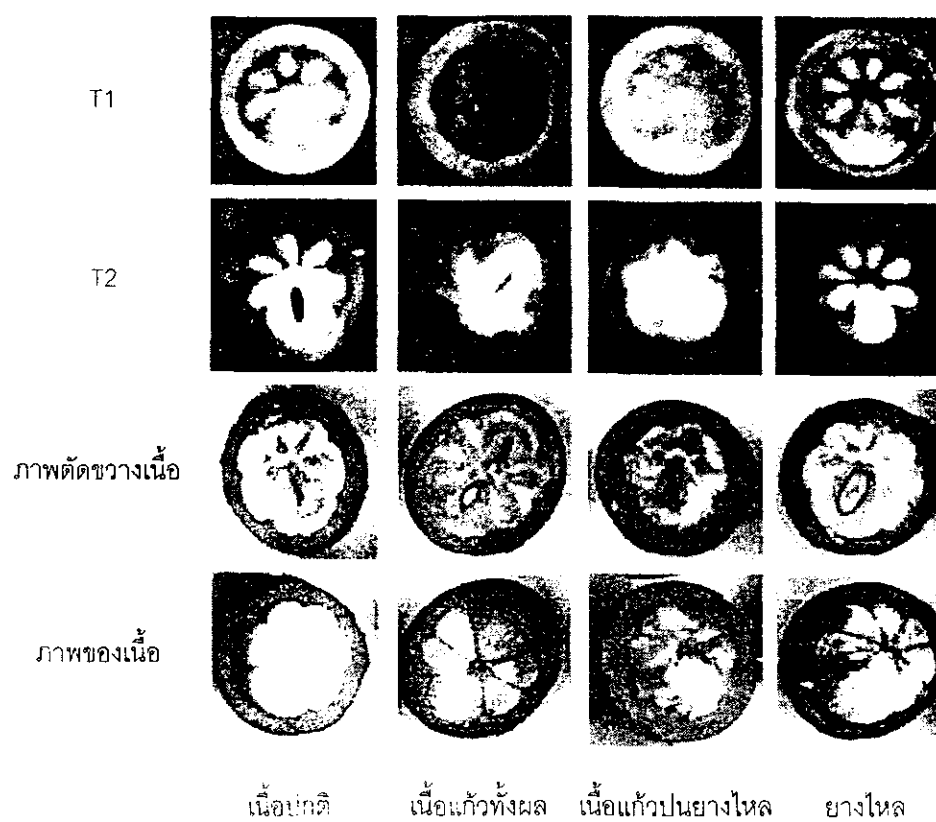
1.3 การตรวจสอบคุณภาพภายในผล โดยใช้เทคนิค MRI

การนำผลที่มีระดับความแก่ต่างๆมาตรวจสอบด้วยเครื่อง MRI (Magnetic Resonance Imaging) พบว่า parameter ที่เหมาะสมที่สุดในการสแกนภาพคือ $TR=3500$ และ $TE=130$ เมื่อต้องการเน้นการตรวจสอบกิจกรรมของ Free water (T_2 effect; Spin-spin relaxation time) และที่ $TR=100$ และ $TE=12$ เมื่อต้องการเน้นการตรวจสอบกิจกรรมของน้ำมัน และลดผลของ Free water (T_1 effect; Spin-lattice relaxation time)

จากการสแกนภาพ MRI ของผลมังคุด (ภาพที่ 9) พบว่าเมื่อตรวจสอบด้วย T1 effect ภาพผลมังคุดปกติปรากฏเนื้อผลแต่ละกลีบแยกกันชัดเจน เนื้อส่วนนอกปรากฏเป็นสีเทาล้อมเนื้อส่วนในสีขาว ผลที่เกิดอาการเนื้อแก้วทั้งผล ปรากฏภาพเนื้อผลทุกกลีบเป็นสีดำเทาไปทั่วทั้งหมด และไม่เห็นรูปร่างของกลีบ แสดงให้เห็นว่าผลที่เกิดอาการเนื้อแก้วมีส่วนประกอบของน้ำอยู่มากกว่าเนื้อของผลปกติ เนื่องจากการใช้ T1 effect นั้น Free water จะถูกลดความสำคัญลงจนปรากฏเป็นสีดำ ผลมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล ปรากฏภาพที่มีสีขาวปนเทา แสดงถึงองค์ประกอบของยางในมังคุดซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบของน้ำมันอยู่มากกว่าปกติ นอกจากนี้ลักษณะเนื้อผลจะเชื่อมต่อกันโดยไม่มีรูปร่างของกลีบ สำหรับผลที่เกิดอาการยางไหล การใช้ T1 effect สามารถตรวจสอบได้อย่างชัดเจน โดยปรากฏแถบสีขาวของอาการยางไหลระหว่างเนื้อและเปลือก

เมื่อตรวจสอบด้วย T2 effect ภาพผลปกติปรากฏเนื้อผลแต่ละกลีบแยกกันชัดเจน เนื้อส่วนนอกปรากฏเป็นสีเทาล้อมเนื้อส่วนในสีขาว เช่นเดียวกับการใช้ T1 effect แต่มีความสว่างของเนื้อสีขาวมากกว่า แสดงให้เห็นว่าเนื้อส่วนในของกลีบควรจะมีส่วนประกอบของน้ำอยู่มากกว่าเนื้อส่วนนอก บริเวณร่องเมล็ดกลางพูเนื้อกลีบใหญ่ปรากฏเป็นร่องสีดำเนื่องจากเป็นช่องว่างของอากาศ ผลที่เกิดอาการเนื้อแก้วทั้งผลปรากฏภาพเป็นสีขาวสว่างทั่วทั้งผลและไม่เห็นรูปร่างของเนื้อกลีบ แสดงว่าผลที่เกิดอาการเนื้อแก้วจะมีส่วนประกอบของน้ำอยู่มากกว่าเนื้อของผลปกติ ซึ่งได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับ T1 effect ผลมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล ปรากฏภาพที่มีความสว่างของเนื้อมากกว่าเนื้อผลปกติ และมีการเชื่อมต่อของเนื้อกันโดยไม่มีรูปร่างของกลีบที่ชัดเจนคล้ายกับการเกิดเนื้อแก้วทั้งผล สำหรับผลที่เกิดอาการยางไหลอย่างเดียว การใช้เทคนิคนี้ยังไม่สามารถตรวจสอบได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จาก T1 effect

โดยสรุปแล้วผลปกติจะปรากฏภาพเนื้อผลแต่ละกลีบแยกกันอย่างชัดเจนและสม่ำเสมอทั้งที่ได้จาก T1 และ T2 effect ส่วนผลมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้ว จะมีแนวโน้มที่จะปรากฏภาพการแบ่งแยกของแต่ละกลีบไม่ชัดเจน หรือไม่เห็นเลย สำหรับผลที่เกิดอาการยางไหล T1 effect สามารถตรวจสอบได้ดีกว่าการใช้ T2 effect



ภาพที่ 9 ภาพ MRI ที่ได้จากการใช้เทคนิคตรวจสอบ T1 effect ที่ $TR = 100$, $TE = 10$ และ T2 effect ที่ $TR = 2000$, $TE = 100$ เปรียบเทียบกับเนื้อของผลมังคุดที่ปลอกเปลือกและผ่าตรวจสอบ

2. ทูเรียน

2.1 การประเมินความแก่ของผลโดยการชิมเนื้อทุเรียน (sensory test)

ผลการชิมและสังเกตลักษณะที่ปรากฏ จากชุดการทดลองทั้งชุดที่รอให้ผลสุกแล้วประเมินและชุดที่ประเมินขณะที่ผลยังดิบ ศึกษาจากผลทุเรียนทั้งผล โดยใช้ sensory panelist จำนวน 5 คน พบว่าเนื้อผลมีรสชาติและลักษณะแตกต่างกันชัดเจน (ตารางที่ 5) โดยเฉพาะ ความมัน ความหวาน และกลิ่น ความแก่ของผลสามารถแบ่งเป็น 6 ระดับ คือ ผลที่ระดับความแก่ 50 % (อายุน้อยกว่า 100 วันหลังดอกบาน) เป็นผลอ่อนที่ไม่สามารถสุกได้ ผลที่ระดับความแก่ 60 % (อายุประมาณ 111-117 วันหลังดอกบาน) สามารถสุกได้แต่ต้องใช้เวลามากกว่า 10 วันหลังเก็บเกี่ยว และรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับ ผลที่ระดับความแก่ตั้งแต่ 70 % (อายุประมาณ 118-124 วันหลังดอกบาน) ขึ้นไปมีรสชาติดีขึ้นตามลำดับ ที่ระดับนี้เป็นระดับความแก่ที่นิยมเก็บเกี่ยวเพื่อส่งจำหน่ายต่างประเทศโดยทางเรือ ซึ่งผลจะสุกภายใน 7-10 วันหลังเก็บเกี่ยว ผลที่มีความแก่ 80 % (อายุประมาณ 125-131 วันหลังดอกบาน) เนื้อมีรสชาติดีกว่าระดับความแก่ 70 % ผลที่ระดับความแก่นี้ใช้สำหรับส่งจำหน่ายตลาดภายในประเทศหรือต่างประเทศโดยทางเครื่องบินซึ่งผลจะสุกภายใน 4-6 วันหลังเก็บเกี่ยว ผลที่ระดับความแก่ 90 % (อายุประมาณ 132-138 วันหลังดอกบาน) เนื้อผลจะมีรสชาติดีเป็นที่ยอมรับ ผลจะสุกภายใน 2-3 วันหลังตัด และผลที่ระดับความแก่ 100 % (อายุมากกว่า 140 วันหลังดอกบาน) คือผลทุเรียนที่สุกบนต้น

การเตรียมผลผลิตในบางการทดลอง พบว่าไม่สามารถเตรียมได้ครบทั้ง 6 ระดับความแก่ ได้แก่ การนับอายุผลหลังดอกบาน เนื่องจากปัญหาการหลุดร่วงของดอกและผลระหว่างการเจริญเติบโต และชุดผลที่ประเมินความแก่ของผลโดยการชิมเนื้อทุเรียนสุก เนื่องจากเป็นชุดที่ทดลองในช่วงปลายฤดูกาลผลิต ไม่สามารถจัดหาได้ทั้ง 6 ระดับความแก่

ผลการประเมินความแก่โดยการชิมเนื้อทุเรียน ถูกใช้เป็นเกณฑ์หลักเพื่อประเมินความแม่นยำของการคัดความแก่อ่อนของผลที่ใช้ในปัจจุบัน 3 วิธี คือ การนับอายุผลหลังดอกบาน การใช้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดความแก่ของผลในสวน และการนับจำนวนวันที่ผลดิบใช้เวลาสุก

2.2 การนำระดับความแก่ของผลที่แยกโดยวิธีการชิมเนื้อทุเรียนสุก มาประเมินเปรียบเทียบกับวิธีแยกระดับความแก่แบบอื่น ๆ

ผลทุเรียนในชุดที่รอให้ผลสุกเพื่อชิมเนื้อ นำผลทุเรียนทั้งผลมาปล่อยให้ผลสุกที่อุณหภูมิห้อง โดยให้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลเป็นผู้ตัดสินว่าผลสุกหรือไม่ โดยพิจารณาจากการเคาะผล ตมกลิ่น พิจารณาจากสีผิวเปลือก และร่องหนาม

ตารางที่ 5 การแบ่งระดับความแก่เป็นเปอร์เซ็นต์ความแก่ของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยใช้การชิมเนื้อทุเรียน และสังเกตลักษณะเนื้อผล

ระดับความแก่	%ความแก่ของผล โดย sensory test	อายุผลหลังดอกบานโดยประมาณ (วัน)	รสชาติการชิม และลักษณะของเนื้อผลขณะผลดิบ	รสชาติการชิม และลักษณะของเนื้อผลขณะผลสุก
1	50	น้อยกว่า 100	เนื้อมีรสชาติดีจัด ไม่มีความมัน ไม่มีกลิ่น มีน้ำในเนื้อมาก เนื้อแข็งเหนียว สีเนื้อและสีผิวเมล็ดมีสีขาว เนื้อภายในเมล็ดเป็นน้ำ	ผลไม่สามารถสุกได้ตามปกติ
2	60	111-117	เนื้อมีรสชาติดีจัด ไม่มีความมัน มีกลิ่นเหม็นเขียวเล็กน้อย มีน้ำในเนื้อน้อยลง เนื้อเริ่มมีความกรอบ สีเนื้อเริ่มมีสีเหลือง สีผิวเมล็ดมีสีขาวออกครีม เนื้อภายในเมล็ดเป็นฟูน	เนื้อมีรสชาติดีความหวานและความมันเล็กน้อย มีกลิ่นหอมเล็กน้อย สีเนื้อมีสีเหลืองค่อนข้างมาก สีผิวเมล็ดมีสีน้ำตาล รสชาติโดยรวมไม่เป็นที่ยอมรับ
3	70	118-124	เนื้อมีรสชาติดีหวานเล็กน้อย มีความมัน เหม็นเขียวมาก เนื้อเริ่มแห้งและมีความกรอบ สีเนื้อเหลืองมากขึ้น สีผิวเมล็ดมีสีน้ำตาลปน เนื้อภายในเมล็ดเป็นแป้ง	เนื้อมีรสชาติดีความหวานและความมัน มีกลิ่นหอม สีเนื้อมีสีเหลืองมาก สีผิวเมล็ดมีสีน้ำตาล รสชาติโดยรวมยอมรับได้
4	80	125-131	เนื้อมีรสชาติดีหวานปานกลาง มีความมันมาก มีกลิ่นหอมเล็กน้อย เนื้อแห้งมากและมีความกรอบมาก สีเนื้อมีสีเหลืองปนขาวเล็กน้อย สีผิวเมล็ดน้ำตาลปนครีม เนื้อภายในเมล็ดเป็นแป้ง	เนื้อมีรสชาติดีความหวานและความมันปานกลาง มีกลิ่นหอมหวาน สีเนื้อมีสีเหลืองมาก สีผิวเมล็ดมีสีน้ำตาล รสชาติโดยรวมดี
5	90	132-138	เนื้อมีรสชาติดีหวานมากขึ้น มีความมันลดลง มีกลิ่นหอม เนื้อแห้งมากและมีความกรอบลดลง สีเนื้อมีสีเหลือง สีผิวเมล็ดมีสีน้ำตาลมากขึ้น เนื้อภายในเมล็ดเป็นแป้ง	เนื้อมีรสชาติดีความหวานและความมันมากขึ้น มีกลิ่นหอมหวาน สีเนื้อมีสีเหลืองมาก สีผิวเมล็ดมีสีน้ำตาล รสชาติโดยรวมดีมาก
6	100	มากกว่า 140	*	เนื้อมีรสชาติดีความหวานและมีความมันมาก มีกลิ่นหอมหวาน สีเนื้อมีสีเหลืองมาก สีผิวเมล็ดมีสีน้ำตาล รสชาติโดยรวมดีมาก

หมายเหตุ : * = ความแก่ที่ระดับ 100 %คือผลที่สุกบนต้น ดังนั้นจึงไม่มีรสชาติดีการชิม และลักษณะของเนื้อผลขณะผลดิบ

ผลการประเมินความแก่ของผลทุเรียนทั้งผลโดย การนับอายุผลหลังดอกบาน การใช้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน และการนับจำนวนวันที่ผลสุก พบว่ามีความสัมพันธ์กับความแก่ด้วย $R^2 = 0.99, 0.99$ และ 0.95 ตามลำดับ (ภาพที่ 10ก-10ค) จำนวนวันที่ผลสุกให้ความแม่นยำในการบ่งชี้ความแก่โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความแก่ และมีความแปรปรวนน้อยที่สุด รองลงมาคือการใช้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความแก่ 60-80 % ขณะที่อายุผลหลังดอกบาน มีความแม่นยำน้อยที่สุด และมีความแปรปรวนมากที่สุด โดยสามารถแยกความแตกต่างของความแก่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะระหว่างความแก่ 50 และ 80%

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผลทุเรียนทั้งผล พบว่ามีความสัมพันธ์กับความแก่จากการชิมเนื้อทุเรียนสุก โดยมีค่า R^2 ของปริมาณ soluble solids น้ำตาลทั้งหมด คาร์โบไฮเดรต และน้ำหนักแห้งของเนื้อ เท่ากับ $0.99, 0.98, 0.98$, และ 0.97 ตามลำดับ (ภาพที่ 11) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความแก่ และมีความแปรปรวนต่ำ ยกเว้นน้ำหนักแห้งของเนื้อที่ความแก่มากกว่า 70 % (เทียบเท่า 16 สัปดาห์หลังดอกบาน) ขึ้นไป จะค่อนข้างคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ หิรัญและคณะ (2541) ซึ่งพบว่าน้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนี (พันธุ์เบา) จะเพิ่มขึ้นตามความแก่ของผลและเริ่มคงที่ประมาณ 13 สัปดาห์หลังดอกบาน (ความแก่ประมาณ 70-80 %)

การประเมินความแก่โดยใช้วิธีการชิมเนื้อทุเรียนเมื่อผลสุกนี้ พบว่ามีปัญหาในทางปฏิบัติหลายประการ ดังนี้

1. ผลสุกไม่พร้อมกัน

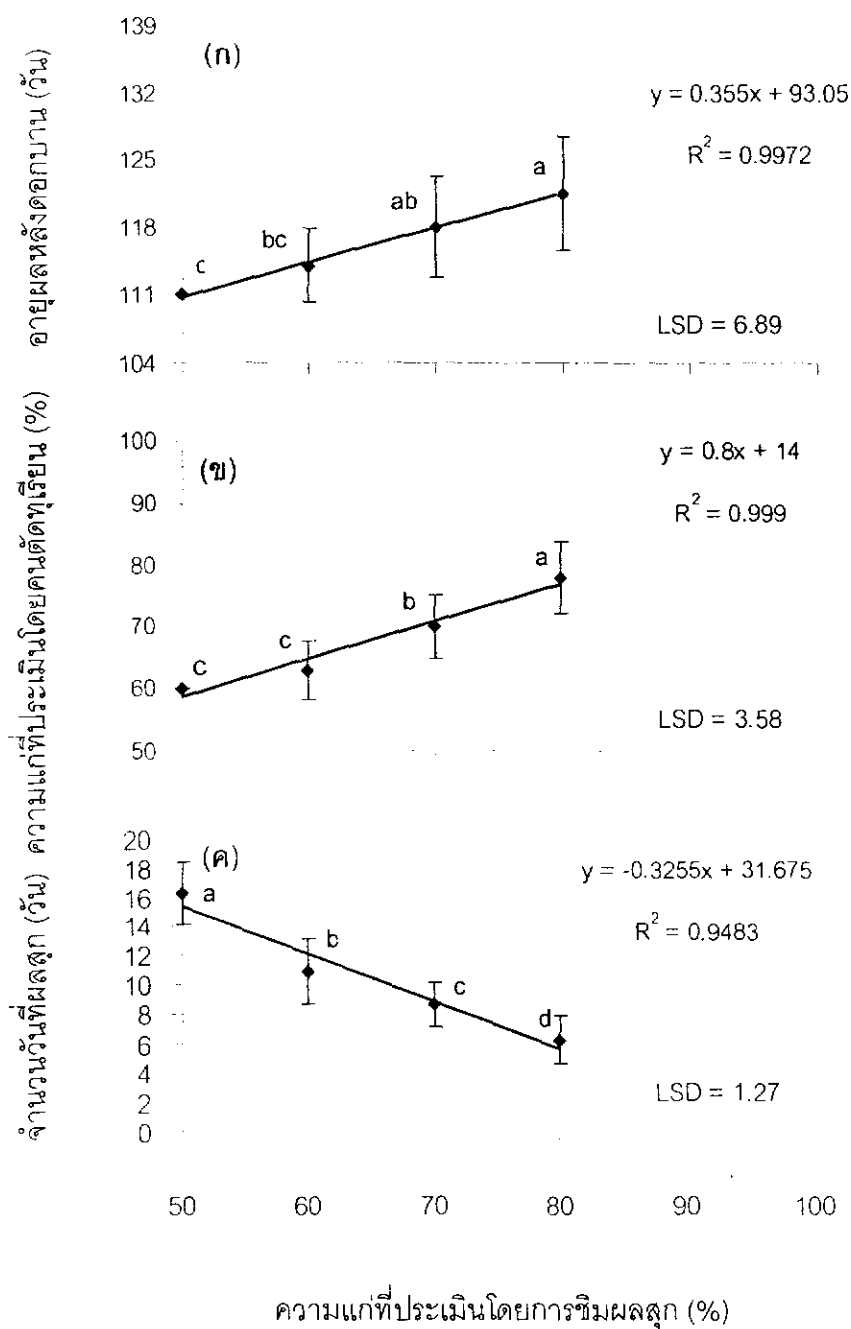
การวิเคราะห์จะต้องรอให้ผลทุเรียนสุกก่อนจึงสามารถตรวจสอบได้ แต่ผลทุเรียนแต่ละผลสุกไม่พร้อมกัน ทำให้ยากต่อการจัดการ เนื่องจากการทำ sensory test ต้องการความพร้อมเพียง ทั้งในแง่คน และผลผลิต

2. ไม่ทันต่อเหตุการณ์

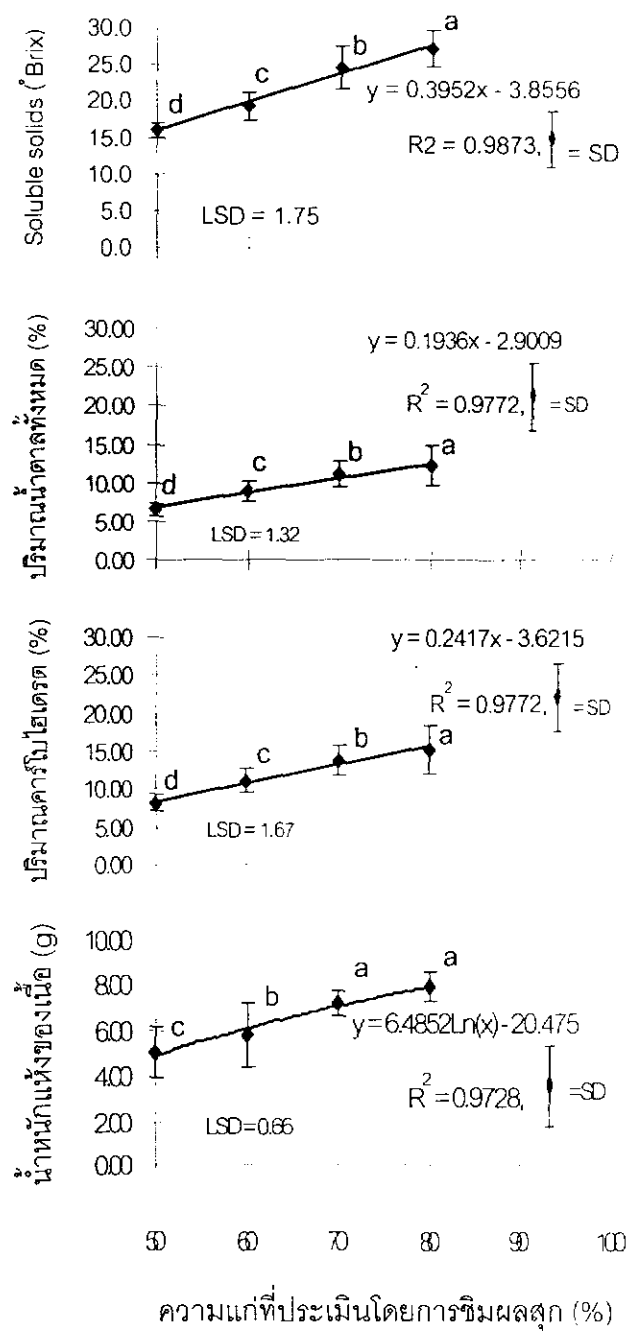
การชิมเนื้อต้องรอให้ผลสุกก่อน ดังนั้นทำให้ไม่ทันต่อเหตุการณ์ เพราะทุเรียนชุดนั้นอาจส่งออกไปถึงต่างประเทศ และเกิดปัญหาเรียบร้อยแล้ว

3. ฝึกฝนได้ยาก

การชิมเมื่อผลสุก พบว่าแยกความแตกต่างระหว่างระดับความแก่ต่างๆได้ค่อนข้างยากมาก ต้องฝึกฝนการชิมเป็นเวลานาน ผลการชิมมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะเมื่อต้องนำมาวัดระดับความแก่ต่างๆ



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุผลหลังดอกบาน จำนวนทุเรียน 30 ผล (ก) ความแก่ที่ประเมินโดยคนตัดทุเรียน จำนวนทุเรียน 75 ผล (ข) และจำนวนวันที่ผลสุก จำนวนทุเรียน 75 ผล (ค) กับความแก่ที่ประเมินโดยการชิมเมื่อผลสุก จากฤดูกาลที่ 1

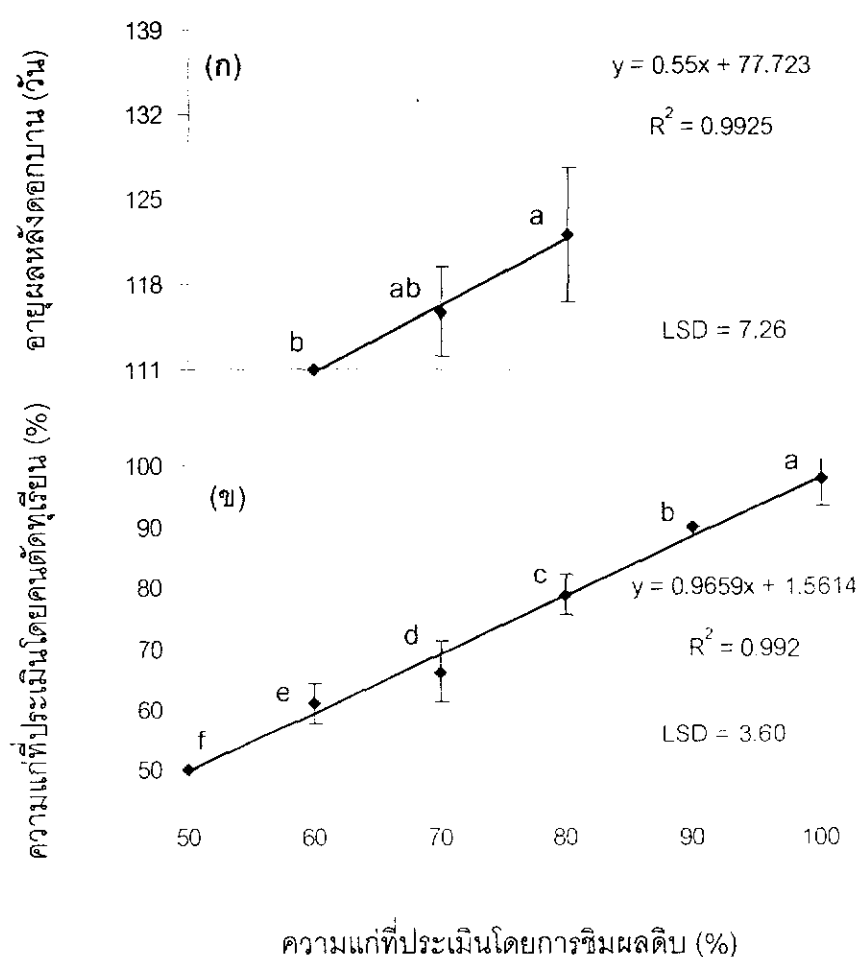


ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี จำนวนทุเรียน 75 ผล กับความแก่ที่ประเมิน โดยการชิมเนื้อผลสุก จากฤดูกาลที่ 1

จากปัญหาของการต้องรอให้ผลสุกก่อนที่จะชิมได้ ทำให้ต้องพัฒนาวิธีการใหม่ในการชิมให้ดีกว่า ที่ให้ผลได้ในวันที่ต้องการส่งออก เพื่อตลาดภายในและต่างประเทศ จากการติดตามขั้นตอนการจัดการทุเรียนพบว่าบ่อยครั้งเมื่อเกษตรกร และผู้ชำนาญการคัดที่โรงคัดบรรจุเกิดความไม่มั่นใจในการประเมินความแก่ของผล เกษตรกรจะสุ่มเก็บ และชิมเนื้อของผลดิบ ร่วมกับการสังเกตลักษณะภายนอกผล สีเนื้อ และสีเมล็ด เพื่อระบุความแก่ของผลทุเรียน ดังนั้น ในการทดลองขั้นต่อไป ได้ทดลองพัฒนาวิธีการประเมินความแก่โดยการชิมทุเรียนขณะผลดิบมาแทนการชิมสุก

2.3 การนำระดับความแก่ของผลที่แยกโดยวิธีการชิมเนื้อทุเรียนดิบ มาประเมินเปรียบเทียบกับวิธีแยกระดับความแก่แบบอื่นๆ

ผลทุเรียนในชุดที่ประเมินขณะผลดิบ จะตรวจสอบผลทั้งผลในวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต โดยผลการประเมินความแก่ของผลทุเรียนโดยนับอายุผลหลังดอกบาน และให้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน พบว่ามีความสัมพันธ์กับความแก่จากการชิมเนื้อทุเรียนดิบ โดยมีค่า $R^2 = 0.99$ ทั้ง 2 วิธี (ภาพที่ 12ก และ 12ข) การใช้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความแก่ และมีความมีความแปรปรวนน้อย ขณะที่การนับอายุผลหลังดอกบานมีความแตกต่างของความแก่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะระหว่างความแก่ 60 และ 80 % เท่านั้น รวมทั้งมีความแปรปรวนมากกว่า



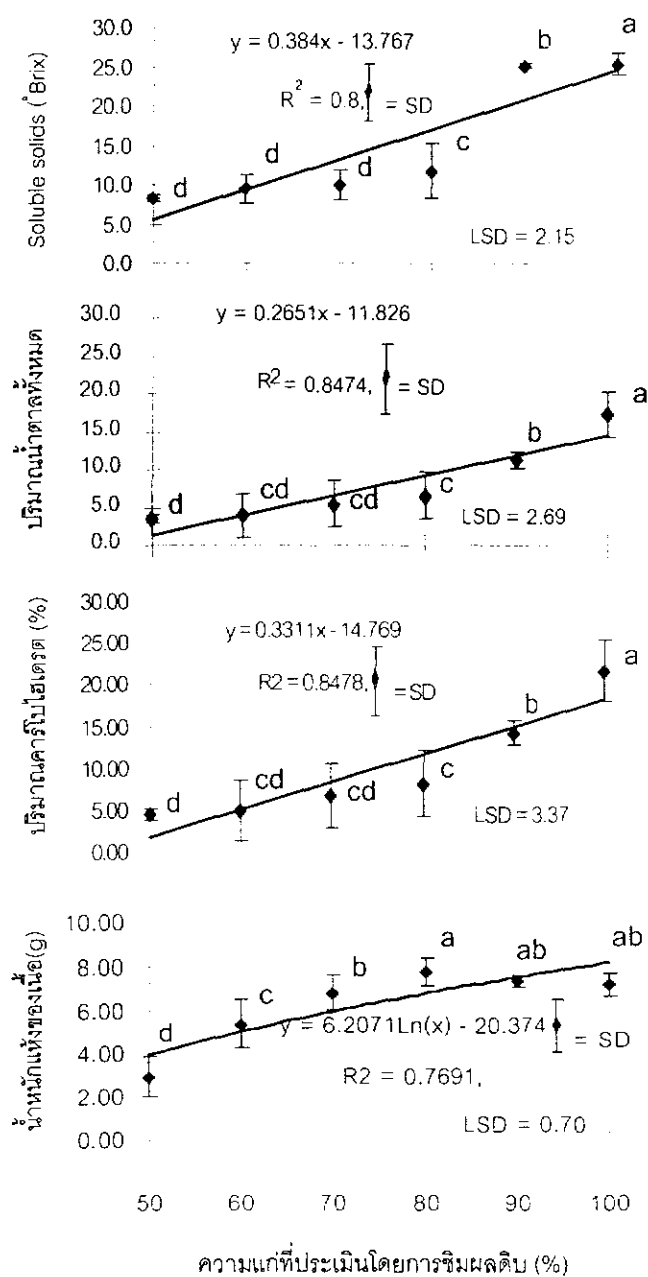
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุผลหลังดอกบาน จำนวน 15 ผล (ก) และ ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน จำนวน 66 ผล (ข) กับความแก่ที่ประเมินโดยการชิมเนื้อผลดิบ ทั้งหมดจากฤดูกาลที่ 1

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผลทุเรียนทั้งผล พบว่ามีความสัมพันธ์กับความแก่จากการชิมเนื้อทุเรียนดิบ โดยมีค่า R^2 ของ ปริมาณ soluble solids น้ำตาลทั้งหมด คาร์โบไฮเดรต และน้ำหนักแห้งของเนื้อ เท่ากับ 0.80, 0.85, 0.85, และ 0.77 ตามลำดับ (ภาพที่ 13) ปริมาณ soluble solids น้ำตาลทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรตไม่มีความแตกต่างระหว่างระดับความแก่น้อยกว่า 80 % และเริ่มแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อผลแก่มากกว่า 80 % ขึ้นไป ขณะที่น้ำหนักแห้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อผลแก่น้อยกว่า 80 % และค่อนข้างคงที่เมื่อความแก่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สูดาร์ตน์ (2536) และ รัชญา (2533) ที่ปริมาณ soluble solids น้ำตาลทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นตามความแก่ของผล เมื่อสังเกตค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการทดลอง พบว่ามีการกระจายของข้อมูลสูงสุดในช่วงความแก่ 60-80 %

จากผลการประเมินความแก่ พบว่าวิธีการประเมินความแก่แต่ละวิธี มีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันไป การนับอายุผลหลังดอกบาน ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้แบ่งระดับความแก่ในงานวิจัยทั่วไปนั้น จะก่อให้เกิดความผิดพลาดและแปรปรวนได้มาก ถ้าใช้วิธีการนี้ในช่วงฤดูฝน หรือในช่วงที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่นอากาศร้อนหรือเย็นมากกว่าปกติ การใช้ผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน เป็นวิธีการที่ดีที่ใช้แบ่งระดับความแก่ แต่วิธีการนี้ต้องอาศัยผู้ที่ประสบการณ์สูง จึงจะมีความแม่นยำ ส่วนการนับจำนวนวันที่ผลสุก เป็นวิธีการที่ดีเช่นกัน แต่ยากต่อการปฏิบัติ และไม่เหมาะสมต่อการคัดเพื่อการส่งออก

สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผลสุก สามารถนำมาใช้แบ่งระดับความแก่ได้ดีกว่าผลดิบ เนื่องจากเมื่อผลเข้าสู่กระบวนการสุกแล้ว องค์ประกอบทางเคมีภายในเนื้อได้แก่แบ่งและน้ำตาลจะมีการพัฒนาและเปลี่ยนรูปไปมาก ทำให้สามารถวัดปริมาณที่เปลี่ยนแปลงได้โดยง่าย ขณะที่เมื่อผลยังดิบอยู่องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้ยังพัฒนาไม่มากนัก ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณไม่แตกต่างกัน

การชิมผลดิบสามารถใช้ประเมินแบ่งระดับความแก่ของผลทุเรียนได้ดีกว่าผลสุก โดยสามารถแบ่งตามลักษณะเนื้อของผลแก่ ได้แก่ลักษณะเนื้อภายนอก และรสสัมผัส รวมทั้งรสชาติได้แตกต่างชัดเจนมากกว่าผลสุก ขณะที่การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลสุกให้ผลที่ชัดเจนกว่าผลดิบ แต่ปฏิบัติได้ยากกว่า ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะแม่นยำขึ้นถ้าใช้การแบ่งระดับความแก่ได้โดยวัดปริมาณ soluble solids ร่วมกับน้ำหนักแห้งของเนื้อ อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลก่อนสามารถนำไปใช้ได้



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างกับองค์ประกอบทางเคมี จำนวนทุเรียน 66 ผล กับความแก่ที่ประเมินโดยการชิมเมื่อผลดิบ จากฤดูกาลที่ 1

2.4 การตรวจสอบคุณภาพภายในผล โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์

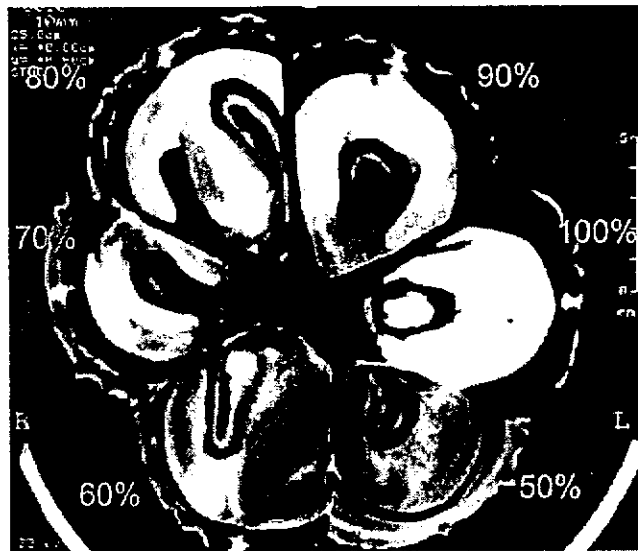
ก. การปรับตัวแปรต่างๆ ในการสแกนภาพ

การปรับค่า parameter ต่างๆ ของเครื่องเอกซเรย์ (X-ray CT) เพื่อสแกนให้ได้ภาพ 2 มิติ ภายในผล พบว่า parameter ที่เหมาะสมสำหรับการแยกระดับความแก่ที่ต่างๆ คือ 80 kV 80 mA 3.0 sec สำหรับการสแกนภาพตามขวางของผล และ 80 kV 160 mA 3.0 sec สำหรับการสแกนภาพตามยาว ที่ความหนา (slice) ของผล เท่ากับ 10 mm

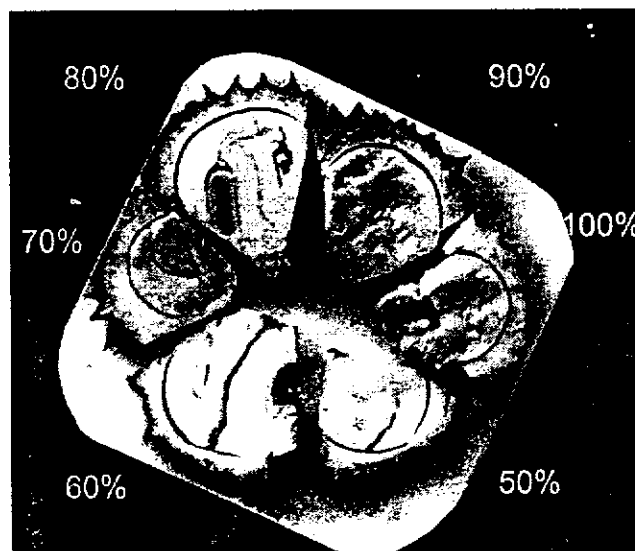
ข. การวินิจฉัยระดับความแก่ของผลทุเรียนจากภาพเอกซเรย์

ในขั้นต้นเพื่อป้องกันปัญหาความแปรปรวนของเครื่องที่มีต่อการสแกนผลแต่ละครั้ง จึงนำชิ้นส่วนของพูเอกของผลทุเรียนแต่ละระดับความแก่มาวัดรวมกัน แล้วสแกนภาพของเนื้อผลพร้อมกันในครั้งเดียว (ภาพที่ 14) ผลการประเมินภาพผลทั้ง 6 ระดับความแก่ พบว่าภาพเอกซเรย์ของเนื้อที่ความแก่ 50 % มีความดำมากที่สุด ความดำของภาพมีแนวโน้มลดลงในชั้นของผลที่แก่มากขึ้น โดยภาพขาวที่สุดที่ความแก่ 100 % ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suzuki *et al.* (1994) ซึ่งพบว่าเอกซเรย์สามารถใช้ตรวจสอบแยกความแตกต่างระหว่างผลมะละกออ่อนและสุก

เมื่อสแกนภาพเอกซเรย์ตามขวางของผลทุเรียนแบบทั้งผล (ภาพที่ 15) พบว่าให้ผลลัพธ์ในลักษณะเดียวกันกับชุดมัดรวมผล แต่วิธีการนี้ทำได้ยากกับผลทุเรียนที่ไม่สมมาตร ดังนั้นจึงได้ทดลองเปลี่ยนมาสแกนภาพตามยาวของผล โดยให้ผ่านพูเอกเป็นหลัก ภาพเอกซเรย์ตามยาวของผลที่ได้ (ภาพที่ 16) แสดงลักษณะลายดำที่เนื้ออย่างชัดเจนที่ความแก่ 60 % ขณะที่ลายดำนี้ลดลงในผลที่แก่มากขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวสังเกตได้ยากในการสแกนผลตามขวาง ลักษณะลายตามยาวของผลนี้คาดว่าเป็นลักษณะธรรมชาติของเนื้อของทุเรียนที่เกิดจากการซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการพัฒนาของเนื้อ จนห่อหุ้มเมล็ดได้ทั้งเมล็ด หิรัญ และคณะ (2541) รายงานว่าก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 2 สัปดาห์ (อายุผล 111 วันหลังดอกบาน) เนื้อผลมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มความหนาอย่างรวดเร็วจึงอาจทำให้เกิดรอยต่อระหว่างชั้นของเนื้อทำให้มีอากาศแทรกอยู่ เมื่อผ่านการสแกนเอกซเรย์จึงปรากฏภาพที่เป็นร่องสีดำขึ้น และเมื่อผลแก่ขึ้น รอยต่อระหว่างชั้นเนื้อจะค่อยๆ หายไป เนื่องจากเนื้อจะเริ่มมีอัตราการเพิ่มความหนาลดลง

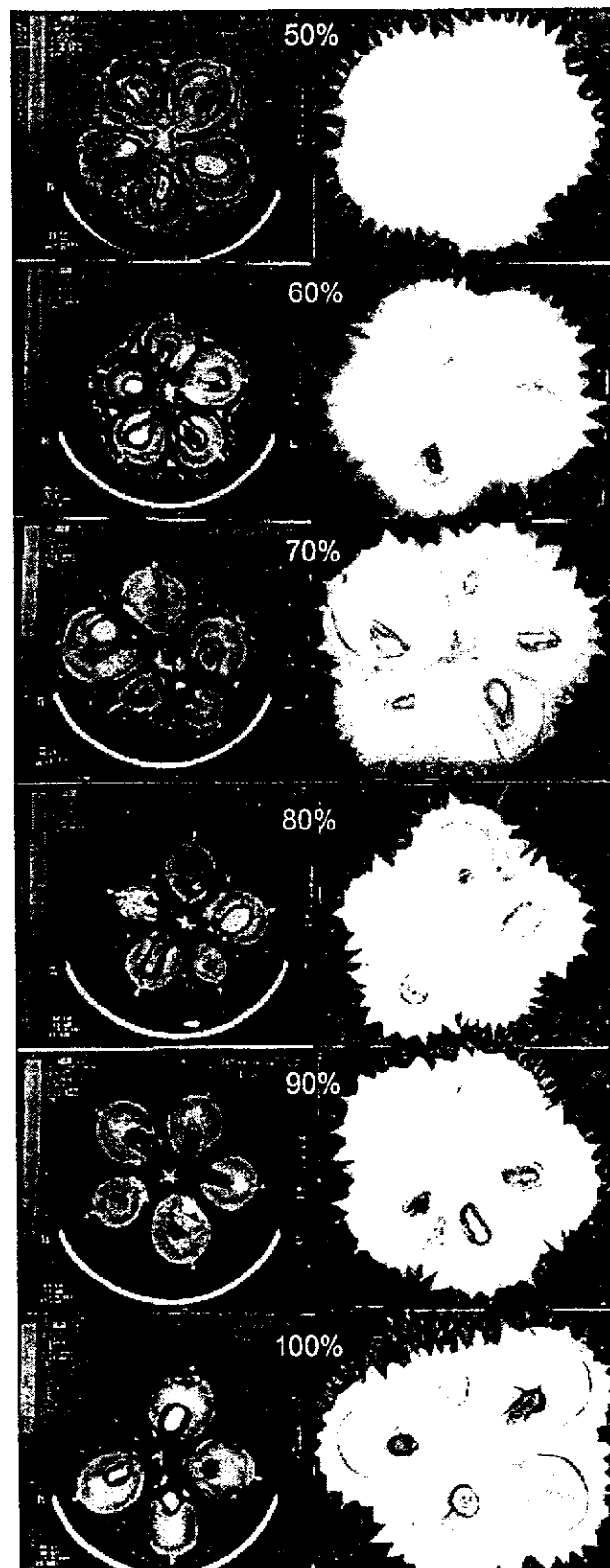


(n)



(9)

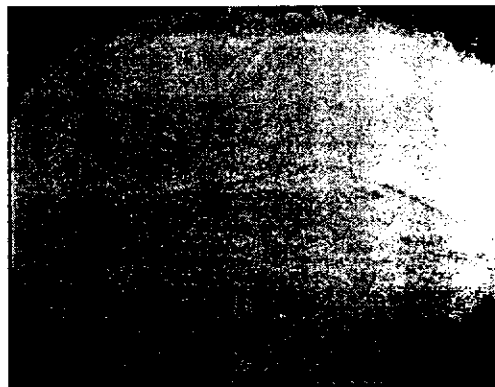
ภาพที่ 14 ภาพเอกซเรย์ (ก) และ ภาพถ่าย (ข) ของผลทุเรียนที่ได้จากพูนหลักของหลายระดับ
ความแก่ (50-100%) มามัดรวมกัน



ภาพที่ 15 ภาพเอกซเรย์ (ซ้าย) และ ภาพถ่าย (ขวา) ตามขวางของผลทุเรียน
ที่ความแก่ 50-100%



60%



70%



80%



ภาพที่ 16 ภาพเอกซเรย์ (ซ้าย) และ ภาพถ่าย (ขวา) ตามยาวของผลทุเรียน
ที่ความแก่ 50-100%

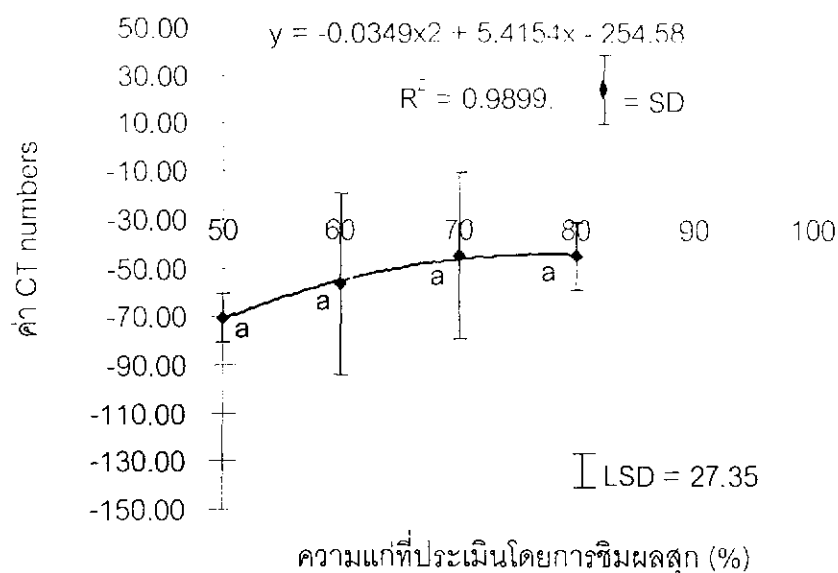
ค. การอ่านค่า CT number ในบริเวณเนื้อผลที่มีความแตกต่างกัน

ลายคำที่บริเวณเนื้อที่แสดงในภาพเอกซเรย์ ซึ่งได้จากภาพเอกซเรย์ของผลทุเรียนทั้งผล พบว่ามีความสัมพันธ์กับความแก่ที่ได้จากการชิมผลสุก การประเมินความดำของภาพเอกซเรย์ได้เลือกใช้ค่า CT number ที่สามารถอ่านมาจากเครื่องโดยตรง โดยพบว่าค่าเฉลี่ย CT number เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความแก่มากขึ้น และเริ่มคงที่ที่ความแก่ตั้งแต่ 70% ขึ้นไป โดยมีความสัมพันธ์ $R^2 = 0.99$ (ตารางที่ 6 และภาพที่ 17) ค่า CT number ของเนื้อทุเรียนที่มีค่าแตกต่างกันนี้ เป็นผลเนื่องจากเนื้อเยื่อของทุเรียนแต่ละระดับความแก่มีองค์ประกอบทางเคมี น้ำ และอากาศ ที่ต่างกัน แสดงถึงค่า attenuation coefficient ที่ต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืน photon ของเอกซเรย์ที่ฉายมาได้แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีความสัมพันธ์ในระดับสูงแต่กลับไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งอาจเนื่องจากจำนวนผลที่ใช้น้อยเกินไป รวมทั้งปัญหาเทคนิคการกำหนดขอบเขตของพื้นที่ของการอ่านค่า CT number ยังไม่ดีเพียงพอ ซึ่งควรจะมีการพัฒนาเทคนิค Image Processing มาช่วยในการคำนวณที่แม่นยำขึ้น นอกจากนั้นยังอาจมีผลมาจากการประเมินความแก่โดยการชิมเนื้อทุเรียนสุก มีความแปรปรวนมาก

ตารางที่ 6 ค่า CT numbers จากภาพสแกนตามขวาง และระดับความแก่ที่ประเมินโดยการชิมผลสุก

ระดับความแก่ (%)	ค่า CT numbers $\pm$ SD
50	-70.59 $\pm$ 10.22
60	-56.71 $\pm$ 37.27
70	-46.10 $\pm$ 34.47
80	-45.18 $\pm$ 13.76
F-test	NS
CV (%)	58.94

NS = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$)



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CT numbers จำนวนทุเรียน 42 ผล กับความแก่ที่ประเมินโดยการชิมเนื้อทุเรียนสุก จากฤดูกาลที่ 1

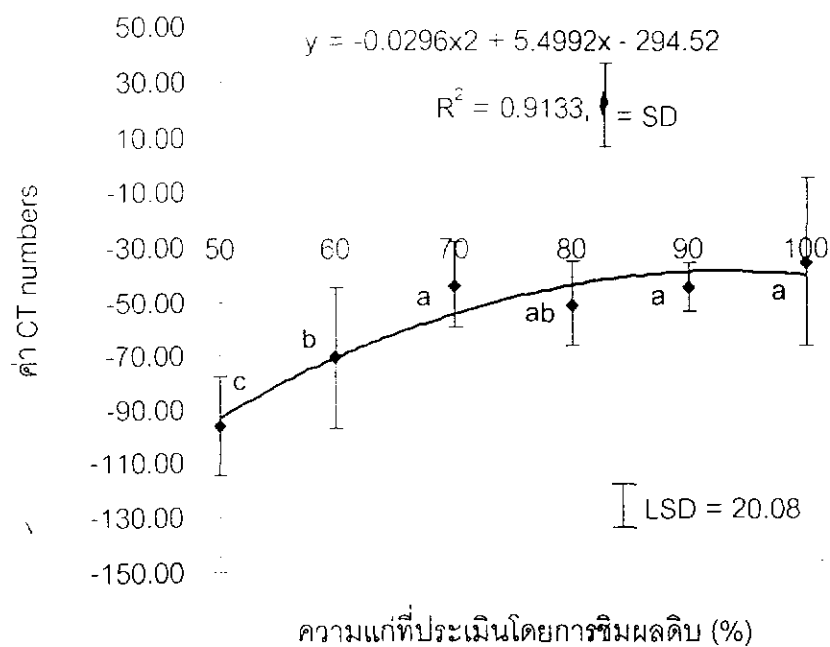
เมื่อเปลี่ยนจากการชิมผลสุกมาชิมเนื้อของผลดิบเพื่อประเมินความแก่ในวันเดียวกันกับภาพเอกซเรย์ของผลทุเรียนทั้งผล พบว่าค่าเฉลี่ย CT number มีค่ามากขึ้นที่ระดับความแก่มากขึ้น (ตารางที่ 7 และภาพที่ 18) และเริ่มคงที่เมื่อความแก่มากกว่า 70 % โดยมีค่า $R^2 = 0.91$ ผลที่ได้คล้ายกับชุดการทดลองแรกที่ชิมผลสุก แต่มีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยกว่า รวมทั้งทำให้สามารถแยกระดับความแก่ด้วยค่า CT number ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความแก่ 50, 60 และ 70 % ขณะที่การใช้ความแก่ที่ประเมินจากผลสุกไม่ให้ความแตกต่างในระดับดังกล่าว ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำค่า CT number ของความแก่ 70 % (ความแก่ต่ำสุดที่ยอมรับให้ส่งทางเรือเพื่อจำหน่ายในต่างประเทศ) เช่นในกรณีผลชุดนี้ ค่า CT number ประมาณเท่ากับ -44 สามารถใช้เพื่อคัดแยกกลุ่มผลที่มีความแก่ตั้งแต่ระดับนี้ขึ้นไปออกจากกลุ่มผลที่อ่อนกว่า ซึ่งการจะนำไปใช้จะต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

ตารางที่ 7 ค่า CT numbers จากภาพตัดตามขวาง กับระดับความแก่ที่ประเมิน
โดยการชิมผลดิบ (ณ วันที่เก็บเกี่ยว)

ระดับความแก่ (%)	ค่า CT numbers ^u $\pm$ SD
50	-96.05 ^c $\pm$ 18.28
60	-70.88 ^b $\pm$ 26.23
70	-43.82 ^a $\pm$ 15.82
80	-50.98 ^{ab} $\pm$ 15.73
90	-44.52 ^a $\pm$ 8.84
100	-35.99 ^a $\pm$ 30.80
F-test	**
CV (%)	37.10

^u ตัวเลขในกลุ่มเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Least-significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$)



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CT numbers จากภาพสแกนตามแนวขวาง จำนวนทุเรียน
57 ผล กับความแก่ที่ประเมินโดยการชิมเนื้อทุเรียนดิบ จากฤดูกาลที่ 1

เมื่อพิจารณาเฉพาะความแก่ของผลที่ระดับ 60-80 % ซึ่งเป็นช่วงสำคัญสำหรับการแบ่งระดับความแก่เพื่อใช้ในทางการค้า โดยพิจารณาจากค่า CT number จากภาพเอกซเรย์ตามยาวของผลทุเรียนทั้งผลกับระดับความแก่ต่างๆของผลผลิตจาก 3 ฤดูกาล และแยกคำนวณหาค่า CT number ที่บริเวณหัว กลาง และก้นของฤดูกาลผลิตปี 2540 และ 2541 ผลปรากฏดังตารางที่ 8 และภาพที่ 19 โดยมีทิศทางที่ชัดเจนของค่า CT number ที่เพิ่มขึ้นตามความแก่โดยสูงสุดที่ความแก่ 70% แล้วลดลงที่ความแก่ 80 % โดยมีแนวโน้มที่สามารถแยกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความแก่ 60 และ 70 % โดยใช้ค่า CT number บริเวณกลาง (ปี2540) และก้นผล (ปี2541) และระหว่างความแก่ 70 และ 80 % เมื่อใช้ค่า CT number บริเวณกลางผล (ปี2542) ผลดังกล่าวควรมีการวิจัยยืนยันซ้ำในแต่ละฤดูกาล พื้นที่ปลูก โดยเฉพาะควรมีจำนวนผลที่มากพอเพียง ซึ่งคาดว่าจะทำให้สามารถแยกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 ระดับความแก่

ตารางที่ 8 ค่า CT numbers ที่ได้จากการสแกนภาพตามแนวยาว กับระดับความแก่ที่ประเมินโดยการชิมผลดิบจาก 3 ฤดูกาลผลิต

ความแก่ของผล (%)	ค่า CT numbers ¹⁾ $\pm$ SD		
	บริเวณกลางผล ²⁾	บริเวณก้นผล ³⁾	บริเวณกลางผล ⁴⁾
60	-68.24 ^c $\pm$ 26.78	-57.82 ^b $\pm$ 13.10	-51.16 ^{ab} $\pm$ 16.52
70	-45.31 ^a $\pm$ 16.40	-37.90 ^a $\pm$ 11.16	-36.96 ^a $\pm$ 18.08
80	-49.42 ^{ac} $\pm$ 17.10	-40.40 ^{ab} $\pm$ 17.44	-57.03 ^b $\pm$ 23.46
LSD	22.64 ^{NS}	17.70 ^{NS}	21.12 ^{ns}
CV (%)	37.63	31.34	42.23

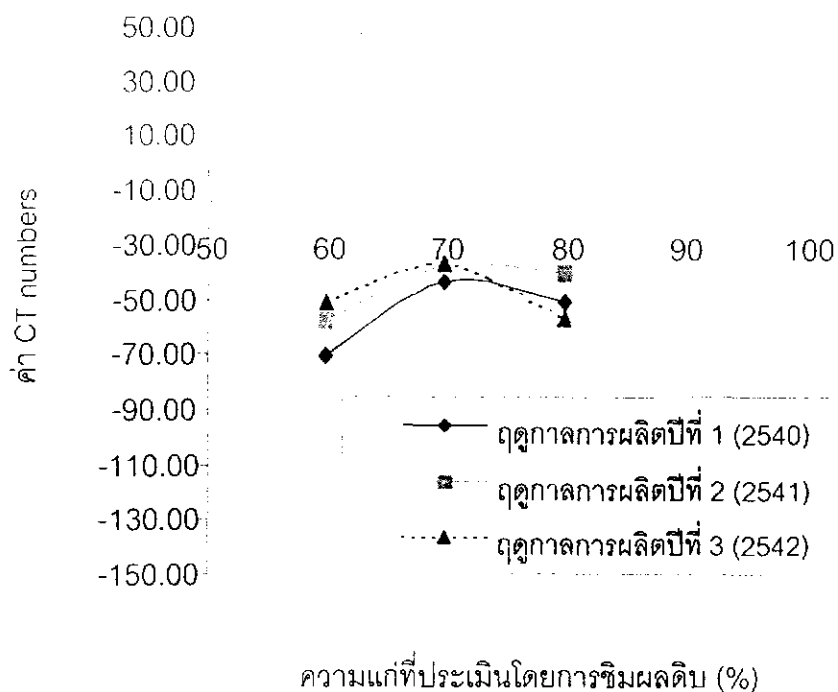
¹⁾ตัวเลขในกลุ่มเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Least-significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

²⁾หาค่า CT numbers ที่บริเวณกลางผล ของผลผลิตผลในฤดูกาลการผลิตปีที่ 1 (2540)

³⁾หาค่า CT numbers ที่บริเวณก้นผล ของผลผลิตผลในฤดูกาลการผลิตปีที่ 2 (2541)

⁴⁾หาค่า CT numbers ที่บริเวณกลางผล ของผลผลิตผลในฤดูกาลการผลิตปีที่ 3 (2542)

NS = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CT numbers จากภาพสแกนตามยาว กับความแก่ที่ประเมินโดยการซึมเนื้อทุเรียนดิบ จำนวนทุเรียน 36, 29 และ 45 ผล ของผลิตผลในฤดูกาลการผลิตปีที่ 1 (2540) , ปีที่ 2 (2541) และปีที่ 3 (2542) ตามลำดับ

2.5 การตรวจสอบคุณภาพภายในผล โดยใช้เทคนิค MRI

การนำผลที่มีระดับความแก่ต่างๆมาตรวจสอบด้วยเครื่อง MRI (Magnetic Resonance Imaging) พบว่า parameter ที่เหมาะสมที่สุดในการสแกนภาพตามขวางของผล คือ T2 (effect Spin-spin relaxation time) ที่ TR=3200 และ TE=150 เมื่อต้องการเน้นการตรวจสอบกิจกรรมของ Free water (T2 effect; Spin-spin relaxation time), T1 effect (Spin-lattice relaxation time) ที่ TR=100 และ TE=12 เมื่อเน้นการตรวจสอบกิจกรรมของน้ำมัน และลดผลของ Free water และเทคนิคพิเศษ Stir (Oil suppression) ผสมกับ Inversion recovery (TI) ที่ TR=4000, TE=20 และ TI=100 เมื่อเน้นการตัดของกิจกรรมของน้ำมันออกเกือบทั้งหมด และเพิ่มผลของ Free water

ผลทุเรียนที่นำมาทดลองมีทั้งหมด 2 ชุด โดยนำทุเรียนของผลที่มีความแก่ต่างๆมามัดรวมกัน แล้วนำไปสแกนภาพ MRI ตามขวางผล ในชุดที่ 1 มีระดับความแก่ต่างกัน 5 ระดับ คือ 50, 60, 70, 80 และ 90 % และในชุดที่ 2 มีระดับความแก่ต่างกัน 6 ระดับ คือ 50, 60, 70, 80, 90 และ

100 % ค่าความขาว-ดำของลายเนื้อที่ปรากฏในภาพ MRI คำนวณได้เป็น intensity จากโปรแกรม Adobe Photoshop 5.5 โดยใช้พื้นที่ของภาพเท่ากับ 3025 pixels

ผลการทดลองในชุดที่ 1 (ภาพที่ 20) พบว่าภาพจากการใช้ T2 effect ที่ TR=3200 และ TE=150 (ภาพที่ 20ก) ภาพจากเนื้อผลที่มีความแก่ 50-60 % ปรากฏสีขาวในเนื้อซึ่งแสดงถึงปริมาณ Free water ที่พบได้มากกว่าผลที่มีความแก่มากกว่า แต่ลักษณะภาพที่ปรากฏยังคัดแยก ระดับความแก่ได้ไม่ชัดเจน สำหรับภาพจากการใช้ T1 effect ที่ TR=100 และ TE=12 (ภาพที่ 20ข) ภาพจากเนื้อผลยังคัดแยก ระดับความแก่ได้ไม่ชัดเจน แสดงว่าการใช้ T1 effect ยังไม่เหมาะกับการตรวจสอบความแตกต่างของเนื้อ การใช้เทคนิคพิเศษ Stir ที่ TR=4000, TE=20 และ TI=100 (ภาพที่ 20ค) พบว่าสามารถให้ภาพที่มีความแตกต่างของความเข้มดีที่สุด เนื้อผลให้ภาพที่มีลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างความแก่ 50-60 % กับผลที่มีความแก่ 70-90 % ผลที่มีความแก่ 50-60 % จะปรากฏเป็นสีขาวในภาพ แสดงให้เห็นว่าที่ความแก่ระดับนี้คาดว่า มีน้ำมันในเนื้อน้อย แต่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ทำให้มีภาพเป็นสีขาว ส่วนผลที่มีความแก่ 70-90 % ปรากฏภาพเป็นสีดำเนื่องจากการที่มีองค์ประกอบของน้ำมันอยู่ และมี Free water น้อยกว่า จึงทำให้เมื่อตัดความสำคัญของน้ำมันออกไปจึงปรากฏภาพเป็นสีดำค่อนข้างชัดเจน

ผลการทดลองในชุดที่ 2 (ตารางที่ 9 และภาพที่ 21) พบว่าค่า intensity มีค่าลดลงจาก ความแก่ 50-70 % แล้วเริ่มมากขึ้นอีกครั้งที่ระดับความแก่ 80-100 % โดยมีค่า $R^2 = 0.68$ ค่า intensity ของภาพ MRI ของเนื้อผล มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความแก่ 50, 60 และ 100%



(ก)



(ข)



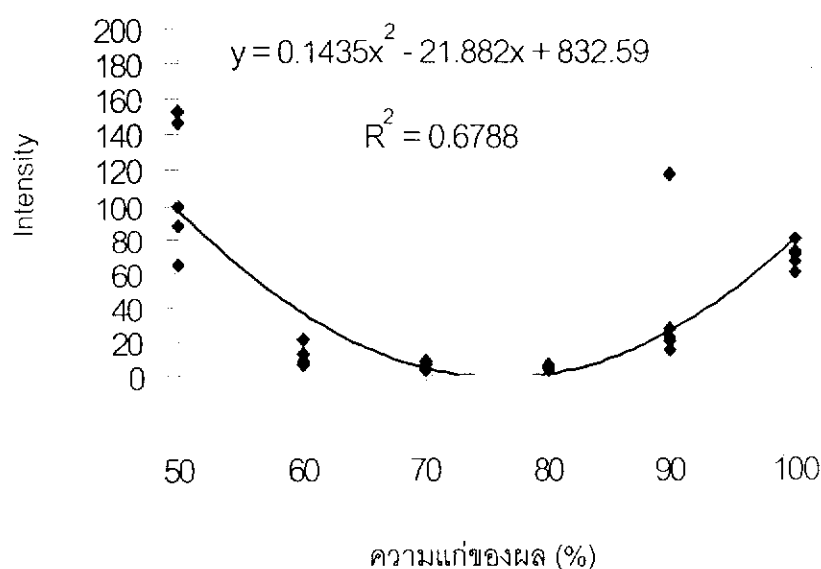
(ค)

ภาพที่ 20 ภาพตามขวางของผลทุเรียนที่ได้จากฟูลหลักของหลายระดับของความแก่มาัดรวม สแกนด้วยเทคนิค MRI โดยใช้ T2 effect (ก) T1 effect (ข) และใช้เทคนิคพิเศษ Stir (ค)

ตารางที่ 9 ค่าความดำ-ขาว intensity ของภาพสแกนของผลทุเรียนที่ระดับความแก่ต่างๆ
จากการประเมินโดยการชิมผลดิบ

ความแก่ของผล (%)	ค่าเฉลี่ย intensity ^{1/} ± SD
50	110.13 ^a ± 38.13
60	13.68 ^{cd} ± 7.17
70	5.53 ^d ± 2.11
80	4.75 ^d ± 1.10
90	40.29 ^{bc} ± 42.98
100	69.64 ^b ± 7.58
LSD	31.16
CV (%)	0.04

^{1/} ตัวเลขในกลุ่มเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามวิธีการวิเคราะห์แบบ Least-significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า intensity จากภาพ MRI กับความแก่ที่ประเมินโดยการชิมเนื้อ
ทุเรียนดิบ จำนวนทุเรียน 30 ผล จากฤดูกาลที่ 1

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การคัดแยกมังคุดที่มีอาการผิดปกติและมังคุดปกติโดยใช้เอกซเรย์ พบว่าสามารถแยกความแตกต่างระหว่างผลปกติกับผลที่มีอาการเนื้อแก้วและผลที่มีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ โดยมีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับค่า CT number ที่อ่านได้ ภาพที่ได้สามารถแสดงถึงลักษณะเนื้อแก้ว และยางไหลได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถบ่งบอกลักษณะของผลปกติที่มีน้ำซึมนอยู่ในเปลือก และแสดงให้เห็นโพรงอากาศภายในเนื้อผลที่ผิดปกติ ส่วนการใช้เทคนิค MRI ผลปกติปรากฏภาพเนื้อผลแต่ละกลีบแยกกันอย่างชัดเจนและสม่ำเสมอทั้งที่ได้จาก T1 และ T2 effect ส่วนผลมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้ว ยางไหล ภาพที่ปรากฏไม่สามารถเห็นรูปร่างแต่ละเนื้อมีได้ชัดเจน

สำหรับทุเรียน ผลการชิมเนื้อของผลทุเรียนแต่ละผลโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้นำมาใช้เป็นเกณฑ์แบ่งระดับความแก่ของผลเมื่อสุก และเมื่อผลยังดิบ ความแก่ที่ประเมินได้สามารถจัดแบ่งกลุ่มได้เป็น 6 ระดับ 50, 60, 70, 80, 90, 100 % โดยพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับผลการคัดโดยผู้ชำนาญในการตัดและคัดผลทุเรียน การนับระยะเวลาที่ใช้ในการสุก และการนับอายุผลหลังดอกบาน ซึ่งในกรณีหลังพบว่ามีความแปรปรวนสูงที่สุด การประเมินวิธีการจัดแบ่งระดับความแก่ของผลทุเรียนโดยใช้การชิมเมื่อผลดิบซึ่งได้จากผลทุเรียนแบบทั้งผล พบว่าสามารถทำได้ง่าย สะดวก และมีความถูกต้องมากกว่าผลสุก ผู้ชิมสามารถแบ่งระดับความแก่ได้อย่างมีนัยสำคัญที่ทุกระดับความแก่ ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งได้จากผลทุเรียนแบบทั้งผล พบว่าปริมาณ soluble solids ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และน้ำหนักรวม มีความสัมพันธ์กับความแก่ที่ระดับต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญเมื่อประเมินด้วยการชิมผลเมื่อดิบ เกณฑ์จากการชิมรสชาติความหวาน สามารถใช้แยกระดับความแก่ 70 ออกจาก 60% ได้ ส่วนความมัน สามารถใช้แยกระดับความแก่อย่างน้อย 80 ออกจาก 70% ทั้งการชิมผลสุก และผลดิบ ส่วนผลการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายกับผลทุเรียนทั้งผลโดยเทคนิคเอกซเรย์ พบว่า CT numbers มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความแก่ โดยเนื้อผลอ่อนที่ระดับ 50% ให้ค่า CT numbers ต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามระดับความแก่ที่มากขึ้น จนค่อนข้างคงที่ที่ความแก่มากกว่า 70% โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มผลที่แก่กับอ่อนกว่า 70% ซึ่งเป็นเกณฑ์การส่งออกทางเรือ ส่วนเทคนิค MRI เมื่อนำมาใช้ตรวจสอบชิ้นของพูเอกของแต่ละผลโดยนำมาวัดรวมกัน พบว่าให้ค่า Intensity ที่มีความสัมพันธ์กับความแก่โดยมีค่าต่ำสุดที่ความแก่ 70-80%

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ sensory test ประเมินระดับความแก่ของผลทุเรียนขณะผลดิบ เป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้แบ่งระดับความแก่ของผลได้ ซึ่งอาจปรับปรุงให้เป็นวิธีการมาตรฐานเพื่อใช้แบ่งระดับความแก่ที่เป็นสากลได้
2. การใช้ค่า CT number เพื่อประเมินระดับความแก่ ใช้ที่บริเวณเนื้อผลทุเรียนเท่านั้น ซึ่งถ้าใช้ค่า CT number ในส่วนอื่นๆ ของผลทุเรียน เช่น เปลือก ก้าน และเมล็ด จะช่วยเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำของเทคนิคเอกซเรย์มากยิ่งขึ้น
3. เทคนิคเอกซเรย์ และ MRI จากการทดลองให้ข้อมูลจากภาพ 2 มิติเท่านั้น การเพิ่มมิติที่ 3 คือ ความลึกจะให้ข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งจะช่วยให้เทคนิคนี้มีความถูกต้องมากขึ้น
4. ในการทดลองขั้นต่อไป ควรมีการทดลองซ้ำในปริมาณผลที่มาก เพื่อยืนยันผลของการใช้เทคนิคเอกซเรย์และ MRI เพื่อตรวจสอบคุณภาพของมังคุด และทุเรียน รวมทั้งหาแนวทางในการพัฒนาเทคนิคให้มีความถูกต้องมากขึ้นโดยเฉพาะการพัฒนา image processing มาเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินผลจากภาพ นอกจากนั้นควรมีการริเริ่มพัฒนาเครื่องเอกซเรย์มาใช้เป็นต้นแบบใช้ในระดับเกษตรอุตสาหกรรม เพื่อคัดและประกันคุณภาพเพื่อการส่งออก

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร และกรมส่งเสริมการเกษตร. 2540. แผนการพัฒนาทุเรียน. แผนพัฒนาพืช ๒ ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2540-2544. หน้า 3.
- กวิศร์ วานิชกุล และ สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2522. ดัชนีการเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลมังคุด. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์). 13 (1) : หน้า 45 - 62.
- เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธ์, มโนธรรม สัจฉาوار, อุดลย์ พงศ์สุวรรณ, พรณ บุนณะ และ ลิขิต เขียดแก้ว. 2530. มังคุดราชินีผลไม้. สหมิตรออฟเซท. กรุงเทพฯ.
- เกศินี ระมิงค์วงศ์. 2528. 'ไม้ผลเมืองร้อน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่. หน้า 195.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. หน้า 174.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2539ก. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวทุเรียน-ภาพรวมในปัจจุบัน. สาระไม้ผล. สำนักเลขาธิการชุดโครงการไม้ผลและผลิตภัณฑ์จากผลไม้ ตึกคณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม. 1(1) : หน้า 6-7, 11.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2539ข. การส่งออกทุเรียนทางเรือ. เคหการเกษตร 20(6) : หน้า 84-92.
- จริงแท้ ศิริพานิช และ บัณฑิต จริโมภาส. 2536. ความเสียหายของทุเรียนหลังการเก็บเกี่ยว. ข่าวสารศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ 6(4) : 1-3.
- ชัชวาล อภัยพลชาญ. 2528. รังสีเทคนิค (หน้า 3-24). ใน ปรีชา เต็มจิตอารีย์ (ผู้เรียบเรียง). X-ray เทคโนโลยี. สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรุงเทพฯ.
- ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์, ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, เวียง อากรสี, ยงยุทธ คงชาน และสุภัทร หนูสวัสดิ์. 2539. ศึกษาการวัดความแก่ของทุเรียนโดยคลื่นเสียง. การประชุมสัมมนาวิชาการของ กองเกษตรวิศวกรรม ประจำปี 2539. 20-21 มีนาคม 2540 ณ โรงแรมเจ้าพระยาปาร์ค กรุงเทพฯ.
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์. 2524. วิชาเครื่องเอ็กซเรย์. คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้า 1-8.
- ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2532. ทุเรียน '33. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. หน้า 56.
- ทิทัมพร นาทวรทัต. 2530. ความถ่วงจำเพาะและการสูญเสียน้ำหนักของทุเรียนพันธุ์ชะนี หมอนทอง และก้านยาว ที่เก็บเกี่ยวในอายุต่าง ๆ กัน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. หน้า 4.

- ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2534. การศึกษาวิธีการคัดคุณภาพมังคุด. รายงานการวิจัย ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2536. มังคุด : พืชหลักปักชำได้, ปิรามิด, กรุงเทพฯ. หน้า 119-125.
- เปรมปรี ณ สงขลา. 2539. สถานการณ์การผลิตทุเรียนในปัจจุบัน (2539). เคหการเกษตร 20(7) : หน้า 30-32.
- พีรเดช ทองอำไพ. 2539. ผลการประชุมวางแผนปฏิบัติการวิจัยโครงการทุเรียน/มังคุด. สาระไม้ผล. สำนักเลขาธิการชุดโครงการไม้ผลและผลิตภัณฑ์จากผลไม้ ตึกคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม. 1(2) : หน้า 3-4.
- พีรเดช ทองอำไพ. 2540. สรุปการเชื่อมโยงโครงการทุเรียน. สาระไม้ผล. สำนักเลขาธิการชุดโครงการไม้ผลและผลิตภัณฑ์จากผลไม้ ตึกคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม. 2(1) : หน้า 2-3.
- พระพงษ์ แสงวนวงศ์กุล. 2540. การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. สาระไม้ผล. สำนักเลขาธิการชุดโครงการไม้ผลและผลิตภัณฑ์จากผลไม้ ตึกคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม. 2(1) : หน้า 6 และ 10.
- มานัส มงคลสุข. 2532. พื้นฐานทางฟิสิกส์ของ CT และ MRI. ภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้า 25-26, 40-41.
- รวี เสริมศักดิ์. 2539. ข้อมูลบางประการของไม้ผลเป้าหมายของ สกว. 5 ชนิด. สาระไม้ผล. สำนักเลขาธิการชุดโครงการไม้ผลและผลิตภัณฑ์จากผลไม้ ตึกคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม. 1(2) : หน้า 14.
- รัชฎา เศรษฐวงศ์สิน. 2533. ความสัมพันธ์ระหว่างอายุเก็บเกี่ยวกับความแข็งของข้าวผลทุเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 77 หน้า
- วริธา แดงกนิษฐ. 2538. การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวและคุณภาพของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองสุกที่อุณหภูมิต่างๆ. ปัญหาพิเศษปริญญาโท ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. หน้า 6.
- วรภัทร ลัคนทินวงศ์. 2539ก. อิทธิพลของน้ำที่มีต่อการเกิดลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลมังคุด. เคหการเกษตร. 20(27) : 163 - 165.
- วรภัทร ลัคนทินวงศ์. 2539ข. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความมีชีวิตของเซลล์ และปัจจัยของน้ำที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด (*Garcinia Mangostana* L.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

- ศูนย์สถิติการเกษตร. 2540. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีการเพาะปลูก 2538/2359. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ศรีสังวาลย์ ลายวิเศษกุล. 2537. ปัจจัยที่มีผลต่ออาการเนื้อแก้วในผลมังคุด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- ศรียนต์ จำรูญพันธุ์. 2529. การศึกษาอาการเนื้อแก้วของมังคุด (*Garcinia Mangostana* L.). ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- สุดารัตน์ สุดพันธ์. 2536 . การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อทุเรียนพันธุ์ชะนี และพันธุ์หมอนทองภายหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 79 หน้า.
- สุรกิตติ ศรีกุล. 2531. การปลูกมังคุด. ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.
- สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2532. การเก็บเกี่ยวมังคุด. เคนการเกษตร. 13(6) : หน้า 65 - 68.
- สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2540. มังคุดและมาตรฐานโลก. เคนการเกษตร. 21(1) : หน้า 94 - 100.
- แสง ภูศิริ. 2527. ทุเรียน. วิทยาลัยเกษตรกรรมตรัง ตรัง. 237 หน้า.
- หิรัญ หิรัญประดิษฐ์, สุขวัญ จันทพรพรณิก และเสริมสุข สลักเพ็ชร์. 2535. เทคโนโลยีการผลิตทุเรียนให้มีคุณภาพ. เอกสารวิชาการประจำปี 2535 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 179-226.
- หิรัญ หิรัญประดิษฐ์, สุขวัญ จันทพรพรณิก และเสริมสุข สลักเพ็ชร์. 2541. เทคโนโลยีการผลิตทุเรียน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 190 หน้า.
- อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2540. ความถี่ธรรมชาติกับวัยของผลทุเรียนหมอนทอง. สารมะไม่ผล. สำนักเลขาธิการชุดโครงการไม้ผลและผลิตภัณฑ์จากผลไม้ ดิถคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม. 2(4) : หน้า 4-5, 8.
- อัมพิกา ปูนนจิต, เสริมสุข สลักเพ็ชร์ และ สุขวัญ จันทพรพรณิก. 2539. การเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณภาพมังคุด. ในเอกสารวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตมังคุดให้มีคุณภาพ. ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. หน้า 3-23.
- อรรถนพ วราอัสวปิติ, สมโภชน์ โกมลณีนี, ดาวเรือง ศรีออก, ธีระ โอ่งวัลย์ และพนารัตน์ เดชกุลทอง. 2532. ผลของความถี่จำเพาะต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. การประชุมวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- Akimoto, K. 1994. Internal quality evaluation of fruits by visible light. Proceedings of the international symposium on nondestructive quality evaluation of horticultural Crops. August 26, 1994. Kyoto, Japan.
- Almeyda, N. and W. Matin. 1976. Cultivation of neglected tropical fruits with promise. Part I : The Mangosteen. Agric. Res. Service, USDA, Washington.
- Brecht, J.K., R.L. Shewfelt, J.C. Garner and E.W. Tollner. 1991. Using X-ray computed tomography to nondestructively determine maturity green tomatoes. HortScience 26(1) : 45-47.
- Bushong, S.C. 1988. Radiologic science for technologists physics, biology and protection. Fourth edition. The C.V. Mosby company. St Louis, Missouri. pp. 106-400.
- Chattavongsin, R. and J. Siriphanich. 1990. Relationship between fruit-stem stiffness and maturity of manthong durians. Kasetsart J. Natl. Sci. Ser. 24(5) : 54-58.
- Chen, P. 1996. Quality evaluation technology for agricultural products. Invited paper for presentation at the international conference on agricultural machinery engineering, November 12-15, 1996. Seoul, Korea. 11 Pp.
- Chen, P., M.S. McCarthy and R. Kauten. 1989. NMR for internal quality evaluation of fruits and vegetables.
- Chen, P., M.S. McCarthy, R. Kauten, Y. Sarig and S. Han. 1993. Maturity evaluation of avocados by NMR methods. J. Agri. Eng. Res. 55 (3) : 177-187.
- Diener, R.G., J.P. Mitchell and M.L. Rhoten. 1970. Using an X-ray image scan to sort bruised apples. Agr. Eng. 51 : 356-357, 361.
- Doboys, K.A., J.K. Gilles, D.A. Hamilton, D.A. Roberts and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Anal. Chem. 23 : 350-356.
- Gerhardt, P., R.G.E. Murray, R.N. Costilow, E.W. Nester, W.A. Wood, N.R. Krieg and G.B. Phillips. 1981. Manual of methods for general bacteriology. Washington D.C. : Amer. Soc. Micro. pp. 333-334.
- Han, Y.J., S. V. Bowers and R.B. Dodd. 1992. Nondestructive detection of split - pit peaches. Transaction of the ASAE. 35(6) : 2063 - 2067.

- Ishida, N., T. Kobayashi, M. Koizumi and H. Kano. 1989. H-NMR imaging of tomato fruits. *Agric. Biol. Chem.*, 53 : 2363-2367.
- Joyce, D.C., P.D. Hocking, R.A. Mazucco, A.J. Shorter and I.M. Brereton. 1993. Heat treatment injury of mango fruit revealed by nondestructive magnetic resonance imaging. *Post. Biol. Tech.* 3 : 305-311.
- Lenker, D.H. and P.A. Adrian. 1971. Use of X-rays for selecting mature lettuce heads. *Trans. ASAE* 14(5) : 894-898.
- Marcelis, L.F.M., D.R. Verkerke, W.J. van der Burg, J.W. Aartse, R. Frankhuizen and A. Boekestein. 1995. Non-destructive evaluation of internal quality of radish tubers using specific gravity, X-ray analysis and near infrared spectroscopy. *Acta Hort.* 379 : 527-535.
- Morris, P.G. 1986. Nuclear magnetic resonance imaging in medicine and biology, Oxford University Press.
- Ochse, J.J., M.J. Soule, Jr., M.J. Dijkman and C. Wehlburg. 1961. Tropical and subtropical agriculture Vol.1. Collier-Macmillan, London.
- Pankasemsuk, T., O. Garner, J., B. Matta, F., and L. Silva, J. 1996. Translucent fresh disorder of mangosteen (*Garcinia Mangostana* L.). *Hortscience*. 31(1) : 112-113.
- Pech, J.C., A. Latche, M.H. Andrieu and J. Pradere. 1990. *In vivo* monitoring of fruit ripening by proton NMR imaging. XXIII Int. Hort. Congr., Firenze, Aug. 27-Sept. 1, Abstract 2394, p. 635.
- Roy, S.K. And G.D. Joshi. 1995. Minor fruits-tropical, Pp. 583-584. *In* D.K. Salunkhe and S.S. Kadam (Eds.) Handbook of fruit science and technology. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Saltveit, M.E. Jr., 1991. Determining tomato fruit maturity with nondestructive *in vivo* nuclear magnetic resonance imaging. *Post. Biol. Tech.* 1 : 153-159.
- Salunkhe, D.K. And B.B. Desai. 1984. Postharvest biotechnology of fruits. Vol I & II, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. 168 p.
- Sonogo, L.R., Ben-Arie, J. Raynal and J.C. Pech. 1995. Biochemical and physical evaluation of textural characteristics of nectarines exhibiting woolly breakdown : NMR imaging, X-ray computed tomography and pectin composition. *Post. Biol. Tech.* 5 : 187-198.

- Sornsrivichai, J., R. Podee, K. Sangnil and T. Yantarasri. 1999. Nondestructive method for sorting of gamboge and translucent pulp in mangosteen by specific gravity: precision and efficiency. 19th ASEAN and 1st APEC seminar on postharvest technology, quality assurance in agricultural produce, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Sprawls, P. 1990. The principles of computed tomography image formation and quality. pp. 1-9. In R.K. Gedgaudas-McClees and W.E. Torres. (eds.) Essentials of body computed tomography. Joranorich, Inc., Philadelphia.
- Suzuki, K., T. Tajima, S. Takano, T. Asano and T. Hasegawa. 1994. Nondestructive methods for identifying injury to vapor heat-treated papaya. Food Science 59 (4) : 855-857.
- Thai, C.N., E.W. Tollner, S.J. Kays and K. Morita. 1997. VIS-NIR and X-ray properties of detected mature green tomato fruit. Proceedings from the sensors for nondestructive testing international conference and tour. Orlando, Florida. pp.133-140.
- Thomas, P., S.C. Saxena, R. Chandra, R. Rao and C.R. Bhatia. 1993. X-ray imaging for detecting spongy tissue, an internal disorder in fruits of 'Alphonso' mango (*Mangifera indica* L.). J. Hort. Sci. 58(5) : 803-806.
- Tollner, E.W. 1993. X-ray technology for detecting physical quality attributes in agricultural produce. Post. News Infor. 4(6) : 149N-155N.
- Tollner, E.W., H.A. Affeldt Jr., G.K. Brown, P. Chen, N. Galili, C.G. Haugh, A. Notea, Y. Sarig, T. Schatzki, I. Shmulevich and B. Zion. 1993. Nondestructive detection of interior voids, foreign inclusions and pests. Proceedings of the BARD international workshop participants. Spokane, Washington. pp. 86-96.
- Wang, S.Y., P.C. Wang, and M. Fausf. 1988. Nondestructive detection of watercore in apple with nuclear magnetic resonance imaging. Scientia Hort. 35 : 227-234.
- Yantarasri, T. and J. Sornsrivichai. 1998. Internal quality evaluation of tangerines in northern Thailand. Acta Hort. 464: 494.

- Yantarasri, T., J. Sornsrivichai and P. Chen . 1997. Nondestructive X-Ray and NMR imaging for quality determination of mango fruit. Presented at 5th international symposium on fruit, nut, and vegetable production engineering. September 3-10, 1997. Davis, California. 5 pp.
- Yantarasri, T., J. Sornsrivichai and P. Chen. 1998. X-Ray and NMR for nondestructive internal quality evaluation of durian and mangosteen fruits. *Acta Hort.* 464 : 97-101.
- Yantarasri, T., S. Kanwano, P. Chen and J. Sornsrivichai. 1996. Nondestructive tests for Asian mangoes . Presented at 5th international mango symposium, September 1-6, 1996. Tel Aviv, Israel. 11 Pp.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

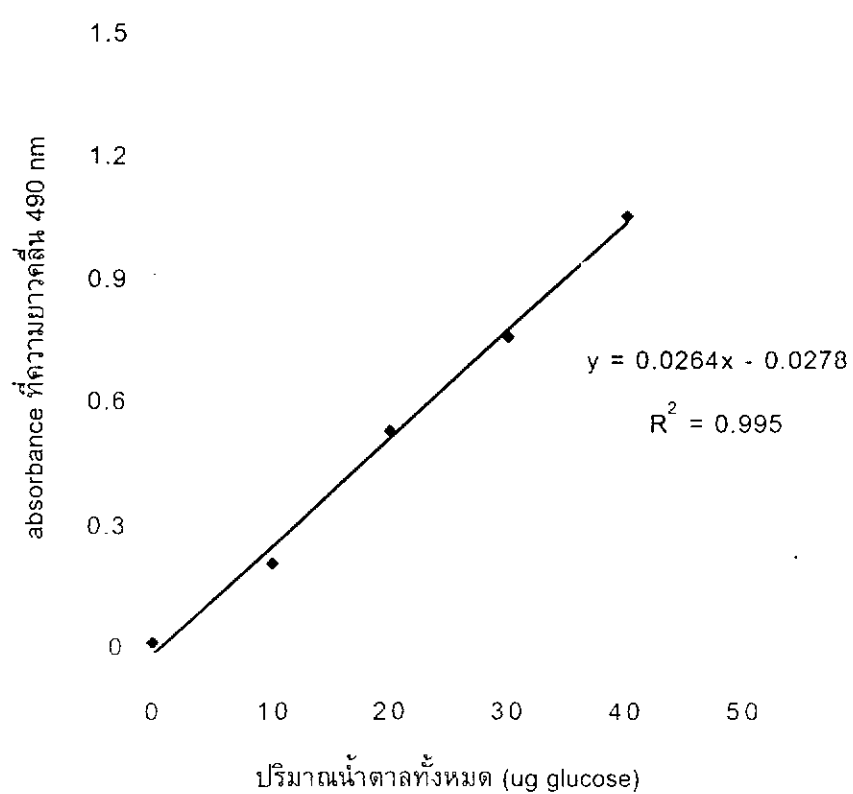
การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugars)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugars) ใช้วิธี colorimetric phenol (Dubois et al., 1956) ดังต่อไปนี้

1. ชั่งน้ำหนักเนื้อทุเรียน 20 กรัม ผสมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร บดให้ละเอียด นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 10 °C นำส่วนใสมาเจือจางให้ได้อัตราส่วน 1 ต่อ 4,000

2. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ในข้อ 1. มาตัวอย่างละ 2 มิลลิลิตร แต่ละตัวอย่างใช้ 2 หลอด พร้อม blank (น้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร) เติมน้ำละลาย phenol 80 % โดยน้ำหนัก ลงไป 0.1 มิลลิลิตร เขย่าทันทีให้เข้ากัน เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร เขย่าอีกครั้ง ทิ้งไว้ 10 นาที เขย่าซ้ำอีกครั้ง นำไปแช่ใน water bath (P Selecta Unitronic 320 OR) ที่อุณหภูมิ 25-30 °C เป็นเวลา 20 นาที นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 nm ด้วยเครื่อง Milton Roy Spectronic 1001 Plus

3. หาค่าความแตกต่างของการดูดกลืนแสงของ blank และตัวอย่าง โดยเปลี่ยนค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 490 nm เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำตาล จากการเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 0.001 - 0.004 เปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวก ก1) ซึ่งผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีเดียวกัน



ภาพผนวก ก1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด (Total sugars) ด้วยวิธี colorimetric phenol (Dubois et al., 1956)

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ใช้วิธี phenol reaction (Gerhardt et al., 1981) ดังต่อไปนี้

1. ชั่งน้ำหนักเนื้อทุเรียน 20 กรัม ผสมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร บดให้ละเอียด นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 10 °C นำส่วนใสมาเจือจางให้อยู่ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเจือจางด้วยน้ำกลั่น

2. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ในข้อ 1. มาตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร แต่ละตัวอย่างใช้ 2 หลอด พร้อม blank (น้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร) เติมสารละลาย phenol 5 % โดยน้ำหนัก ลงไป 1 มิลลิลิตร เขย่าทันทีให้เข้ากัน เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร เขย่าอีกครั้ง ทิ้งไว้ 10 นาที เขย่าซ้ำอีกครั้ง นำไปแช่ใน water bath (P Selecta Unitronic 320 OR) ที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 15 นาที นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 488 nm ด้วยเครื่อง Milton Roy Spectronic 1001 Plus

3. หาค่าความแตกต่างของการดูดกลืนแสงของ blank และตัวอย่าง โดยเปลี่ยนค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 488 nm เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำตาล จากการเทียบกับกราฟ มาตรฐานของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.001 - 0.007 เปอร์เซ็นต์ (ภาพผนวก ก2) ซึ่งผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีเดียวกัน และหาค่า slope จากกราฟ ที่ได้

การคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต

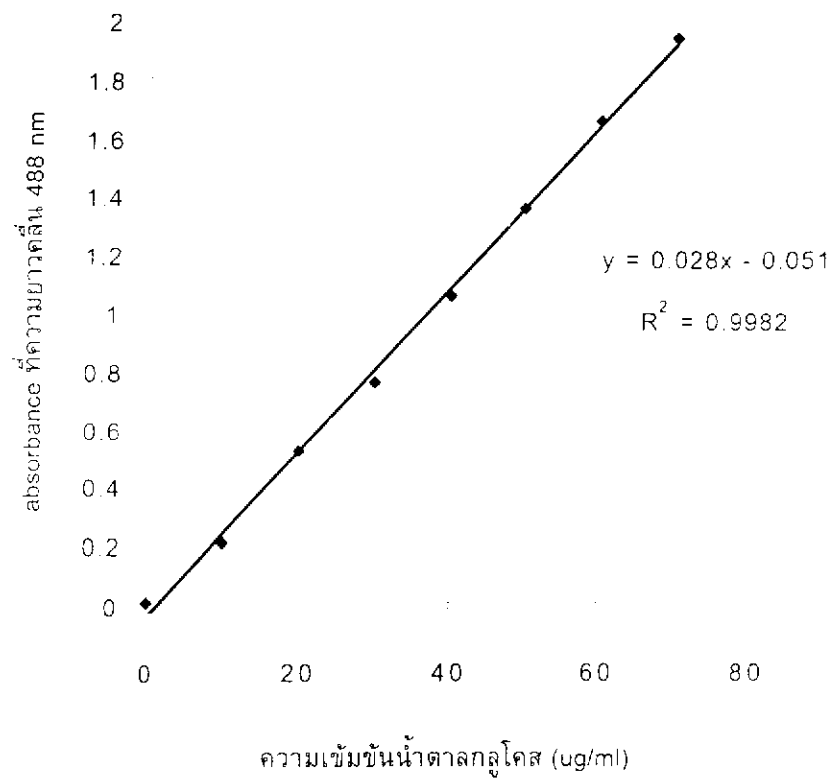
$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต : ตัวอย่าง 100 กรัม} = \frac{\text{As} * \text{dil} * 10^4}{\text{slope} * w}$$

โดยที่ : As = ค่า absorbance จากตัวอย่าง

dil = dilution

slope = ค่า slope จากกราฟมาตรฐาน

w = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้



ภาพผนวก ก2 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด (Total sugars) ด้วยวิธี phenol reaction (Gerhardt et al., 1981)