



วิทยานิพนธ์

สมบัติเชิงกล, เสียง และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนที่สัมพันธ์กับ
ระยะเวลาเจริญเติบโต

**MECHANICAL, SOUND AND PHYSIOLOGICAL PROPERTY
OF YOUNG COCONUT FRUIT AS RELATED TO MATURITY.**

นายวีรกุล มีกลางแสน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง สมบัติเชิงกล, เสียง และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะเวลาเจริญเติบโต

Mechanical, Sound and Physiological Property of Young Coconut Fruit as Related to
Maturity

นามผู้วิจัย นายวีรกุล มิกกลางแสน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 1 เดือน ๕ พ.ศ. ๕๐

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สมบัติเชิงกล, เสียง และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโต

Mechanical, Sound and Physiological Property of Young Coconut Fruit as Related to Maturity

โดย

นายวีรกุล มีกลางแสน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2550

วีรกุล มีกลางแสน 2550: สมบัติเชิงกล, เสี่ยง และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc. 116 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งที่จะศึกษาสมบัติเชิงกล, เสี่ยง และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเทคนิคในการคัดแยกความอ่อน-แก่แบบไม่ทำลายของผลมะพร้าวอ่อน วิธีการประกอบด้วย การทดสอบหาสมบัติเสี่ยงด้วยชุดอุปกรณ์หาสมบัติเสี่ยง สมบัติเชิงกล คุณลักษณะทางกายภาพ และสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะ เวลาหลังการผสมเกสร การวิเคราะห์การคัดแยกผลมะพร้าวอ่อนด้วยเทคนิค discriminante analysis ANOVA และ DMRT ชุดอุปกรณ์หาสมบัติเสี่ยง ประกอบด้วย ตัวประมวลผล (ที่รวมเอาคอมพิวเตอร์และตัวแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิทัลเอาไว้ด้วยกัน) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ที่รวมเอาแหล่งจ่ายไฟ วงจรปริโมค และวงจรขับโซลินอยด์) และชุดเคาะผลไม้

ผลการทดลองปรากฏว่า ความแตกต่างของระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อนสามารถอธิบายได้ด้วย สมบัติเชิงกล ได้แก่ แรงกดแตกของกะลา Secant modulus ของกะลา แรงกดสูงสุดของเนื้อมะพร้าว ความชันของกราฟแรงการเปลี่ยนรูปของเนื้อมะพร้าว สมบัติสรีรวิทยา ได้แก่ ความหวาน ความเป็นกรด ความหนาเนื้อ น้ำหนักเนื้อแห้ง น้ำหนักเนื้อสด และสมบัติเสี่ยง ได้แก่ ความถี่สั่นพ้อง สัมประสิทธิ์ความแข็ง ดัชนีความถี่ธรรมชาติ ความแตกต่างของระยะการเจริญเติบโต ที่วิเคราะห์ด้วย ANOVA และ DMRT ระบุความแตกต่างของตัวแปรสมบัติทางกายภาพ และสรีรวิทยาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความสำคัญ 5% สมบัติเสี่ยงแสดงให้เห็นว่าเป็นเทคนิคที่มีศักยภาพในการคัดแยกผลมะพร้าวอ่อน


ลายมือชื่อนิติติต


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

๒๒ / ๖๓ / ๕๐

Weerakul Meeklangsaen 2007: Mechanical, Sound and Physiological Property of Young Coconut Fruit as Related to Maturity. Master of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Bundit Jarimopas, D.Sc. 116 pages.

This research was to determine mechanical, sound, Physiological properties of young coconut fruit for the development of a non-destructive technique sorting the young coconut fruit of different maturity. Methodology comprised determination of physical characteristics and mechanical properties of young coconut fruit by means of 4 mm spherical plunger compression with the Universal Testing Machine. Determination of physiological properties in term of total soluble solid and acidity of young coconut juice was performed. Determination of sound property in term of resonance frequency, stiffness coefficient and index of natural frequency was carried out by means of the sound measuring set-up. The sound measuring set-up comprised hammering set, processor and electronic circuit. Newly-harvested, flawless samples of the young coconut fruit of uniform size were taken from the orchard every 4 days over the period of 170 to 210 days (after fruit set) covering the immature, mature and overmature stages. Analysis was achieved by Discriminant Analysis, ANOVA and Duncan Multiple Range Test.

Results showed that mechanical properties could be represented by distribution of rupture force and secant modulus of endocarp, rupture force of flesh, slope of force-deformation graph of flesh with respect to time. The physiological properties were attributed by distribution of total soluble solids and acidity related to time. The sound properties were characterized by distribution of resonance frequency, stiffness coefficient and index of natural frequency with respect to time. Time of maturity development significantly affected the parameters of the aforementioned properties at the significance level of 5%. The related statistics of the properties by DMRT were detailed in The thesis. Maturity sorting of the young coconut fruit using resonance frequency, total soluble solids, acidity, flesh thickness, and slope of the force-deformation curve of endocarp could be fulfilled at the accuracy of 95.7%.

Weerakul M.

Student's signature

Bundit Jarimopas

Thesis Advisor's signature

22 / 05 / 07

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง สมบัติเชิงกล, เสียง และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะเวลาเจริญเติบโตประสบความสำเร็จลงได้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จริโมภาส ซึ่งเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเมตตา กรุณาต่อศิษย์ พร้อมกับให้ความรู้ คำปรึกษา หาทุนสนับสนุนงบประมาณในการสร้างเครื่องและตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวลักษณ์ ปลูกวิรัตน์ กรรมการสาขาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุลกรรมการสาขาวิชารอง ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาที่ดีเสมอมา ที่ให้คำชี้แนะที่ดีอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และ ครอบครัวมีกลางแสนทุก ๆ คน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่กรุณาสับสนุนงบประมาณวิจัย และเจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตรตลอดจน รุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อนทุก ๆ คน ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด ตั้งแต่ต้นจนเสร็จสมบูรณ์

ประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ฟังมีเพียงใด ผู้จัดทำขอบแต่ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้การเลี้ยงดู ให้โอกาสศึกษาเล่าเรียน คณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้และคุณธรรม จนสำเร็จการศึกษา หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดและบกพร่องประการใด ผู้จัดทำขออ้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

วีรกุล มีกลางแสน

เมษายน 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	10
อุปกรณ์	10
วิธีการ	11
ผลและวิจารณ์	24
สรุปและข้อเสนอแนะ	38
สรุป	38
ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	40
ภาคผนวก	42
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	43
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ผลการทดลอง	91
ภาคผนวก ค ผลงานการทำงานวิจัย	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนกับระยะเวลาเจริญเติบโต	25
2	คุณลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าว	30
3	สมบัติเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน	31
4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ DMRT ความถี่สั้นพ้องของผลมะพร้าวอ่อน (ตารางผนวกที่ ข4-ข9)	32
5	สมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน	33
6	ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่ม	34
7	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปร Canonical	35
8	สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในการจำแนกการแบ่งกลุ่ม	35
9	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการพยากรณ์การแบ่งกลุ่ม	37
ตารางผนวกที่		
ก1	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 170 วัน (ช่วงที่ 1)	44
ก2	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 170 วัน (ช่วงที่ 1)	45
ก3	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 174 วัน (ช่วงที่ 1)	46
ก4	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 174 วัน (ช่วงที่ 1)	47
ก5	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 178 วัน (ช่วงที่ 1)	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก6	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 178 วัน (ช่วงที่ 1)	49
ก7	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 182 วัน (ช่วงที่ 1)	50
ก8	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 182 วัน (ช่วงที่ 1)	51
ก9	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 186 วัน (ช่วงที่ 1)	52
ก10	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 186 วัน (ช่วงที่ 1)	53
ก11	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 190 วัน (ช่วงที่ 1)	54
ก12	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 190 วัน (ช่วงที่ 1)	55
ก13	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 194 วัน (ช่วงที่ 1)	56
ก14	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 194 วัน (ช่วงที่ 1)	57
ก15	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 198 วัน (ช่วงที่ 1)	58
ก16	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 198 วัน (ช่วงที่ 1)	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก17	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 202 วัน (ช่วงที่ 1)	60
ก18	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 202 วัน (ช่วงที่ 1)	61
ก19	คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 206 วัน (ช่วงที่ 1)	62
ก20	สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 206 วัน (ช่วงที่ 1)	63
ก21	คุณลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน ในช่วงเนื้อหนึ่ง (ช่วงที่ 2)	64
ก22	สมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเนื้อหนึ่ง (ช่วงที่ 2)	69
ก23	คุณลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน ในช่วงเนื้อหนึ่งครั้ง (ช่วงที่ 2)	73
ก24	สมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเนื้อหนึ่งครั้ง (ช่วงที่ 2)	78
ก25	คุณลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน ในช่วงเนื้อสอง (ช่วงที่ 2)	82
ก26	สมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเนื้อสอง (ช่วงที่ 2)	87
ข1	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation matrix)	92
ข2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่สั่นพ้องของต่อปัจจัยควบคุมได้แก่ ระยะเวลาเจริญเติบโต	92
ข3	ความถี่สั่นพ้องต่อระยะเวลาเจริญเติบโตวิเคราะห์แบบ DMRT	93
ข4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่สั่นพ้องของต่อ ระยะเวลาเจริญเติบโต และสั่นผล	93
ข5	ความถี่สั่นพ้องต่อระยะเวลาเจริญเติบโตของสั่นผลวิเคราะห์แบบ DMRT	93
ข6	ความถี่สั่นพ้องต่อสั่นผลวิเคราะห์แบบ DMRT	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่สั้นพ้องของต่อระยะการเจริญเติบโต และฝักราบ	94
ข8	ความถี่สั้นพ้องต่อระยะการเจริญเติบโตของฝักราบวิเคราะห์แบบ DMRT	95
ข9	ความถี่สั้นพ้องต่อฝักราบวิเคราะห์แบบ DMRT	95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของผลมะพร้าว	5
2	การวัดขนาดของผลมะพร้าวอ่อน	12
3	การหาความถ่วงจำเพาะของผลมะพร้าวอ่อน	12
4	การหาสมบัติเชิงกลของกะลามะพร้าวอ่อน	13
5	กราฟแรง - การเปลี่ยนรูปของกะลามะพร้าวอ่อน	14
6	ส่วนประกอบภายในของผลมะพร้าวอ่อน	15
7	กราฟแรง – การเปลี่ยนรูปของเนื้อมะพร้าวอ่อน	15
8	โครงสร้างของชุดอุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติเสียง	16
9	ไคอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติเสียง	16
10	วงจร DriverSoliToid	17
11	วงจรPreMic	18
12	วงจรแสดงแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)	18
13	การทดสอบวัดหาสมบัติเสียงของมะพร้าวอ่อน	19
14	ตำแหน่งบนผลมะพร้าวอ่อนที่ถูกเคาะหาสมบัติเสียง	19
15	หน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงการควบคุม และแสดงผล	20
16	Digital Refractometer	21
17	การวัดความหนาเนื้อมะพร้าวอ่อน	23
18	ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	25
19	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดแตกกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	25
20	การกระจายตัวของความถี่สั่นพ้องผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	26
21	การกระจายตัวของสัมประสิทธิ์ความแข็งผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	27
22	การกระจายตัวของดัชนีความถี่ธรรมชาติผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	27

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเนื้อเปียกของผลมะพร้าวอ่อนกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	28
24	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเนื้อแห้งของผลมะพร้าวอ่อนกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	29
25	ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งที่ละลายได้ของผลมะพร้าวอ่อนกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	29
26	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเนื้อของผลมะพร้าวอ่อนกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	30
27	ลักษณะผิวที่ขรุขระของผลมะพร้าวอ่อน	32
28	ค่ากลางและการกระจายของตัวแปรในแต่ละกลุ่ม	36

สมบัติเชิงกล, เสียง และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะการ
เจริญเติบโต

**Mechanical, Sound and Physiological Property of Young Coconut Fruit as
Related to Maturity**

คำนำ

มะพร้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทย คนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าว ในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาว และหวานในชีวิตประจำวัน ในปี 2547 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะพร้าวที่ให้ผลผลิตแล้ว 2,142,000 ไร่ ผลผลิตรวมประมาณ 1,499,000 ตัน ราคาที่เกษตรกรขายได้ 3,464 บาทต่อตัน การส่งออกจะส่งในรูปแบบผลอ่อนไปต่างประเทศในลักษณะมะพร้าวควั่น และมะพร้าวเจียน (ฐานความรู้ด้านพืช กรมวิชาการเกษตร, 2549) สถิติการส่งออกมะพร้าวในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยส่งออกมะพร้าวไปต่างประเทศ มูลค่า 407.35 ล้านบาท ปี 2548 มีมูลค่า 436.401 ล้านบาท

ในการระบุน้ำมันแก่ของผลมะพร้าวอ่อนจะอาศัยการการนับวันหลังจันทัน การสังเกตจากทางหู วิธีนี้อาจคลาดเคลื่อนได้ในฤดูร้อนที่แดดจัดมาก ๆ เพราะทางหูอาจแห้งก่อนกำหนด และการสังเกตจากสีผล อาจคลาดเคลื่อนได้จากแดดที่จัดมากจะทำให้สีของผลมะพร้าวอ่อนออกเป็นสีเหลือง ๆ และปัญหาที่กะลาแตกตั้งแต่ยังอยู่บนต้น ซึ่งเป็นความเสียหายที่ไม่อาจมองเห็นได้จากภายนอกได้ การเก็บเกี่ยวจะเป็นแบบคละระยะการเจริญเติบโต ทำให้บ่อยครั้ง ผู้บริโภคได้รับประทานผลมะพร้าวอ่อนที่ไม่อร่อย ไม่หวาน ไม่ประทับใจ ส่งผลกระทบต่อการผลิตมะพร้าวน้ำหอม บ่อยครั้งผู้จำหน่าย พ่อค้าไม่รู้ประวัติผลมะพร้าวอ่อนลูกนั้น ๆ หรือตรวจสอบไม่ดี ทำให้เป็นปัญหาในการผลิตผลมะพร้าวอ่อนที่มีมาตรฐานคุณภาพ

จากปัญหาข้างต้นอาจมีผลมะพร้าวที่อายุการเจริญเติบโตยังไม่พอกับการเก็บเกี่ยว และกะลาแตกปะปนไปได้ ทั้งยังไม่มีเทคโนโลยีด้านการคัดแยกความอ่อนแก่ของผลมะพร้าวอ่อน ดังนั้นการตรวจสอบความอ่อน-แก่ของผลมะพร้าวอ่อน ด้วยเทคนิคการวัดเสียง จะช่วยให้สามารถตรวจสอบความอ่อน-แก่มะพร้าวอ่อนได้แม่นยำมากขึ้น ซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ลดการสูญเสียให้น้อยลง ยังเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต และวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวด้วย

วัตถุประสงค์

เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกล, เสียง และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเทคนิคในการคัดแยกความอ่อน-แก่แบบไม่ทำลายของผลมะพร้าวอ่อน

การตรวจเอกสาร

การจำแนกพันธุ์มะพร้าวมีผู้จำแนกไว้หลายแบบซึ่งแตกต่างกันไป หลักที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์มักจะเป็นขนาดของต้น อายุตกผล และขนาดผล พันธุ์มะพร้าวไทยได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง และต้นเตี้ย (พานิชย์, 2544)

1. มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง

ลักษณะสำคัญคือ ต้นสูง ออกผลช้า มีสะเกโทกที่โคนต้น ส่วนมากเป็นมะพร้าวที่ปลูกเพื่อใช้น้ำมันในเนื้อมะพร้าวสำหรับประกอบอาหาร หรือใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มักเป็นพันธุ์ต้นสูงพวกนี้มักมีอายุยืน (60-80 ปี หรือมากกว่านั้น) ขึ้นอยู่กับสภาพดิน มักจะต้านทานต่อโรคและแมลง ยกเว้นพวกไวรัสที่ทำให้เกิดโรคบางชนิด จะเริ่มติดผลเมื่ออายุประมาณ 8-10 ปีหลังปลูก ในกลุ่มนี้จะแยกพันธุ์ตามสถานที่ที่ขึ้นอยู่ หรือลักษณะของผลที่เห็นเด่นชัด เช่น มะพร้าวหัวลิง ทะลายร้อย ปากจก เปลือกหวาน มะพร้าวใหญ่ มะพร้าวกะโหลก เป็นต้น

2. มะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย

เป็นพันธุ์ออกผลเร็ว ต้นเตี้ยไม่มีสะเกโทก พันธุ์พวกนี้มักจะติดดอกออกผลในช่วง 3-4 ปี หลังจากปลูก ผลผลิตจะออกเต็มที่ในช่วง 9-10 ปี อายุการให้ผลที่ระดับเศรษฐกิจอยู่ประมาณ 30-40 ปี สีของผลจะมีทั้งสีเหลือง ทอง สีเหลืองงาช้าง สีเขียว สำหรับผลของพันธุ์ต้นเตี้ยจะมีทั้งขนาดเล็กและผลใหญ่ พันธุ์ผลเล็กที่สุดในกลุ่มนี้คือ Coco Nino ในฟิลิปปินส์ ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปปลูกกระจายทั่วไปทุกส่วนของโลก มะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ยได้แก่ มะพร้าวหมูสี หมูสีเขียว ทุ่งเคล็ด หมูสีเหลือง มะพร้าวไฟ ปะทิว มะพร้าวอ่อน นกคุ้ม ฯลฯ

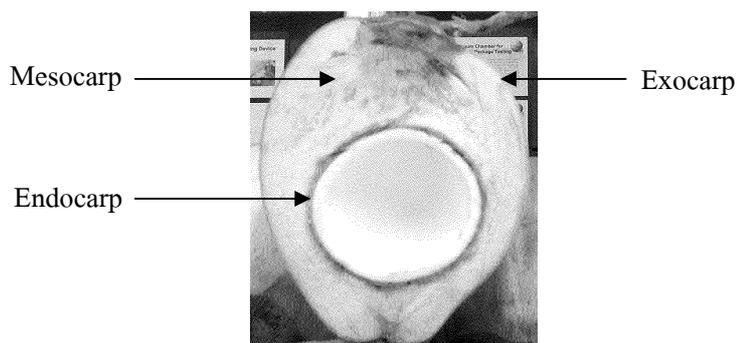
หนึ่งในมะพร้าวต้นเตี้ยที่น่าสนใจมากเป็นพิเศษในปัจจุบันคือมะพร้าวอ่อนน้ำหอม ซึ่งเป็นที่ชื่นชอบของผู้คนภายในประเทศและชาวต่างประเทศ มะพร้าวน้ำหอมนี้จัดเป็นมะพร้าวพันธุ์หนึ่ง แต่ในมะพร้าวน้ำหอมด้วยกันยังแยกเป็นชนิดเป็นชนิดได้อีก 3 ชนิด (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531) มีลักษณะและขนาดของผลแตกต่างกัน ส่วนด้านความหวานและความหอมของน้ำใกล้เคียงกัน ไม่มีชนิดใดเหนือกว่าอย่างชัดเจน มะพร้าวน้ำหอมทั้ง 3 ชนิด ได้แก่

1. มะพร้าว น้ำหอมชนิดผลยาวหรือผลเล็ก มะพร้าว น้ำหอมชนิดนี้มีขนาดผลเล็ก ลักษณะผลยาวรี ผลภายในหั่วท้ายแหลม ทรงผลไม่สวยงาม
2. มะพร้าว น้ำหอมชนิดผลกลม มะพร้าว น้ำหอมชนิดนี้ เป็นขนาดผลใหญ่ที่สุดในบรรดามะพร้าว น้ำหอมด้วยกันคือใหญ่ทั้งขนาดภายนอกและขนาดภายใน มะพร้าว ชนิดนี้มีผลกลม มีเปลือกบางกว่ามะพร้าว น้ำหอมชนิดอื่น ปัจจุบันนิยมผลิตมะพร้าว ชนิดนี้มาก เนื่องจากตัดแต่งผลได้ง่ายและสวยงามกว่ามะพร้าว น้ำหอมชนิดอื่น ๆ
3. มะพร้าว น้ำหอมชนิดผลรีหรือชนิดก้นจีบ เป็นมะพร้าว น้ำหอมที่มีลักษณะกึ่งกลางระหว่างมะพร้าวผลยาวกับมะพร้าวผลกลม ขนาดผลของมะพร้าว น้ำหอมชนิดก้นจีบมีขนาดใหญ่พอสมควร ถึงขนาดผลจะมีขนาดใหญ่ไม่เท่ากับพันธุ์ลูกผสมก็ตาม

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลมะพร้าว

ผล (Fruit) ผลมะพร้าวจะมีขนาดโตเต็มที่หลังจากที่มีการผสมเกสรแล้ว 6 เดือน และหลังจากนั้นอีก 6 เดือน ผลก็จะสุกแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ลักษณะของผลเป็นแบบ fibrous drups ที่เรียกกันว่า Tut ขนาดของผล สีของผล จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะประจำพันธุ์ ผลของมะพร้าวหรือเปลือกมะพร้าวนี้ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ 3 ชั้น (ภาพที่ 1) คือ

1. Exocarp คือ เปลือกนอกสุดของผล เป็นแผ่นของเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อผลแก่จะมีสีเขียว แดง หรือเหลืองตามลักษณะประจำพันธุ์ สำหรับผลที่แก่และแห้งจัดจะมีสีน้ำตาลเข้ม
2. Mesocarp เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากเปลือกนอกเข้ามา เมื่อผลยังอ่อนมีลักษณะอ่อนนุ่มบาง พันธุ์อาจมีรสหวานรับประทานได้ แต่เมื่อผลแก่จะกลายเป็นชั้นของเส้นใยที่เรียกว่า กาบมะพร้าว (coir) ซึ่งชั้นนี้จะหนาประมาณ 4-8 เซนติเมตร (ตามแต่พันธุ์)
3. Endocarp เป็นชั้นในสุดที่มีกาบมะพร้าวหุ้มล้อมรอบ เมื่อผลแก่จะมีลักษณะแข็ง สีน้ำตาลดำ ที่เรียกว่า กะลา (husk or shell) ซึ่งผิวด้านนอกของกะลาจะมีสันนูน 3 สัน ที่กะลาด้านที่อยู่ทางข้างของผลจะมีตาอยู่ 3 ตา carpel ละ 1 ตา โดยมีตาแข็ง 2 ตา และตานิ่มอันใหญ่ 1 ตา ตานิ่มนี้จะอยู่บนส่วนของกะลาอันใหญ่ที่สุด เมื่อมะพร้าวออกหน่อออกมา ต้นอ่อนจะแทงทะลุผ่านตานิ่มอันนี้



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของผลมะพร้าว

เมล็ด (Seed) เมล็ดมะพร้าวคือชิ้นที่อยู่ถัดจากกะลาเข้าไป (นพรัตน์,2536) มีเปลือกเมล็ดสีดำหรือสีน้ำตาล (seed coat) มีชั้นเนื้อมะพร้าว (endosperm) ซึ่งมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 1-2 เซนติเมตร น้ำมะพร้าว (liquid endosperm) และส่วนที่เป็นต้นอ่อน (embryo)

ลักษณะและการเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อน

1. การสังเกตการสุกแก่ของมะพร้าว

วิธีการที่สามารถใช้สังเกตอายุการเก็บเกี่ยวมะพร้าวที่เหมาะสม (กลุ่มเกษตรสัญจร,2531) ได้แก่

1.1 นับทะลาย

นับทะลายที่จะเก็บเกี่ยวเป็นทะลายที่หนึ่ง แล้วนับทะลายที่ออกตามมาเป็นทะลายที่สองและสามไปเรื่อย ๆ เมื่อจันทน์ 12 ทางออกและกาบหุ้มยังไม่แตกเป็นระยะที่มะพร้าวทะลายแรกอยู่ในช่วงที่อ่อนกำลังดี

1.2 สังเกตจากหางหนู

มะพร้าวที่มีอายุผลมาก จนกะลามีสีดำหางหนูจะแห้งตั้งแต่ข้าวผลไปจนจรดปลาย มะพร้าวอ่อนหางหนูแห้งครั้งหนึ่ง ส่วนอีกครั้งหนึ่งยังสดอยู่ วิธีนี้อาจคาดเคลื่อนได้ในฤดูร้อนที่ แดดจัดมาก ๆ เพราะหางหนูอาจแห้งก่อนกำหนด

1.3 สังเกตจากสีผล

บริเวณรอยต่อของข้าวกับตัวผลของผลมะพร้าวอ่อนจะมีสีขาวเป็นวงรอบข้าวผล ถ้าสีขาวยังเป็นวงกว้างก็แสดงว่ามะพร้าวยังอ่อนอยู่มาก ต่อเมื่อส่วนสีขาวบริเวณรอยต่อเหลือเพียง เล็กน้อยพอเป็นวงรอบข้าวก็แสดงว่าได้ระยะเก็บเกี่ยวพอดี

2. การเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อน

การเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อนในระยะที่เหมาะสมจะได้ผลมะพร้าวที่มีคุณภาพดี คือ น้ำมีรส หวาน และมีรสอมเปรี้ยว (พานิชย์, 2544) นอกจากนี้ยังไม่มีการสร้างเนื้ออีกด้วย ในการเก็บเกี่ยว ชาวสวนจะแบ่งผลมะพร้าวออกเป็น 3 ประเภทโดยดูจากความหนาของเนื้อเป็นเกณฑ์ คือ

2.1 มะพร้าวชั้นเดียว

ผลมะพร้าวมีอายุหลังจากจั่นบานประมาณ 170 วัน น้ำมะพร้าวยังไม่หวาน วัดความ หวานได้ประมาณ 5.0 – 5.6 เปอร์เซ็นต์บrix มะพร้าวเริ่มจะสร้างเนื้อภายในกะลา การเกิดเนื้อ มะพร้าวจะเกิดบริเวณก้นผลก่อน แล้วจะหนาขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงหัวผล เนื้อจะมีลักษณะเป็นวุ้น บางๆ ประมาณครึ่งผล เมื่อเปิดส่วนก้นแล้วมองลงไปตรงๆ ไปที่ส่วนหัวของมะพร้าวจะมองเห็น กะลาสีเหลืองอ่อนได้อย่างชัดเจน ไม่เหมาะในการบริโภค

2.2 มะพร้าวชั้นครึ่ง

ผลมะพร้าวมีอายุหลังจากจั่นบานประมาณ 180 – 185 วัน น้ำเริ่มหวานขึ้น วัดความ หวานได้ประมาณ 6.0 – 6.6 เปอร์เซ็นต์บrix มะพร้าวเริ่มสร้างเนื้อมากขึ้นจนเกือบเต็มกะลา แต่ บริเวณส่วนชั้นของผลยังคงมีลักษณะเป็นวุ้นอยู่บ้าง มะพร้าวชนิดนี้ยังถือว่าอ่อน ไม่เหมาะแก่การ

ขายทั้งผล แต่เหมาะสำหรับบรรจุแก้วใใส่ในตู้เย็น ชนิดที่แต่ละแก้วมีทั้งน้ำทั้งเนื้ออยู่ด้วยกัน อย่างไรก็ตามมีผู้บริโภครายชอบบริโภคมะพร้าวแบบชั้นครั้งนี้เหมือนกัน

2.3 มะพร้าวสองชั้น

ผลมีอายุหลังจากจับนานประมาณ 200 – 210 วัน น้ำมีรสหวาน วัดความหวานได้ 6.6 – 7.0 เปอร์เซ็นต์บrix มะพร้าวที่มีเนื้อหนาอ่อนนุ่ม เต็มผลแต่ยังไม่แก่จนเกินไป หรือไม่แก่จนเนื้อภายในแข็ง สามารถบริโภคเนื้อได้ทั้งผล ส่วนใหญ่ชาวสวนจะเก็บเกี่ยวมะพร้าวในช่วงนี้

คุณภาพของมะพร้าวอ่อนที่มีวัยหรือความแก่ที่เหมาะสมย่อมทำให้ได้ผลที่มีคุณภาพดี เพราะวัยของผลมะพร้าวที่เก็บเกี่ยวมานั้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพในการรับประทาน การเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อนเพื่อการบริโภคสดนั้น หากเก็บเกี่ยวผลที่มีวัยอ่อนหรือแก่เกินไป ย่อมทำให้คุณภาพของผลลดลง โดยการเก็บเกี่ยวผลอ่อนเกินไปจะทำให้ให้น้ำมะพร้าวมีรสเปรี้ยว ส่วนการเก็บเกี่ยวผลแก่เกินไปเนื้อจะแข็ง กลิ่นเปลี่ยนไป โดยทั่วไปมะพร้าวอ่อนที่มีคุณภาพดี คือ มะพร้าวที่เก็บเกี่ยวเมื่อการพัฒนาของเนื้อประมาณชั้นครึ่งถึง 2 ชั้น เพราะช่วงอายุการเก็บเกี่ยวดังกล่าวมะพร้าวจะมีกลิ่นหอม รสหวานกลมกล่อม และเนื้อนุ่ม เว้นแต่พวกชั้นครึ่งจะมีน้ำออกเปรี้ยวเล็กน้อย โดยเฉลี่ยมะพร้าวอ่อนที่เก็บสดมีรสหวานไม่เปรี้ยวจะมีความหวานตั้งแต่ 7% ขึ้นไป สัดส่วนความหวานต่อกรดสูงกว่า 95 % สำหรับมะพร้าวชั้นครึ่งและชั้นเดียว ความหวานของน้ำจะใกล้เคียงกันประมาณ 6 - 7% แต่สัดส่วนความหวานต่อกรดจะอยู่ระหว่าง 75 - 90 และต่ำกว่า 75 % ตามลำดับ หากสัดส่วนระหว่างความหวานต่อกรดยิ่งน้อย น้ำมะพร้าวจะยิ่งเปรี้ยว ดังนั้นสำหรับการส่งออกแล้วควรเก็บมะพร้าวที่มีความแก่เมื่อเนื้อได้ขนาดชั้นครึ่งถึง 2 ชั้น

คลื่นเสียง

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ เราสามารถทำให้วัตถุสั่นด้วยวิธีการ ดึง สี่ ตี และเป่า เมื่อแก่งำเนิดเสียงเกิดการสั่น จะทำให้โมเลกุลอากาศสั่นตามไปด้วยความถี่เท่ากับการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงเกิดเป็นช่วงอัดช่วงขยายของโมเลกุลของอากาศ ซึ่งพลังงานของการสั่นจะแผ่ออกไปรอบๆ แหล่งกำเนิดเสียง ตรงกลางส่วนอัดและตรงกลางส่วนขยายโมเลกุลอากาศจะไม่มีเคลื่อนที่ (การกระจัดเป็นศูนย์) แต่ตรงกลางส่วนอัดความดันอากาศจะมากและตรงกลางส่วนขยายความดันอากาศจะน้อยมากดังนั้นคลื่นเสียงจึงเป็นคลื่นตามยาวเพราะโมเลกุลของอากาศจะสั่นในทิศเดียวกับทิศที่เสียงเคลื่อนที่ไป ความดังของเสียงจะขึ้นอยู่กับช่วงกว้างของการสั่น (แอมพลิจูด) ถ้าแอมพลิจูดมาก

เสียงจะดังมาก การเปลี่ยนความดันอากาศนี้สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า จนถึง หูของ ผู้ฟังทำให้ได้ยินเสียง คลื่นความดัน (Pressure Wave) จะต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ของแข็งหรือของเหลว แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้

ความถี่ธรรมชาติ

วัตถุหลายอย่างเมื่อเราทุบ ตี ดึง เคาะ หรือกระแทกจะเกิดการสั่นขึ้น เมื่อวัตถุสั่นจะเกิดความถี่เฉพาะตัวของวัตถุซึ่งก็คือ Natural frequency หรือความถี่ธรรมชาตินั่นเอง วัตถุแต่ละชนิดจะมี Natural frequency หรือมีกลุ่มความถี่ที่วัตถุแต่ละชนิดมักจะสั่น วัตถุบางอย่างสั่นที่ Single natural frequency ในขณะที่วัตถุอื่นอาจมีหลาย mode ของการสั่น และสามารถสั่นได้ในทุก mode ของการสั่น ดังนั้นวัตถุจะมี Natural frequency ที่ความถี่เดียว หรือมากกว่า 1 ความถี่ ซึ่งจะเกิดการสั่น เมื่อเรานำแรง เคาะ หรือกระบวนกรรบบกวนด้วยวิธีอื่น ความถี่ธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุหากวัตถุมีความหนาแน่นมากความถี่ก็จะสูง แต่ถ้าหากความหนาแน่นน้อยความถี่ก็จะน้อย

สมบัติด้านเสียงของผลไม้

การศึกษาการใช้คลื่นเสียงในการตรวจวัดความสุก – แก่ ของผลไม้โดยใช้คลื่นเสียงในระดับ sonic และ ultrasonic เป็นวิธีการหนึ่งที่จะวัดความสุก – แก่ ของผลไม้โดยไม่ทำให้ผลไม้เกิดการเสียหาย โดยทั่ว ๆ ไปเกษตรกร และพ่อค้าตลาดจนผู้บริโภคจะวัดหรือคาดคะเนความสุก – แก่ ของผลไม้โดยการสังเกตจากสี การติด การเคาะฟังเสียง ในกรณีของมะพร้าวเสียงของมะพร้าวอ่อนที่เนื้อหนึ่งชั้นมีเสียงทึบที่ไม่ลึก แต่เมื่อเมื่อมะพร้าวอ่อนเจริญเติบโตขึ้น เสียงทึบจะลึกตามการเจริญเติบโต

Abbot *et al.*, (1968) ได้ศึกษาการวัดคุณภาพของแอปเปิ้ลด้วยเสียง พบว่า Stiffness coefficient มีค่าเท่ากับมวล (mass) คูณด้วยกำลังสองของค่าความถี่ธรรมชาติค่าต่ำสุด สามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนความสุก – แก่ ของผลแอปเปิ้ลได้ โดยค่าความถี่ธรรมชาติจะลดต่ำลงเมื่อแอปเปิ้ลสุกขึ้น และความถี่ธรรมชาติยังมีความสัมพันธ์กับความแน่นเนื้อของผลไม้ด้วย

Chen *et al.*, (1996) ความถี่ธรรมชาติในผลไม้แต่ละผลมีความถี่ธรรมชาติมากกว่า 1 ความถี่ การเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของผลไม้ต่างผลกันต้องเปรียบเทียบกับความถี่ธรรมชาติ Order เดียวกัน

อนุพันธ์ และคณะ, (2541) ได้นำหลักการวัดความถี่ธรรมชาติแบบ Free vibration โดยใช้การเคาะผลไม้ และฟังเสียงมาศึกษาและประยุกต์ใช้กับผลทุเรียนเพื่อหาดัชนีความถี่ธรรมชาติของทุเรียน และนำดัชนีความถี่ธรรมชาติของทุเรียน (ซึ่งคำนวณจากความถี่ธรรมชาติ f_n และ นำหนัก m ของผลทุเรียน) มาวัดความแก่ พบว่าดัชนีที่เหมาะสมอยู่ใน $\frac{2}{3} f^2 \ln(m)$ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อทุเรียนมีอายุแก่มา

Kouno *et al.* (1993) ได้ศึกษาการคัดแยกแตงโมที่ใส่ส้มและเสนอเครื่องวัดคุณภาพแตงโมอัตโนมัติ โดยใช้กลไกที่ทำให้เกิดแรงกระทำกับผลไม้ด้วยก้อนเล็กๆ และตรวจจับ Impulse ของเสียงที่ใช้ไมโครโฟน 3 ตัว วางในแนวเส้นอิกเวเตอร์ของผลแตงโม สัญญาณจากไมโครโฟนถูกเปรียบเทียบซึ่งกันและกันด้วยคอมพิวเตอร์ ผลไม้โตเต็มที่สมบูรณ์ดีสัญญาณจะมีรูปร่างคลื่นค่อนข้างลดลงเป็นปกติ แต่สัญญาณของผลแตงโมที่ใส่ส้มจะเป็นสัญญาณที่ผิดปกติ นอกจากนั้นระยะการเจริญเติบโตต่างกัน จะมีความถี่สั่นพ้อง (ความถี่ธรรมชาติ) ต่างกัน

Kawano, (1994) ระบุว่าในปี 1986 บริษัทผลิต Maki ได้พัฒนาเครื่องคัดแยกแตงโมเครื่องแรกของโลก โดยใช้หลักเสียงสะท้อน (Acoustic property) ทำให้ญี่ปุ่นสามารถจำหน่ายแตงโมที่ปิดฉลากว่า “ประกันคุณภาพ” ได้ในปี 1986 บริษัท มิตซุซุ เหมืองแร่และการหลอมเหลวได้ประสบผลสำเร็จในการพัฒนาเครื่องคัดเลือกปริมาณความหวานของลูกพีช เป็นรายแรกของโลก โดยอาศัยหลักการ NIRS (Near Infrared Spectroscopy) ทำให้สามารถจำหน่ายลูกแพร์ ลูกพีช และแอปเปิ้ล โดยปิดฉลากที่ทุกผลว่า “รับประกันความหวาน”

บัณฑิต และคณะ, (2547) ได้พัฒนาเครื่องวัดสมบัติเสียงสะท้อนของผลสับประรด ปรากฏว่าสามารถตรวจจับความถี่ธรรมชาติของผลสับประรดที่ระยะอ่อนแก่ต่างกัน ได้ผลสอดคล้องกับการใช้เครื่อง Signal Analyzer YOGOKAWA AR 1200

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

ในการตรวจสอบความอ่อนแก่ของผลมะพร้าวด้วยเทคนิคเสียง ใช้วัสดุและอุปกรณ์สำหรับงานวัดและทดสอบ ดังนี้

1. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ OHAUS CORPORATION MODEL CD11
2. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ SARTORIUS MODEL PT 6-000V2
3. กล้องถ่ายรูปดิจิทัล ยี่ห้อ SAMSUNG
4. เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ ยี่ห้อ SORA
5. ผลมะพร้าวอ่อน 3 ระยะการเจริญเติบโต คือ ช่วงเนื้อ 1 เนื้อหนึ่งครั้ง และเนื้อ 2
6. คาร์ลิปเปอร์
7. เครื่องวัดความหวาน Digital Refractometer
8. เครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ Instron 5569
9. เครื่องวัดสมบัติเสียงสะท้อน
10. เครื่องคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ COMPAQ
11. ไม้บรรทัดเหล็ก
12. เทปวัด
13. อุปกรณ์การวิเคราะห์ความเป็นกรด

วิธีการ

ประกอบด้วยการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนที่สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโต โดยพิจารณาระยะความเจริญเติบโต แบ่งออกเป็น ช่วงเนื้อหนึ่ง เนื้อหนึ่งครึ่ง และ เนื้อสอง แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพเชิงกล และ สรีรวิทยากับระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อน แบ่งเป็น 10 จุดแต่ละจุดห่างกัน 4 วัน (170-206) และช่วงที่ 2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพเชิงกล และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนเพื่อวิเคราะห์การคัดแยกผลมะพร้าวอ่อนออกเป็น อ่อน กำลังรับประทาน และแก่ รายละเอียดต่อไปนี

1. คุณลักษณะทางกายภาพ

เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย น้ำหนักผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล ความสูงผล ความถ่วงจำเพาะ

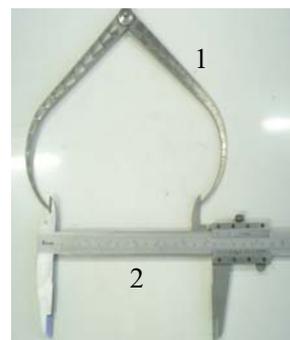
วิธีการทดสอบ

1) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุด และขนาดความสูงที่สุดของผลมะพร้าวอ่อน โดยใช้คาลิเปอร์วัดที่ผลมะพร้าวอ่อน แล้วใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดที่ปลายคาลิ (ภาพที่ 2) และชั่งน้ำหนักผลมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 3ก)

2) หาความถ่วงจำเพาะของผลมะพร้าวอ่อนด้วยวิธีแทนที่น้ำ โดยใช้ภาชนะใส่น้ำ แล้ววางบนเครื่องชั่งน้ำหนักชนิดตัวเลขเอามาพร้าวใส่แล้วกดมะพร้าวให้พอปริ่มๆ กับระดับน้ำ (ภาพที่ 3ข)

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของผลมะพร้าวอ่อนในอากาศ}}{\text{น้ำหนักของน้ำที่ถูกผลมะพร้าวอ่อนแทนที่}} \quad (1)$$

ที่มา: Mohsenin (1996)



ก. การวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ข. การวัดความสูงของผล

ค. (1) การวัดคาลิเปอร์
ด้วย (2) เวอร์เนียคาลิเปอร์

ภาพที่ 2 การวัดขนาดของผลมะพร้าวอ่อน



ก. ชั่งน้ำหนักผลมะพร้าวอ่อนในอากาศ

ข. ชั่งน้ำหนักน้ำที่ถูกผลมะพร้าวอ่อนแทนที่

ภาพที่ 3 การหาความถ่วงจำเพาะของผลมะพร้าวอ่อน

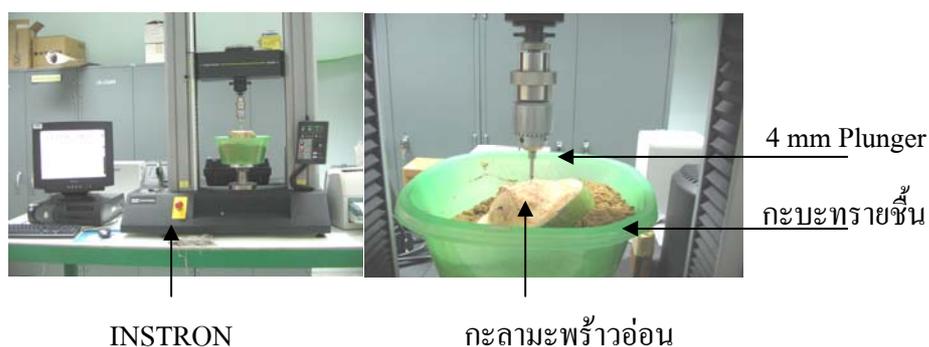
2. สมบัติเชิงกล

เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลประกอบด้วย การทดสอบ Quasi-static Compression ที่อัตราเร็วในการทดสอบ 25 มิลลิเมตร/นาทึ เพื่อที่จะหา แรงกดแตก (Rupture force, F_R (นิวตัน N)) ของกะลา ระยะการเปลี่ยนรูป (Deformation, D_R มม) และ Secant Modulus, SM_S ที่อัตราเร็ว 15 มิลลิเมตร/นาทึ หาแรงกด ณ จุดการเปลี่ยนแปลงเมื่อหวัคดเริ่มกดกะลาของเนื้อ ความชัน ของกราฟแรงการเปลี่ยนรูปของเนื้อ SL_f ของผลมะพร้าวอ่อน

2.1 การทดสอบหาสมบัติเชิงกลของกะลาผลมะพร้าวอ่อน

วิธีการทดสอบ

1) เตรียมตัวอย่างโดยการปอกเปลือกออกให้เห็นกะลา กำหนดจุดที่จะทำการกด 3 จุดต่อผล กดบนกึ่งกลางหน้าลึง หน้าละจุดบนแนวกึ่งกลางผลตั้งฉากกับแกนผล



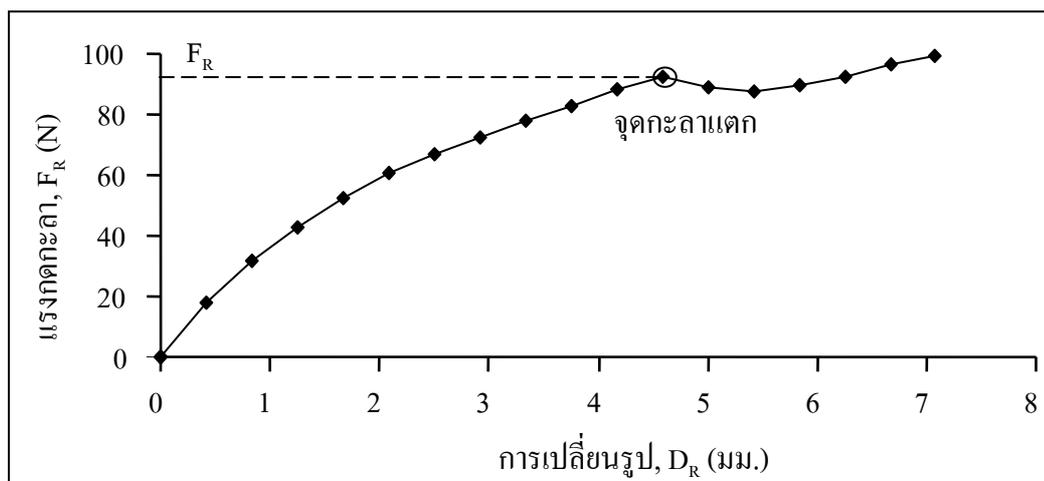
ภาพที่ 4 การหาสมบัติเชิงกลของกะลามะพร้าวอ่อน

2) วางตัวอย่างบนกะละปายขึ้น และกดด้วยเครื่อง INSTROT หัวกด Plunger ขนาด 4 มิลลิเมตร ที่อัตราเร็ว 25 มิลลิเมตรต่อวินาที (ภาพที่ 4) (ASAE Standard, 1998)

3) คำนวณ Secant modulus (SM_s) ของแรงการเปลี่ยนรูปของกะลา ภาพที่ 5 แสดงลักษณะกราฟแรง-การเปลี่ยนรูปของกะลามะพร้าวอ่อน

$$SM_s = \frac{\text{แรงกดแตก} - \text{แรงกดเริ่มต้น}}{\text{การเปลี่ยนรูปจุดแตก} - \text{การเปลี่ยนรูปจุดเริ่มต้น}} \quad (1)$$

ที่มา: Mohsenin (1996)



ภาพที่ 5 กราฟแรง - การเปลี่ยนรูปของกะลามะพร้าวอ่อน

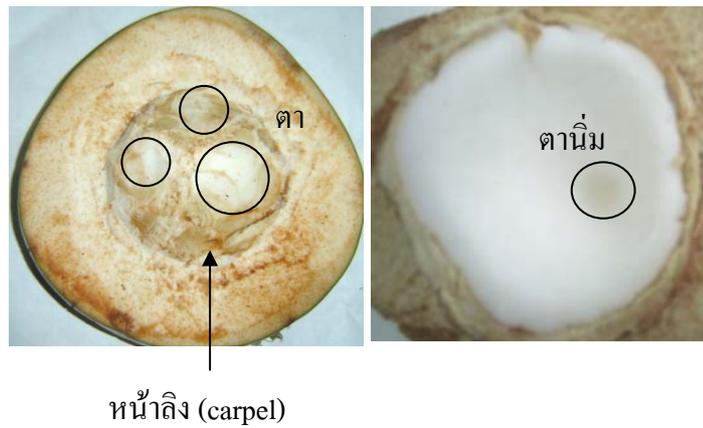
2.2 การทดสอบหาสมบัติเชิงกลของเนื้อมะพร้าวอ่อน

วิธีการทดสอบ

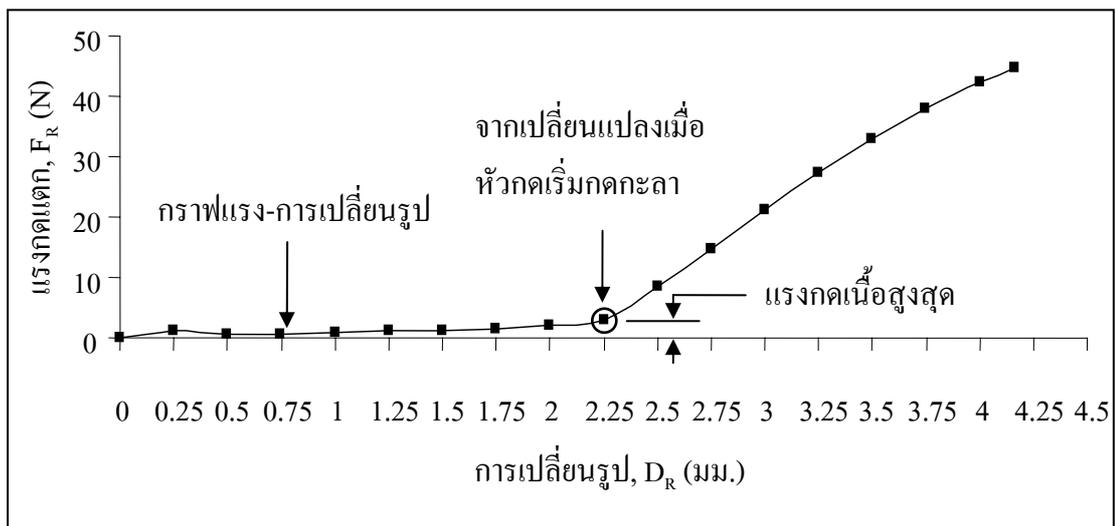
1) เตรียมตัวอย่างโดยการตัดส่วนบนของกะลาพร้อมเนื้อที่อยู่ทางขั้วของผลซึ่งจะมีตาอยู่ 3 ตา หน้าลิง (carpel) ละ 1 ตา โดยมีตาแข็ง 2 ตา และตานิ่มอันใหญ่ 1 ตา ตานิ่มนี้จะอยู่บนสุดของกะลาอันใหญ่ที่สุด แล้วกำหนดจุดกครอบตานิ่ม 3 จุดห่างจากตา 1 เซนติเมตร (ภาพที่ 6)

2) วางตัวอย่างบนกระเบาะทรายขึ้น และกดด้วยเครื่อง INSTROT หัวกด Plunger ขนาด 8 มิลลิเมตร ที่อัตราเร็ว 15 มิลลิเมตรต่อวินาที (ASAE Standard, 1998)

3) คำนวณความชัน ของกราฟแรงการเปลี่ยนรูปของเนื้อ SL_f (ภาพที่ 7) ด้วยสมการ linear regression โดย sampling จุดทุก ๆ ระยะการเปลี่ยนรูป 0.25 มม. จากจุดเริ่มต้นจนถึง จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบภายในของผลมะพร้าวอ่อน



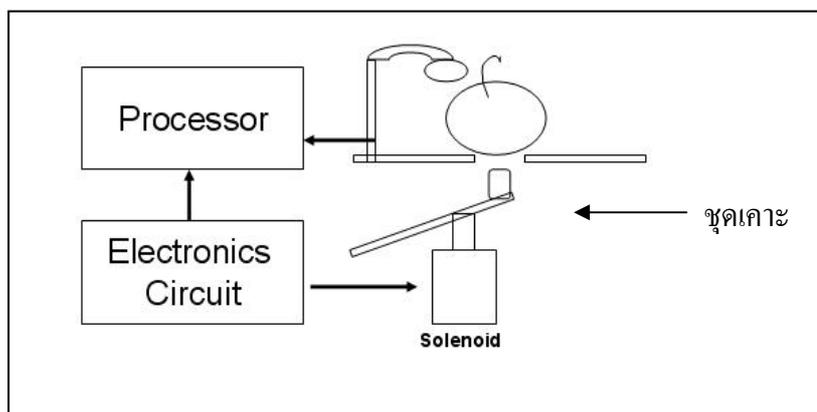
ภาพที่ 7 กราฟแรง – การเปลี่ยนรูปของเนื้อมะพร้าวอ่อน

3. สมบัติเสียง

เป็นการศึกษาสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนประกอบด้วย ความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency, f_n (เฮิรตซ์, Hz)) ของผลมะพร้าวอ่อน สัมประสิทธิ์ความแข็ง (Stiffness' coefficient)

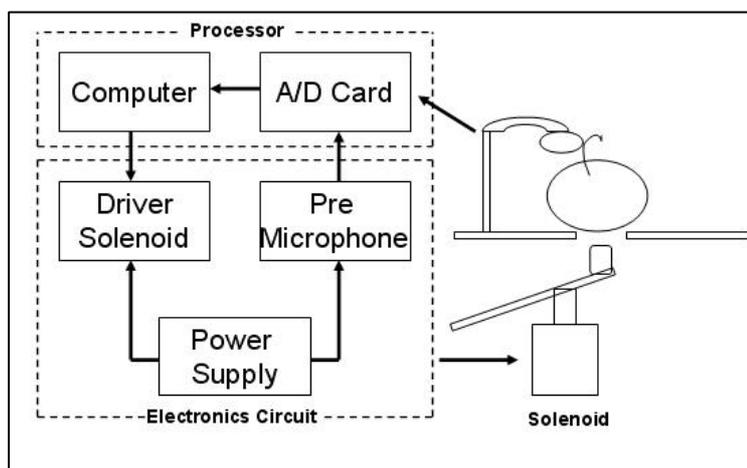
$$f_n^2 m^{2/3} \text{ และดัชนีความถี่ธรรมชาติของ } \frac{2}{3} f_n^2 \ln(m) \text{ (อนุพันธ์และคณะ, 2541)}$$

โครงสร้างและส่วนประกอบของอุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติเสียง ระบบประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ตัวประมวลผล(Processor) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Circuit) และ ชุดเกาะผลไม้ (ภาพที่ 8)



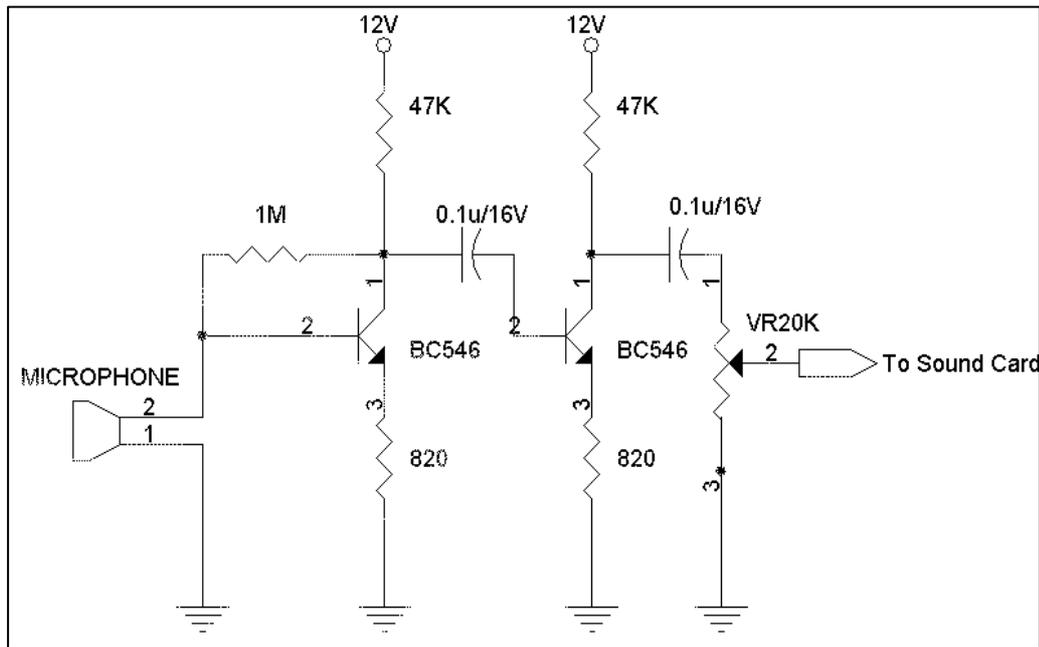
ภาพที่ 8 โครงสร้างของชุดอุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติเสียง

ตัวประมวลผล ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์และตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) ในที่นี้คือ การ์ดเสียง (Sound Card) ซึ่งถูกติดตั้งไว้ภายในตัวคอมพิวเตอร์



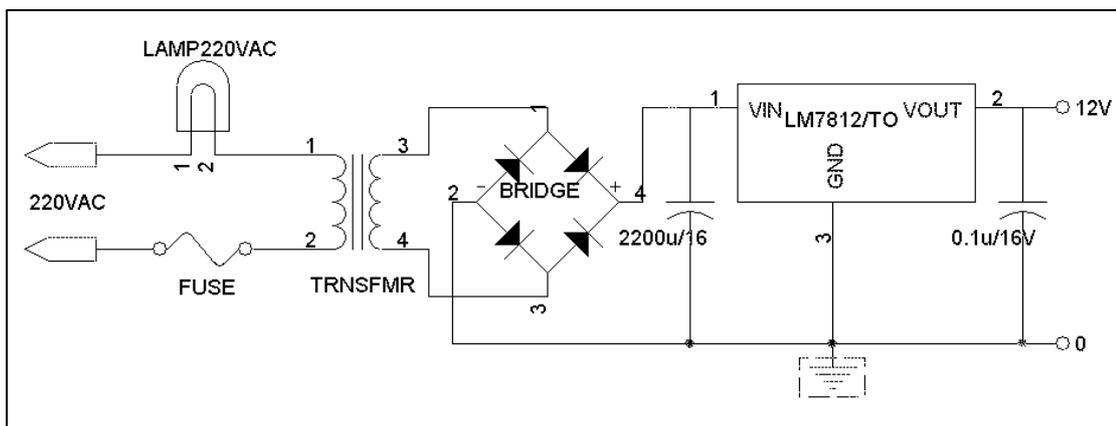
ภาพที่ 9 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติเสียง

วงจรถอนอิเล็กทรอนิกส์ (ภาพที่ 9) มีส่วนประกอบแยกเป็น 3 ส่วน คือ แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรถอนอิเล็กทรอนิกส์และตัวโซลินอยด์ แรงดันที่ใช้คือ 12 โวลต์ วงจรปริไมค์ (Pre Microphone) ทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงซึ่งเกิดจากการเคาะของชุดเกาะ และ

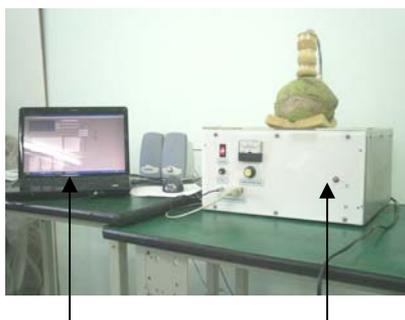


ภาพที่ 11 วงจรPreMic

วงจรอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับไฟเลี้ยงจากวงจรแปลงแรงดันกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง โดยใช้วงจรบริดจ์ทำหน้าที่แปลงกระแส กรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุขนาด 2200 ไมโครฟารัด 16 โวลท์ และรักษาระดับแรงดันด้วย ไอซีเรกูเลเตอร์เพื่อให้แรงดันมีระดับที่คงที่ 12 โวลท์ (ภาพที่ 12)

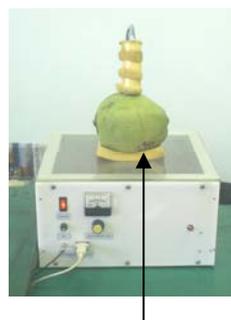


ภาพที่ 12 วงจรแสดงแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)



คอมพิวเตอร์

ชุดทดสอบหาสมบัติเสียง

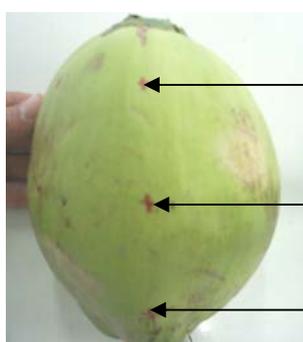


ลักษณะการวางผลมะพร้าวอ่อน

ภาพที่ 13 การทดสอบวัดหาสมบัติเสียงของมะพร้าวอ่อน

1) กำหนดจุดกดบนผลมะพร้าวอ่อนตามการทดสอบแต่ละช่วง

ก) ช่วงที่ 1 กำหนดจุดกด 4 จุดต่อผลบนแนวกึ่งกลางผลตั้งฉากกับแกนผล



1. 1/4 (ระยะชี้ไปถึงก้นผล

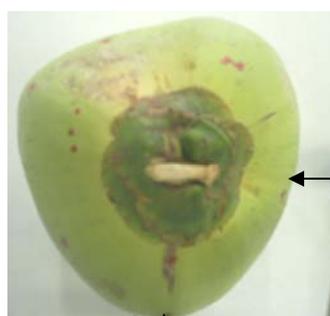
ตามแนวสันผล)

2. 1/2 (ระยะชี้ไปถึงก้นผล

ตามแนวสันผล)

3. 3/4 (ระยะชี้ไปถึงก้นผล

ตามแนวสันผล)



ฟิวราบ

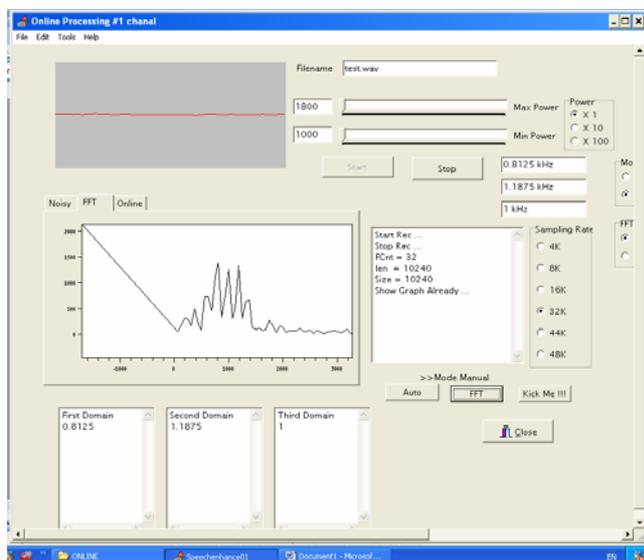
สันผล

ภาพที่ 14 ตำแหน่งบนผลมะพร้าวอ่อนที่ถูกเจาะหาสมบัติเสียง

ข) ช่วงที่ 2 กำหนดจุดกด 3 จุดต่อด้านรวม 18 จุด มีฟิวสันนูน 3 สัน และด้านฟิวราบ 3 ด้าน (ภาพที่ 14)

2) วางผลมะพร้าวอ่อนบนชุดทดสอบหาสมบัติเสียง (ภาพที่ 13) ใช้คนกดที่ก้านเคาะให้หัวเคาะไปเคาะผลมะพร้าวอ่อน ทำการเคาะจุดๆ ละ 3 ครั้ง สัญญาณเสียงที่ได้จะถูกป้อนเข้าโปรแกรมโดยผ่านไมโครโฟนวงจรรีบ ขยาย และกรองสัญญาณเสียงก่อนเข้าสู่การ์ดเสียงของเครื่อง

คอมพิวเตอร์เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) แล้ววิเคราะห์ผล (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 หน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงการควบคุม และแสดงผล

4. สมบัติสรีรวิทยา

เป็นการศึกษาสมบัติทางสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนประกอบด้วย ความหวาน และความเป็นกรดของน้ำมะพร้าวอ่อน น้ำหนักเนื้อเปียก น้ำหนักเนื้อแห้ง และความหนืดเนื้อ

4.1 การหาความหวาน

วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมตัวอย่าง เป็นน้ำมะพร้าวอ่อน
- 2) หยดน้ำมะพร้าวอ่อนลงเครื่อง Refractometer แล้วอ่านค่าพร้อมบันทึกผล

(ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 Digital Refractometer

4.2 การหาความเป็นกรดของน้ำมะพร้าวอ่อน

วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมตัวอย่างน้ำมะพร้าวอ่อน 10 มิลลิลิตร
- 2) สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน
- 3) ไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 N จนถึงจุดยุติของสารละลาย จะมีสีชมพูนาน 30 วินาที บันทึกปริมาตรของ NaOH
- 4) คำนวณปริมาณกรดด้วย

$$W = V \times N \quad (2)$$

W = น้ำหนักของกรดที่มีอยู่ในตัวอย่าง

V = ปริมาตรของสารละลาย

N = ความเข้มข้นของสารละลาย

4.3 การหาน้ำหนักเปียกของเนื้อมะพร้าวอ่อน

วิธีการทดสอบ

ชุดเนื้อมะพร้าวอ่อน ของที่ผลออกมาซึ่งน้ำหนักก็จะได้น้ำหนักเนื้อเปียก

4.4 การหาน้ำหนักแห้งของเนื้อมะพร้าวอ่อน

วิธีการทดสอบ

- 1) อบด้วยอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศา ประมาณ 30 นาที เอาออกมาวางไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้ 10 กรัมต่อถ้วย
- 3) อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศา
- 4) ชั่งน้ำหนักทุกชั่งโมงจนค่าที่ได้คงที่ 2-3 ค่า
- 5) คำนวณปริมาณเนื้อแห้ง (D_w) จากสมการ

$$D_w = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (3)$$

4.5 การหาความหนาเนื้อ

วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมตัวอย่างโดยการตัดส่วนบนของกะลาพร้อมเนื้อที่อยู่ทางขั้วของผลซึ่งจะมีตาอยู่ 3 ตา หน้าลิ้ง (carpel) ละ 1 ตา โดยมีตาแข็ง 2 ตา และตาน้ำมอันใหญ่ 1 ตา ตาน้ำมนี้จะอยู่บนส่วนของกะลาอันใหญ่ที่สุด
- 2) ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดความหนาของเนื้อรอบตาน้ำม 3 จุดต่อชิ้นตัวอย่าง (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 การวัดความหนาเนื้อผลมะพร้าวอ่อน

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระยะเวลาในการทดสอบ

เริ่มทำการทดสอบตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 สิ้นสุดเดือนมกราคม 2550

ผลและวิจารณ์

การศึกษาสมบัติทางกายภาพเชิงกล และสรีรวิทยากับระยะเวลาเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อน ช่วงที่ 1

1. คุณลักษณะทางกายภาพ (น้ำหนัก W , ความสูงผลมากที่สุด H_{max} , เส้นผ่าศูนย์กลางผลมากที่สุด D_{max} , ความถ่วงจำเพาะ SG) ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะกายภาพของตัวอย่างผลมะพร้าวอ่อนที่นำมาทดลองตลอดช่วงเวลาระหว่าง 170-206 วันหลังการผสมเกสร ซึ่งเกษตรกรได้เลือกด้วยสายตาว่ามีขนาดสม่ำเสมอ ปรากฏว่าการตรวจวัดน้ำหนัก ความสูงมากที่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุดมีค่าเป็น $1820 \leq W \leq 2005$ ก., $15.48 \leq D_{max} \leq 16.89$ ซม., $17.15 \leq H_{max} \leq 18.44$ ซม.

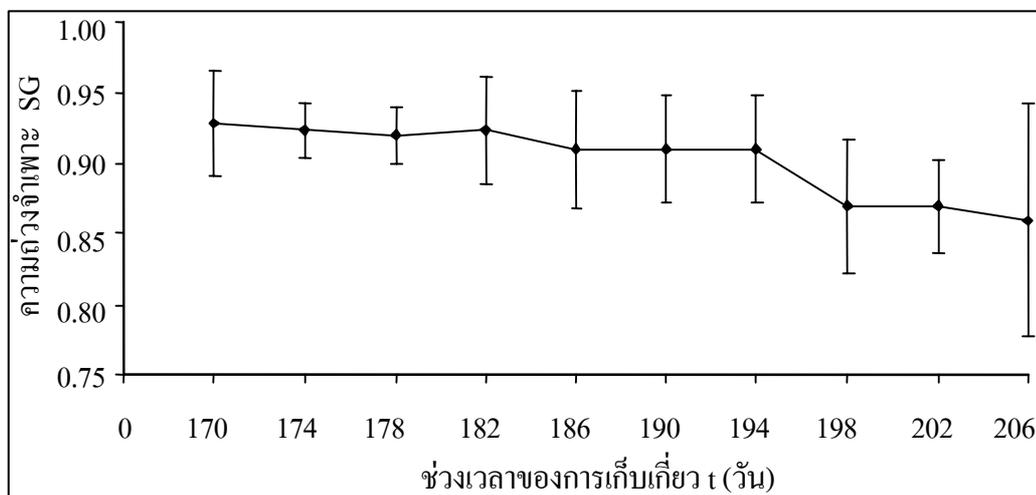
ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนกับระยะเวลาเจริญเติบโต

ระยะเวลาเจริญเติบโต (วัน)	D_{max} (ซม.)	H_{max} (ซม.)	W (ก.)
170	15.68 ±1.37	17.3 ±2.02	1867 ±371
174	15.49 ±0.87	17.24 ±0.98	1820 ±251
178	15.57 ±1.05	17.58 ±0.95	1857 ±266
182	15.48 ±0.86	17.48 ±1.10	1823 ±250
186	15.83 ±0.93	17.15 ±0.94	1837 ±191
190	15.62 ±1.04	17.62 ±0.94	1832 ±259
194	15.78 ±0.93	17.68 ±0.99	1827 ±280
198	16.01 ±0.93	17.88 ±1.06	1882 ±322
202	16.89 ±0.82	18.44 ±1.28	2135 ±250
206	16.67 ±1.00	18.13 ±0.88	2005 ±285

หมายเหตุ ตัวเลขหลัง ± คือ ค่า SD (Standard Deviation)

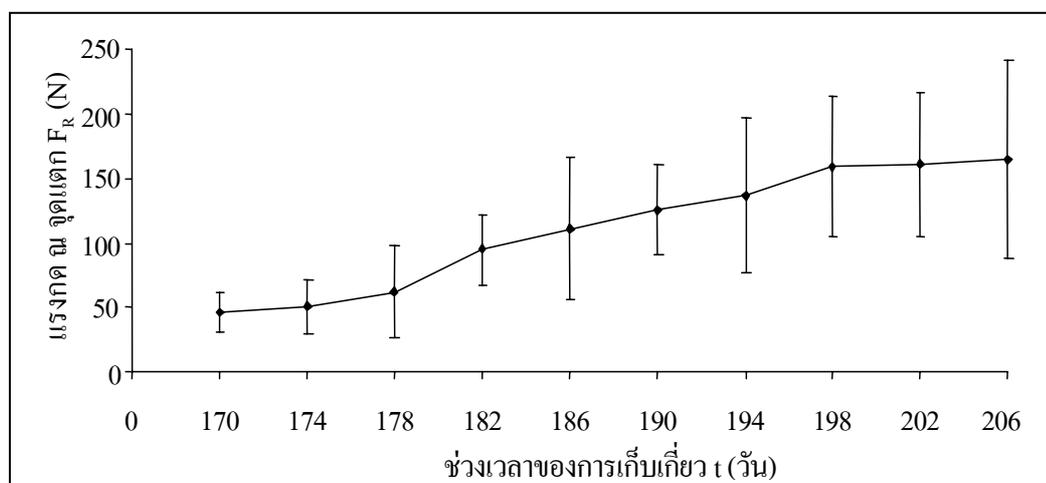
ความถ่วงจำเพาะของผลมะพร้าวอ่อนมีการกระจายค่าเป็นแบบ Sigmoid กราฟ ผลึกกลับ กล่าวคือ SG จะประมาณคงที่เท่ากับ 0.925 ในช่วงอ่อน (170-182 วัน) แล้วลดลงไปที่ $\cong 0.91$ ในช่วงกำลังรับประทาน (186-194 วัน) แล้วลดลงไปที่ประมาณ 0.87 ในช่วงแก่ ประมาณเลย 198 วันไปแล้ว (ภาพที่ 18) เนื่องจากกามมะพร้าวจะมีลักษณะเหมือนฟองน้ำ มีเส้นใยเชกตัวอยู่ เมื่อมะพร้าวแก่ขึ้น

ช่องว่างเนื้อกามมะพร้าวจะเพิ่มขึ้น ทำให้มวลที่เป็นของแข็งลดลง น้ำหนักลดลง และเป็นสาเหตุให้ความกว้างจำเพาะลดลง (บัณฑิต และคณะ, 2007)



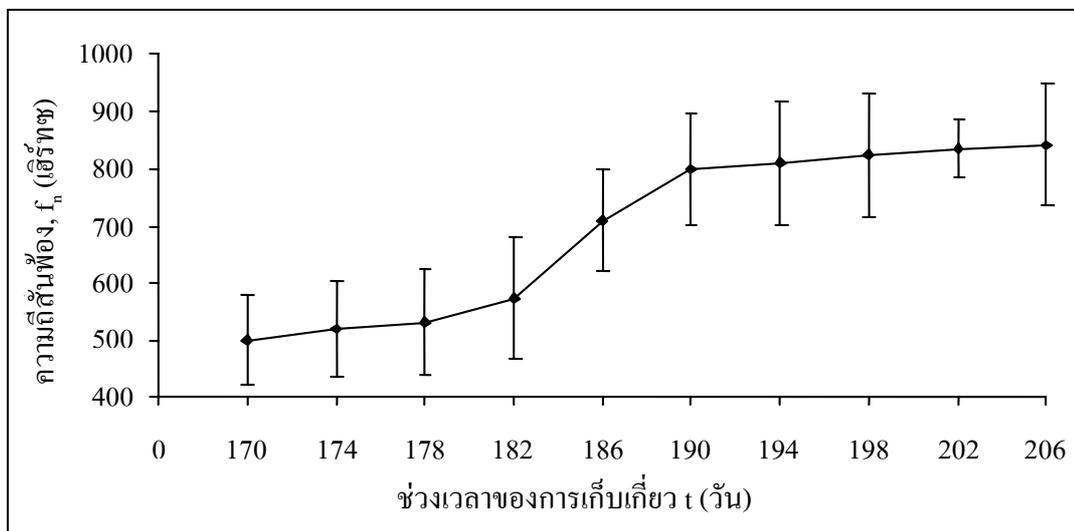
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างจำเพาะกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว

2. สมบัติเชิงกล ภาพที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ยของแรงกดแตกของกะลาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวผลมะพร้าวอ่อน $45 \leq F_R \leq 90$ t (170-182 วัน) มะพร้าวอ่อนกำลังรับประทาน $90 \leq F_R \leq 150$ t (182-198 วัน) และแก่ $150 \leq F_R \leq 170$ t (> 198 วัน) น่าจะเป็นผลมาจากโครงสร้าง และส่วนประกอบของกะลาที่ประกอบด้วยชั้นของ fiber ที่มีความอ่อนแก่ไม่เสมอกันทำให้ที่การเปลี่ยนรูปเดียวกันมีแรงต้านการกดสูง



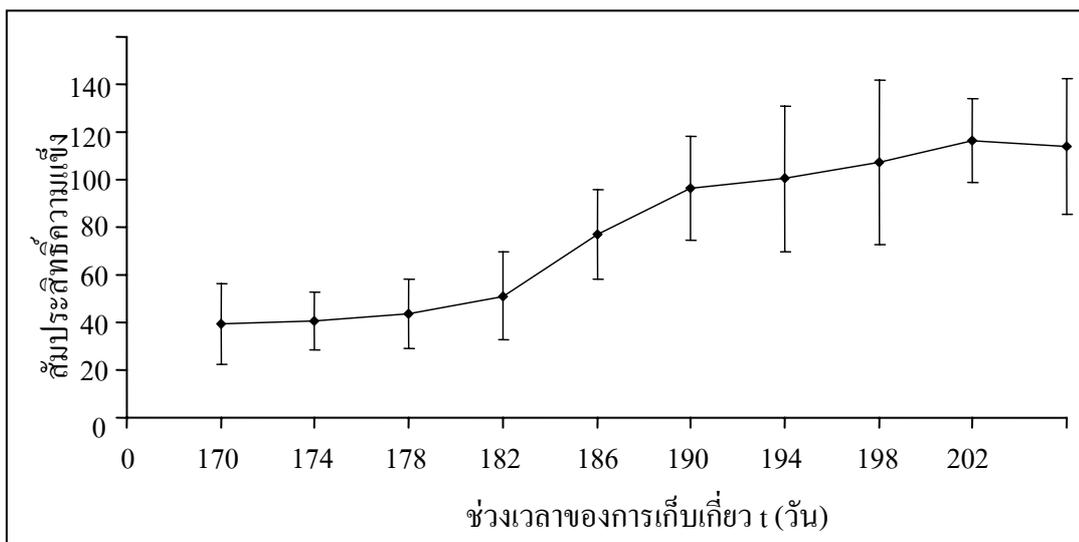
ภาพที่ 19 ค่าเฉลี่ยของแรงกดแตกเปรียบเทียบกับช่วงอายุของการเก็บเกี่ยวผลมะพร้าวอ่อน

3. สมบัติเสียง ประกอบด้วยความถี่สั่นพ้อง (Resonance Frequency, f_n) สัมประสิทธิ์ความ
 แข็ง ($f_n^2 m^{2/3}$), ดัชนีความถี่ธรรมชาติ ($\frac{2}{3} f^2 \ln(m)$)

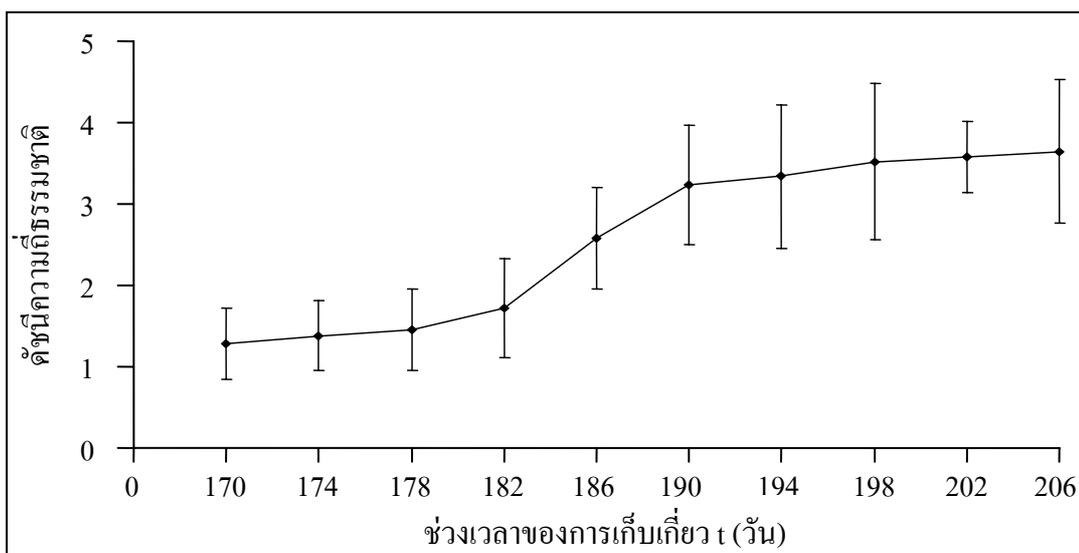


ภาพที่ 20 การกระจายตัวของความถี่สั่นพ้องผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว

ภาพที่ 22 แสดงการกระจายความถี่สั่นพ้อง (Resonance Frequency f_n) (เป็น Pulse ที่มีค่าสูงสุดจากการเคาะครั้งหนึ่ง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา) หรือความถี่ธรรมชาติกับ t การกระจายเป็นลักษณะกราฟ Sigmoid ลักษณะ Sigmoid ยังเกิดกับกราฟการกระจายสัมประสิทธิ์ความแข็ง $f^2 m^{2/3}$ (ภาพที่ 21) และดัชนีความถี่ธรรมชาติ (ภาพที่ 22) ค่า f_n มีการกระจายดังนี้ ช่วงอ่อน $500 \leq f_n \leq 575$ Hz สำหรับ $170 \leq t \leq 182$ วัน ช่วงกำลังรับประทาน $575 \leq f_n \leq 800$ Hz สำหรับ $182 \leq t \leq 194$ วัน และช่วงแก่ $f_n > 800$ Hz สำหรับ $t > 194$ วันขึ้นไป ในกรณีมะพร้าวอ่อนการมีการกระจายของ f_n คล้ายคลึงกับ $f^2 m^{2/3}$ และ $\frac{2}{3} f^2 \ln(m)$ ทำให้สะดวกกว่าในการเอาไปใช้งาน

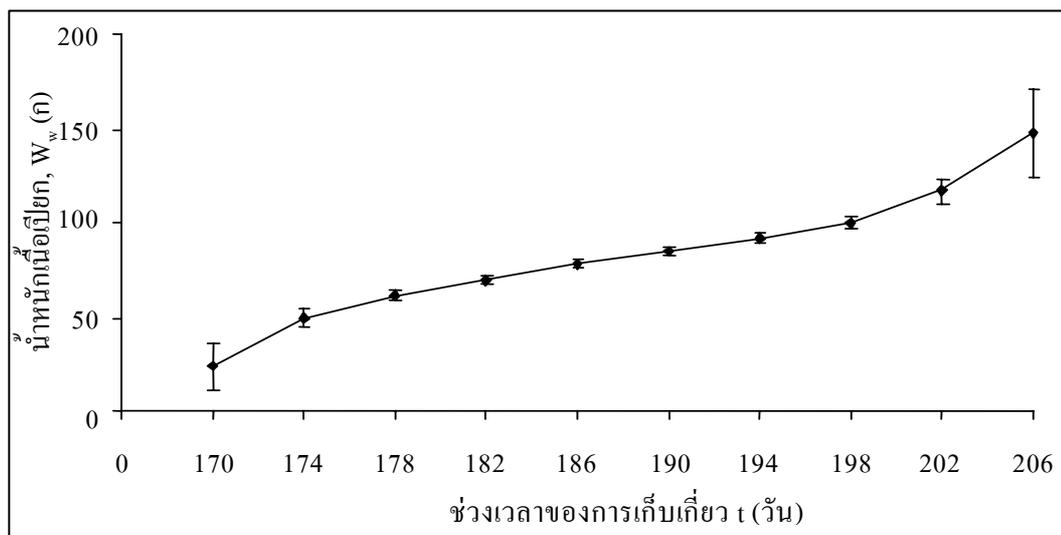


ภาพที่ 21 การกระจายตัวของสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 22 การกระจายตัวของดัชนีความเข้มข้นชาติผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว

4. สมบัติสรีรวิทยา ประกอบด้วยน้ำหนักเนื้อสด (Wet weight, W_w), น้ำหนักเนื้อแห้ง (Dry weight, D_w) ความหนาเนื้อ (T) และความหวาน (Total Soluble Solids, TSS)

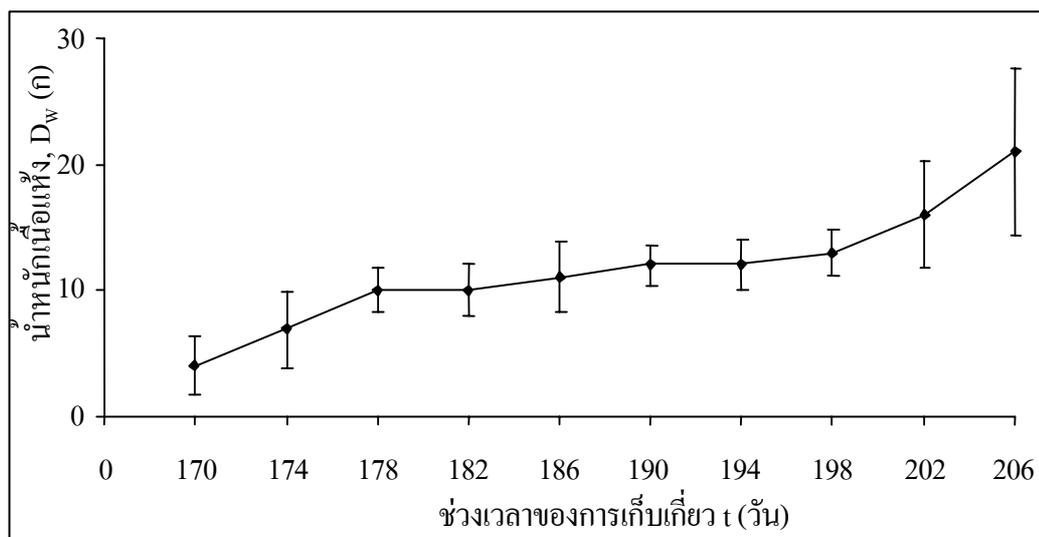


ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเนื้อเปียกของผลมะพร้าวอ่อนกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว

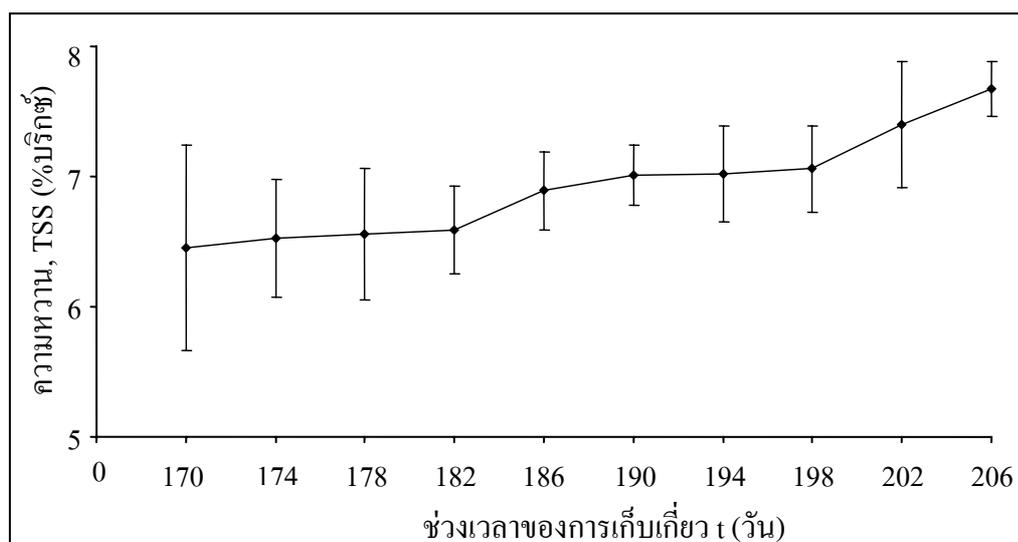
น้ำหนักเนื้อมะพร้าวสด W_w เพิ่มขึ้นอย่างเป็น non-linear กับ t เมื่อผลอ่อน $170 < t \leq 178$ วัน พอเข้าเกณฑ์กำลังรับประทาน น้ำหนักเนื้อสดก็ยังคงเพิ่มขึ้นกับ t แต่เป็นแบบเชิงเส้น ($178 < t \leq 198$ วัน) พอแก่ ($t > 198$ วัน) น้ำหนักเนื้อผลสด เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกับเวลา t (ภาพที่ 23)

การกระจายน้ำหนักเนื้อแห้ง D_w กับ t สอดคล้องกับน้ำหนักเนื้อเปียก คือ ช่วงผลอ่อน (เนื้อ 1) D_w เพิ่มเชิงเส้นกับ t จาก 3.5-10 ก. ระหว่าง $170 \leq t \leq 178$ วัน ช่วงผลกำลังรับประทาน (เนื้อ $\frac{1}{2}$) D_w เพิ่มอย่างช้า ๆ กับ t จาก 10 ไปเป็น 12.5 ก. ($178 < t < 198$ วัน) ช่วงผลแก่ (เนื้อ 2) D_w เพิ่มอย่างรวดเร็วกับ t จาก 12.5 ก. ขึ้นไป เมื่อ $t > 198$ วัน (ภาพที่ 24)

ความหวาน (TSS) มีการเพิ่มขึ้นเป็น 3 ระยะเหมือนกัน ระยะอ่อน TSS เพิ่มเชิงเส้นอย่างช้า ๆ กับ t ($170 \leq t < 182$ วัน) ระยะกำลังรับประทาน TSS เพิ่มแบบ non-linear กับ t ($182 < t \leq 198$ วัน) และพอผลมะพร้าวอ่อนแก่ TSS เพิ่มเชิงเส้นกับ t ด้วยอัตราที่สูงขึ้น ($t > 198$ วัน) (ภาพที่ 25)

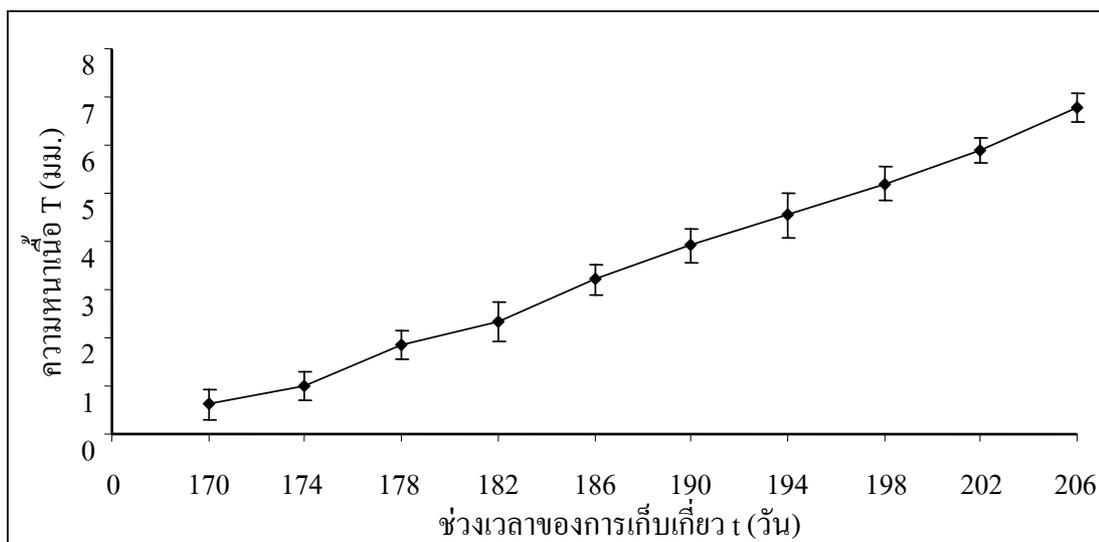


ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเนื้อแห้งของผลมะพร้าวอ่อนกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหวานของผลมะพร้าวอ่อนกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว

ความหนาเนื้อ (T) เพิ่มขึ้นเป็น linear กับ t การเกิดเนื้อมะพร้าวจะเกิดบริเวณก้นผลก่อน แล้วจะหนาขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงหัวผล เนื้อจะมีลักษณะเป็นวุ้นบางๆ เมื่ออายุมากขึ้นเนื้อก็จะหนาขึ้นเรื่อยๆ (ภาพที่ 26)



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเนื้อของผลมะพร้าวอ่อนกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว

การศึกษสมบัติทางกายภาพเชิงกล และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนเพื่อวิเคราะห์การคัดแยกผลมะพร้าวอ่อนออกเป็น อ่อน กำลังรับประทาน และแก่ ช่วงที่ 2

1. คุณลักษณะทางกายภาพ (น้ำหนัก W, ความสูงผลมากที่สุด H_{max} , เส้นผ่าศูนย์กลางผลมากที่สุด D_{max} , ความถ่วงจำเพาะ SG) ผลมะพร้าวอ่อนที่นำมาวิเคราะห์การคัดแยกเป็นผลที่ขนาดสม่ำเสมอเหมือนกับตัวอย่างในการทดลองก่อนหน้านี้ คือ มีคุณลักษณะกายภาพ $14.82 \leq D_{max} \leq 15.10$ ซม. $16.79 \leq H_{max} \leq 17.61$ ซม. $1687 \leq W \leq 1857$ ก. และ SG ลดลงตามอายุของผลมะพร้าวอ่อนเหมือนกราฟความสัมพันธ์ของความถ่วงจำเพาะกับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 18) $0.90 \leq SG \leq 0.94$ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อน

มะพร้าวอ่อน	D_{max} (ซม.)	H_{max} (ซม.)	W (ก.)	SG
1	14.82 ± 0.89	16.79 ± 1.26	1687 ± 272	0.94 ± 0.03
1- 2	14.88 ± 0.72	17.06 ± 1.16	1796 ± 265	0.92 ± 0.04
2	15.10 ± 0.71	17.61 ± 0.85	1857 ± 244	0.90 ± 0.08

2. สมบัติเชิงกล ตารางที่ 3 แสดงสมบัติเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน ได้แก่ แรงกดมากที่สุดของเนื้อ F_m และแรงกดแตกของกะลา F_R ความชันของเนื้อ SL_f และ Secant Modulus ของกะลา SM_s ระยะเวลาเจริญเติบโตมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความสำคัญ 5% ต่อ F_R , SM_s , F_m , SL_f ยิ่งผลมะพร้าวอ่อนเจริญเติบโตมากขึ้นค่าสมบัติเชิงกลดังกล่าวเพิ่มขึ้น F_R น่าจะมีผลจากลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของกะลาที่มีชั้นของ fiber ซึ่งมีความอ่อนแอกันไม่เท่ากัน ดังความสัมพันธ์ของ F_R กับ t (ภาพที่ 19) F_m น่าจะมีผลมาจากลักษณะของเนื้อมะพร้าวอ่อนที่เพิ่มขึ้นตามอายุคือ มะพร้าวอ่อนอยู่ในช่วงเนื้อหนึ่ง เนื้อจะมีลักษณะเป็นวุ้นบางๆ เมื่อมีอายุมากขึ้น (แก่ขึ้น) เนื้อจะหนาขึ้นเป็นสีขาวขุ่นทำให้แรงต้านการกดสูง

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน

มะพร้าว	กะลา (Endocarp)		เนื้อ (Endosperm)	
	F_R (N)	SM_s (N/mm)	F_m (N)	SL_f (N/mm)
เนื้อ 1	136.80 ±69.85	14.23 ±27.73	1.83 ±0.59	1.12 ±0.25
เนื้อ 1- 2	268.86 ±82.59	62.34 ±19.68	6.51 ±3.73	1.95 ±0.81
เนื้อ 2	380.31 ±82.23	67.38 ±11.97	16.97 ±6.22	3.34 ±0.75

3. คุณสมบัติเสียง (f_n) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนและ DMRT (ตารางผนวกที่ ข2) พบว่า ระยะเวลาเจริญเติบโตและตำแหน่งการเคาะมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความสำคัญ 5% ต่อ f_n ตารางที่ 4 การเคาะที่สันผล (Ridge) ตำแหน่ง 1,2 และ 3 สามารถระบุความอ่อน-แก่ ของผลมะพร้าวอ่อน ได้แตกต่าง การเคาะที่ด้านผิวยาว (Face) ที่แต่ละจุด (1,2 และ 3) ไม่สามารถระบุความอ่อน-แก่ ออกได้ชัดทั้ง 3 ระยะ เหมือนการเคาะที่สัน น่าจะมีผลมาจากลักษณะผิวเปลือกของผลมะพร้าวอ่อนด้านผิวยาวที่ขรุขระไม่เรียบ (ภาพที่ 27) ทำให้ f_n มีค่าใกล้เคียงกัน สันผลลักษณะผิวเปลือกจะไม่มีผิวขรุขระเหมือนผิวยาว ทำให้ f_n มีความแตกต่าง

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ DMRT ความถี่สั่นพ้อง (KHz) ของผลมะพร้าวอ่อน (ตารางผนวกที่ ข4-ข9)

มะพร้าวอ่อน	สั่นผล			ผิวยาบ		
	จุดที่เกาะ			จุดที่เกาะ		
	1	2	3	1	2	3
เนื้อ 1	0.870 ±0.12 ^a	0.932 ±0.14 ^{bc}	0.895 ±0.16 ^{ab}	0.911 ±0.16 ^a	0.969 ±0.15 ^{bcd}	0.994 ±0.15 ^{cd}
เนื้อ 1- 2	0.946 ±0.16 ^c	0.988 ±0.12 ^d	0.948 ±0.16 ^c	0.946 ±0.16 ^{ab}	0.964 ±0.15 ^{bc}	0.979 ±0.15 ^{bcd}
เนื้อ 2	1.072 ±0.12 ^{ef}	1.083 ±0.13 ^f	1.036 ±0.13 ^e	1.039 ±0.16 ^c	1.038 ±0.14 ^c	1.013 ±0.12 ^{de}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรตัวเดียวกัน ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 5%



ภาพที่ 27 ลักษณะผิวที่ขรุขระของผลมะพร้าวอ่อน

4. สมบัติสรีรวิทยา ได้แก่ ความหวาน (TSS) ความเป็นกรด (Acidity) และ ความหนาเนื้อ (T) (ตารางที่ 5) มะพร้าวอ่อนในช่วงเนื้อหนึ่ง TSS จะน้อย Acidity จะมีมาก น้ำมะพร้าวจะเปรี้ยว เนื้อจะมีลักษณะเป็นวุ้นบางๆ ยิ่งมะพร้าวอ่อนเจริญเติบโตมากขึ้น (แก่ขึ้น) TSS ของน้ำสูงขึ้น ความเปรี้ยว (กรด) ลดลง และเนื้อมะพร้าวอ่อนก็หนาขึ้น

ตารางที่ 5 สมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน

มะพร้าวอ่อน	TSS (%ปริกซ์)	ความเป็นกรด (ก.)	ความหนาเนื้อ (มม.)
เนื้อ 1	6.80 ±0.53	0.11 ±0.03	1.71 ±0.30
เนื้อ 1- 2	7.42 ±0.98	0.09 ±0.03	3.05 ±0.65
เนื้อ 2	7.84 ±0.41	0.07 ±0.02	4.96 ±0.69

การวิเคราะห์การตัดแยก โดยพิจารณาตัวแปรจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation matrix) (ตารางผนวกที่ ข1) ของตัวแปรในภาพรวม ในการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มได้นำเทคนิค Discriminance Analysis (กัลยา, 2546) มาใช้ผ่าน โปรแกรม SPSS เป็นการแบ่งกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เนื้อหนึ่ง เนื้อหนึ่งครึ่ง และ เนื้อสอง ตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ (ตารางที่ 6) ตัวแปรคุณลักษณะ ทางกายภาพ, SG, มีค่าเฉลี่ยที่ 3 กลุ่มไม่ค่อยแตกต่างกัน ดังนั้น SG อาจจะไม่ใช้ตัวแปรที่ทำให้ทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของตัวแปรเสียง f_n , สรีรวิทยา TSS, Acidity, เซิงกล SM_s ของกะลา, ความหนาเนื้อ ต่างกัน เมื่ออยู่ต่างกลุ่มกันนั้นคือตัวแปรทั้ง 5 ตัวควรจะเป็นตัวแปรที่นำมาสร้างสมการ แสดงความสัมพันธ์ในการแบ่งกลุ่มได้ดี

ตารางที่ 7 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัว กับตัวแปร Canonical พบว่าตัวแปร T (ความหนาเนื้อ) มีความสัมพันธ์กับตัวแปร Canonical มากที่สุดคือ 0.826 ตารางที่ 8 แสดงสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันการตัดแยก (Classification function coefficients) และ function การแบ่งกลุ่มมี 3 ฟังก์ชัน ดังนี้

$$D_1 = 95.029 f_n + 15.615 TSS + 43.029 Acidity + 1.426 T + 0.204 SM_s - 102.565 \quad (4)$$

$$D_2 = 106.504 f_n + 17.269 TSS + 13.14 Acidity + 5.615 T + 0.338 SM_s - 136.028 \quad (5)$$

$$D_3 = 118.862 f_n + 18.715 TSS - 30.348 Acidity + 9.247 T + 0.3515 SM_s - 171.394 \quad (6)$$

ถ้าได้ค่ามา 1 ชุด ' f_n ', 'TSS', 'Acidity', 'ความหนาเนื้อ', ' SM_s เอามาทดสอบ 3 สมการ อันใดมากที่สุด เขาค่านั้นไปใช้ระบุระยะการเจริญเติบโตของมะพร้าวอ่อนตัวอย่างผลนั้น

ตารางที่ 6 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่ม

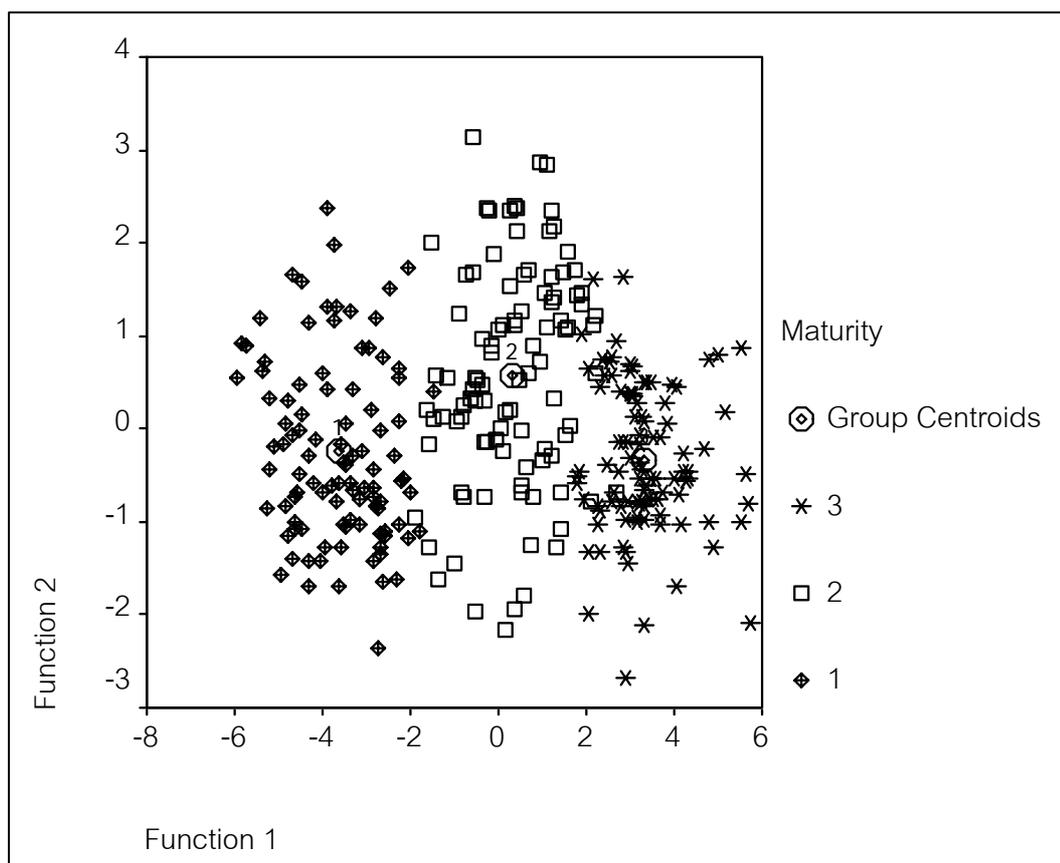
	Maturity	Mean	Std. Deviation	Valid N (listwise)	
				Unweighted	Weighted
1.00	Frequency	.8991	.1040	100	100.000
	TSS	6.8030	.5434	100	100.000
	ACIDITY	.1058	2.865E-02	100	100.000
	SG	.9396	2.885E-02	100	100.000
	ความหนาเนื้อ (T)	.7406	.8475	100	100.000
	SM _s ของกะลา	27.7252	14.2302	100	100.000
2.00	Frequency	.9604	.1233	100	100.000
	TSS	7.4210	.9761	100	100.000
	ACIDITY	9.160E-02	2.585E-02	100	100.000
	SG	.9196	3.635E-02	100	100.000
	T	3.0542	.6509	100	100.000
	SM _s	62.3399	19.6782	100	100.000
3.00	Frequency	1.0640	9.091E-02	100	100.000
	TSS	7.8440	.4026	100	100.000
	ACIDITY	7.280E-02	2.035E-02	100	100.000
	SG	.9051	7.964E-02	100	100.000
	T	4.9631	.6860	100	100.000
	SM _s	67.3771	11.9726	100	100.000
Total	Frequency	.9745	.1265	300	300.000
	TSS	7.3560	.8064	300	300.000
	ACIDITY	9.007E-02	2.852E-02	300	300.000
	SG	.9214	5.490E-02	300	300.000
	T	2.9193	1.8774	300	300.000
	SM _s	52.4807	23.5459	300	300.000

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปร Canonical

	Function	
	1	2
T	.826*	-.156
TSS	.219*	.039
SM _s	.375	.884*
F _n	.218	-.356*
ACIDITY	-.186	.213*
SG ^a	-.058	.064*

ตารางที่ 8 สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในการจำแนกการแบ่งกลุ่ม

	ฟังก์ชัน		
	D ₁	D ₂	D ₃
F _n	95.029	106.504	118.861
TSS	15.615	17.269	18.715
ACIDITY	43.029	13.140	-30.348
T	1.426	5.615	9.247
SM _s	.204	.338	.351
(Constant)	-102.565	-136.028	-171.394



ภาพที่ 28 ค่ากลางและการกระจายของตัวแปรในแต่ละกลุ่ม

ภาพที่ 28 แสดงค่ากลางของแต่ละกลุ่ม โดยใช้ค่าของฟังก์ชันจากสมการที่ 4-6 พบว่าค่ากลางห่างกันมากแสดงว่าทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างกัน คือ เลข 1 (ช่วงเนื้อหนึ่ง) แสดงว่าตัวแปรถูกจัดให้อยู่กลุ่มที่ 1 เลข 2 (ช่วงเนื้อหนึ่งครึ่ง) และ 3 (ช่วงเนื้อสอง) ก็เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการพยากรณ์โดยใช้ตัวแปร 5 ตัวในการพยากรณ์การแบ่งกลุ่มพบว่าวิธี Original จะพยากรณ์กลุ่มได้ถูกต้อง 96.3 % (จาก Footnote b) วิธี Cross-validated พยากรณ์กลุ่มได้ถูกต้อง 95.7 % (จาก Footnote c)

ตารางที่ 9 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการพยากรณ์การแบ่งกลุ่ม

		Maturity	Predicted Group Membership			Total
			1.00	2.00	3.00	
Original	Count	1.00	99	1	0	100
		2.00	3	92	5	100
		3.00	0	2	98	100
	%	1.00	99.0	1.0	.0	100.0
		2.00	3.0	92.0	5.0	100.0
		3.00	.0	2.0	98.0	100.0
Cross-validated ^a	Count	1.00	99	1	0	100
		2.00	5	90	5	100
		3.00	0	2	98	100
	%	1.00	99.0	1.0	.0	100.0
		2.00	5.0	90.0	5.0	100.0
		3.00	.0	2.0	98.0	100.0

a Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b 96.3% of original grouped cases correctly classified.

c 95.7% of cross-validated grouped cases correctly classified.

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การตรวจสอบความอ่อนแก่ของผลมะพร้าวอ่อนโดยใช้เทคนิคเสียงแสดงให้เห็นว่าเป็นเทคนิคที่มีศักยภาพในการระบุความอ่อนแก่ของผลมะพร้าวอ่อนในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโต (Maturity) ความแตกต่างของระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อนสามารถอธิบายได้ด้วย สมบัติเชิงกล สมบัติสรีรวิทยา สมบัติเสียง และคุณลักษณะทางกายภาพ

ผลการทดลองปรากฏว่า ความแตกต่างของระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อนที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ANOVA และ DMRT ระบุความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความสำคัญ 5% สามารถอธิบายได้ด้วย แรงกดแตกของกะลา F_R และตัวแปรของ f_n ทุกทอม ตัวแปรสรีรวิทยา W_w , D_w , TSS มีการกระจายกับเวลาหลังการผสมเกสร t เป็นกราฟ Sigmoid คือ เมื่ออ่อนจะมีขนาด (Magnitude) ต่ำ พอเข้าเกณฑ์กำลังคิดจะเพิ่มขึ้นกับ t เป็นเชิงเส้น และพอแก่มีแนวโน้ม Magnitude คงที่หรือเพิ่มขึ้นกับเวลา ตัวแปรเชิงกล ได้แก่ F_R , SM_w , F_m , SL_r สามารถระบุความแตกต่างของระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อนได้ชัดเจน ว่าช่วงเนื้อ 1, ช่วงเนื้อ $1\frac{1}{2}$ และช่วงเนื้อ 2 ตัวแปรสรีรวิทยา ได้แก่ TSS, Acidity, T สามารถระบุความแตกต่างของระยะความเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อนได้ชัดเจนเช่นกัน สอดคล้องกับความจริงว่า ผลมะพร้าวอ่อนเมื่ออ่อน น้ำเปรี้ยวและเนื้อบาง พอโตถึงระยะกำลังกิน น้ำหวานขึ้น สมบัติเสียงแสดงให้เห็นว่าเป็นเทคนิคที่มีศักยภาพในการคัดแยกผลมะพร้าวอ่อนแบบไม่ทำลายได้แก่ f_n สามารถระบุความแตกต่างของระยะความเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อนได้ชัดเจน เช่นกัน ANOVA และ DMRT วิเคราะห์ให้เห็นว่า การเกาะที่สันผลตรงระดับใดก็ได้ (1, 2 หรือ 3) ระบุ Maturity ของผลมะพร้าวอ่อนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 5% ซึ่งสอดคล้องกับวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะ

จากองค์ความรู้ที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้น่าจะนำไปพัฒนาอุปกรณ์ชุดเคาะผลมะพร้าว
อ่อนตรวจสอบความอ่อนแก่ของผลมะพร้าวอ่อนต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กลุ่มเกษตรสัญจร. 2531. มะพร้าวน้ำหอม. โรงพิมพ์สหมิตร.

นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2536. พืชหลักปักชำได้. ปิรามิด. กรุงเทพฯ.

บัณฑิต จริโมภาส, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, กระวี ตรีอำนาจ, ยุทธนา งามเกียรติขจร. 2547. เครื่องทดสอบหาสมบัติเชิงสะท้อนของผลไม้. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* 53 (18): 36-43

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Abbott, J.A., G.S. Bachman, N.F. Childers, J.V. Fitzgerald, and F.J. Matuski. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technology* 22(5): 101-112

ASAE Standards. 1994. **Moisture measurement-forages**. ASAE S 358.2 DEC 93. American society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road, Michigan, USA. P 471.

_____ 1998. **Compression test of food materials of convex shape**. ASAE S368.3 Mar 95. p 554-559.

Chen, P., M. Ruiz-Altisent, and P. Barreiro. 1996. Effects of impacting mass on firmness sensing of fruits. *Trans of the ASAE*. 39 (3): 1019-1023.

Jarimopas, B. and Rattanadat, N. 2007. Development of a young coconut fruit trimming machine. *Journal of Food Engineering*. 79: 752-757.

Kouno, Y., T. Mizun, H. Macda. 1993. The development of a device to measure the ripeness and internal quality of watermelons, pp 19-22. **Proceedings of The International Conference for Agricultural Machinery & Process Engineering**, October. Seoul, Korea

Kawano, S. 1994. Quality inspection of agricultural products by nondestructive techniques in Japan. **Faeming Japan**. 28 (1): 14-19

Mohsenin, N.N. 1996. **Physical Properties of Plant and Animal Material**. Gordon and Breach Publishers Inc. Thailand

Pechsmai, A. 2002. **Design and development of a young coconut peeling machine**, M.Eng. Thesis. Kasetsart University.

http://www.doa.go.th/pl_data/COCONUT/1STAT/st01.html ฐานข้อมูลด้านพืช กรมวิชาการ
เกษตร 3 ตุลาคม 2448

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 170 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	525	15.50	18.00	1848	0.89
2	499	17.30	18.10	2120	0.88
3	473	13.50	17.80	1463	0.98
4	555	14.20	18.00	1607	0.90
5	419	15.00	17.30	1625	0.87
6	439	16.90	17.60	2255	0.94
7	429	14.50	15.90	1500	0.93
8	615	13.80	15.40	1388	0.93
9	421	15.50	16.70	1743	0.92
10	573	17.70	18.60	2499	0.99
11	425	14.60	15.80	1483	0.93
12	635	17.50	18.50	2532	0.99
13	661	18.80	19.30	2677	0.99
14	525	15.60	16.30	1810	0.94
15	429	15.50	18.00	1724	0.92
16	499	15.70	16.60	1729	0.92
17	550	15.70	16.70	1942	0.87
18	473	15.70	17.40	1799	0.92
19	421	15.80	17.00	1911	0.91
20	419	14.70	17.30	1687	0.94

ตารางผนวกที่ ก2 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 170 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	52.02	7.05	8.86	36.11	0.47
2	42.76	6.49	7.51	40.66	0.49
3	25.42	7.07	0.00	0.00	0.70
4	28.89	8.98	0.00	0.00	0.21
5	24.01	7.50	0.00	0.00	0.45
6	55.76	5.97	2.28	18.52	0.39
7	60.60	6.24	2.46	19.27	0.66
8	24.65	6.15	4.73	23.19	0.32
9	55.57	6.79	5.40	31.61	0.38
10	51.81	5.73	4.87	31.98	0.54
11	77.86	6.24	5.44	32.78	0.55
12	63.65	5.43	4.92	33.85	0.59
13	56.69	5.69	5.17	37.01	0.65
14	58.46	6.63	5.21	38.08	0.70
15	38.41	6.13	2.37	21.03	0.21
16	53.15	5.97	2.34	15.56	0.45
17	24.91	6.02	4.65	19.96	1.18
18	30.83	6.11	4.90	24.16	1.23
19	37.70	6.03	5.14	30.72	1.23
20	50.96	6.73	5.43	31.74	0.88

ตารางผนวกที่ ก3 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 174 วัน (ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	597	16.00	18.40	1890	0.92
2	419	16.70	19.20	2281	0.91
3	473	17.00	18.00	2216	0.90
4	421	16.30	18.10	2169	0.91
5	527	15.90	19.00	2104	0.91
6	658	15.00	15.90	1431	0.95
7	651	15.60	16.30	1688	0.90
8	419	15.50	16.80	1662	0.96
9	499	14.40	16.70	1578	0.92
10	658	15.20	16.50	1779	0.95
11	439	14.20	17.00	1555	0.93
12	555	16.60	16.60	2058	0.92
13	425	16.00	17.40	1952	0.92
14	419	15.40	16.30	1657	0.94
15	527	14.20	17.00	1621	0.89
16	573	16.00	16.00	2018	0.93
17	587	14.20	18.00	1591	0.94
18	525	15.60	16.70	1680	0.93
19	499	15.50	16.70	1848	0.93
20	527	14.40	18.20	1620	0.91

ตารางผนวกที่ ก4 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 174 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	63.65	5.77	7.21	54.23	0.47
2	78.95	6.54	8.49	55.09	0.49
3	69.90	6.84	8.86	56.36	0.70
4	36.11	6.46	8.26	53.04	0.88
5	67.91	6.47	8.91	49.80	1.35
6	24.18	7.67	7.34	43.06	1.17
7	21.27	6.90	7.03	43.49	1.18
8	24.01	6.60	5.30	46.14	1.19
9	68.81	6.21	5.88	49.22	1.19
10	24.65	6.43	18.26	55.89	1.29
11	47.58	6.93	6.37	42.37	1.30
12	56.85	5.85	5.30	44.05	1.30
13	73.33	6.03	5.17	44.46	1.35
14	66.31	6.18	5.74	47.10	1.36
15	53.12	6.78	5.67	47.56	0.74
16	52.53	6.02	5.13	48.07	0.78
17	76.37	6.80	9.00	51.40	0.80
18	34.59	6.71	9.24	53.59	0.82
19	25.87	6.53	9.83	55.98	0.90
20	34.19	6.89	9.29	56.46	0.93

ตารางผนวกที่ ก5 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 178 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	597	18.00	18.60	2349	0.89
2	429	17.50	19.20	2427	0.89
3	499	15.30	17.40	1771	0.93
4	550	17.00	18.90	2232	0.93
5	597	15.80	18.30	1867	0.92
6	439	15.20	17.60	1969	0.95
7	661	16.00	17.00	1855	0.89
8	597	14.80	16.50	1627	0.96
9	555	15.20	17.20	1813	0.93
10	615	15.80	17.20	1930	0.95
11	550	14.30	15.10	1366	0.92
12	573	15.50	17.60	1841	0.90
13	719	14.70	16.70	1558	0.92
14	635	15.00	17.20	1687	0.93
15	419	15.00	18.50	1816	0.93
16	473	14.00	17.70	1538	0.92
17	421	16.70	18.10	2114	0.91
18	473	15.70	17.00	1899	0.94
19	421	15.20	17.30	1763	0.94
20	419	14.60	18.50	1710	0.94

ตารางผนวกที่ ก6 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 178 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	63.65	5.77	7.21	54.23	2.14
2	78.95	6.54	8.49	55.09	2.19
3	69.90	6.84	8.86	56.36	2.22
4	36.11	6.46	8.26	53.04	2.34
5	67.91	6.47	8.91	49.80	1.90
6	24.18	7.67	7.34	43.06	2.01
7	21.27	6.90	7.03	43.49	2.06
8	24.01	6.60	5.30	46.14	2.08
9	68.81	6.21	5.88	49.22	1.42
10	24.65	6.43	18.26	55.89	1.86
11	47.58	6.93	6.37	42.37	1.94
12	56.85	5.85	5.30	44.05	1.30
13	73.33	6.03	5.17	44.46	1.35
14	66.31	6.18	5.74	47.10	1.50
15	53.12	6.78	5.67	47.56	1.55
16	52.53	6.02	5.13	48.07	1.63
17	76.37	6.80	9.00	51.40	1.69
18	34.59	6.71	9.24	53.59	1.80
19	25.87	6.53	9.83	55.98	1.92
20	34.19	6.89	9.29	56.46	1.93

ตารางผนวกที่ ก7 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 182 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	499	15.90	18.00	1872	0.87
2	658	15.70	19.00	2052	0.92
3	439	16.80	19.60	2289	0.93
4	555	16.70	19.00	2277	0.91
5	425	14.60	16.80	1728	0.80
6	703	16.50	18.10	2119	0.90
7	635	16.60	18.70	2211	0.94
8	665	14.50	16.00	1550	0.98
9	587	16.30	16.70	1813	0.95
10	786	16.20	16.50	1808	0.90
11	609	14.50	16.00	1603	0.92
12	605	15.20	17.70	1809	0.96
13	439	16.20	16.40	2004	0.93
14	555	15.30	17.10	1667	0.93
15	425	15.40	16.30	1737	0.96
16	658	14.00	17.20	1572	0.96
17	651	15.40	18.50	1779	0.93
18	419	14.30	17.50	1590	0.93
19	499	15.20	16.00	1687	0.95
20	651	15.00	18.00	1737	0.91

ตารางผนวกที่ ก8 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 182 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	74.56	5.80	7.10	72.34	2.15
2	125.03	6.26	8.94	66.64	2.34
3	119.57	6.45	8.14	66.75	2.48
4	134.23	6.30	8.84	66.90	2.64
5	61.53	6.54	11.37	70.74	1.66
6	120.88	6.73	16.60	71.11	1.72
7	106.17	6.41	9.40	71.26	1.87
8	77.86	7.10	12.39	67.19	1.46
9	88.81	6.94	12.69	68.88	2.19
10	124.67	6.26	9.95	69.23	2.22
11	149.40	7.19	11.81	69.26	2.34
12	81.73	6.83	10.69	71.72	2.43
13	103.53	6.42	9.49	71.84	2.50
14	115.24	6.91	11.51	74.04	2.59
15	73.98	6.33	8.75	67.60	2.74
16	59.82	6.66	9.18	68.51	3.23
17	64.93	6.85	11.02	68.65	2.72
18	77.92	6.76	10.28	69.85	2.32
19	64.80	6.46	9.46	70.17	2.37
20	71.39	6.67	11.30	74.64	2.42

ตารางผนวกที่ ก9 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 186 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	587	15.30	16.90	2404	0.85
2	691	17.70	19.50	2048	0.90
3	646	16.70	18.20	2021	0.93
4	609	17.50	17.00	1725	0.91
5	605	17.40	16.20	1751	0.94
6	714	15.60	16.40	1951	0.89
7	807	16.40	16.80	1667	0.93
8	776	15.20	17.00	1748	0.89
9	740	15.20	18.50	1940	0.85
10	550	15.60	17.90	1783	0.93
11	792	15.50	16.40	1727	0.93
12	740	15.00	17.20	1591	0.90
13	786	14.70	16.50	1774	0.93
14	714	14.80	16.70	1740	0.94
15	849	15.60	16.70	1778	0.93
16	654	16.00	15.50	1718	0.96
17	802	14.80	16.90	1827	0.93
18	833	15.60	17.50	2038	0.93
19	646	16.20	18.10	1665	0.89
20	587	15.30	16.90	2404	0.85

ตารางผนวกที่ ก10 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 186 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	79.88	6.70	9.30	78.74	3.46
2	98.33	7.09	13.00	81.33	3.06
3	116.86	7.15	14.64	81.37	2.76
4	100.06	7.09	11.49	74.19	2.79
5	182.90	7.19	11.28	74.77	3.46
6	206.79	6.71	4.39	77.19	2.83
7	124.20	7.13	10.66	77.25	2.87
8	212.10	7.10	12.50	78.20	2.93
9	106.17	7.00	10.70	78.25	3.54
10	44.83	6.52	19.62	79.48	3.64
11	115.24	7.07	11.09	79.55	3.76
12	49.38	6.89	11.78	79.63	3.17
13	199.04	6.94	9.92	79.95	3.23
14	124.67	7.13	12.25	80.35	3.30
15	123.08	6.86	8.62	81.49	3.41
16	50.34	6.23	10.00	75.84	3.42
17	74.66	6.53	10.39	76.15	3.48
18	44.00	6.31	9.92	76.55	3.21
19	36.71	7.23	11.14	77.51	2.85
20	79.88	6.70	9.30	78.74	2.93

ตารางผนวกที่ ก11 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ
190 วัน (ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น ฟ็อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	613	17.80	19.50	2354	0.91
2	860	17.10	17.90	2019	0.97
3	745	17.80	19.20	2458	0.92
4	697	15.00	16.20	1760	0.91
5	609	14.90	17.80	1745	0.92
6	818	15.10	16.70	1668	0.94
7	807	14.80	17.50	1688	0.86
8	730	16.80	18.30	2067	0.88
9	922	14.70	15.60	1429	0.93
10	865	15.80	16.50	1674	0.88
11	860	15.50	17.50	1795	0.92
12	818	15.20	17.80	1826	0.96
13	807	15.40	17.40	1895	0.84
14	914	16.70	17.70	2148	0.82
15	857	14.70	18.10	1582	0.92
16	897	15.30	18.70	1734	0.93
17	894	14.80	17.60	1725	0.91
18	870	15.50	17.80	1818	0.95
19	763	14.50	17.00	1593	0.95
20	646	15.00	17.50	1665	0.89

ตารางผนวกที่ ก12 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 190 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	221.22	6.60	10.53	84.04	4.13
2	137.20	7.24	12.89	86.42	4.38
3	97.32	6.99	12.27	87.08	4.39
4	199.04	7.17	11.52	87.60	4.52
5	164.17	7.31	13.16	81.71	3.93
6	105.14	7.16	9.77	82.62	4.02
7	109.27	6.88	12.17	83.44	4.18
8	106.17	6.90	13.73	85.47	3.54
9	124.67	7.20	13.90	85.95	3.64
10	106.17	6.75	12.24	86.36	3.76
11	132.49	7.06	13.32	86.40	3.83
12	87.09	6.99	13.47	86.83	3.87
13	100.06	6.63	11.45	87.21	3.96
14	114.37	7.10	14.37	87.78	4.07
15	132.49	6.91	7.61	88.02	4.07
16	96.83	7.07	12.41	81.23	3.98
17	123.08	7.19	11.91	81.93	4.07
18	115.24	6.60	9.89	84.12	3.16
19	96.83	7.33	12.62	86.06	3.38
20	139.39	7.18	12.82	86.79	3.46

ตารางผนวกที่ ก13 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ
194 วัน (ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	992	15.30	18.20	1722	0.92
2	593	15.20	17.80	1680	0.83
3	667	15.40	18.90	1611	0.83
4	891	17.90	20.30	2637	0.99
5	828	15.10	17.50	1744	0.94
6	849	14.80	17.30	1713	0.94
7	807	15.20	17.90	1599	0.87
8	818	14.70	17.00	1529	0.89
9	828	16.00	17.50	1938	0.90
10	797	16.70	17.80	2106	0.92
11	897	17.20	18.50	2069	0.87
12	807	16.50	17.40	1939	0.92
13	818	15.00	17.30	1592	0.90
14	894	14.50	16.70	1533	0.90
15	667	15.20	16.70	1514	0.92
16	891	17.00	18.00	2087	0.93
17	691	16.20	17.00	1990	0.88
18	667	16.00	15.40	1669	0.94
19	992	16.40	18.30	2093	0.91
20	802	15.30	18.00	1777	0.92

ตารางผนวกที่ ก14 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 194 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	139.03	7.87	8.50	93.35	3.90
2	145.69	6.86	13.97	94.28	3.92
3	209.60	7.26	12.10	95.01	3.93
4	106.17	6.76	12.62	95.49	3.93
5	120.88	6.87	12.55	88.20	4.87
6	243.50	7.28	12.85	88.24	4.38
7	291.80	6.91	16.51	88.34	4.39
8	243.50	6.72	11.31	88.57	4.52
9	115.24	7.25	11.79	89.28	4.74
10	96.83	6.64	11.39	89.43	4.90
11	120.88	7.33	13.86	89.56	4.42
12	75.23	6.49	8.79	90.70	4.32
13	100.06	6.90	14.03	92.01	4.45
14	88.81	7.51	10.15	92.20	4.44
15	83.72	6.50	11.42	93.33	4.23
16	88.81	6.90	11.54	94.10	5.54
17	124.67	6.86	12.06	94.45	5.05
18	119.57	7.60	8.15	95.34	5.14
19	124.67	6.97	12.92	95.48	5.27
20	96.83	7.01	12.11	93.35	4.52

ตารางผนวกที่ ก15 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ
198 วัน (ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	763	16.00	17.90	1634	0.88
2	771	15.30	17.60	1547	0.75
3	828	15.20	16.20	1543	0.82
4	1072	16.30	17.90	1991	0.83
5	701	15.50	18.20	1647	0.92
6	837	15.30	17.40	1618	0.80
7	966	15.90	17.50	2045	0.87
8	708	14.50	18.00	1422	0.83
9	728	18.00	20.30	2570	0.89
10	908	17.20	20.60	2402	0.90
11	849	17.40	18.10	2196	0.88
12	701	14.60	16.50	1626	0.87
13	837	15.20	17.40	1667	0.89
14	763	15.20	16.80	1610	0.92
15	771	16.70	16.90	1723	0.92
16	966	16.70	18.00	2076	0.91
17	708	16.60	18.10	2074	0.91
18	908	16.40	18.00	2218	0.90
19	849	16.30	18.00	2137	0.94
20	966	15.80	18.20	1899	0.91

ตารางผนวกที่ ก16 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 198 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	138.41	7.05	13.12	95.83	5.54
2	167.43	7.08	12.78	96.14	5.82
3	194.24	7.37	10.80	96.94	6.09
4	164.04	7.14	12.84	99.05	5.27
5	152.30	6.89	12.97	99.59	5.42
6	221.51	7.38	13.56	100.92	5.60
7	82.62	6.72	11.77	101.10	4.93
8	109.74	7.66	19.10	101.32	4.96
9	105.14	6.68	14.29	101.58	5.01
10	243.50	7.22	12.37	102.59	4.92
11	164.99	6.65	10.87	103.18	4.92
12	96.83	7.29	11.89	96.07	4.92
13	124.67	7.36	11.47	99.18	4.97
14	63.65	6.51	11.73	99.47	5.60
15	173.39	6.56	10.99	100.62	4.93
16	132.49	7.20	14.29	103.03	4.96
17	257.13	7.13	13.22	103.32	5.01
18	208.71	6.70	11.51	104.85	5.05
19	222.78	6.59	13.61	105.88	5.06
20	124.67	6.99	11.58	95.21	5.06

ตารางผนวกที่ ก17 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ
202 วัน (ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิรตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	802	17.30	19.20	2277	0.83
2	797	17.60	18.00	2202	0.87
3	897	18.60	20.10	2317	0.85
4	807	17.00	19.60	2267	0.82
5	776	18.10	19.50	2411	0.83
6	894	16.50	18.50	2134	0.84
7	786	16.50	15.80	1968	0.92
8	792	17.50	20.00	2440	0.85
9	857	17.80	20.50	2491	0.87
10	914	17.40	19.70	2468	0.83
11	870	17.00	18.00	2113	0.87
12	797	16.50	18.00	2054	0.88
13	897	17.00	18.90	2163	0.88
14	786	16.60	18.90	2263	0.86
15	776	15.50	17.00	1742	0.89
16	857	16.70	17.30	2073	0.87
17	786	15.60	17.50	1749	0.89
18	894	16.70	18.50	2126	0.84
19	897	15.80	16.80	1690	0.94
20	833	16.00	16.90	1754	0.91

ตารางผนวกที่ ก18 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 202 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	138.41	7.05	13.12	95.83	5.82
2	167.43	7.08	12.78	96.14	6.09
3	194.24	7.37	10.80	96.94	6.23
4	164.04	7.14	12.84	99.05	6.29
5	152.30	6.89	12.97	99.59	5.68
6	221.51	7.38	13.56	100.92	5.61
7	82.62	6.72	11.77	101.10	5.67
8	109.74	7.66	19.10	101.32	5.67
9	105.14	6.68	14.29	101.58	5.71
10	243.50	7.22	12.37	102.59	5.72
11	164.99	6.65	10.87	103.18	5.78
12	96.83	7.29	11.89	96.07	5.98
13	124.67	7.36	11.47	99.18	6.00
14	63.65	6.51	11.73	99.47	6.00
15	173.39	6.56	10.99	100.62	6.09
16	132.49	7.20	14.29	103.03	6.23
17	257.13	7.13	13.22	103.32	6.29
18	208.71	6.70	11.51	104.85	5.68
19	222.78	6.59	13.61	105.88	5.61
20	124.67	6.99	11.58	95.21	5.67

ตารางผนวกที่ ก19 คุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ
206 วัน (ช่วงที่ 1)

ผลที่	ความถี่สั้น พ้อง(เฮิร์ตซ์)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักผล (กรัม)	ความ ถ่วงจำเพาะ
1	1009	16.20	18.00	2180	0.88
2	730	17.30	20.00	2480	0.87
3	742	17.00	18.30	2227	0.84
4	887	17.50	18.30	2322	0.85
5	863	18.00	17.70	2399	0.80
6	875	17.50	18.40	2344	0.86
7	927	17.00	18.00	2114	0.88
8	691	18.70	20.30	2421	0.99
9	646	15.80	17.70	1796	0.91
10	875	16.00	18.20	1957	0.90
11	605	15.20	18.50	1804	0.87
12	914	15.80	17.80	1862	0.91
13	927	16.00	17.80	1870	0.92
14	887	15.20	17.80	1907	0.88
15	833	16.20	17.30	1859	0.93
16	927	16.30	16.10	1547	0.76
17	979	17.30	18.50	1799	0.68
18	833	15.30	17.40	1555	0.73
19	894	17.80	18.50	1888	1.01
20	802	17.20	17.90	1768	0.76

ตารางผนวกที่ ก20 สมบัติเชิงกลและสมบัติสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงอายุ 206 วัน
(ช่วงที่ 1)

ผลที่	แรงกดกะลา (นิวตัน)	ความหวาน (% บริกซ์)	น้ำหนักเนื้อ แห้ง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อ เปียก (กรัม)	ความหนา เนื้อ (มม.)
1	222.78	7.57	12.74	143.36	6.39
2	149.06	7.62	13.17	150.06	6.40
3	84.09	7.78	15.76	134.19	6.48
4	113.16	7.75	15.76	140.22	6.49
5	143.90	7.47	15.76	144.89	6.61
6	171.29	7.88	15.76	149.57	6.76
7	127.94	7.86	20.58	128.20	6.88
8	78.70	7.80	19.66	128.25	6.97
9	124.20	7.59	25.72	132.11	7.17
10	87.09	7.78	23.24	134.43	6.58
11	82.89	7.49	8.90	129.32	6.58
12	82.18	7.63	16.37	129.93	6.58
13	309.31	7.87	17.66	130.10	6.75
14	300.89	7.58	19.98	139.12	6.75
15	124.67	7.40	27.08	140.14	7.33
16	257.13	7.60	28.48	155.91	7.33
17	183.16	7.57	27.73	165.23	6.76
18	300.89	7.79	32.49	172.65	6.88
19	164.17	8.21	28.85	205.45	6.97
20	199.04	7.23	29.42	207.97	7.17

ตารางผนวกที่ ก21 คุณลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน
ในช่วงเนื้อหนึ่ง (ช่วงที่ 2)

ผลที่	D_{\max}	H_{\max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F_M	SL_f	D_R	F_R	SM_S
1	14.70	17.80	1666	0.91	6.73	0.09	1.67	2.02	1.21	4.17	146.1	35.40
2	15.20	17.90	1948	0.97	6.63	0.09	1.42	1.31	0.91	7.33	216.9	30.11
3	14.50	16.90	1665	0.95	6.87	0.11	1.50	1.35	0.92	4.50	214.6	48.12
4	15.20	16.40	1740	0.93	6.67	0.10	1.58	1.32	0.82	3.92	139.0	35.47
5	14.80	15.90	1690	0.94	6.87	0.15	1.33	1.11	0.83	5.00	64.1	12.75
6	14.50	16.90	1765	0.91	6.53	0.11	1.50	1.93	1.35	3.25	194.1	58.65
7	14.70	16.00	1708	0.94	7.63	0.11	1.58	1.19	0.76	4.83	242.3	50.13
8	14.90	17.20	1903	0.94	6.90	0.12	1.00	1.45	1.43	7.19	143.2	20.17
9	14.80	17.90	1666	0.93	7.80	0.12	2.00	1.83	0.90	5.69	150.9	25.89
10	15.40	17.20	1519	0.90	8.67	0.16	2.00	2.19	1.07	4.86	62.4	13.01
11	15.50	19.10	1898	0.94	8.23	0.10	0.00	0.00	0.00	5.14	179.5	35.08
12	13.60	15.20	1236	0.93	7.00	0.06	0.00	0.00	0.00	4.44	71.7	16.22
13	13.30	16.00	1260	0.93	6.20	0.17	0.00	0.00	0.00	5.50	122.0	22.54
14	13.50	16.20	1322	0.93	6.40	0.14	0.00	0.00	0.00	8.61	283.5	32.66
15	15.00	17.30	1633	0.92	7.40	0.16	1.86	2.70	1.48	4.58	172.5	37.64
16	14.10	15.50	1340	0.94	7.23	0.13	0.00	0.00	0.00	4.17	214.9	50.59
17	14.90	15.00	1408	0.94	6.23	0.10	0.00	0.00	0.00	4.44	157.4	35.79
18	13.30	15.50	1213	0.96	7.17	0.10	0.00	0.00	0.00	4.31	173.8	39.92
19	14.00	15.20	1288	0.87	7.27	0.11	0.00	0.00	0.00	4.72	177.8	37.61
20	14.30	15.60	1411	0.97	7.07	0.13	1.42	1.23	0.91	5.56	124.3	23.23

หมายเหตุ D_{\max} = เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม), H_{\max} = ความสูง (ซม), W = น้ำหนัก (กรัม),

Sg = ความถ่วงจำเพาะ, TSS = ความหวาน (%บริกซ์), Ac = ความเป็นกรด (กรัม),

T = ความหนาเนื้อ (มม) F_M = แรงกดเนื้อ (นิวตัน), SL_f = ความชันของเนื้อ (นิวตัน/

มม.), F_R = แรงกดกะลา (นิวตัน), SM_S = ความชันของกะลา (นิวตัน/มม.),

D_R = ระยะยุบตัวของกะลา (มม)

ตารางผนวกที่ ก21 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
21	14.30	14.50	1357	0.96	6.33	0.09	1.08	0.89	0.78	5.56	140.4	27.57
22	14.00	16.00	1362	0.95	7.43	0.08	0.00	0.00	0.00	5.97	115.4	20.16
23	13.80	14.80	1234	0.95	7.00	0.11	1.25	1.15	0.91	6.81	89.9	17.52
24	13.10	13.80	1026	0.97	6.20	0.12	1.58	2.09	1.29	5.14	139.2	27.94
25	13.70	15.60	1192	0.97	6.90	0.14	1.42	2.20	1.55	5.42	114.0	21.94
26	13.80	15.00	1215	0.95	6.70	0.13	0.00	0.00	0.00	5.83	139.6	25.79
27	13.70	14.00	1240	0.96	6.23	0.07	0.00	0.00	0.00	5.83	97.2	16.60
28	13.70	14.60	1188	0.94	6.37	0.11	0.00	0.00	0.00	5.56	92.7	17.28
29	13.30	15.50	1227	0.96	6.70	0.10	0.00	0.00	0.00	6.67	47.8	7.31
30	13.60	15.60	1274	0.96	6.60	0.11	0.00	0.00	0.00	5.42	130.1	27.30
31	13.70	16.70	1385	0.96	7.03	0.09	0.00	0.00	0.00	4.58	186.9	46.01
32	14.00	15.60	1396	0.96	6.83	0.11	1.75	2.60	1.38	5.42	147.6	30.73
33	12.80	15.00	1101	0.96	7.00	0.07	0.00	0.00	0.00	3.61	228.0	63.12
34	14.20	15.20	1270	0.98	7.17	0.13	0.00	0.00	0.00	4.31	177.8	47.87
35	14.10	16.70	1446	0.96	7.10	0.12	0.00	0.00	0.00	7.50	72.0	10.80
36	14.70	15.00	1485	0.95	6.37	0.05	1.42	1.81	1.32	6.53	154.4	26.86
37	15.70	17.80	1722	0.89	6.90	0.07	0.00	0.00	0.00	4.44	223.5	47.92
38	14.00	15.90	1311	0.96	6.33	0.09	1.75	2.97	1.80	5.42	116.1	22.04
39	14.10	15.80	1237	0.95	6.27	0.13	0.00	0.00	0.00	4.31	115.1	27.64
40	16.10	17.10	1873	0.90	7.20	0.11	0.00	0.00	0.00	6.39	72.5	11.86

ตารางผนวกที่ ก21 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
41	14.40	16.50	1490	0.93	7.60	0.09	0.00	0.00	0.00	5.14	75.9	14.93
42	15.20	16.40	1594	0.93	6.50	0.11	0.00	0.00	0.00	4.03	119.4	29.57
43	15.20	17.90	1752	0.95	6.73	0.11	1.75	1.78	1.00	4.58	202.6	45.42
44	15.50	17.20	1732	0.93	6.47	0.09	0.00	0.00	0.00	4.72	91.6	19.56
45	14.95	16.65	1490	0.91	6.70	0.13	0.00	0.00	0.00	5.01	82.7	17.14
46	15.15	16.90	1567	0.84	6.33	0.09	0.00	0.00	0.00	5.01	82.7	17.14
47	15.60	19.50	1924	0.92	6.80	0.11	0.00	0.00	0.00	5.42	69.7	12.58
48	16.75	18.95	2044	0.93	6.60	0.10	0.00	0.00	0.00	7.22	22.4	3.06
49	14.50	16.45	1426	0.93	6.67	0.13	0.00	0.00	0.00	6.11	371.8	63.60
50	14.35	15.15	1369	0.94	6.70	0.09	0.00	0.00	0.00	3.89	199.9	51.05
51	15.65	16.45	1556	0.92	6.57	0.14	0.00	0.00	0.00	5.97	152.0	25.24
52	14.00	15.45	1275	0.93	6.03	0.08	0.00	0.00	0.00	4.31	107.7	24.97
53	14.55	17.10	1451	0.93	6.97	0.14	1.92	2.38	1.21	6.39	71.4	11.65
54	16.00	18.00	1906	0.93	6.90	0.07	0.00	0.00	0.00	5.00	129.6	25.92
55	16.20	17.80	1863	0.93	6.80	0.10	2.00	2.42	1.20	3.75	84.4	22.23
56	15.50	17.90	1806	0.93	7.03	0.11	1.92	2.13	1.11	3.75	72.9	19.25
57	15.30	17.25	1816	0.95	6.83	0.10	1.92	2.13	1.11	7.36	229.4	31.38
58	15.50	18.00	1696	0.93	6.63	0.10	1.33	1.73	1.31	5.28	119.2	22.72
59	15.50	18.15	1758	0.92	8.07	0.17	0.00	0.00	0.00	5.42	109.3	20.23
60	15.20	18.60	1713	0.92	6.43	0.14	0.00	0.00	0.00	4.72	88.7	18.75

ตารางผนวกที่ ก21 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
61	16.25	18.50	1896	0.93	6.60	0.09	0.00	0.00	0.00	5.42	64.4	12.20
62	16.25	18.00	1915	0.94	6.03	0.09	1.58	1.37	0.86	4.86	239.3	47.75
63	15.85	17.85	1915	0.94	6.43	0.10	2.00	2.41	1.23	4.03	111.1	27.44
64	14.30	16.70	1465	0.96	6.97	0.04	0.00	0.00	0.00	4.86	140.6	28.61
65	15.00	18.00	1689	0.94	6.20	0.11	1.25	1.19	0.96	4.03	184.4	45.96
66	15.10	17.10	1680	0.94	6.87	0.10	0.00	0.00	0.00	5.28	142.8	26.80
67	15.10	16.45	1610	0.97	6.33	0.10	1.67	1.50	0.90	5.14	89.5	18.10
68	14.95	17.15	1625	0.94	6.27	0.05	0.00	0.00	0.00	5.42	69.7	12.58
69	14.35	15.95	1377	0.94	6.70	0.17	0.00	0.00	0.00	7.22	22.4	3.06
70	16.10	17.00	1730	0.95	6.40	0.10	0.00	0.00	0.00	6.11	371.8	63.60
71	15.65	17.60	1812	0.94	6.40	0.12	0.00	0.00	0.00	3.89	199.9	51.05
72	14.80	17.45	1611	0.94	6.27	0.09	0.00	0.00	0.00	5.97	152.0	25.24
73	15.45	19.10	1803	0.90	7.30	0.07	0.00	0.00	0.00	4.31	107.7	24.97
74	13.50	19.10	1612	0.98	9.23	0.16	1.98	3.60	1.78	6.39	71.4	11.65
75	15.10	15.10	1996	0.94	7.30	0.10	1.08	1.11	1.17	5.00	129.6	25.92
76	12.00	15.10	1282	0.97	6.80	0.11	1.25	1.29	1.05	3.75	84.4	22.23
77	14.50	16.45	1426	0.93	6.67	0.13	1.83	2.05	1.11	3.75	72.9	19.25
78	14.35	15.15	1369	0.94	6.70	0.09	0.00	0.00	0.00	7.36	229.4	31.38
79	15.65	16.45	1556	0.92	6.57	0.14	0.00	0.00	0.00	5.28	119.2	22.72
80	14.90	15.35	1488	0.92	7.17	0.11	0.00	0.00	0.00	5.42	109.3	20.23

ตารางผนวกที่ ก21 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
81	14.55	17.10	1451	0.93	6.97	0.14	2.00	2.41	1.23	4.72	88.7	18.75
82	16.00	18.00	1906	0.93	6.90	0.07	0.00	0.00	0.00	5.42	64.4	12.20
83	16.20	17.80	1863	0.93	6.80	0.10	2.00	2.42	1.20	5.42	109.3	20.23
84	15.50	17.90	1806	0.93	7.03	0.11	1.67	1.50	0.90	4.72	88.7	18.75
85	15.30	17.25	1816	0.95	6.83	0.10	1.92	2.13	1.11	5.42	64.4	12.20
86	15.50	18.00	1696	0.93	6.63	0.10	1.33	1.73	1.31	4.86	239.3	47.75
87	16.10	17.70	1891	0.93	7.00	0.08	0.00	0.00	0.00	4.03	111.1	27.44
88	15.50	18.15	1758	0.92	8.07	0.17	2.00	2.41	1.23	4.86	140.6	28.61
89	15.20	18.60	1713	0.92	6.43	0.14	0.00	0.00	0.00	4.03	184.4	45.96
90	16.25	18.50	1896	0.93	6.60	0.09	0.00	0.00	0.00	5.28	142.8	26.80
91	14.65	16.85	1387	0.94	6.10	0.07	1.58	1.37	0.86	5.14	89.5	18.10
92	15.10	17.75	1656	1.13	6.93	0.11	2.05	1.75	0.87	5.42	69.7	12.58
93	16.25	18.00	1915	0.94	6.03	0.09	2.00	2.41	1.23	7.22	22.4	3.06
94	15.85	17.85	1915	0.94	6.43	0.10	2.00	2.41	1.23	6.11	371.8	63.60
95	14.30	16.70	1465	0.96	6.97	0.04	0.00	0.00	0.00	3.89	199.9	51.05
96	15.00	18.00	1689	0.94	6.20	0.11	1.25	1.19	0.96	5.97	152.0	25.24
97	15.10	17.10	1680	0.94	6.87	0.10	0.00	0.00	0.00	4.31	107.7	24.97
98	15.10	16.45	1610	0.97	6.33	0.10	1.67	1.50	0.90	3.75	84.4	22.23
99	14.95	17.15	1625	0.94	6.27	0.05	0.00	0.00	0.00	3.75	72.9	19.25
100	14.95	17.15	1625	0.94	6.27	0.05	0.00	0.00	0.00	7.36	229.4	31.38

ตารางผนวกที่ ก22 สมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเนื้อหนึ่ง (ช่วงที่ 2)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
1	0.792	0.979	0.896	1.063	1.042	1.000
2	0.875	0.958	0.771	0.646	0.875	0.792
3	0.854	0.938	1.000	1.083	1.146	1.313
4	0.792	0.750	1.021	0.729	1.208	0.958
5	0.875	1.021	1.125	1.333	1.063	1.000
6	0.792	0.854	0.896	1.063	1.042	1.000
7	0.875	1.021	1.188	0.646	0.875	0.792
8	0.875	0.979	0.854	0.896	1.021	1.104
9	0.854	1.042	0.771	1.229	1.167	0.958
10	1.000	0.896	0.833	0.729	0.667	0.875
11	0.854	0.896	1.063	1.042	0.875	1.000
12	0.958	1.063	0.771	0.896	0.917	1.063
13	0.958	0.688	0.750	0.896	1.021	0.792
14	0.708	0.938	0.563	0.979	0.917	0.958
15	1.021	0.771	0.771	0.646	1.229	1.333
16	1.021	0.917	1.083	0.771	0.667	0.917
17	0.854	1.042	0.771	1.229	1.167	0.958
18	1.000	0.896	0.771	0.729	0.667	0.875
19	0.896	0.896	1.063	1.042	0.875	1.000
20	0.958	0.958	1.021	1.021	0.917	1.000
21	0.938	0.813	0.813	0.958	1.000	1.021
22	0.958	1.063	1.167	0.896	0.917	1.063
23	0.958	1.000	0.792	1.250	1.083	0.938
24	0.771	1.042	0.896	0.979	0.875	1.000
25	0.667	0.875	0.958	1.021	1.042	0.979

ตารางผนวกที่ ก22 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
26	0.708	0.938	0.563	0.979	0.917	0.958
27	0.729	0.979	0.979	0.979	0.854	0.979
28	0.792	1.063	1.125	1.000	0.896	1.063
29	0.938	1.042	0.896	0.958	1.167	1.271
30	1.042	0.979	0.771	0.875	1.229	1.042
31	0.729	0.667	0.875	0.875	1.083	0.979
32	1.021	1.063	0.896	1.042	0.979	1.083
33	1.000	0.917	1.188	1.000	1.063	0.979
34	1.021	0.917	1.083	0.771	0.667	0.917
35	0.896	0.896	0.917	1.000	1.063	1.146
36	0.813	0.771	0.958	1.000	1.104	1.042
37	0.938	1.021	1.000	1.146	0.979	0.750
38	0.958	0.938	0.938	0.917	0.896	1.333
39	0.854	1.188	0.771	1.167	1.063	1.375
40	1.063	1.417	1.146	0.646	1.167	1.563
41	0.958	0.958	1.021	1.021	0.917	1.000
42	1.063	0.938	1.083	1.042	0.854	0.917
43	1.000	0.833	0.833	0.938	0.917	0.875
44	0.958	0.896	0.875	0.896	1.042	0.958
45	0.854	0.792	0.958	1.063	0.958	1.063
46	0.625	0.771	0.875	0.979	0.917	1.000
47	0.854	0.896	1.146	1.063	1.104	1.042
48	0.938	0.729	1.125	0.875	1.021	1.063
49	0.813	1.042	0.917	0.917	1.229	0.958
50	0.625	0.833	0.688	0.792	0.813	0.729

ตารางผนวกที่ ก22 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
51	0.729	0.688	0.625	0.646	0.708	0.708
52	1.000	1.021	0.771	1.021	1.000	1.188
53	1.104	0.896	0.896	0.646	1.125	1.021
54	1.000	1.396	0.771	0.646	1.104	0.896
55	0.813	0.958	0.604	0.833	0.813	0.958
56	0.708	0.771	0.688	0.813	0.729	0.750
57	0.875	1.063	0.792	0.729	0.875	1.021
58	0.771	0.938	0.854	0.979	0.917	0.958
59	0.625	0.833	0.688	0.792	0.813	0.729
60	0.729	0.688	0.625	0.646	0.708	0.708
61	1.000	1.021	1.083	1.021	1.000	1.188
62	0.729	0.667	0.875	0.875	1.083	0.979
63	1.042	1.000	1.125	0.979	0.979	0.958
64	0.875	0.771	0.771	0.958	0.958	0.979
65	0.813	0.875	0.896	0.854	1.063	0.875
66	0.979	1.188	1.083	1.271	1.063	1.083
67	1.021	1.000	0.958	1.021	1.021	1.063
68	0.833	1.208	0.771	0.646	1.104	1.000
69	1.021	1.021	1.042	1.021	0.979	1.354
70	0.938	1.042	0.771	0.646	1.333	1.042
71	0.958	1.104	0.958	1.042	1.063	1.083
72	0.854	1.083	1.083	1.083	1.229	1.188
73	0.813	1.208	1.063	1.042	1.125	1.167
74	0.813	1.000	0.917	0.646	1.125	1.042
75	0.979	0.979	0.896	0.938	1.021	0.958

ตารางผนวกที่ ก22 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
76	0.938	0.938	0.917	0.646	1.083	0.875
77	0.896	0.979	0.979	0.896	0.688	0.979
78	0.813	0.792	0.917	1.021	1.125	1.042
79	0.833	0.938	0.771	0.917	0.958	0.896
80	0.813	0.958	0.604	0.833	0.813	0.958
81	0.708	0.771	0.688	0.813	0.729	0.750
82	0.771	0.813	0.792	0.729	0.875	1.021
83	0.771	0.938	0.563	0.979	0.917	0.958
84	0.625	0.833	0.688	0.792	0.813	0.729
85	0.875	0.771	0.833	0.813	0.604	0.771
86	0.729	0.688	0.563	0.646	0.708	0.708
87	0.729	0.896	0.917	0.917	0.896	1.000
88	0.958	0.896	0.875	0.896	1.042	0.958
89	0.854	0.792	0.958	1.063	0.958	1.063
90	0.667	0.771	0.875	0.979	0.917	1.000
91	0.854	0.896	1.146	1.063	1.104	1.042
92	0.938	0.896	1.021	0.833	1.083	1.000
93	0.792	1.021	1.104	0.771	0.896	1.083
94	0.729	0.667	0.875	0.875	1.083	0.979
95	1.042	1.000	0.896	0.979	0.979	0.958
96	0.771	0.875	0.979	0.958	0.958	0.979
97	0.813	0.875	0.771	0.854	1.063	0.875
98	1.021	1.063	0.896	0.771	0.979	1.083
99	0.708	0.958	0.896	0.750	0.750	1.042
100	1.021	0.917	1.083	0.771	0.667	0.917

ตารางผนวกที่ ก23 คุณลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน
ในช่วงเนื้อหนึ่งครึ่ง (ช่วงที่ 2)

ผลที่	ผลที่	D_{max}	H_{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F_M	SL_f	D_R	F_R
1	16.10	18.90	2087	0.84	7.37	0.08	3.67	8.65	2.37	6.81	444.0	65.01
2	14.20	15.80	1608	0.97	8.27	0.09	3.92	7.53	1.92	6.94	271.6	39.10
3	14.50	17.50	1687	0.89	8.90	0.12	3.92	8.94	2.26	4.44	341.4	77.60
4	14.10	16.60	1657	0.86	7.67	0.10	3.58	5.42	1.53	4.58	350.7	76.42
5	14.80	18.00	1757	0.82	7.43	0.09	4.00	9.05	2.26	6.81	300.9	44.56
6	14.10	17.70	1643	0.93	7.83	0.14	2.08	1.87	0.90	5.42	216.2	39.31
7	14.10	16.40	1469	0.95	7.47	0.11	3.83	9.23	2.41	4.72	359.8	76.25
8	15.20	18.40	1773	0.91	8.57	0.12	3.42	7.95	2.31	5.56	469.2	84.58
9	15.50	18.60	2044	0.91	7.43	0.10	3.83	9.23	2.41	5.00	379.7	74.81
10	14.60	18.40	1892	0.93	7.47	0.10	3.33	5.50	1.65	4.44	358.4	78.24
11	14.30	17.10	1583	0.87	8.63	0.14	2.33	2.02	0.87	5.14	383.1	73.19
12	15.80	18.90	2072	0.87	9.23	0.10	3.83	6.42	1.68	5.14	284.2	57.26
13	15.10	17.20	1968	0.90	8.07	0.09	3.42	6.27	1.84	4.31	189.3	44.85
14	14.70	16.40	1555	0.92	8.20	0.06	3.75	10.62	2.85	5.42	319.3	57.95
15	15.30	19.20	2105	0.89	7.27	0.09	3.83	8.46	2.19	4.03	338.7	83.67
16	14.80	14.80	1705	0.88	8.43	0.05	4.00	11.08	2.79	4.44	271.8	63.23
17	14.80	14.80	1563	0.90	0.00	0.00	4.00	13.11	3.27	3.75	265.6	74.22
18	15.00	15.00	1669	0.93	8.00	0.10	4.00	12.31	3.13	2.78	157.9	57.15
19	14.40	14.40	1656	0.96	7.10	0.11	3.00	5.02	1.68	3.61	304.9	83.96
20	15.20	15.20	1906	0.94	7.57	0.07	2.83	5.31	1.86	3.89	270.8	69.37

หมายเหตุ D_{max} = เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม), H_{max} = ความสูง (ซม), W = น้ำหนัก (กรัม),

Sg = ความถ่วงจำเพาะ, TSS = ความหวาน (%บริกซ์), Ac = ความเป็นกรด (กรัม),

T = ความหนาเนื้อ (มม) F_M = แรงกดเนื้อ (นิวตัน), SL_f = ความชันของเนื้อ (นิวตัน/

มม.), F_R = แรงกดกะลา (นิวตัน), SM_S = ความชันของกะลา (นิวตัน/มม.),

D_R = ระยะยุบตัวของกะลา (มม)

ตารางผนวกที่ ก23 (ต่อ)

ผลที่	D_{\max}	H_{\max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F_M	SL_f	D_R	F_R	SM_S
21	15.50	15.50	2068	0.94	7.67	0.10	3.00	5.03	1.69	3.61	246.6	69.77
22	15.30	15.30	1824	0.98	7.23	0.07	3.00	4.86	1.61	3.75	220.3	59.31
23	14.90	14.90	2069	0.88	8.07	0.12	3.75	10.37	2.76	3.33	243.2	72.71
24	15.10	15.10	1928	0.89	7.60	0.10	3.69	9.88	2.73	3.75	292.4	76.40
25	14.20	17.50	1398	0.91	7.78	0.04	3.47	12.10	3.40	3.06	276.2	90.75
26	14.60	17.30	1544	0.90	8.04	0.09	3.33	7.03	2.09	3.89	189.7	48.46
27	14.20	17.40	1438	0.91	7.65	0.06	4.03	12.20	3.03	4.72	258.0	54.40
28	14.00	15.60	1260	0.94	7.84	0.08	3.58	11.68	3.23	3.19	147.0	45.66
29	14.90	18.20	1555	0.90	8.37	0.09	3.00	4.94	1.66	4.44	381.2	85.51
30	14.10	16.90	1402	0.93	7.95	0.08	2.33	3.16	1.32	3.75	321.8	85.82
31	15.00	16.50	1576	0.94	8.09	0.07	3.50	10.33	2.83	3.61	283.9	78.43
32	15.00	18.50	1603	0.87	7.84	0.08	3.75	9.10	2.41	3.75	324.4	86.90
33	14.50	17.50	1591	0.91	8.31	0.08	3.67	6.46	1.76	4.72	428.2	89.99
34	15.50	16.40	1577	0.88	7.90	0.05	4.00	15.39	3.84	3.75	303.6	81.38
35	15.20	16.40	1616	0.89	7.81	0.07	4.00	15.48	3.94	3.75	327.3	87.56
36	15.30	16.00	1572	0.95	7.58	0.07	3.17	7.06	2.24	3.89	251.1	63.96
37	14.90	15.60	1549	0.92	7.45	0.05	3.92	13.45	3.38	3.89	332.1	85.43
38	15.50	14.50	1542	0.92	7.06	0.08	3.50	12.74	3.61	3.75	369.3	98.48
39	15.10	16.70	1559	0.88	7.93	0.08	3.75	10.89	2.89	4.17	153.3	36.89
40	15.90	17.60	1737	0.93	7.94	0.08	2.67	5.28	1.80	4.86	394.7	81.93

ตารางผนวกที่ ก23 (ต่อ)

ผลที่	D_{\max}	H_{\max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F_M	SL_f	D_R	F_R	SM_S
41	15.70	17.30	1701	0.87	7.62	0.08	3.08	9.52	2.62	2.92	138.5	47.49
42	14.50	16.10	1485	0.92	8.03	0.09	2.25	5.98	1.82	3.75	349.3	92.16
43	14.90	16.30	1529	0.93	6.45	0.04	3.33	11.94	3.26	3.47	262.6	76.50
44	14.90	17.10	1552	0.92	8.17	0.08	3.67	12.94	3.40	4.31	271.6	65.15
45	15.00	17.00	1549	0.91	7.07	0.05	2.33	4.44	1.96	4.31	208.6	52.31
46	15.50	16.40	1721	0.92	7.61	0.08	3.75	11.95	2.73	4.58	249.5	52.38
47	14.20	16.80	1462	0.93	8.12	0.09	3.08	9.52	2.62	3.19	229.1	72.02
48	16.10	17.40	2110	0.94	6.80	0.16	2.08	2.39	1.14	5.42	350.8	65.49
49	14.80	16.80	1639	0.87	6.87	0.12	2.50	2.38	0.87	4.31	268.0	63.13
50	15.90	18.60	2171	0.93	6.90	0.14	2.67	3.28	1.10	4.44	82.2	19.32
51	14.20	17.00	1823	0.95	6.57	0.10	2.67	2.22	0.82	3.89	332.1	85.43
52	14.40	16.90	1563	0.90	7.83	0.11	3.00	5.07	1.67	3.75	369.3	98.48
53	15.00	17.10	1887	0.97	6.80	0.11	2.58	1.92	0.74	4.17	153.3	36.89
54	15.10	17.60	1786	0.95	7.90	0.10	3.75	11.95	2.73	4.86	394.7	81.93
55	14.40	18.50	1619	0.97	8.20	0.10	3.92	13.03	3.25	2.92	138.5	47.49
56	13.60	17.80	1344	0.91	7.07	0.05	3.08	6.12	1.75	3.75	349.3	92.16
57	15.10	18.70	1683	0.95	6.30	0.06	2.50	2.51	1.02	3.47	262.6	76.50
58	15.10	18.20	1589	0.90	7.03	0.11	2.08	2.35	1.11	4.31	271.6	65.15
59	14.50	16.00	1481	0.92	7.90	0.11	2.33	2.71	1.18	4.31	208.6	52.31
60	15.60	17.40	1818	0.92	6.07	0.10	3.00	5.52	1.93	4.58	249.5	52.38

ตารางผนวกที่ ก23 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
61	14.80	17.90	1564	0.92	8.03	0.11	3.25	9.32	2.89	3.33	243.2	72.71
62	12.80	15.60	1120	0.95	7.87	0.10	3.58	10.00	2.76	3.75	292.4	76.40
63	13.50	15.70	1238	0.94	7.27	0.10	2.58	4.59	1.78	3.06	276.2	90.75
64	13.70	16.60	1350	0.91	6.47	0.09	2.25	4.15	1.62	3.89	189.7	48.46
65	14.60	16.50	1450	0.93	7.30	0.10	3.25	7.40	2.29	4.72	258.0	54.40
66	14.90	17.30	1664	0.93	7.40	0.12	2.42	3.46	1.38	3.75	327.3	87.56
67	14.30	17.10	1391	0.93	8.17	0.11	2.25	4.60	1.85	3.89	251.1	63.96
68	14.10	17.10	1376	0.94	7.63	0.13	3.42	6.95	2.05	3.89	332.1	85.43
69	14.00	16.50	1396	0.95	7.80	0.12	3.17	5.50	1.74	4.42	208.6	47.51
70	13.00	16.30	1197	0.94	7.93	0.13	3.08	5.89	1.85	6.25	346.4	55.93
71	14.00	16.50	1387	0.97	6.77	0.10	2.92	7.16	2.26	4.25	168.8	39.81
72	14.00	17.10	1386	0.94	7.90	0.18	2.42	3.84	1.46	5.14	171.2	33.71
73	14.30	16.60	1544	0.95	6.87	0.10	2.08	3.33	1.45	4.86	198.8	40.96
74	13.40	15.20	1175	0.94	8.10	0.10	2.58	5.13	1.97	5.97	205.9	34.24
75	15.10	17.80	1665	0.91	7.73	0.08	3.67	5.66	1.54	5.28	132.3	25.00
76	14.10	17.30	1489	0.92	8.10	0.09	3.83	12.59	3.29	5.56	91.0	16.63
77	15.70	18.05	1805	0.88	7.60	0.12	4.00	6.88	1.71	5.28	121.3	23.11
78	15.65	16.95	1728	0.90	8.10	0.11	4.00	11.06	2.75	4.72	241.6	49.47
79	16.10	18.65	1988	0.93	6.83	0.09	2.17	1.56	0.72	5.14	274.1	52.59
80	15.50	17.40	1734	0.96	6.00	0.06	3.00	4.20	1.38	4.72	254.6	54.99

ตารางผนวกที่ ก23 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
81	14.90	15.35	1488	0.92	7.17	0.11	2.25	2.46	1.14	4.03	229.4	55.49
82	16.10	17.70	1891	0.93	7.00	0.08	2.83	3.29	1.16	4.31	256.3	57.60
83	14.65	16.85	1387	0.94	6.10	0.07	2.08	1.75	0.85	4.58	366.8	80.36
84	15.10	17.75	1656	1.13	6.93	0.11	2.75	3.02	1.10	5.56	433.0	76.79
85	15.70	18.00	1891	0.95	6.57	0.08	2.17	2.68	1.22	7.08	215.8	30.55
86	16.30	18.20	1906	0.93	6.60	0.09	2.17	2.76	1.21	4.72	113.1	23.81
87	15.10	18.50	1815	0.93	6.90	0.09	2.08	3.75	1.82	4.17	220.5	52.72
88	13.95	17.50	1333	0.92	7.30	0.10	2.08	1.62	0.79	5.97	323.6	53.19
89	15.35	17.05	1755	0.94	6.40	0.09	2.42	2.95	1.17	4.17	302.1	72.50
90	15.35	18.25	1653	0.89	7.23	0.08	2.75	3.50	1.28	4.31	253.5	59.25
91	15.80	18.85	1813	0.89	7.23	0.08	2.67	3.71	1.38	4.72	113.1	23.81
92	14.85	19.10	1638	0.88	7.40	0.08	2.42	2.03	0.83	4.17	220.5	52.72
93	15.55	18.50	1725	0.89	7.60	0.09	2.42	4.00	1.68	5.97	323.6	53.19
94	15.95	19.20	1818	0.88	7.13	0.09	2.83	2.92	1.04	4.17	302.1	72.50
95	15.24	17.10	1601	0.90	7.23	0.07	2.58	2.52	0.96	4.31	253.5	59.25
96	15.65	18.05	1825	0.89	7.20	0.10	2.25	2.48	1.20	4.72	113.1	23.81
97	15.65	17.90	1806	0.91	7.23	0.07	2.50	4.34	1.84	4.17	220.5	52.72
98	15.75	15.90	1718	0.92	7.13	0.07	2.42	3.86	1.65	5.97	323.6	53.19
99	13.95	17.50	1333	0.92	7.30	0.10	2.08	1.62	0.79	4.17	302.1	72.50
100	15.35	17.05	1755	0.94	6.40	0.09	2.42	2.95	1.17	4.31	253.5	59.25

ตารางผนวกที่ ก24 สมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเนื้อหนึ่งครั้ง (ช่วงที่ 2)

ผลที่	ต้นนูน (KHz)			ต้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
1	0.938	1.000	1.000	0.979	0.958	1.167
2	0.875	1.042	1.042	1.083	1.000	1.125
3	1.104	0.917	1.042	0.958	1.208	1.000
4	1.208	1.125	1.375	1.146	1.167	1.125
5	1.042	1.042	1.146	0.979	1.042	1.146
6	1.063	1.042	0.854	0.813	0.875	0.958
7	0.938	0.979	0.917	1.000	0.958	1.104
8	0.979	1.125	0.875	1.104	1.167	0.875
9	1.042	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979
10	0.917	0.854	0.854	0.854	1.063	0.938
11	0.896	1.083	0.979	0.938	0.896	0.896
12	0.938	0.938	0.854	1.021	0.938	1.000
13	0.958	0.938	1.083	0.938	1.000	1.042
14	1.042	1.104	1.125	1.125	1.208	1.167
15	1.250	0.854	0.938	1.063	0.979	1.000
16	1.083	1.083	1.083	0.896	1.021	1.146
17	1.063	0.958	1.042	0.979	0.958	0.896
18	1.063	1.021	0.896	0.792	1.000	1.000
19	0.938	0.938	1.021	1.208	1.021	0.896
20	1.042	1.083	0.917	0.833	1.021	0.979
21	0.917	1.021	0.854	0.792	1.042	0.917
22	0.813	1.021	0.979	0.875	0.938	0.938
23	0.958	1.000	0.813	1.000	0.896	1.083
24	0.833	0.979	0.813	1.000	0.896	0.979
25	0.875	0.875	0.958	0.875	0.854	0.813

ตารางผนวกที่ ก24 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
26	0.896	1.000	0.979	0.833	0.896	0.958
27	0.771	0.833	0.750	0.792	0.771	0.896
28	0.604	0.875	0.729	0.854	0.750	0.708
29	0.729	0.875	0.521	0.563	0.667	0.604
30	0.813	0.792	0.729	0.625	0.896	0.729
31	0.979	0.979	0.688	0.958	0.688	0.875
32	0.854	1.021	0.833	1.021	0.833	1.250
33	0.646	0.875	0.542	0.500	0.708	0.833
34	0.563	0.667	0.542	0.708	0.688	0.729
35	0.583	0.729	0.604	0.563	0.708	0.813
36	0.833	0.896	0.875	0.896	1.042	1.063
37	0.813	1.042	0.938	0.917	1.000	0.646
38	0.563	0.938	0.813	0.604	0.708	0.750
39	0.917	1.000	0.854	0.896	0.854	1.083
40	0.875	0.979	0.958	1.042	1.021	0.938
41	0.667	0.708	0.604	0.771	0.688	0.708
42	0.708	0.604	0.729	0.583	0.708	0.646
43	0.979	0.896	0.792	0.854	1.021	0.792
44	0.875	0.708	0.750	0.917	0.833	0.875
45	0.708	0.938	0.750	0.625	0.646	1.021
46	1.000	0.896	0.896	1.104	1.125	0.958
47	0.958	0.854	0.771	0.708	0.708	0.625
48	1.083	0.958	0.958	0.875	0.958	0.917
49	1.083	1.167	1.000	1.146	1.125	1.042
50	0.750	0.979	1.042	1.083	0.813	0.813

ตารางผนวกที่ ก24 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
51	0.854	0.979	0.917	0.917	1.000	0.792
52	1.021	0.833	1.083	1.146	1.125	0.958
53	0.833	0.958	0.792	0.896	0.938	0.896
54	0.938	1.000	0.750	1.000	0.979	0.938
55	1.021	1.000	1.000	1.042	0.958	1.042
56	1.063	1.229	1.083	1.208	1.229	1.188
57	0.979	1.042	1.063	1.042	1.083	1.021
58	1.042	1.021	0.979	0.979	0.875	0.917
59	1.042	1.021	0.979	1.042	1.083	1.021
60	1.042	0.938	0.875	0.958	0.958	0.979
61	0.833	0.979	1.313	0.854	1.063	0.875
62	1.042	1.042	1.021	0.750	0.750	1.042
63	1.000	0.958	1.063	1.042	0.750	1.104
64	1.167	0.792	0.917	1.083	0.896	0.771
65	1.125	1.063	0.938	1.063	1.292	1.208
66	0.938	1.125	1.167	1.104	1.083	0.938
67	1.000	1.125	0.958	0.813	0.938	1.042
68	1.125	1.063	0.917	0.771	1.021	1.146
69	0.792	1.021	1.104	0.938	0.896	1.083
70	0.771	1.000	0.917	1.063	0.875	1.208
71	1.042	1.000	1.125	0.979	0.979	0.958
72	0.875	1.125	0.979	0.958	0.958	0.979
73	1.188	1.250	1.063	1.188	1.042	0.979
74	0.771	0.938	0.979	0.979	0.979	0.979
75	0.708	1.208	0.917	0.792	0.958	1.083

ตารางผนวกที่ ก24 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
76	0.729	0.896	0.917	0.917	0.896	1.000
77	0.938	1.146	1.021	1.042	0.958	1.000
78	0.938	0.896	1.021	0.833	1.083	1.000
79	0.750	0.938	0.917	0.938	1.250	1.188
80	1.104	1.292	1.125	1.042	1.021	1.021
81	1.021	1.021	1.188	1.042	1.021	0.958
82	0.875	0.938	0.833	0.813	0.604	0.771
83	1.083	0.979	0.979	0.938	1.104	1.146
84	1.021	1.021	1.208	1.188	1.250	1.188
85	1.188	1.125	1.063	0.958	1.021	0.938
86	1.042	1.250	1.000	1.042	1.063	1.063
87	1.146	1.063	0.958	1.083	0.875	1.000
88	0.938	0.979	0.917	0.958	1.125	1.125
89	1.042	1.104	1.250	1.083	1.083	1.063
90	1.104	1.104	0.875	1.146	1.104	1.229
91	1.125	1.042	1.063	0.917	1.146	1.167
92	1.458	1.063	1.271	1.375	1.063	1.125
93	1.146	1.063	1.063	1.042	1.250	1.104
94	0.938	0.979	1.146	1.146	1.000	0.854
95	0.833	0.938	0.771	0.917	0.958	0.896
96	0.958	0.896	1.042	1.021	0.917	1.208
97	0.979	0.979	1.000	0.938	1.021	0.958
98	1.000	1.063	0.979	0.896	0.688	0.979
99	0.938	0.979	0.917	0.958	1.125	1.125
100	1.042	1.104	1.250	1.083	1.083	1.063

ตารางผนวกที่ ก25 คุณลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสรีรวิทยาของผลมะพร้าวอ่อน
ในช่วงเนื้อสอง (ช่วงที่ 2)

ผลที่	D_{\max}	H_{\max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F_M	SL_f	D_R	F_R	SM_S
1	16.10	18.90	2087	0.84	7.37	0.08	3.67	8.65	2.37	6.81	444.0	65.01
2	14.20	15.80	1608	0.97	8.27	0.09	3.92	7.53	1.92	6.94	271.6	39.10
3	14.50	17.50	1687	0.89	8.90	0.12	3.92	8.94	2.26	4.44	341.4	77.60
4	14.10	16.60	1657	0.86	7.67	0.10	3.58	5.42	1.53	4.58	350.7	76.42
5	14.80	18.00	1757	0.82	7.43	0.09	4.00	9.05	2.26	6.81	300.9	44.56
6	14.10	17.70	1643	0.93	7.83	0.14	2.08	1.87	0.90	5.42	216.2	39.31
7	14.10	16.40	1469	0.95	7.47	0.11	3.83	9.23	2.41	4.72	359.8	76.25
8	15.20	18.40	1773	0.91	8.57	0.12	3.42	7.95	2.31	5.56	469.2	84.58
9	15.50	18.60	2044	0.91	7.43	0.10	3.83	9.23	2.41	5.00	379.7	74.81
10	14.60	18.40	1892	0.93	7.47	0.10	3.33	5.50	1.65	4.44	358.4	78.24
11	14.30	17.10	1583	0.87	8.63	0.14	2.33	2.02	0.87	5.14	383.1	73.19
12	15.80	18.90	2072	0.87	9.23	0.10	3.83	6.42	1.68	5.14	284.2	57.26
13	15.10	17.20	1968	0.90	8.07	0.09	3.42	6.27	1.84	4.31	189.3	44.85
14	14.70	16.40	1555	0.92	8.20	0.06	3.75	10.62	2.85	5.42	319.3	57.95
15	15.30	19.20	2105	0.89	7.27	0.09	3.83	8.46	2.19	4.03	338.7	83.67
16	14.80	14.80	1705	0.88	8.43	0.05	4.00	11.08	2.79	4.44	271.8	63.23
17	14.80	14.80	1563	0.90	0.00	0.00	4.00	13.11	3.27	3.75	265.6	74.22
18	15.00	15.00	1669	0.93	8.00	0.10	4.00	12.31	3.13	2.78	157.9	57.15
19	14.40	14.40	1656	0.96	7.10	0.11	3.00	5.02	1.68	3.61	304.9	83.96
20	15.20	15.20	1906	0.94	7.57	0.07	2.83	5.31	1.86	3.89	270.8	69.37

หมายเหตุ D_{\max} = เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม), H_{\max} = ความสูง (ซม), W = น้ำหนัก (กรัม),

Sg = ความถ่วงจำเพาะ, TSS = ความหวาน (%บริกซ์), Ac = ความเป็นกรด (กรัม),

T = ความหนาเนื้อ (มม) F_M = แรงกดเนื้อ (นิวตัน), SL_f = ความชันของเนื้อ (นิวตัน/

มม.), F_R = แรงกดกะลา (นิวตัน), SM_S = ความชันของกะลา (นิวตัน/มม.),

D_R = ระยะยุบตัวของกะลา (มม)

ตารางผนวกที่ ก25 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
21	15.50	15.50	2068	0.94	7.67	0.10	3.00	5.03	1.69	3.61	246.6	69.77
22	15.30	15.30	1824	0.98	7.23	0.07	3.00	4.86	1.61	3.75	220.3	59.31
23	14.90	14.90	2069	0.88	8.07	0.12	3.75	10.37	2.76	3.33	243.2	72.71
24	15.10	15.10	1928	0.89	7.60	0.10	3.69	9.88	2.73	3.75	292.4	76.40
25	14.20	17.50	1398	0.91	7.78	0.04	3.47	12.10	3.40	3.06	276.2	90.75
26	14.60	17.30	1544	0.90	8.04	0.09	3.33	7.03	2.09	3.89	189.7	48.46
27	14.20	17.40	1438	0.91	7.65	0.06	4.03	12.20	3.03	4.72	258.0	54.40
28	14.00	15.60	1260	0.94	7.84	0.08	3.58	11.68	3.23	3.19	147.0	45.66
29	14.90	18.20	1555	0.90	8.37	0.09	3.00	4.94	1.66	4.44	381.2	85.51
30	14.10	16.90	1402	0.93	7.95	0.08	2.33	3.16	1.32	3.75	321.8	85.82
31	15.00	16.50	1576	0.94	8.09	0.07	3.50	10.33	2.83	3.61	283.9	78.43
32	15.00	18.50	1603	0.87	7.84	0.08	3.75	9.10	2.41	3.75	324.4	86.90
33	14.50	17.50	1591	0.91	8.31	0.08	3.67	6.46	1.76	4.72	428.2	89.99
34	15.50	16.40	1577	0.88	7.90	0.05	4.00	15.39	3.84	3.75	303.6	81.38
35	15.20	16.40	1616	0.89	7.81	0.07	4.00	15.48	3.94	3.75	327.3	87.56
36	15.30	16.00	1572	0.95	7.58	0.07	3.17	7.06	2.24	3.89	251.1	63.96
37	14.90	15.60	1549	0.92	7.45	0.05	3.92	13.45	3.38	3.89	332.1	85.43
38	15.50	14.50	1542	0.92	7.06	0.08	3.50	12.74	3.61	3.75	369.3	98.48
39	15.10	16.70	1559	0.88	7.93	0.08	3.75	10.89	2.89	4.17	153.3	36.89
40	15.90	17.60	1737	0.93	7.94	0.08	2.67	5.28	1.80	4.86	394.7	81.93

ตารางผนวกที่ ก25 (ต่อ)

ผลที่	D_{\max}	H_{\max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F_M	SL_f	D_R	F_R	SM_S
41	15.70	17.30	1701	0.87	7.62	0.08	3.08	9.52	2.62	2.92	138.5	47.49
42	14.50	16.10	1485	0.92	8.03	0.09	2.25	5.98	1.82	3.75	349.3	92.16
43	14.90	16.30	1529	0.93	6.45	0.04	3.33	11.94	3.26	3.47	262.6	76.50
44	14.90	17.10	1552	0.92	8.17	0.08	3.67	12.94	3.40	4.31	271.6	65.15
45	15.00	17.00	1549	0.91	7.07	0.05	2.33	4.44	1.96	4.31	208.6	52.31
46	15.50	16.40	1721	0.92	7.61	0.08	3.75	11.95	2.73	4.58	249.5	52.38
47	14.20	16.80	1462	0.93	8.12	0.09	3.08	9.52	2.62	3.19	229.1	72.02
48	16.10	17.40	2110	0.94	6.80	0.16	2.08	2.39	1.14	5.42	350.8	65.49
49	14.80	16.80	1639	0.87	6.87	0.12	2.50	2.38	0.87	4.31	268.0	63.13
50	15.90	18.60	2171	0.93	6.90	0.14	2.67	3.28	1.10	4.44	82.2	19.32
51	14.20	17.00	1823	0.95	6.57	0.10	2.67	2.22	0.82	3.89	332.1	85.43
52	14.40	16.90	1563	0.90	7.83	0.11	3.00	5.07	1.67	3.75	369.3	98.48
53	15.00	17.10	1887	0.97	6.80	0.11	2.58	1.92	0.74	4.17	153.3	36.89
54	15.10	17.60	1786	0.95	7.90	0.10	3.75	11.95	2.73	4.86	394.7	81.93
55	14.40	18.50	1619	0.97	8.20	0.10	3.92	13.03	3.25	2.92	138.5	47.49
56	13.60	17.80	1344	0.91	7.07	0.05	3.08	6.12	1.75	3.75	349.3	92.16
57	15.10	18.70	1683	0.95	6.30	0.06	2.50	2.51	1.02	3.47	262.6	76.50
58	15.10	18.20	1589	0.90	7.03	0.11	2.08	2.35	1.11	4.31	271.6	65.15
59	14.50	16.00	1481	0.92	7.90	0.11	2.33	2.71	1.18	4.31	208.6	52.31
60	15.60	17.40	1818	0.92	6.07	0.10	3.00	5.52	1.93	4.58	249.5	52.38

ตารางผนวกที่ ก25 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
61	14.80	17.90	1564	0.92	8.03	0.11	3.25	9.32	2.89	3.33	243.2	72.71
62	12.80	15.60	1120	0.95	7.87	0.10	3.58	10.00	2.76	3.75	292.4	76.40
63	13.50	15.70	1238	0.94	7.27	0.10	2.58	4.59	1.78	3.06	276.2	90.75
64	13.70	16.60	1350	0.91	6.47	0.09	2.25	4.15	1.62	3.89	189.7	48.46
65	14.60	16.50	1450	0.93	7.30	0.10	3.25	7.40	2.29	4.72	258.0	54.40
66	14.90	17.30	1664	0.93	7.40	0.12	2.42	3.46	1.38	3.75	327.3	87.56
67	14.30	17.10	1391	0.93	8.17	0.11	2.25	4.60	1.85	3.89	251.1	63.96
68	14.10	17.10	1376	0.94	7.63	0.13	3.42	6.95	2.05	3.89	332.1	85.43
69	14.00	16.50	1396	0.95	7.80	0.12	3.17	5.50	1.74	4.42	208.6	47.51
70	13.00	16.30	1197	0.94	7.93	0.13	3.08	5.89	1.85	6.25	346.4	55.93
71	14.00	16.50	1387	0.97	6.77	0.10	2.92	7.16	2.26	4.25	168.8	39.81
72	14.00	17.10	1386	0.94	7.90	0.18	2.42	3.84	1.46	5.14	171.2	33.71
73	14.30	16.60	1544	0.95	6.87	0.10	2.08	3.33	1.45	4.86	198.8	40.96
74	13.40	15.20	1175	0.94	8.10	0.10	2.58	5.13	1.97	5.97	205.9	34.24
75	15.10	17.80	1665	0.91	7.73	0.08	3.67	5.66	1.54	5.28	132.3	25.00
76	14.10	17.30	1489	0.92	8.10	0.09	3.83	12.59	3.29	5.56	91.0	16.63
77	15.70	18.05	1805	0.88	7.60	0.12	4.00	6.88	1.71	5.28	121.3	23.11
78	15.65	16.95	1728	0.90	8.10	0.11	4.00	11.06	2.75	4.72	241.6	49.47
79	16.10	18.65	1988	0.93	6.83	0.09	2.17	1.56	0.72	5.14	274.1	52.59
80	15.50	17.40	1734	0.96	6.00	0.06	3.00	4.20	1.38	4.72	254.6	54.99

ตารางผนวกที่ ก25 (ต่อ)

ผลที่	D _{max}	H _{max}	W	Sg	TSS	Ac	T	F _M	SL _f	D _R	F _R	SM _S
81	14.90	15.35	1488	0.92	7.17	0.11	2.25	2.46	1.14	4.03	229.4	55.49
82	16.10	17.70	1891	0.93	7.00	0.08	2.83	3.29	1.16	4.31	256.3	57.60
83	14.65	16.85	1387	0.94	6.10	0.07	2.08	1.75	0.85	4.58	366.8	80.36
84	15.10	17.75	1656	1.13	6.93	0.11	2.75	3.02	1.10	5.56	433.0	76.79
85	15.70	18.00	1891	0.95	6.57	0.08	2.17	2.68	1.22	7.08	215.8	30.55
86	16.30	18.20	1906	0.93	6.60	0.09	2.17	2.76	1.21	4.72	113.1	23.81
87	15.10	18.50	1815	0.93	6.90	0.09	2.08	3.75	1.82	4.17	220.5	52.72
88	13.95	17.50	1333	0.92	7.30	0.10	2.08	1.62	0.79	5.97	323.6	53.19
89	15.35	17.05	1755	0.94	6.40	0.09	2.42	2.95	1.17	4.17	302.1	72.50
90	15.35	18.25	1653	0.89	7.23	0.08	2.75	3.50	1.28	4.31	253.5	59.25
91	15.80	18.85	1813	0.89	7.23	0.08	2.67	3.71	1.38	4.72	113.1	23.81
92	14.85	19.10	1638	0.88	7.40	0.08	2.42	2.03	0.83	4.17	220.5	52.72
93	15.55	18.50	1725	0.89	7.60	0.09	2.42	4.00	1.68	5.97	323.6	53.19
94	15.95	19.20	1818	0.88	7.13	0.09	2.83	2.92	1.04	4.17	302.1	72.50
95	15.24	17.10	1601	0.90	7.23	0.07	2.58	2.52	0.96	4.31	253.5	59.25
96	15.65	18.05	1825	0.89	7.20	0.10	2.25	2.48	1.20	4.72	113.1	23.81
97	15.65	17.90	1806	0.91	7.23	0.07	2.50	4.34	1.84	4.17	220.5	52.72
98	15.75	15.90	1718	0.92	7.13	0.07	2.42	3.86	1.65	5.97	323.6	53.19
99	13.95	17.50	1333	0.92	7.30	0.10	2.08	1.62	0.79	4.17	302.1	72.50
100	15.35	17.05	1755	0.94	6.40	0.09	2.42	2.95	1.17	4.31	253.5	59.25

ตารางผนวกที่ ก26 สมบัติเสียงของผลมะพร้าวอ่อนในช่วงเนื้อสอง (ช่วงที่ 2)

ผลที่	ต้นนูน (KHz)			ต้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
1	1.125	1.229	1.083	1.000	1.146	1.042
2	1.208	1.313	1.000	1.208	1.188	1.146
3	1.125	1.063	1.146	1.250	1.271	0.958
4	1.021	1.271	1.000	0.917	1.021	0.896
5	1.208	1.188	1.063	1.063	0.938	0.875
6	1.125	1.208	1.000	1.000	1.333	0.875
7	1.063	1.229	1.063	1.396	1.063	1.146
8	1.188	1.229	1.063	1.208	1.188	0.979
9	1.083	1.313	1.042	0.833	0.958	0.875
10	1.083	1.083	1.021	1.000	0.917	1.125
11	1.083	1.019	1.021	0.917	0.729	0.938
12	1.229	1.146	1.042	0.604	0.917	0.833
13	1.271	1.146	1.125	1.000	1.146	1.042
14	1.063	1.250	1.063	0.813	0.708	0.854
15	1.104	1.250	1.021	1.063	0.917	1.083
16	1.208	1.271	1.000	1.063	1.000	1.250
17	1.125	1.104	1.042	1.000	1.063	1.000
18	1.229	1.021	0.958	0.979	1.021	1.146
19	1.250	1.279	0.880	1.125	0.917	1.167
20	1.146	1.267	0.979	1.000	1.000	0.938
21	0.792	1.121	1.104	0.958	1.063	0.896
22	1.333	1.146	1.042	0.771	0.792	0.813
23	1.125	1.104	1.063	0.750	0.917	1.000
24	1.083	1.083	0.958	0.958	0.979	0.917
25	0.958	1.125	1.021	1.063	1.188	1.146

ตารางผนวกที่ ก26 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
26	0.958	1.042	0.979	1.250	1.271	0.958
27	0.958	1.125	0.896	0.917	1.021	0.896
28	1.104	1.021	1.042	1.063	0.938	0.875
29	1.104	1.021	1.021	1.000	1.333	0.875
30	1.104	1.042	1.021	1.396	1.063	1.146
31	1.104	1.083	1.104	1.208	1.188	0.979
32	1.063	1.146	1.104	1.125	1.125	1.063
33	1.354	1.207	1.042	1.063	1.104	1.208
34	1.146	1.208	1.021	1.000	1.104	1.021
35	1.188	0.646	0.667	1.000	1.042	0.938
36	1.042	0.729	0.667	1.125	0.958	1.125
37	0.771	1.208	1.021	0.979	0.979	1.000
38	1.146	0.958	0.667	1.021	1.021	1.021
39	1.042	1.271	1.050	1.271	1.292	1.417
40	0.813	0.771	1.021	0.938	0.917	1.083
41	1.083	1.104	1.000	1.104	1.146	1.000
42	0.958	1.229	0.896	0.938	0.896	0.938
43	1.021	1.000	0.958	1.167	0.917	1.125
44	1.000	1.000	1.000	1.188	1.125	0.938
45	1.021	0.979	1.208	1.021	0.979	1.083
46	0.938	1.083	1.042	1.125	0.854	0.938
47	1.104	1.042	1.021	1.271	1.083	1.208
48	1.167	1.188	1.000	0.917	1.146	0.917
49	0.936	1.104	1.021	0.854	1.083	0.938
50	1.021	1.188	0.958	1.042	0.917	0.958

ตารางผนวกที่ ก26 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
51	1.375	1.188	1.208	1.000	1.146	1.042
52	1.000	1.042	1.083	1.208	1.188	1.146
53	1.125	1.188	1.188	1.250	1.271	0.958
54	1.083	1.104	1.167	0.917	1.021	0.896
55	1.125	1.000	1.233	1.063	0.938	0.875
56	1.229	1.292	1.438	1.000	1.333	0.875
57	1.021	1.271	0.917	1.396	1.063	1.146
58	0.938	1.063	1.042	1.208	1.188	0.979
59	0.958	1.063	0.958	0.833	0.958	0.875
60	0.979	1.063	0.896	1.000	0.917	1.125
61	1.208	1.021	1.125	0.917	0.729	0.938
62	1.021	0.979	1.000	0.604	0.917	0.833
63	0.875	0.833	0.958	1.000	1.146	1.042
64	0.917	1.188	1.479	0.813	0.708	0.854
65	1.083	1.313	1.063	1.063	0.917	1.083
66	1.146	1.146	1.271	1.063	1.000	1.250
67	0.875	0.833	0.979	1.000	1.063	1.000
68	0.792	1.104	1.000	0.979	1.021	1.146
69	1.063	1.188	1.021	1.125	0.917	1.167
70	0.979	1.000	1.208	1.000	1.000	0.938
71	1.229	0.979	1.083	0.958	1.063	0.896
72	1.313	1.104	1.250	0.771	0.792	0.813
73	1.083	1.125	1.063	0.750	0.917	1.000
74	1.000	0.896	1.042	0.958	0.979	0.917
75	1.104	0.979	1.083	1.063	1.188	1.146

ตารางผนวกที่ ก26 (ต่อ)

ผลที่	สั้นนูน (KHz)			สั้นราบ (KHz)		
	จุดที่ทำการเคาะ			จุดที่ทำการเคาะ		
	1	2	3	1	2	3
76	1.146	1.083	0.958	1.250	1.271	0.958
77	1.208	1.021	1.063	0.917	1.021	0.896
78	0.833	1.042	1.000	1.063	0.938	0.875
79	1.146	0.958	0.854	1.000	1.333	0.875
80	0.917	1.021	1.375	1.396	1.063	1.146
81	1.042	0.938	1.000	1.208	1.188	0.979
82	1.271	1.125	1.125	1.125	1.125	1.063
83	1.229	1.104	1.229	1.063	1.104	1.208
84	1.021	0.917	1.042	1.000	1.104	1.021
85	0.938	0.958	0.938	1.000	1.042	0.938
86	1.083	0.979	1.063	1.125	0.958	1.125
87	1.188	1.021	1.042	0.979	0.979	1.000
88	1.083	1.021	1.083	1.021	1.021	1.021
89	0.958	1.271	1.125	1.271	1.292	1.417
90	1.063	0.979	0.833	0.938	0.917	1.083
91	1.083	1.021	1.063	1.104	1.146	1.000
92	0.958	1.000	0.833	0.938	0.896	0.938
93	1.042	0.938	1.042	1.167	0.917	1.125
94	1.042	1.167	0.938	1.188	1.125	0.938
95	1.042	1.042	1.188	1.021	0.979	1.083
96	1.000	1.083	0.979	1.125	0.854	0.938
97	1.146	1.104	1.104	1.271	1.083	1.208
98	1.000	1.000	0.958	0.917	1.146	0.917
99	0.896	0.875	0.833	0.854	1.083	0.938
100	0.979	0.813	0.958	1.042	0.917	0.958

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation matrix)

	f_n	TSS	Ac	Sg	T	F_R	SM_S	F_m	SL_f	A	B
f_n	1										
TSS	0.189	1									
A	-0.249	-0.014	1								
Sg	-0.079	-0.176	0.221	1							
T	0.463	0.502	-0.430	-0.267	1						
F_R	0.402	0.379	-0.471	-0.282	0.880	1					
SM_S	0.361	0.434	-0.473	-0.266	0.921	0.950	1				
F_m	0.378	0.416	-0.381	-0.185	0.740	0.679	0.688	1			
SL_f	0.268	0.380	-0.380	-0.167	0.666	0.578	0.636	0.876	1		
A	0.993	0.204	-0.263	-0.092	0.482	0.417	0.377	0.397	0.284	1	
B	0.943	0.223	-0.275	-0.122	0.491	0.411	0.380	0.412	0.290	0.967	1

หมายเหตุ Sg = ความถ่วงจำเพาะ, TSS = ความหวาน (%บrix), Ac = ความเป็นกรด (กรัม), T = ความหนาเนื้อ (มม) F_m = แรงกดเนื้อ (นิวตัน), SL_f = ความชันของเนื้อ (นิวตัน/มม.), F_R = แรงกดกะลา (นิวตัน), SM_S = ความชันของกะลา (นิวตัน/มม.), A = ดัชนีความถี่ธรรมชาติ, B = สัมประสิทธิ์ความแข็ง

ตารางผนวกที่ ข2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่สั้นพ้องของต่อปัจจัยควบคุมได้แก่ ระยะเวลาเจริญเติบโต

Source	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5	0.343	26.898	0.000
Intercept	1	574.712	45082.58	0.000
Maturity	2	0.740	58.068	0.000
f_n	1	1.058E-02	0.830	0.363
Maturity* f_n	2	0.112	8.762	0.000
Error	594	1.275E-02		
Total	600			
Corrected Total	599			

ตารางผนวกที่ ข3 ความถี่สัมพัทธ์ต่อระยะการเจริญเติบโตวิเคราะห์แบบ DMRT

Maturity	N	Subset		
		1	2	3
Immature	200	0.9284		
Mature	200		0.9615	
Overmature	200			1.0463
Sig		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวกที่ ข4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่สัมพัทธ์ต่อ ระยะการเจริญเติบโต และสันผล

Source	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8	0.573	29.656	0.000
Intercept	1	854.646	44260.79	0.000
Maturity	0	-	-	-
สันผล	6	7.180E-02	8.275	0.001
Maturity*สันผล	0	-	-	-
Error	891	1.931E-02		
Total	900			
Corrected Total	899			

ตารางผนวกที่ ข5 ความถี่สัมพัทธ์ต่อระยะการเจริญเติบโตของสันผลวิเคราะห์แบบ DMRT

Maturity	N	Subset		
		1	2	3
Immature	300	0.8991		
Mature	300		0.9606	
Overmature	300			1.0637
Sig		1.000	1.000	1.000

ตารางผนวกที่ ข6 ความถี่สั้นพ้องต่อสั้นผลวิเคราะห์แบบ DMRT

สั้นผล	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
1	100	0.8700					
3	100	0.8952	0.8952				
2	100		0.9321	0.9321			
4	100			0.9459			
6	100			0.9478			
5	100				0.9882		
9	100					1.0359	
7	100					1.0723	1.0723
8	100						1.0829
Sig		0.200	0.606	0.456	1.000	0.64	0.590

ตารางผนวกที่ ข7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่สั้นพ้องต่อ ระยะการเจริญเติบโต และฟิวราป

Source	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8	0.178	8.020	0.000
Intercept	1	870.840	39177.48	0.000
Maturity	0	-	-	-
ฟิวราป	6	7.510E-02	3.444	0.03
Maturity*ฟิวราป	0	-	-	-
Error	891	2.223E-02		
Total	900			
Corrected Total	899			

ตารางผนวกที่ ข8 ความถี่สัมพัทธ์ต่อระยะการเจริญเติบโตของฝักราบวิเคราะห์แบบ DMRT

Maturity	N	Subset	
		1	2
Immature	300	0.9579	
Mature	300	0.9630	
Overmature	300		1.0301
Sig		0.677	1.000

ตารางผนวกที่ ข9 ความถี่สัมพัทธ์ต่อฝักราบวิเคราะห์แบบ DMRT

ฝักราบ	N	Subset				
		1	2	3	4	5
1	100	0.9114				
4	100	0.9461	0.9461			
5	100		0.9643	0.9643		
2	100		0.9686	0.9686	0.9686	
6	100		0.9785	0.9785	0.9785	
3	100			0.9937	0.9937	
9	100				1.0134	1.0134
8	100					1.0382
7	100					1.0388
Sig		0.100	0.164	0.208	0.051	0.259

ภาคผนวก ก
ผลงานการทำงานวิจัย



Faculty of Engineering,
Kasetsart University



Thai Society of
Agricultural Engineering



American Society of
Agricultural and Biological Engineers

Some Physical Characteristics, Mechanical, Sound and Physiological Properties of a Young Coconut Fruit

by
Weerakul Meeklangsaen¹ Bundit Jarimopas² Anupan Terdwongworakul³ Sakda Chantong⁴

Abstract

The purpose of this research was to determine some mechanical and physiological properties of a young coconut fruit. Mechanical properties were obtained by slow compression test upon fruit components with the universal testing machine. Physiological properties of the related fruit were obtained by conventional physiological measurements on total soluble solid and acidity of coconut juice, and dry matter of coconut flesh as well. Experiment was performed with Nam Hom variety, three maturity stages (i.e. immature, mature and overmature) and forty replications for each maturity.

Results showed that rupture force of the exsocarp decreased while that of the mesocarp increased regarding maturity stage. Flesh dry weight and juice total soluble solid increased while the juice acidity decreased which complies with the fruit nature. Quantitative details were given in the paper.

Keywords : Mechanical property, physiological property, coconut, sound

^{1,2,3&4} Graduate Student, Associate Professor, Assistant Professor and Technician, Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom, THAILAND

Some Physical Characteristics, Mechanical, Sound and Physiological Properties of a Young Coconut Fruit

by

Weerakul Meeklangsaen¹ Bundit Jarimopas² Anupan Terdwongworakul³ Sakda Chantong⁴

Abstract

The purpose of this research was to determine some mechanical and physiological properties of a young coconut fruit. Mechanical properties were obtained by slow compression test upon fruit components with the universal testing machine. Physiological properties of the related fruit were obtained by conventional physiological measurements on total soluble solid and acidity of coconut juice, and dry matter of coconut flesh as well. Experiment was performed with Nam Hom variety, three maturity stages (i.e. immature, mature and overmature) and forty replications for each maturity.

Results showed that rupture force of the exsocarp decreased while that of the mesocarp increased regarding maturity stage. Flesh dry weight and juice total soluble solid increased while the juice acidity decreased which complies with the fruit nature. Quantitative details were given in the paper.

Keywords : Mechanical property, physiological property, coconut, sound

Introduction

Young coconut is one of the most popular fruit varieties in Thailand. The edible parts include the sweet juice at the core of the fruit and the soft flesh attached to the inner surface of the shell. The juice contains glucose, vitamins, hormones and minerals, and is widely considered to be a refreshing drink. The flesh contains carbohydrates, calcium and phosphorus, and is commonly used in Thai desserts (Pechsmai, 2002). Young coconut is the immature fruit of coconut palms, which can be easily grown throughout Thailand. Two cultivars generally grown in Thailand for export are Nam Hom and Mhu Sri. Nam Hom is preferred by exporters (Rattanadat, 2004). The total export volume of young coconuts in 2002 was 23,068 tons, valued at USD6.2m. Young coconut is suitable for export to distant countries because the hard shell and husk provide good protection for the flesh and juice inside (Harach and Jarimopas, 1995).

Maturity development of the young coconut fruit strongly affects the fruit quality. The juice and the flesh of the immature fruit are sour and oversoft (like jelly) while those of the overmature fruit are sweet and hard. Both maturities are not favored by consumers. The mature fruit is characterized by tastily sweet and slightly sour juice and moderately soft flesh which impresses the consumers. There are several changes in physical characteristics, mechanical strength, sound and physiological properties with maturity of the young coconut fruit sensed by competent fruit growers. Such experience is personal and unavailable as modern technology. Recent application of agricultural engineering to trim (Jarimopas and Rattanadat, 2007) and open (Kusol and Jarimopas, 2005) a young coconut fruit was a few steps on a long road to completely develop production technology of the young

^{1,2,3&4} Graduate Student, Associate Professor, Assistant Professor and Technician, Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakornpathom, THAILAND

coconut for export. It is therefore a challenge to further explore and understand a young coconut fruit scientifically and technologically. The purpose of this research was then to determine some mechanical and physiological properties of a young coconut fruit.

Material and Method

1. Determination of sound property

Regarding the fruit growers, the range of young coconut maturity of concern is about 40 days covering immaturity, maturity and overmaturity. The experiment was designed to have 10 groups of sample. The interval between group was 4 days. The first group, starting on the 170th day after fruit setting, consisted of 20 newly-harvested uniform size and degree of maturity of the young coconuts. Each fruit was brought to the sound tester (Fig.1) which featured a knocker, a microphone, a sound card (equipped with amplifier, filter and A/D converter), and a microcomputer. The fruit was placed in such a way that its equator was over the opening. The fruit was knocked by the knocker under the fruit at the opening. Three knockings were for a point on the fruit surface and four points along the equatorial line (90 degrees apart) were done for a fruit. The digital signal corresponding to each knocking sound was recorded and analyzed by the computer. Nineteen samples were repeated.

2. Determination of physical characteristics

Each fruit of the above measurement was measured in maximum diameter and height by vernier caliper, and weighed by the electronic balance (SARTORIUS). The fruit sample was brought to specific gravity measurement explained by Mohsenin (1996). The other nineteen samples were repeated.

3. Determination of physiological properties

The same sample of the previous determination was cut open by a clean sharp knife. The fruit juice was taken at random and measured for total soluble solid by the hand digital refractometer (OSKON, MTD-045nD). Three replication were made for each fruit. The related flesh was tenderly scratched out of shell and weighed by the electronic balance (excluding the shell inner skin). Later on, the flesh was brought to determine dry weight by means of the ASAE standard (1994). The above experiment was repeated with the other nineteen fruit.

4. Determination of mechanical property

The same sample of the previous determination was cut half along the axis perpendicular to fruit axis. The crest of the fruit half opposite to the stem was trimmed to shell surface. The fruit half was mounted to the Universal Testing Machine (INSTRON 5569) for slow compression (Fig.2) using 4 mm plunger at the loading rate of 25 mm/min (ASAE Standard, 1998). The force-deformation graph including rupture force was obtained. Nineteen samples were repeated.

The aforementioned determinations were repeated with the other nine groups of young coconut of the following days after fruit setting (174, 178, 182, 186, 190, 194, 198, 202, 206).

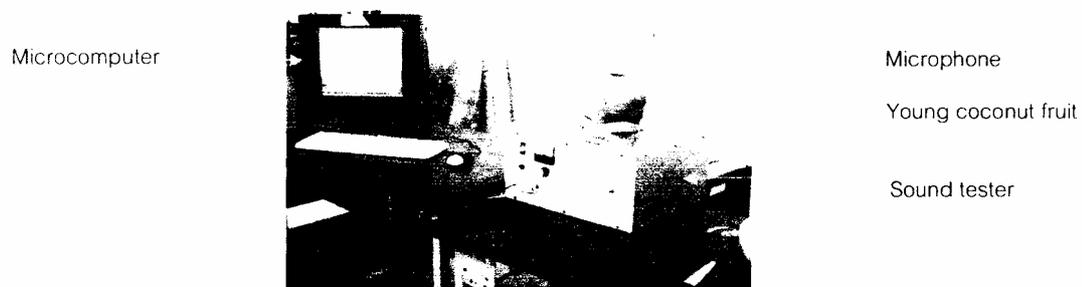


Fig 1 Sound measurement of a young coconut fruit

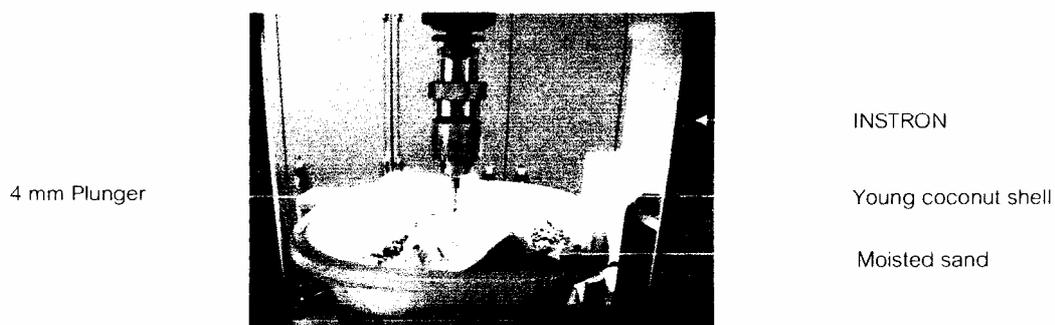


Fig 2 Plunger compression upon a young coconut shell with the Universal Testing Machine (INSTRON 5569)

Results and Discussion

1. Sound property

Previous researchers (Terdwongworakul et al., 1998; Chen, 1996.; Abbott et al., 1968) found significant parameter of sound property relating to fruit quality was resonance frequency. Fig 3 showed the distribution of the average resonance frequency f , corresponding to the peak sound pulse, with respect to days after fruit setting t . The f - t curve showed the trend of f increasing with t , probably looking like sigmoidal curve. Good linear regression was alternatively obtained and the resulting regression equation was $f = 45.786t + 442.57$ ($R^2 = 0.9$).

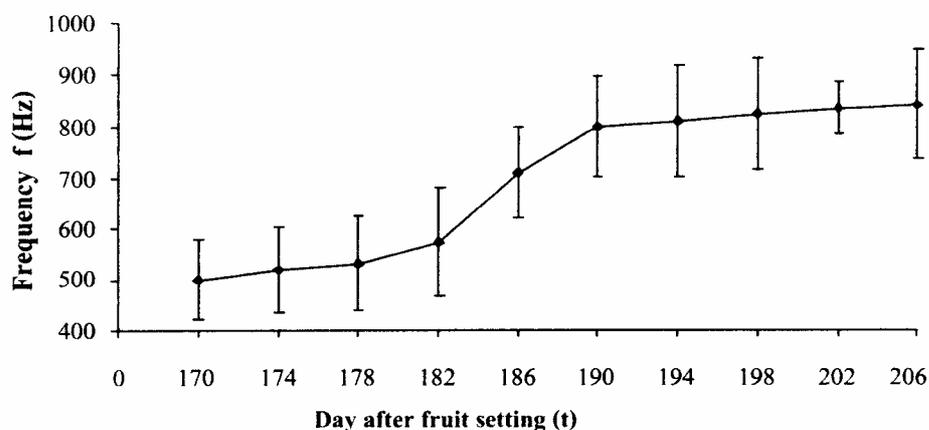


Fig 3 Resonance frequency response of a young coconut fruit with respect to days after fruit setting

2. Physical characteristics

Two hundred young coconut fruits of 10 varying maturity groups were physically characterized by average fruit weight of $1,888 \geq 103$ gm, average maximum diameter of $15.90 \geq 0.49$ mm and average height of $17.65 \geq 0.40$ mm. Fig 4 showed the distribution of specific gravity S with respect to days after fruit setting t. The S-t graph exhibited the trend of S decreasing with t. Linear regression was conducted which confirmed the trend. The equation was $S = -0.00078t + 0.9453$ ($R^2 = 0.84$).

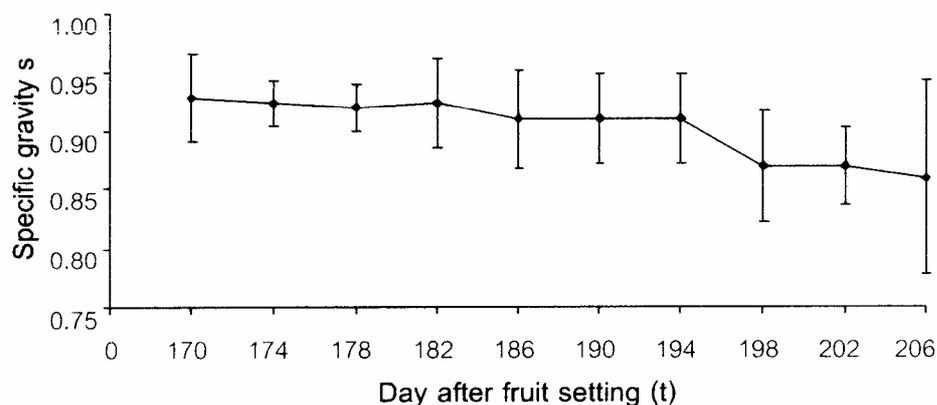


Fig 4 Relationship between specific gravity and day after fruit setting

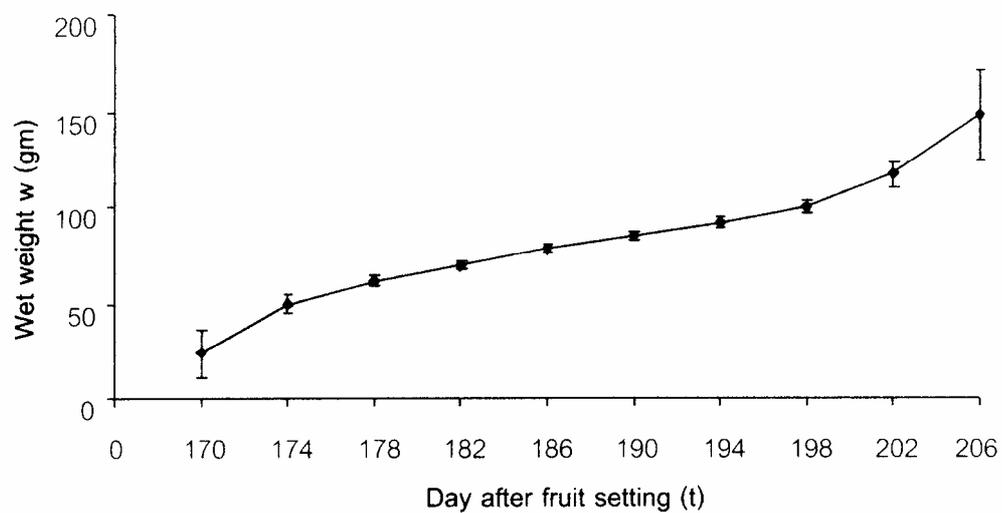


Fig 5 Wet flesh of young coconut fruit as related to days after fruit setting

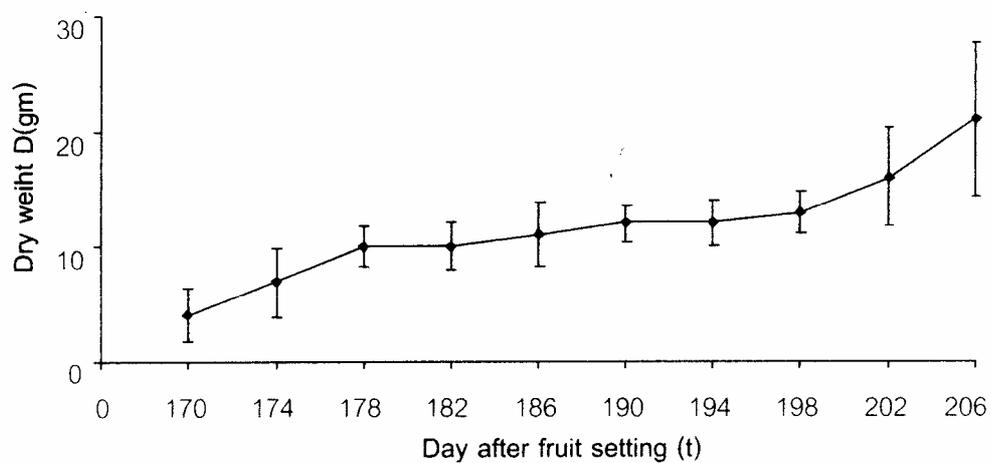


Fig 6 Dry weight of young coconut flesh as related to day after fruit setting

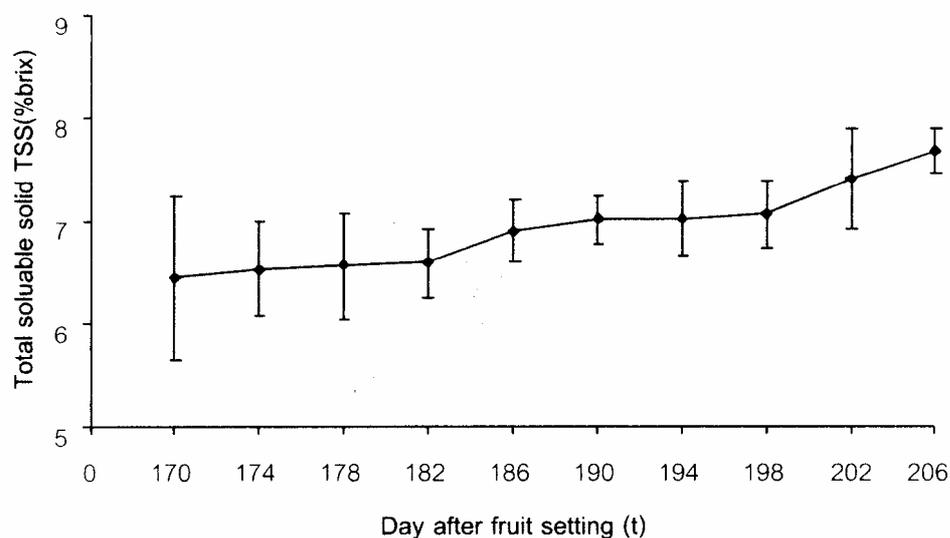


Fig 7 Total soluble solid of young coconut juice as related to day after fruit setting

3. Physiological properties

Fig 5 showed average wet weight of young coconut flesh w with respect to days after fruit setting t . The w - t graph looked like the sigmoidal curve with the linear increase of w in the middle of the graph. Alternatively, very good correlation could be obtained between w and t . The related regression equation was $w = 11.257t + 20.729$ ($R^2 = 0.95$). The result seemed to comply with the fruit nature that flesh slightly changed from the state of jelly to that of solid flesh of bigger size. The flesh should gain more mass and weigh more while the fruit develop its maturity. Fig 6 showed the corresponding average dry weight D of fruit flesh. The D - t graph exhibited the trend as similarly as the w - t did, i.e. D increased with t . This is true because uniform removal of moisture never disturbed the solid component of the flesh. The associated linear regression was $D = 0.0145t + 0.0363$ ($R^2 = 0.89$). Variation of the results for each day after fruit setting of the w - t graph was less than that of the D - t graph. Fig 7 showed the distribution of the average total soluble solid TSS with respect to days after fruit setting t . The TSS- t graph demonstrated the sigmoidal trend that TSS increased with t . Alternatively, the TSS could well correlate with t , giving the regression equation $TSS = 0.1272t + 6.2186$ ($R^2 = 0.92$). Both analyses rather satisfied with the young coconut nature that fruit juice became sweeter as the fruit developed maturity.

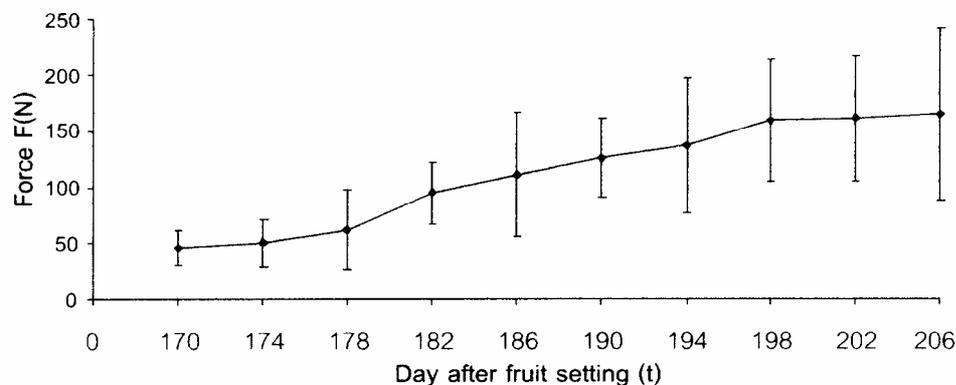


Fig 8 Average rupture force of young coconut shell with respect to days after fruit setting

4. Mechanical property

The mechanical property of concern was rupture force F of the shell of young coconut fruit. Fig 8 presented the F - t graph based on the statistical values (mean \geq standard deviation) of F at the day after fruit setting. Again, the trend of F - t curve looked sigmoidal. Alternative analysis was obtained by linear regression fitting between F and t , resulting good correlation ($R^2 \times 0.97$). The equation was $F = 15.061t + 28.258$ N. This implies rupture force of the coconut shell linearly rose with maturity time which complies with the coconut fact that the fruit shell became harder when it was getting more matured.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the Postgraduate Education and Research Development Project in Postharvest Technology, Chiangmai University, National Metal and Materials Technology Center (MTEC), and Kasetsart University Research and Development Institute, Thailand for financial support, and Professor Pictiara Chen, Professor Emeritus, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of California, Davis, USA for his valuable advice.

Reference

1. Abbott, J.A., G.S. Bachman, N.F. Childers, J.V. Fitzgerald, And F.J. Matuski, 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technology* 22 (5) : 101-112
2. ASAE Standards. 1998. Compression test of food materials of convex shape. ASAE S368.3 Mar 95. p 554 – 559.
3. ASAE Standards. 1994. Moisture measurement-forages. ASAE S 358.2 DEC 93. American society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road, Michigan, USA. P471.
4. Chen, P. 1996. Quality evaluation technology for agricultural products. Invited paper for presentation at the Int. Conf. on Agricultural Machinery Engineering, November 12-15. Seoul, Korea. 11 p.

5. Harach, C. & Jarimopas, B. 1995. Young coconut peeling machine. *Kasetsart University Journal (Nat. Sci.)* 29:393-403 (in Thai)
6. Jarimopas, B. and Rattanadat, N. 2007. Development of a young coconut fruit trimming machine. *Journal of Food Engineering*, 79(2007) 752-757.
7. Kusol, P and Jarimopas, B. 2006. Development of a young coconut fruit opening machine. In Proceeding of the National Seminar on Postharvest Technology/Post Production no. 4, organized by Postharvest Technology Institute, Chiangmai University, 8-9 June, Chiangmai. Thailand.
8. Mohsenin, N.N.1996. *Physical Properties of Plant and Animal Material*. Gordon and Breach Publishers Inc. Thailand 841 p.
9. Pechsinai, A. 2002. *Design and development of a young coconut peeling machine*, M.Eng. Thesis. Dept. Agricultural Engineering, Graduate School, Kasetsart University, Kamphaengsaen, 97 p. (in Thai)
10. Rattanadat, N. 2004. *Development of Young Coconut Fruit Peeling Machine*. M.Eng. Thesis. Dept. Agricultural Engineering, Graduate School, Kasetsart University, Kamphaengsaen, 104 p. (in Thai)
11. Terdwongworakul, A., Sricholpech, W., Phoeniyom, K. and Sukjaroen, A. 1998. Variation of natural frequency index of Montong durian fruit during maturity development on the tree. *Journal of National Research Council* 30(1/2) : 26-36.

การทดสอบเครื่องคัดขนาดผลลำไยสด

Testing of Fresh Longan Sizing Machine

วีรกุล มีกลางแสน¹⁾ ณัฐกรณ์ ชื่นช่า¹⁾ ศิวลักษณ์ ปฏิวรัตน์²⁾ บัณฑิต จริโมภาส³⁾
Weeragool Meegrangsan¹⁾ Natthakorn Chuenkhum¹⁾ Sivaluk Pataweerat²⁾ Bundit Jarimopas³⁾

ASBTRACT

Longan is one of the national economic crops called "Champion Product". Seventy percent of the produce was exported. In the year 2004, Thailand could earn approximately 3,800 million baht from exporting longan. Dry longan production requires lots of labor, so several sizing machines were developed. However, information of the performance evaluation of the longan sizing machines is still unavailable. This research aims to test and evaluate the performance of two commercial longan sizing machines; mesh and bar type. The mesh type consisted of four cylindrical sizing meshes of 100 cm long, vertically stacking one over the other; a 1:60 gear reducer; a 1/2 hp 220 V electric motor. The bar type consisted of steel bar bent as spiral the diameter and length of which was 100 cm and 150 cm respectively; a 1:20 gear reducer; a 1/2 hp 220 V electric motor. Testing consisted of three control factors, ie. a) type of the sizing machine (2 types); b) machine speed (5,10,15 rpm); c) longan fruit size (3 sizes). Performance was evaluated in term of sizing efficiency (E_w), mean contamination ratio (\bar{C}_r) and throughput capacity (Q). At the operating speed of 10 rpm, the performance of the mesh type was higher than the bar type. The performance of the mesh type and the bar type were $E_w = 87.2\%$, $\bar{C}_r = 31\%$ and $Q = 286.7$ kg/h; and $E_w = 59.3\%$, $\bar{C}_r = 54\%$ and $Q = 280.5$ kg/h respectively.

Key words : Longan, Sizing

บทคัดย่อ

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจประเภท Champion product ร้อยละ 70 ของผลผลิตเพื่อการส่งออกซึ่งทำรายได้เข้าประเทศ ในปี 2547 คิดเป็นมูลค่าประมาณ 3,800 ล้านบาท ในการผลิต ลำไยอบแห้งเพื่อการส่งออก ต้องมีการคัดขนาดผลลำไยซึ่งมีขนาดเล็กและปริมาณมาก กิจกรรมนี้ต้องใช้แรงงานคนมาก ทำให้มีการพัฒนาเครื่องคัดขนาดผลลำไยขึ้นใช้หลายยี่ห้อ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาการทดสอบประเมินผลเครื่องคัดขนาดผลลำไยผลิตในประเทศ งานวิจัยนี้จึงมุ่งจะทดสอบ ประเมินผลเครื่องคัดขนาดผลลำไยสดทำในประเทศเชิงพาณิชย์ 2 แบบ คือ แบบตะแกรง และแบบแผ่นคัดขนาด แบบแรกประกอบด้วย ตะแกรงคัดขนาดยาว 100 เซนติเมตร รูปทรงกระบอกวางซ้อนกัน 4 ชั้น มีเกียร์ทด อัตรา 1:60 ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า 220 V แบบที่สองประกอบด้วย แผ่นคัดขนาดทำจากเหล็ก

เส้นขึ้นรูปเป็นเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร เกียร์ทด 1:20 ใช้มอเตอร์ 1/2 แรงม้า 220 V เป็นต้นกำลัง การทดสอบประกอบด้วยปัจจัยควบคุม 3 ตัว คือ ก) แบบของเครื่อง (2 แบบ) ข) ความเร็วรอบของเครื่อง (3 ระดับ ได้แก่ 5,10,15 รอบ/นาที) ค) ขนาดของผลลำไยสด (3 ระดับคือ AA, A และ B) ตัวแปรในการประเมินผลการทำงานของเครื่อง ได้แก่ ประสิทธิภาพการคัดขนาด E_w อัตราการเจือปนเฉลี่ย \bar{C}_r และสมรรถนะการคัดขนาด Q ที่ความเร็ว 10 รอบ/นาที เครื่องแบบตะแกรงคัดขนาดมีผลการทำงาน $E_w = 87.2\%$, $\bar{C}_r = 31\%$ และ $Q = 286.7$ กก./ชม. ดีกว่าเครื่องแบบแผ่นคัดขนาด คือ $E_w = 59.3\%$, $\bar{C}_r = 54\%$ และ $Q = 280.5$ กก./ชม.

คำสำคัญ : ลำไย, คัดขนาด

- 1) นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140
Graduate student, Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140
- 2) อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140
Lecturer, Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140
- 3) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140
Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140

บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจสำคัญของประเทศ เป็นหนึ่งใน Champion Product ของกรมวิชาการเกษตร รัฐบาลจึงจัดให้อยู่ในกลุ่มสินค้าเพื่อการส่งออก มูลค่าการส่งออกสูงปีละหลายพันล้านบาท ทั้งในรูปแบบลำไยสด อบแห้ง แช่แข็ง และลำไยกระป๋อง ในปี 2544 พื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศเป็น 633,280 ไร่ เป็นพื้นที่ที่ให้ผลแล้ว 357,887 ไร่ ได้ผลผลิต 186,803 ตัน พันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุดคือ พันธุ์ดอ รองลงมาคือ สีชมพู และเขียวเขียว ผลผลิตลำไยสดใช้บริโภคภายในประเทศเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ ส่งออกในรูปแบบผลสดและผลิตภัณฑ์ 70 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ปี 2547 การส่งออกลำไยสด และแช่แข็ง มีปริมาณ 116,188 ตัน มูลค่าการส่งออก 2,193.23 ล้านบาท ลำไยอบแห้งมีปริมาณ 71,563 ตัน มูลค่าการส่งออก 1,540.99 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

การพัฒนาเครื่องคัดขนาดผลไม้ไทยได้มีมาอย่างต่อเนื่องอาทิเช่น เสกสรร และคณะ (2547) ได้ทดสอบเครื่องคัดขนาดผลหมากที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ 2 แบบคือ ก) แบบลูกกลิ้งบานออก ลูกกลิ้งเป็นท่อโลหะวางให้ปลายบานออกหมุนออกจากกันทำให้ผลหมากหมุนและเคลื่อนที่เป็นแถวเรียงเดียว สามารถคัดขนาดผลหมากได้ 81.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการเจือปนเฉลี่ย 60.4 เปอร์เซ็นต์ ข) แบบสายพานบานออกสายพานถูกวางให้ปลายบานออกและเคลื่อนที่พาผลหมากเป็นแถวเรียงเดียว สามารถคัดขนาดผลหมากได้ 72.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการเจือปนเฉลี่ย 34.0 เปอร์เซ็นต์

ระบบสายพานบานออกยังได้ถูกนำมาใช้คัดขนาดส้มโอ พันธุ์ทองดี และขาวน้ำผึ้ง (บัณฑิต และคณะ, 2533) เครื่องคัดขนาดส้มโอมีสมรรถนะ 2 ตัน/ชม. และคัดผิดพลาด 9% บัณฑิต และคณะ (2531) ได้ทดสอบเครื่องคัดขนาดส้มแบบตะแกรงทรงกระบอกเจาะรู สัมถูกพาเคลื่อนที่ด้วยแรงเหวี่ยงของทรงกระบอกและแรงโน้มถ่วงของผลส้ม สามารถคัดส้มเขียวหวานได้ 6 ขนาดความสามารถในการคัด 1.5 ตันต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการคัดขนาด 87.5 เปอร์เซ็นต์

เกษตรกรชาวสวนภาคตะวันออกได้นำเครื่องคัดขนาดแบบจานหมุน และแบบแผ่นกั้นมาใช้คัดขนาดมังคุด จักราวุช และคณะ (2542) ได้ทดสอบเครื่องคัดขนาดมังคุดที่จังหวัดบุรีรัมย์ มีหลักการทำงานดังนี้ ผลมังคุดจะถูกพาเคลื่อนที่ไประหว่างจานหมุน และแผ่นกั้นที่ตั้งช่องคัดจากแถบ ไปหากว้าง มังคุดผลเล็กจะถูกคัดออกก่อน การเคลื่อนของผลมังคุดเป็นแถวเรียงเดียว เครื่องสามารถคัดขนาดมังคุดที่ช่วง 20 กรัม ได้ 609.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผิดพลาดเฉลี่ย 28 เปอร์เซ็นต์ Jarimopas *et al.* (2005) ได้ปรับปรุงเครื่องคัดขนาดผลมังคุดแบบจานหมุน ใน

2 ประเด็นคือ ความเร็วจานหมุน และช่องคัดขนาด ปรากฏว่าสามารถคัดขนาดมังคุด 3 ขนาดที่ความเร็วจานหมุน 21 รอบต่อนาทีได้ 1,026 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความผิดพลาดเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์

เพื่อให้การส่งออกลำไยได้มาตรฐาน และเป็นที่ยอมรับทั้งในและต่างประเทศมากยิ่งขึ้น จึงได้มีการพัฒนาเครื่องคัดขนาดผลลำไยขึ้นมาใช้ในการผลิตอย่างแพร่หลายอย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการวิจัยเครื่องคัดขนาดผลลำไยที่ใช้กันอยู่ งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะทดสอบ และประเมินผลเครื่องคัดขนาดผลลำไยสดเชิงการค้าสองแบบคือ แบบของบริษัทธิลิจิตชีวิตวันจำกัด (เครื่องของโรงอบลำไยคุณคำตัน ฟองคอง จังหวัดลำพูน) และแบบของคุณวันปิติ รังนิ (จังหวัดแพร่)

อุปกรณ์และวิธีการ

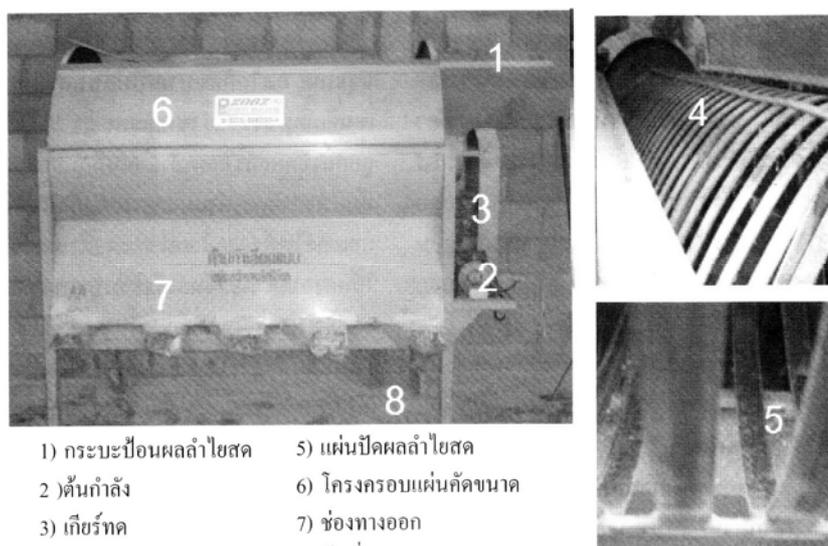
1. เครื่องคัดขนาดผลลำไยสดของบริษัทลิจิตชีวิตวันจำกัด

โครงสร้าง และส่วนประกอบ: เป็นเครื่องที่ผลิตในประเทศ กลไกคัดขนาดเป็นแบบตะแกรง ขนาดกว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร (ภาพที่ 1) ลูกกลิ้งปัดผลลำไยสดทำจากเหล็กที่ออกมา ยาว 100 เซนติเมตร หุ้มด้วยยางติดอยู่ด้านบนตะแกรงคัดขนาดทุกชั้น ด้านกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลต์ ขนาด 1/2 แรงม้า เกียร์ทดอัตรา 1: 60 ใช้ทรอมมอเตอร์ด้านล่างให้หมุน 10 รอบต่อนาที ตะแกรงคัดขนาดทำจากแผ่นตะแกรงขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกจำนวน 4 ชั้นซ้อนกันอยู่แต่ละชั้นห่างกัน 10 เซนติเมตร ชั้นที่ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ขนาดรูตะแกรง 26.10 มม. ชั้นที่ 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ขนาดรูตะแกรง 25.70 มม. ชั้นที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ขนาดรูตะแกรง 21.19 มม. ชั้นที่ 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร ขนาดรูตะแกรง 19.70 มม. ชุดตะแกรงคัดขนาดยาว 100 เซนติเมตร โครงครอบตะแกรงคัดขนาดทำจากเหล็กแผ่นขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกมีขนาด กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 170 เซนติเมตร ด้านบนมีช่องขนาด กว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร ด้านล่างมีช่องเป็นทางออกของสิ่งเจือปน กระบะป้อนผลลำไยสดทำจากเหล็กแผ่นขึ้นรูปเป็นสี่เหลี่ยมปากแตร ด้านล่างมีช่องเปิด ในช่องเปิดจะมีเกลียวถ่วงผลลำไยสดป้อนไปยังตะแกรงคัดขนาด ช่องทางออกทำจากเหล็กแผ่น แต่ละช่องมีขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร มี 4 ช่องทางออก คือ AA, A, B และ C ล้อเลื่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้วติดตั้งได้ขาตั้งเครื่องคัดขนาดผลลำไยสดเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย



- | | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1) ลูกกลิ้งปิดผลลำไยสด | 4) ตะแกรงคัดขนาด | 7) ช่องออกของผลลำไย |
| 2) มอเตอร์ไฟฟ้า | 5) โครงครอบตะแกรงคัดขนาด | 8) ล้อเลื่อน |
| 3) เกียร์ทด | 6) กระจับป้อน | |

ภาพที่ 1 เครื่องคัดขนาดผลลำไยสด แบบตะแกรง บริษัทลิจิตซีวัน จำกัด รุ่นอึ้งรวาย
(ด้วยความอนุเคราะห์ของ คุณคำตัน ฟองดวง จังหวัดลำพูน)



- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1) กระจับป้อนผลลำไยสด | 5) แผ่นปิดผลลำไยสด |
| 2) ดันกำลัง | 6) โครงครอบแผ่นคัดขนาด |
| 3) เกียร์ทด | 7) ช่องทางออก |
| 4) แผ่นคัดขนาด | 8) ล้อเลื่อน |

ภาพที่ 2 เครื่องคัดขนาดผลลำไยสด ของคุณวันปิติ รังษี จังหวัดแพร่ แบบแผ่นคัด

การทำงาน: เครื่องสามารถคัดขนาดผลลำไยสดได้ 4 ขนาด คือ AA, A, B และ C (เรียกตามตลาด) โดยที่ขนาด AA เป็นผลขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) มากกว่า 28 มิลลิเมตร ขนาด A มีช่วงขนาด $28 > D_{max} \geq 27$ มิลลิเมตร ขนาด B มีช่วงขนาด $27 > D_{max} \geq 26$ มิลลิเมตร ขนาด C มีช่วงขนาด $26 > D_{max} \geq 25$ มิลลิเมตร เมื่อผลลำไยสดถูกเทลงในกระจับป้อนเกลียวลำเลียงจะทำหน้าที่ลำเลียงผลลำไยสดไปยังตะแกรงคัดขนาดซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาที มีทิศทาง การหมุนตามเข็มนาฬิกา ในขณะที่ตะแกรงคัดขนาดหมุน

ผลลำไยสดก็จะถูกเคลื่อนที่ไปโดยแรงเหวี่ยงของตะแกรงคัดขนาดทรงกระบอกและแรงโน้มถ่วงของผลลำไยสดเนื่องด้วยความลาดเอียงของตะแกรงคัดขนาด และสอบเทียบกับรูของตะแกรงคัดขนาดผลที่มีขนาดเล็กจะตกลงไปยังตะแกรงชั้นที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับแล้วออกทางช่องทางออกของแต่ละเกรด

2. เครื่องคัดขนาดผลลำไยสด แบบของคุณวันปิติ รังษี

โครงสร้าง และส่วนประกอบ: เป็นแบบแผ่นคัดขนาด

ผลิตในประเทศมีขนาด กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 170 เซนติเมตร สูง 180 เซนติเมตร (ภาพที่ 2) กระบะป้อนผลลำไยสดทำจากเหล็กแผ่นขึ้นรูปเป็นสี่เหลี่ยมปากแฉกร ด้านล่างมีช่องเปิดเป็นทางออกไปสู่แผ่นคัดขนาด มีเหล็กแผ่นขึ้นรูปเป็นวงกลมมีความลาดเอียง คล้ายรูปคอกกับเพลากลางปิดทางออกเพื่อเป็นตัวบังคับให้ผลลำไยสดลงในช่องสอบเทียบของแผ่นคัดขนาดในช่องแรก ด้านกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลต์ ขนาด 1/2 แรงม้า เกียร์ทดอัตรา 1 : 20 ใช้ทรอบมอเตอร์ด้านกำลังให้หมุนได้ 10 รอบต่อนาที แผ่นคัดขนาดทำจากเหล็กเส้น กว้าง 1 นิ้ว ขึ้นรูปเป็นเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร มีช่องสอบเทียบ 35 ช่อง ความกว้างของช่องสอบเทียบแบ่งออกเป็นช่วง ช่วงที่ 1 ขนาด 22 เซนติเมตร ช่วงที่ 2 ขนาด 24 เซนติเมตร ช่วงที่ 3 ขนาด 25 เซนติเมตร ช่วงที่ 4 ขนาด 27 เซนติเมตร แผ่นปิดผลลำไยสดทำจากเหล็กแผ่น ยาว 170 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร ด้านปลายหุ้มด้วยแผ่นยาง เพื่อปิดผลลำไยสดที่ติดในช่องสอบเทียบ โครงครอบแผ่นคัดขนาดทำจากเหล็กแผ่นขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกมีขนาดกว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 170 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร ด้านบนมีช่องเพื่อการบำรุงรักษาแผ่นคัดขนาด ด้านล่างจะเป็นช่องทางออกของผลลำไยสดที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว ช่องทางออกทำจากเหล็กแผ่นมี 5 ช่องคือ AA 2 ช่อง, A, B และ C ปลายทางออกจะมีถุงพลาสติกครอบไว้เพื่อเพิ่มความยาวของช่องทางออกและลดความเร็วไหลออกของผลลำไยสดที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว ล้อเลื่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้วติดตั้งได้ขาตั้งเครื่องคัดขนาดผลลำไยเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย

เครื่องคัดขนาดผลลำไยสดแบบแผ่นคัดขนาด สามารถคัดขนาดผลลำไยสดได้ 4 ขนาดคือ AA, A, B และ C (เรียกตามตลาด) โดยที่ขนาด AA เป็นผลขนาดใหญ่ $D_{max} > 28$ มิลลิเมตร ขนาด A $28 > D_{max} \geq 26$ มิลลิเมตร ขนาด B $27 > D_{max} \geq 26$ มิลลิเมตร ขนาด C $26 > D_{max} \geq 25$ มิลลิเมตร เมื่อผลลำไยสดถูกเทลงในกระบะป้อน โดยมีตัวบังคับให้ผลลำไยสดมีการจัดเรียงตัวเพื่อให้ตกลงในแผ่นคัดขนาดในช่องสอบเทียบช่องแรก แผ่นคัดขนาดจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาผลลำไยสดก็จะเคลื่อนที่ไป

ตารางที่ 1 ขนาดของผลลำไยสดที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาด (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	เกรด
>28	3000	AA
27 - 28	3000	A
26 - 27	3000	B

(สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, มกอช 1 - 2546)

ตามช่องสอบเทียบขนาด โดยเรียงลำดับจากเล็กไปใหญ่ ผลเล็กจะตกลงก่อนผลใหญ่ตามลำดับ และไหลไปตกลงในช่องทางออกแต่ละเกรด

3. ผลลำไยสดที่ใช้ในการทดสอบ มีทั้งหมด 4 ชุด รวมน้ำหนัก 36 กิโลกรัม แต่ละชุดแบ่งตามเส้นผ่านศูนย์กลางคังแสดงในตารางที่ 1

4. ตัวแปรในการประเมินผลเครื่องคัดขนาดผลลำไยสด

- 1) สมรรถนะของเครื่องคัดขนาด Q (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
- 2) ประสิทธิภาพการคัดขนาด E_w (%)
- 3) อัตราการเจือปนเฉลี่ย \bar{C}_r (%)

5. วิธีการ

5.1. สุ่มเลือกผลลำไยสดจำนวน 3 กิโลกรัมต่อขนาดและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) ที่สัมพันธ์กับขนาดตามมาตรฐาน

5.2. พันสีสเปรย์ลงบนผิวของผลลำไยสด โดยให้สีฟ้าคือเกรด A และสีขาวคือเกรด B ส่วนเกรด AA ไม่พ่นสีสเปรย์เขียนรหัสเป็นตัวเลขลงบนผลลำไยสด

5.3. นำผลลำไยสดที่จะทดสอบมาละกันทั้ง 3 ขนาด และเดินเครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาดที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที

5.4. เทผลลำไยสดลงในกระบะป้อนเข้าเครื่องคัด จับเวลาเมื่อเริ่มป้อนผลลำไยสดลงสู่กระบะป้อนตั้งแต่ผลแรกจนผลสุดท้าย และจับเวลาของแต่ละเกรดเมื่อผลลำไยสดผลแรกลอดผ่านช่องสอบเทียบตกลงสู่ช่องทางออกของเกรดต่างๆ หยุดจับเวลาเมื่อผลสุดท้ายตกลงมา

5.5. สุ่มมา 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักที่ตกลงในช่องนั้นๆ แล้วคัดแยกผลลำไยที่ตกลงในแต่ละเกรด แยกบันทึกผลลำไยสด ตกถูกเกรด ตกผิดเกรด โดยการชั่งน้ำหนักของผลลำไยสดในแต่ละเกรด

5.6. ตรวจสอบความเสียหาย ผลที่ค้างอยู่ในเครื่องคัดขนาดผลลำไยสด ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5.3 - 5.6 อีก 4 ซ้ำ

5.7. เปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องคัดขนาดเป็น 5 รอบต่อนาที และทำซ้ำขั้นตอน 5.1 - 5.6 เปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 15 รอบต่อนาที และทำซ้ำขั้นตอน 5.1 - 5.6

5.8. ทำการทดลองซ้ำขั้นตอน 5.1 - 5.6 กับเครื่องแบบตะแกรง ที่ความเร็วรอบปกติ 10 รอบต่อนาที

5.9. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ประสิทธิภาพการคัดขนาดหาได้จากสมการ ดังนี้ (Peleg, 1985)

- E_w = ประสิทธิภาพการคัด (Sizing Efficiency), %
- G_i = อัตราการไหลออก (Outflow Rate) ของผลลําไยสดเกรด i (กรัม/วินาที)
- K_i = เศษส่วนมูลค่าหรือราคาที่เกี่ยวข้องกับผลลําไยสดเกรด i ต่างๆ
- N_i = จำนวนผลลําไยสดเกรด i เมื่อป้อนเข้าสู่การคัดขนาด
- N_y = จำนวนผลลําไยสดเกรด j ที่ตกลงในช่องเกรด i
- N_{gi} = จำนวนผลลําไยสดเกรด i ในช่องรับเกรด i
- N_n = จำนวนผลลําไยสดที่ตกในช่องเกรด i ทั้งหมด
- P_i = เศษส่วนของผลลําไยสดเกรด i ในลําไยสดทั้งหมดเมื่อเริ่มคัดขนาด
- P_{gi} = เศษส่วนลําไยสดถูกต้องที่คัดได้ในช่องเกรด i
- Q = อัตราการไหลเข้า (Inflow rate) กรัม/วินาที
- t = เวลาที่ใช้ในการป้อนผลลําไยสดเข้าเครื่องคัดขนาด
- W_i = น้ำหนักรวมของผลลําไยสดที่ตกในช่องเกรด i (Weighting Function)
- W_i = น้ำหนักรวมของผลลําไยสดทั้งหมด
- t_i = เวลาที่สมนัยกับ
- \bar{C}_R = อัตราส่วนการเจือปน (Mean contamination ratio)

$$E_w = \sum \frac{P_{gi} W_i G_i}{P_i Q} \dots\dots\dots(1)$$

$$P_{gi} = \frac{N_{gi}}{N_n} ; N_{ii} = N_{gi} + N_y$$

$$W_i = \frac{K_i P_i}{\sum K_i P_i} ; P_i = \frac{N_i}{\sum N_i} ; G_i = \frac{W_i}{t_i}$$

$$Q = \frac{W_i}{t_i} \dots\dots\dots(2)$$

$$\bar{C}_R = \frac{N_y}{\sum N_n} \dots\dots\dots(3)$$

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลลักษณะทางกายภาพเฉลี่ยของผลลําไยสดที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาด แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด D_{max} และน้ำหนัก ผลลําไยสด

ขนาด	5 รอบ/นาที		10 รอบ/นาที		15 รอบ/นาที	
	$D_{max} \pm SD^*$ (มม.)	น้ำหนัก $\pm SD$ (กรัม)	$D_{max} \pm SD$ (มม.)	น้ำหนัก $\pm SD$ (กรัม)	$D_{max} \pm SD$ (มม.)	น้ำหนัก $\pm SD$ (กรัม)
AA	30.47 \pm 1.46	12.61 \pm 1.42	30.75 \pm 1.71	12.93 \pm 1.54	31.42 \pm 1.60	13.41 \pm 1.41
A	27.43 \pm 0.36	9.65 \pm 0.87	27.47 \pm 0.39	9.71 \pm 1.00	27.43 \pm 0.40	10.00 \pm 1.11
B	26.44 \pm 0.39	8.00 \pm 0.89	26.49 \pm 0.42	8.00 \pm 0.84	26.36 \pm 1.14	8.20 \pm 0.89

*SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดสอบเครื่องคัดขนาดผลลําไยสดด้วยเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงของบริษัทชิดชีวิตวัน และเครื่องแบบแผ่นคัดขนาดของ คุณวันปิติ รังษิ ได้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพเฉลี่ยของผลลําไยสดที่ใช้ในการทดสอบเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรง (ตารางที่ 2) ขนาด AA มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 30.25 มิลลิเมตร ขนาด A มีเส้นผ่านศูนย์กลาง โตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 27.56 มิลลิเมตร ขนาด B มีเส้นผ่านศูนย์กลาง โตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 26.42 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลลักษณะทางกายภาพเฉลี่ยของผลลําไยสดที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาด (ที่ความเร็วรอบ 5 รอบ/นาที) ขนาด AA มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 30.47 มิลลิเมตร ขนาด A มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 27.43 มิลลิเมตร ขนาด B มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 26.44 มิลลิเมตร ข้อมูลลักษณะทางกายภาพเฉลี่ยของผลลําไยสดที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาด (ที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที) ขนาด AA มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 30.75 มิลลิเมตร ขนาด A มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 27.47 มิลลิเมตร ขนาด B มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 26.49 มิลลิเมตร ข้อมูลลักษณะทางกายภาพเฉลี่ยของผลลําไยสดที่ใช้

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลลักษณะทางกายภาพเฉลี่ยของผลลําไยสดที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงที่ความเร็ว 10 รอบ/นาที แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด D_{max} และน้ำหนัก ผลลําไยสด

ขนาด	$D_{max} \pm SD^*$ (มม.)	น้ำหนัก $\pm SD$ (กรัม)
AA	30.25 \pm 1.49	12.80 \pm 1.39
A	27.56 \pm 0.38	10.00 \pm 1.00
B	26.42 \pm 1.15	8.22 \pm 0.95

*SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดขนาด อัตราการเจือปนเฉลี่ย และสมรรถนะการคัดขนาดในแต่ละวิธีการทดสอบของตัวอย่างผลลำไยสดที่สุมา 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก

วิธีการทดสอบ	ประสิทธิภาพการคัดขนาด (%)	อัตราการเจือปนเฉลี่ย (%)	สมรรถนะการคัดขนาด (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
แบบตะแกรงที่ 10 รอบต่อนาที	87.19 (CV = 0.06)	0.31 (CV = 0.18)	286.73 (CV = 0.01)
แบบแผ่นคัดขนาด ที่ 5 รอบต่อนาที	84.95 (CV = 0.12)	0.39 (CV = 0.08)	129.60 (CV = 0.04)
แบบแผ่นคัดขนาด ที่ 10 รอบต่อนาที	59.30 (CV = 0.07)	0.54 (CV = 0.04)	280.52 (CV = 0.13)
แบบแผ่นคัดขนาด ที่ 15 รอบต่อนาที	74.93 (CV = 0.06)	0.40 (CV = 0.13)	378.68 (CV = 0.04)

*CV = Coefficient of Variation = (ทศนิยม, 2545)

ในการทดสอบกับเครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาด (ที่ความเร็วรอบ 15 รอบต่อนาที) โดยขนาด AA มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 31.42 มิลลิเมตร ขนาด A มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 27.43 มิลลิเมตร ขนาด B มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D_{max}) เฉลี่ย 26.36 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดขนาด อัตราการเจือปนเฉลี่ย และสมรรถนะการคัดขนาด

1) ปัญหาความผิดพลาดในการคัดขนาดของเครื่องทั้งสองแบบ สาเหตุประการหนึ่งน่าจะมาจากขนาดของ Sample ที่มีความแปรปรวนมาก (จำนวน/ตัวอย่าง) ผลลำไยสดบางขนาดมีขนาดโตพอที่จะเข้าไปอยู่ในระดับขนาดสูงถัดไปเช่นขนาด B ของการทดสอบทุก Treatment เป็นต้น

2) ที่ความเร็วรอบเครื่อง = 10 รอบต่อนาที เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงมีสมรรถนะดีกว่าเครื่องแบบแผ่นคัดขนาดคือ คัดผิดพลาดน้อยกว่า $\geq 23\%$ และสมรรถนะสูงกว่า ≥ 6.21 กก./ชม. นี่อาจอธิบายได้ว่า เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงมีการสอเทียบขนาดผลลำไยสดหลายจุด จะทำให้มีความแม่นยำในการคัดขนาดมากกว่าเครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาดที่สอเทียบผลลำไยสดแต่ละผลเพียงสองจุด นอกจากนี้การสร้างเครื่องแบบ

แผ่นคัดขนาด พบว่าให้ช่องคัดขนาดไม่คงที่มีความแปรปรวน $\geq 16\%$ ซึ่งจริงๆ แล้วความไม่คงที่ของช่องคัดขนาดอาจยอมให้ได้แค่ไม่เกิน 2% (0.5 มม./ช่องขนาด)

3) ความเร็วมีแนวโน้มมีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องคัดขนาด จะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงความเร็วจาก 5 เป็น 10 รอบต่อนาที ทำให้ \bar{C}_R เพิ่มขึ้น Q เพิ่มขึ้น E_w ลดลง นี่อาจอธิบายได้ว่าการเพิ่มความเร็วมักทำให้ผลลำไยสดซ้อนตัวกัน ไม่กระจายตัวบนแผ่นคัดขนาดชั้นเดียว (Single layer) ทำให้ผลลำไยสดไม่ได้ถูกสอเทียบที่ช่องคัดขนาดข้ามไปช่องถัดไปทำให้การคัดผิดพลาด สมรรถนะจะเพิ่มขึ้นเพราะกลไกการทำงานพาให้ผลลำไยสดเคลื่อนตัวไปในกระบวนการต่อไปเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามยังหาเหตุผลอธิบายไม่ได้ว่าทำไมเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 15 รอบ/นาที \bar{C}_R กลับลดลง การเพิ่มความเร็วนในการคัดขนาดมักเกิดแบบงานหมุน (Jarimopas et al, 2005) ทำให้ \bar{C}_R เพิ่มขึ้น Q เพิ่มขึ้น

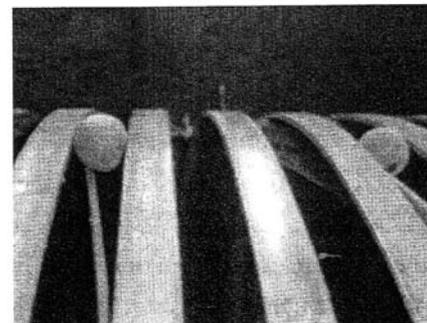
4) ความเสียหายจากการคัดขนาดของเครื่องแบบตะแกรงเกิดจากการที่ผลลำไยสดไปติดในรูตะแกรง (รูสอเทียบ) ในขณะที่ตัวกันตะแกรงก็เคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ จนไปชน



1) เกิดจากเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรง



2) เกิดจากเครื่องคัดขนาดแบบแผ่น



3) ลักษณะการติดที่ช่องคัดขนาดของเครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาด

ภาพที่ 3 แสดงความเสียหายที่เกิดจากการคัดขนาดและลักษณะการติดของผลลำไยสดในช่องคัดขนาด

กับลูกกลิ้งดันผลลำไยสดให้หลุดออกในจังหวะที่หลุดออก ขอบของรูตะแกรงซึ่งมีความคมก็จะทำให้ผลลำไยสดเสียหาย ส่วนเครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาดก็เกิดในทำนองเดียวกันคือผลลำไยสด ไปติดในช่องสอบเทียบเนื่องจากขอบของแผ่นเหล็กมีความคม ขณะที่แผ่นคัดขนาดเคลื่อนที่ไปชนกับแผ่นผลัดผลลำไยสดให้หลุดออก ก็จะทำให้เกิดความเสียหายขึ้น (ภาพที่ 3)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบเครื่องคัดขนาดผลลำไยสดด้วยเครื่องคัดขนาดทั้ง 3 เกรด พบว่าเครื่องคัดขนาดแบบของปริมาตรชนิดหัวจำกัด (เครื่องของ โรงอบลำไย คุณคำตัน ฟองควง จังหวัดลำพูน) มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 87.19 เปอร์เซ็นต์ สมรรถนะการคัดขนาดสูงสุด 286.73 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการเจือปนเฉลี่ย 0.31 เปอร์เซ็นต์ เครื่องคัดขนาดผลลำไยสดแบบของของคุณวันปิติก รังมี (จังหวัดแพร่) - ที่ความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 84.95 เปอร์เซ็นต์ สมรรถนะการคัดขนาดสูงสุด 129.60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการเจือปนเฉลี่ย 0.39 เปอร์เซ็นต์ - ที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 59.30 เปอร์เซ็นต์ สมรรถนะการคัดขนาดสูงสุด 280.52 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการเจือปนเฉลี่ย 0.54 เปอร์เซ็นต์ - ที่ความเร็วรอบ 15 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 74.93 เปอร์เซ็นต์ สมรรถนะการคัดขนาดสูงสุด 378.68 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการเจือปนเฉลี่ย 0.40 เปอร์เซ็นต์

เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรง ควรจะทำการลดความคมของขอบรูตะแกรง (รูสอบเทียบ) อาจจะช่วยลดความเสียหายที่เกิดกับผลลำไยสดได้

เครื่องคัดขนาดแบบแผ่นคัดขนาด ควรจะทำการลดความคมของช่องสอบเทียบ ในกระบวนปั่นผลลำไยสดควรจะมีอุปกรณ์ในการลำเลียงผลลำไยสดลงในแผ่นคัดขนาด และควรปรับปรุงช่องสอบเทียบให้มีขนาดที่เท่ากันตลอดความยาวของช่วงการสอบเทียบ อาจทำให้อัตราการเจือปนลดลงได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณคำตัน ฟองควง และ คุณวันปิติก รังมี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องคัดขนาดผลลำไยสดในการทดสอบ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) ที่กรุงวอชิงตัน ดี.ซี. ประเทศสหรัฐอเมริกา

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.ฐานข้อมูลด้านพืช www.doa.go.th/pl_data/LONGAN/1stat/st02.html 26/10/2548.
- จักราวุธ รุ่งสนแสง, อุวันนิตย์ จินะวงษ์, วิชัย สดาวระ และแสนชัย ก้องประเสริฐกุล. 2542. การทดสอบเครื่องคัดขนาดมังคุดที่จังหวัดบุรีรัมย์ รายงานปัญหาพิเศษ นวัตกรรมระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน 52 หน้า.
- บัณฑิต จริโมภาส, เกริก กงพัฒนานนท์ และสุทธิชัย ชาญวิจิตร. 2531. การทดสอบเครื่องคัดขนาดส้มแบบตะแกรง รายงานการวิจัยเสนอในการสัมมนาวิชาการเรื่อง เครื่องมือและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม จัดโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 6-7 ตุลาคม. 88-98.
- บัณฑิต จริโมภาส, เสกสรร สีหวงษ์ และศุภชาติ สุขารมณ์. 2533. เครื่องคัดขนาดส้มโอและมะนาว รายงานการวิจัยและพัฒนาไม้ตัดพุ่มที่แพร่พรู เสนอต่อศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และพลังงาน 91 หน้า.
- พิสมัย หาญมงคลพิพัฒน์. 2545. สถิติและการวางแผนการทดลองทางเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 9.
- เสกสรร สีหวงษ์, บัณฑิต จริโมภาส และสังวร ศรีพิริญ. 2547. การทดสอบเครื่องคัดขนาดผลหมากที่ใช้ในเชิงพาณิชย์วารสาร. วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 11(1) : 40-45.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2546. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ - ลำไย. มกอช 1 - 2546.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สถิตินำเข้าและส่งออก โดยความร่วมมือของ กรมศุลกากร www.oae.go.th/oae_go_th/statIm_Ex.php 26/10/2005.
- Jarimopas, B., S. Toomsaengtong and C. Inprasit, 2005. A mango sizer machine. Research and Development Journal. 16 (3) : 43-49.
- Peleg, K. 1985. Produce Handling, Packaging and Distribution. AVI Pub. CO. Inc. Connecticut 625 p.

อุปกรณ์วัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผลไม้ Coefficient Friction Device of Fruits

บัณฑิต จริโมภาส¹ และ วีรกุล มิกกลางแสน¹
Bundit Jarimopas¹ and Weeragul Meegrangsana¹

Abstract

This research was to design construct and test a friction coefficient measuring device of fruits. The device comprised steel frame of, 355 mm wide by 400 mm long by 720 mm high, fruits holders and contact surface sheet hung over the fruits and connected to spring balance at each end. The spring balance were hooked to the feet of the frame. The device testing included two control factors, i.e. four fruit type (immature young coconut, mature young coconut, overmature young coconut, pomelo) and five contacting surfaces (stainless steel, zinc, polyester, rice mill rubber, bicycle rubber) Result showed that fruit type and contact surface significantly affected friction coefficient of fruit μ_s at the significance level of 5%. μ_s of the stainless steel was maximum regardless of fruit type. μ_s of the overmature young cococut was averagely 0.20 independent of contacting surface.

Key word : Friction, Fruits, Measuring device

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะ ออกแบบ สร้าง ทดสอบอุปกรณ์วัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ_s) ของผลไม้ อุปกรณ์ประกอบด้วย โครงเหล็กขนาดกว้าง 355 มม. ยาว 400 มม. สูง 720 มม. ด้านบนเป็นชุดจับยึดผลไม้ มีแผ่นวัสดุสัมผัสคล้องไว้ด้านบนของผลไม้ ปลายทั้ง 2 ข้างร้อยติดกับเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง การทดสอบทำได้โดยติดตั้งผลไม้เข้ากับชุดจับยึด และการหมุนแกนที่ต่อมาจากชุดจับยึดจนกระทั่งแรงความพยายามหมุนผลไม้เอาชนะแรงความเสียดทานระหว่างวัสดุสัมผัสกับ ผิวผลไม้ (แรงที่จำเป็นที่จะเริ่มการเคลื่อนที่) การทดลองใช้ ก) ผลไม้ 2 ชนิดได้แก่ มะพร้าวอ่อนเปลือกเปลือก (3 ระยะการเจริญเติบโตคือ อ่อนอ่อน กำลังดี แก่) และส้มโอ ข) วัสดุสัมผัส 5 ประเภทได้แก่ Stainless steel, สังกะสี, ผ้า, สายพานโรงสี, ยางไนโรจิกยาน ผลการทดสอบพบว่า ชนิดของผลไม้ ระยะการเจริญเติบโต (มะพร้าวอ่อนอ่อน) และวัสดุสัมผัส มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% ต่อ μ_s ผิวของ Stainless steel ให้ μ_s สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวสัมผัสแบบอื่น (สำหรับมะพร้าวอ่อนอ่อน กำลังดี และส้มโอ) วัสดุสัมผัสของมะพร้าวแก่ไม่มีอิทธิพลต่อ μ_s ค่า $\mu_s = 0.20$

คำสำคัญ : ความเสียดทาน, ผลไม้, อุปกรณ์วัด

คำนำ

ความเสียดทานเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักร อุปกรณ์ในกระบวนการต่างๆ หลังการเก็บเกี่ยว มาทำงานแทนคน เช่น การแปรรูป แปรรูป ขนถ่าย และการคัดแยก เป็นต้น เราจำเป็นต้องรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ให้ผลผลิตเคลื่อนที่กับผิวสัมผัสประเภทต่างๆ โดยเฉพาะผลไม้ไทยจำเป็นต้องหาวิธีให้มีขึ้นมากเพื่อเป็นข้อมูลบริการแก่นักวิชาการ วิศวกร (บัณฑิต, 2546) ในทางทฤษฎีเมื่อวัตถุหนึ่งถูกกดเข้ากับวัตถุอีกอันหนึ่งด้วยแรงที่มีค่าเท่ากับน้ำหนัก W ของมัน วัตถุแรกจะไม่เคลื่อนที่ในทิศทางขวางกับแนวแรงกด จนกระทั่งแรงความเสียดทานระหว่างวัตถุทั้งสองถูกเอาชนะ เรียกว่า ความเสียดทานสถิต (Static Friction) (แรงที่จำเป็นที่จะเริ่มการเคลื่อนที่) เมื่อการเคลื่อนที่เริ่มขึ้นแรงเสียดทานสถิตจะลดลงจนกว่าแรงที่น้อยกว่าถูกใช้ทำให้การเคลื่อนที่ต่อเนื่องไป แรงเสียดทานที่มีอยู่ระหว่างผิวที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน เรียกว่า แรงความเสียดทานจลนวัต (Kinetic friction) (Mohsenin, 1980) สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ_s) หาได้จากหลักการหาความเสียดทานของสายพาน (Flexible Belts) การพิจารณาการลื่นไถลของเคเบิลอ่อนตัวหรือเชือกที่คล้องรอบล้อในลูกรอกหรือห้วก้าน และการลื่นไถลของสายพานที่คล้องรอบพูเลย์ มีความสำคัญมากในการออกแบบทางเครื่องกล พิจารณาสายพานที่คล้องรอบพูเลย์ (Fig 1) แรง T_1 และ T_2 เป็นแรงในสายพาน และโมเมนต์ M เป็นโมเมนต์ต้านจากเพลลาของพูเลย์ ถ้าทิศทางของโมเมนต์ M เป็นตามเข็มนาฬิกาแรงดึง T_2 จะมากกว่า T_1

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม

¹ Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakhon pathom

พิจารณา FBD ของส่วนของสายพานที่มีความยาว $r d\theta$ แกน t และ n เป็นแกนในแนวสัมผัสและตั้งฉากกับแนวของสายพาน ขนาดแรงดึงในสายพานเท่ากับ T เพิ่มเป็น $T + dT$ แรงเสียดทานระหว่างสายพานและพูเลย์ เท่ากับ μdN เมื่อ μ คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และ dN คือแรงในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัสสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

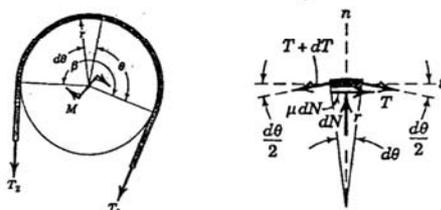


Fig 1 Free body diagram of belts

การสมมูลในแนวสัมผัส t คือ $T \cos \frac{d\theta}{2} + \mu dN = (T + dT) \cos \frac{d\theta}{2} \rightarrow \mu dN = dT$

การสมมูลในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส n คือ $dN = (T + dT) \sin \frac{d\theta}{2} + T \sin \frac{d\theta}{2} \rightarrow dN = T d\theta$

สำหรับมุมเล็กๆ $\sin \frac{d\theta}{2} \approx \frac{d\theta}{2}$; จะได้ $\frac{dT}{T} = \mu d\theta$

เมื่ออินทิเกรต หรือ $\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \int_0^{\beta} \mu d\theta \rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = \mu \beta$ หรือ $T_2 = T_1 e^{\mu \beta}$; $T_2 > T_1 \rightarrow \mu = \frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\beta}$

เมื่อ β คือมุมสัมผัสระหว่างสายพานและพูเลย์ทั้งหมด (Merian and Kraige, 2004)

ASTM (1999) ได้รวบรวมวิธีการหาความเสียดทานสถิตและจลน์ไว้หลายแบบขึ้นอยู่กับวัสดุผิวกรรมที่ทดสอบ แต่ยังไม่พบวิธีการทดสอบแรงเสียดทานวัสดุเกษตรที่มีรูปร่างไม่แน่นอน มีนักวิจัยหลายคนได้ศึกษาสมบัติความเสียดทานของวัสดุเกษตร และสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อทดสอบพีชชนิดหนึ่งๆ บนพื้นฐานของนิยามแรงเสียดทาน (Chen และ Squire, 1971; บันทิต และคณะ, 2546; บันทิต และคณะ, 2547) Chen และ Squire (1971) ได้ศึกษาถึงสาเหตุและความสำคัญของความเสียดทานเนื่องจากการขูดขีดบนผิวสัมผัส พบว่าระดับความเสียหายขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวอุปกรณ์ ความดันปกติ ความชื้นของวัสดุเกษตร ความเร็วของวัสดุที่เลื่อนไป และความชื้นสัมพัทธ์ มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Mohsenin, 1980) บันทิต และคณะ (2546) ได้สร้างเครื่องหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความต้านทานการกลิ้งของผลไม้ และใช้ทดสอบกับผลไม้ 7 ชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ล 2 พันธุ์ ส้ม 3 พันธุ์ ฝรั่ง มะนาว และวัสดุสัมผัส 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ขัด สังกะสี และพลาสติก พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผลไม้ทุกชนิดบนผิวไม้ขัดน้อยกว่าบนผิวของสังกะสี และพลาสติกมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากกว่า บันทิต และคณะ (2547) ได้พัฒนาอุปกรณ์แบบกึ่งอัตโนมัติหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและมุมกลิ้งของผักและผลไม้ และใช้ทดสอบหา μ_s กับผักผลไม้ 4 ชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ล ส้มเขียวหวาน มะนาว ฝรั่ง และพื้นผิวสัมผัส 3 ประเภท ได้แก่ ไม้ขัด สังกะสี และพลาสติก พบว่าชนิดของผักผลไม้ พื้นผิวสัมผัส มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน พื้นผิวพลาสติกจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวแบบอื่น เครื่องหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่กล่าวข้างต้น อาจมีปัญหาในการทดสอบตัวอย่างที่เป็นผลไม้ลูกใหญ่จึงจำเป็นต้องหาอุปกรณ์ตัวใหม่ที่จะสามารถวัดหา μ_s ได้สะดวกขึ้นและแม่นยำ จึงเป็นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้

อุปกรณ์และวิธีการ

เกณฑ์ในการออกแบบคือ สามารถปรับระยะการจับยึดผลไม้ได้ โดยอุปกรณ์วัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ_s) ของผลไม้ ประกอบด้วย โครงเหล็กขนาดกว้าง 355 มม. ยาว 400 มม. สูง 720 มม. ชุดจับยึดแบ่งออกเป็น 2 ข้าง ข้างหนึ่งอยู่กับที่ มีแกนหมุนผลไม้ต่อออกด้านนอก อีกข้างหนึ่งปรับระยะการจับยึดได้ เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริงขนาด 5 และ 10 กิโลกรัม วัสดุสัมผัสมี 5 ประเภท ได้แก่ stainless steel, zinc, polyester, rice mill rubber, bicycle rubber ผลไม้ในการทดสอบคือ มะพร้าวอ่อนปอกเปลือกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ อ่อน กำลังดีแก่ (เนื้อ 1, 1.5 - 2 และ > 2 ชั้น) และส้มโอ จำนวนตัวอย่าง 20 ผล/ชนิด/วัสดุสัมผัส วิธีการทดสอบเริ่มโดยนำผลไม้ (ส้มโอและมะพร้าวอ่อนปอกเปลือก) มาเขียนหมายเลข แล้วนำผลไม้เข้าเครื่องวัดหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจับยึดให้แน่น ติดตั้งวัสดุสัมผัสและเครื่องชั่งแบบสปริงเข้ากับอุปกรณ์ โดยให้วัสดุ

สัมผัสดังกล่าวอยู่ด้านบนผลไม้ ปลายทั้งสองข้างยึดติดกับเครื่องชั่ง และเครื่องชั่งยึดติดกับตัวโครงเหล็ก อ่านค่าที่เครื่องชั่งและจดบันทึก แล้วหมุนแกนหมุนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงความพยายามหมุนผลไม้เอาชนะแรงความเสียดทานระหว่างวัสดุสัมผัสด และผลไม้ (ผลไม้เริ่มเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับผิวสัมผัสด) อ่านค่าที่เครื่องชั่งทั้งสองและบันทึก ทำซ้ำ 40 ซ้ำ/วัสดุสัมผัสด/ชนิดผลไม้ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยกำหนดให้ ระยะเวลาเจริญเติบโต ชนิดผลไม้ วัสดุสัมผัสดเป็นปัจจัยควบคุม และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต เป็นตัวแปรที่ถูกสังเกต ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 10.0 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความสำคัญ 5%

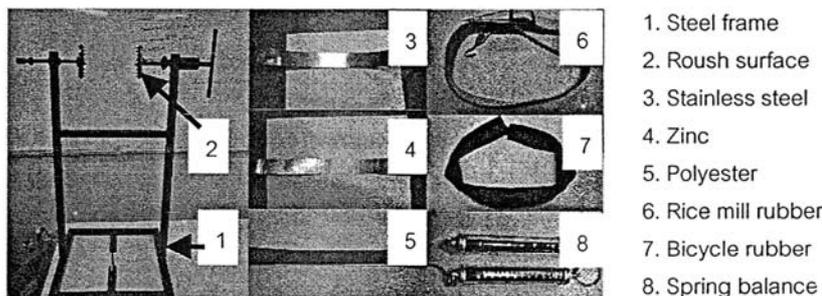


Fig 2 Coefficient friction measuring device of fruits

ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเสียดทานต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัยได้แก่ ก) ชนิดของผลไม้ ข) ระยะเวลาเจริญเติบโต (มะพร้าวอ่อน) ค) วัสดุสัมผัสด พบว่าระยะเวลาเจริญเติบโต วัสดุสัมผัสด และ Interaction ระหว่างผลทั้งสองมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 1% ($P < 0.01$) ต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) Table 1 และ 2 แสดงค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ (μ_s) สำหรับแต่ละ combination ของปัจจัย μ_s ของมะพร้าวอ่อนอ่อน (1 ชั้น) จะมากที่สุดกับผิวสัมผัสด stainless steel ส่วน สังกะสี, ผ้า, สายพานโรงสี และ ยางในรถจักรยาน มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน มะพร้าวกำลังดี (1.5 - 2 ชั้น) มีค่า μ_s มากสุดกับ stainless steel แต่น้อยกว่าของมะพร้าวอ่อนอ่อนส่วน สังกะสี, ผ้า, สายพานโรงสี และ ยางในรถจักรยาน มีค่า μ_s เฉลี่ยไม่แตกต่างกัน มะพร้าวแก่ (>2 ชั้น) มีค่า μ_s ไม่แตกต่างกัน ค่า μ_s ของสัมผัสดกับ stainless steel มากที่สุด รองลงมาเป็น ผ้า, สังกะสี และ สายพานโรงสี, ยางในรถจักรยาน ซึ่งมีค่า μ_s น้อยไม่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงชนิดของผลไม้ วัสดุสัมผัสด และ Interaction ระหว่างปัจจัยมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 1% วัสดุสัมผัสดแต่ละประเภทมีลักษณะของผิวสัมผัสดแตกต่างกัน Fig 3 แสดงผิวของ stainless steel จะเรียบกว่าผิววัสดุสัมผัสดประเภทอื่น μ_s ในผลมะพร้าวอ่อนอ่อนกับผิว Stainless สูงกว่าอีก 4 ผิวสัมผัสด เพราะว่าพื้นผิวสัมผัสดของ Stainless ละเอียดมากกว่าทำให้จับพื้น ผิวของมะพร้าวอ่อนอ่อนได้มาก และแน่น การจะทำให้มะพร้าวเคลื่อนที่ไปบนผิว Stainless ยากกว่ากับมะพร้าว

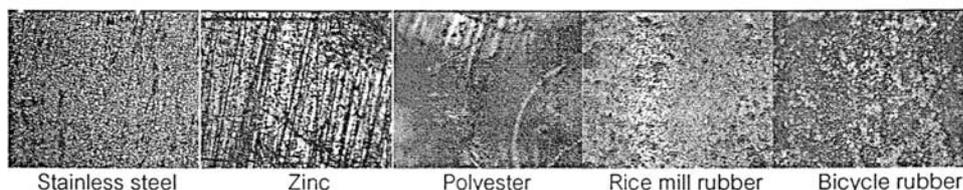


Fig 3 Contacting surface

กำลังรับประทันก็เหมือนกัน ค่า μ_s ของมะพร้าวอ่อนอ่อนของผิว Stainless สูงกว่าของมะพร้าวกำลังรับประทัน น่าจะมีผลจากความชื้นของมะพร้าวอ่อนอ่อน มากกว่ามะพร้าวกำลังรับประทัน ปราโมทย์ (2548) ได้ศึกษาหาระยะการเจริญเติบโตและความชื้นเปลือกมะพร้าวอ่อน พบว่ามะพร้าวอ่อนเนื้อหนึ่งชั้น หนึ่งชั้นครึ่ง และสองชั้นมีความชื้น คือ 88.9, 87.4, และ 82.6% ความชื้นจะลดลงเมื่ออายุการเจริญเติบโตมากขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างที่พื้นผิวของมะพร้าวกำลังประทันมากกว่า พื้นผิวสัมผัสดจับยึดกันได้น้อยกว่า สำหรับค่า μ_s ของมะพร้าวแก่ประมาณ 0.2 ไม่แตกต่างกันระหว่างทุกผิวสัมผัสดน่าจะเป็นผลมาจากความชื้นที่ลดลงอย่างมากทำให้เกิดช่องว่างที่พื้นผิวมะพร้าวแก่มากขึ้นการจับยึดกับผิววัสดุสัมผัสดก็น้อยลงอาจทำให้ μ_s

ลดน้อยลง กับสัมประสิทธิ์ของวัสดุสัมผัสมีบทบาทอย่างมากจะเห็นได้จาก μ_s ของ stainless steel สูงสุด แต่กับวัสดุอื่นลดลง และไม่แตกต่างกัน

Table 1 Statistic of static friction (μ_s) for each combination of fruit and contacting surfaces of coconut.

Surfaces	Friction		
	Immature	Mature	Overmature
Stainless steel	0.63 ^a ± 0.19	0.25 ^a ± 0.07	0.19 ^a ± 0.06
Zinc	0.18 ^b ± 0.05	0.20 ^b ± 0.09	0.21 ^a ± 0.06
Polyester	0.19 ^b ± 0.10	0.22 ^b ± 0.10	0.21 ^a ± 0.05
Rice mill rubber	0.20 ^b ± 0.05	0.21 ^b ± 0.06	0.21 ^a ± 0.03
Bicycle rubber	0.21 ^b ± 0.03	0.21 ^b ± 0.05	0.19 ^a ± 0.03

*Number in the same column follow by the different character implies significant different of the mean volume the significant level of 5%

Table 2 Statistic of static friction (μ_s) for each combination of fruit and contacting surfaces of pomelo

Surfaces	Friction
Stainless steel	0.66 ^a ± 0.27
Zinc	0.18 ^b ± 0.08
Polyester	0.20 ^b ± 0.05
Rice mill rubber	0.17 ^b ± 0.06
Bicycle rubber	0.18 ^b ± 0.06

*Number in the same column follow by the different character implies significant different of the mean volume the significant level of 5%

สรุป

จากการทดสอบอุปกรณ์วัดหาลัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผลไม้ พบว่า ชนิดของผลไม้ ระยะการเจริญเติบโต วัสดุสัมผัส มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ_s) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 1% ($P < 0.01$) คือวัสดุผิวเรียบจะสัมผัสได้ดีกว่าวัสดุผิวไม่เรียบ และผลไม้ที่อายุอ่อนจะเรียบกว่าผลไม้ที่อายุมาก อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังต้องการพัฒนาในด้านต่างๆ ดังนี้คือ 1) เครื่องชั่งน้ำหนักควรเป็นแบบดิจิตอลเพื่อความรวดเร็วในการอ่านค่า และค่าที่ได้จะละเอียดมากขึ้น 2) เพื่อความสะดวกควรมี Program ในการบันทึกค่า และประมวลผล รวมทั้งการแสดงผลด้วย 3) ในการหามุมผลไม้ควรใช้มอเตอร์มาช่วยในการหมุนแทนหมุน

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) ที่กรุณาสนับสนุนงบประมาณวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- บัณฑิต จริโมภาส.2546.สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร.ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน,นครปฐม.160 หน้า
- บัณฑิต จริโมภาส อธิวัฒน์ หนูภาค และกฤษณ์ สรรพอาษา.2546.เครื่องหาลัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความต้านทานการกรังของผลไม้บางชนิด.วารสารวิชาการเกษตร 21(1): 3 - 11.
- บัณฑิต จริโมภาส ออนุพันธ์ เทอดวงษ์วรกุล ประกิจ ทิมขำ และกิตติรัตน์ รุ่งรัตนอุบล.2547.อุปกรณ์แบบกึ่งอัตโนมัติหาลัมประสิทธิ์ความเสียดทานและมุมกลิ้งของผักและผลไม้.วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ 11(1): 57 - 63
- ปราโมทย์ กุล.2548.การออกแบบและพัฒนาเครื่องเปิดผลมะพร้าวอ่อน วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน,นครปฐม
- Chen,P,and Squire,E.F.1971.An evaluation of the coefficient and abrasion damage of oranges on various surfeces.Transaction of ASAE. 14(6):1092 - 1094
- Mohsenin,N.N.1980.Physical Properties of plant and Animal Materials.Gordon and Breach Science Publisher Inc.New York.742 p.
- American Society for Testing and Materials.1999. Standard Guide for Measuring and Reporting Friction Coefficients.ASTM G115. Volume 03.02.481 - 491 p.
- J.L. Meriam and L.G. Kraige.2004. Engineering Mechanics : Statics fifth edition SI version, John Wiley & Sons,Inc.386 - 387 p.

