



วิทยานิพนธ์

การศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อน
ในเปลือก

INVESTIGATION ON DETECTION OF THE
TRANSLUCENCE IN MANGOSTEEN BY MEASUREMENT OF
HEAT TRANSFER IN RIND

นางสาวปาริชาติ ราชมณี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร)

ปริญญา

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือก

Investigation on Detection of the Translucence in Mangosteen by Measurement of Heat Transfer in Rind

นามผู้วิจัย นางสาวปาริชาติ ราชมณี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์สุกัญญา วิชชุกิจ, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ประภาศรี สิงห์รัตน์, M.Appl.Sc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือก

Investigation on Detection of the Translucence in Mangosteen by Measurement of Heat Transfer
in Rind

โดย

นางสาวปาริชาติ ราชมณี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร)

พ.ศ. 2550

ปาริชาติ ราชมณี 2550: การศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือก ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร) สาขา วิศวกรรมกรรมการอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหาร ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D. 118 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุด ซึ่งก่อนการทดลองได้นำมังคุดไปเก็บที่ห้องควบคุม 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน หลังจากนั้นได้ทำการวัดค่าต่างๆที่เป็นคุณสมบัติทางด้านคุณภาพของมังคุด ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าความแข็งเปลือก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือก จากศึกษาพบว่า ระยะลึกที่เหมาะสมในการแทงอุปกรณ์ให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิล คือระยะ 3 มิลลิเมตร และช่วงเวลาเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือกที่เหมาะสมคือ 200 วินาที

ผลจากการวิจัยพบว่า เมื่อทดสอบค่าทางสถิติ ค่าความถ่วงจำเพาะ, Load at Limit, Maximum Load, Work to Maximum Load, พื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร, ค่าแฟคเตอร์ Principal Component (แฟคเตอร์ PC) ด้านเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร (PC_3L) และค่าแฟคเตอร์ PC ด้านตรงข้ามเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้ว เมื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี discriminant analysis โดยใช้ตัวแปรอิสระ คือ ค่าที่วัดทางด้านคุณภาพของมังคุดทั้งหมด แต่ใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ) ผลความถูกต้องในการจัดกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 66.3 สำหรับการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มโดยใช้ตัวแปรอิสระ ค่าที่วัดทางด้านคุณภาพของมังคุดทั้งหมดแต่ใช้การเปลี่ยนแปลงภายในเปลือก (แฟคเตอร์ PC) ผลความถูกต้องในการจัดกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 69.8 และเมื่อใช้ตัวแปรไม่ทำลายทั้งหมด ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าความแข็งเปลือก พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ และแฟคเตอร์ PC ได้ผลความถูกต้องในการจัดกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 70.4 และพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการจำแนกกลุ่มทั้ง 3 กลุ่มตัวแปรคือ Load at Limit

Parichart Ratmanee 2007: Investigation on Detection of the Translucence in Mangosteen by Measurement of Heat Transfer in Rind. Master of Engineering (Food Engineering), Major Field: Food Engineering, Department of Food Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anupun Terdwongworakul, Ph.D. 118 pages.

This research investigated differentiation of translucence mangosteen. Prior to the measurement, mangosteen were stored at 25°C for one day. There followed physical property measurements such as specific gravity, rind hardness, temperature change in rind and rind moisture content. The results showed that the optimum depth of the heating and thermocouple probes into the rind was 3 mm and the shortest time for collecting the temperature change in rind was 200 s.

Statistical analysis for each individual parameter indicated that the specific gravity, load at limit, maximum load, work to maximum load, area under the temperature curve of the rind opposite to big section at 3 mm depth, principal component factor of the rind of big section at 3 mm depth and factor of the rind opposite to big section at 3 mm depth were significantly different between normal and translucent mangosteen. Discriminant analysis showed that when using all parameters with area under the temperature curve as a parameter of temperature change in rind, the separation between normal and translucent mangosten was as accurate as 66.3%. Upon using all parameters with principal component factors as parameters of temperature change in rind, the differentiation accuracy increased to 69.8%. With all non-destructive parameters such as specific gravity, rind hardness, area under the temperature curve and principal component factors of the temperature change as independent variables, the classification accuracy was 70.4%. The most contributing parameter in mentioned three classifications was load at limit of the rind hardness.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ประธาน
กรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุกัญญา วิชชุกิจ กรรมการที่ปรึกษา
วิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จริโมภาส กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ และ อาจารย์ ดร.
วชิรญา อิ่มสบาย ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติ ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนทุนวิจัยนี้ และ
โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่
สนับสนุนการดำเนินการผลิตบัณฑิต ขอขอบคุณ ดร. อภิตา บุญศิริ งานวิจัยพืชผลหลังเก็บเกี่ยว
และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคนที่คอยให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่กรุณาอบรมและสั่ง
สอนสิ่งต่าง ๆ ระหว่างการศึกษา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคนที่คอยให้ความสะดวก
ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่
และญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านการศึกษาดลอดมา รวมถึงขอขอบคุณ
เพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ปาริชาติ ราชมณี

ตุลาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	48
สรุป	48
ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	50
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก ข้อมูลขนาดผลมังคุดและข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆ	54
ภาคผนวก ข ข้อมูลค่าทางสถิติ	107
ภาคผนวก ค ความหมายของค่าต่างๆ	116
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางแสดงแนวแนววัยมั่งคุด	7
2	ข้อกำหนดเรื่องขนาดของมั่งคุด	12
3	ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยระหว่างมั่งคุดเนื้อปกติและมั่งคุดเนื้อแก้ว	31
4	เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยของเปลือกมั่งคุดด้านติดกับเมล็ดใหญ่และด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่	32
5	ค่าพื้นที่ได้กราฟเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลาของมั่งคุดเนื้อปกติ และมั่งคุดเนื้อแก้ว	34
6	ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการกำหนดระยะการกดที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	37
7	ค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดลงบนผิวมั่งคุด	37
8	การวิเคราะห์พารามิเตอร์จำแนกด้วยวิธี Enter ของมั่งคุดเนื้อปกติกับมั่งคุดเนื้อแก้วใช้พารามิเตอร์ คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ	39
9	ค่าทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์มั่งคุดปกติและมั่งคุดเนื้อแก้ว	39
10	การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมั่งคุดเนื้อปกติและมั่งคุดเนื้อแก้วใช้ทุกพารามิเตอร์ คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ	40
11	การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมั่งคุดเนื้อปกติกับมั่งคุดเนื้อแก้ว โดยเลือกค่าที่มีนัยสำคัญ จากตารางที่ 9	41
12	การวิเคราะห์พารามิเตอร์จำแนกด้วยวิธี Enter ของมั่งคุดเนื้อปกติกับมั่งคุดเนื้อแก้วใช้ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (แฟคเตอร์ Principal Component, PC) ค่าความแข็งเปลือก ความถ่วงจำเพาะ	42
13	ค่าทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์มั่งคุดปกติและมั่งคุดเนื้อแก้ว	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้วใช้ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (แฟคเตอร์ Principal Component, PC) ค่าความแข็งเปลือก ความถ่วงจำเพาะ	43
15	การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว โดยเลือกค่าที่มีนัยสำคัญ จากตารางที่ 12	44
16	การวิเคราะห์พารามิเตอร์จำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว	44
17	ค่าทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว	45
18	การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้วใช้ตัวแปร ไม่ทำลายและกึ่งทำลาย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ และแฟคเตอร์ PC) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ	46
19	การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว โดยเลือกค่าที่มีนัยสำคัญ จากตารางที่ 16	46
ตารางผนวกที่		
ก1	ข้อมูลขนาดที่วัดของมังคุดเนื้อปกติ (หน่วย : mm)	55
ก2	ข้อมูลขนาดที่วัดของมังคุดเนื้อแก้ว (หน่วย : mm)	61
ก3	ข้อมูลน้ำหนักของมังคุดเนื้อปกติ (หน่วย : g)	63
ก4	ข้อมูลน้ำหนักของมังคุดเนื้อแก้ว (หน่วย : g)	69
ก5	ค่าความถ่วงจำเพาะของมังคุดเนื้อปกติ	71
ก6	ค่าความถ่วงจำเพาะมังคุดเนื้อแก้ว	74
ก7	เปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกของมังคุดเนื้อปกติ	75
ก8	เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมังคุดเนื้อแก้ว	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก9	ค่าพื้นที่ใต้กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของมังคุดเนื้อปกติ	83
ก10	ค่าพื้นที่ใต้กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของมังคุดเนื้อแก้ว	89
ก11	ค่าความแข็งของเปลือกมังคุดเนื้อปกติ	91
ก12	ค่าความแข็งของเปลือกมังคุดเนื้อแก้ว	103
ข1	ค่านัยสำคัญของระยะลึกของแท่งให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลที่แทงลงไป ในเปลือก	108
ข2	ค่านัยสำคัญของเวลาของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก	109
ข3	การวิเคราะห์ตัวแปรจำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว โดยใช้ตัวแปร คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ	110
ข4	Structure Matrix โดยใช้ตัวแปร คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน เปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ	111
ข5	การวิเคราะห์ตัวแปรจำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว โดยใช้ตัวแปร คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์ Pricipal omponent) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ	112
ข6	Structure Matrix โดยใช้ตัวแปร คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน เปลือก (พารามิเตอร์ Pricipal omponent) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความ ถ่วงจำเพาะ	113
ข7	การวิเคราะห์ตัวแปรจำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว โดยใช้ตัวแปรไม่ทำลาย	114
ข8	Structure Matrix โดยใช้ตัวแปรไม่ทำลายและกิ่งทำลาย	115

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR	15
2	อุปกรณ์ SW-NIR สำหรับวัดคุณภาพมังคุด	16
3	ไดอะแกรมวัดคุณภาพมังคุดโดยใช้ Microwave moisture sensing	16
4	แสดงขนาดตัว probe	17
5	อุปกรณ์ในการทดลอง Ultrasonic test	18
6	ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์วัดค่าการนำความร้อนแบบ Probe	19
7	ส่วนประกอบของ DUAL NEEDLE HEAT-PULSE SENSOR	20
8	การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสั้นสุด (D_{min})	22
9	การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาวสุด (D_{max})	23
10	การวัดขนาดความสูง	23
11	การชั่งน้ำหนักในอากาศ (W_a)	24
12	การชั่งน้ำหนักในน้ำ (W_w)	24
13	แสดงรายละเอียดอุปกรณ์การวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือกมังคุด	26
14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของมังคุดเนื้อปกติ	26
15	เครื่องกด (LLOYD Instruments, รุ่น LR5K,UK)	27
16	การกดเปลือกมังคุด	28
17	กราฟแสดงค่าความแข็งเปลือกของมังคุดเนื้อปกติ	28
18	มังคุดเนื้อปกติ	29
19	มังคุดเนื้อแก้ว	29
20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของมังคุดเนื้อปกติ	33
21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของมังคุดเนื้อแก้ว	33
22	กราฟแสดงค่าความแข็งเปลือกของมังคุดเนื้อปกติ	36
23	กราฟแสดงค่าความแข็งเปลือกของมังคุดเนื้อแก้ว	36

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

D_{\max}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางยาวที่สุด
D_{\min}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางสั้นที่สุด
PC_3L	=	แฟกเตอร์ด้านเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร
PC_3S	=	แฟกเตอร์ด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร
WL_3	=	พื้นที่ใต้กราฟด้านเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร
WS_3	=	พื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร
ML	=	ความขึ้นด้านเมล็ดใหญ่
MS	=	ความขึ้นด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่
PC	=	Principal Component
LL	=	Load at Limit
WL	=	Work to Limit
MML	=	Maximum Load
WML	=	Work to Maximum Load
DML	=	Deflection at Maximum Load
SC	=	Specific Gravity

การศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือก

Investigation on Detection of the Translucence in Mangosteen by Measurement of Heat Transfer in Rind

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประชากรส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรและรายได้หลักของประเทศมาจากภาคเกษตรกรรม นอกเหนือไปจากการบริโภคสินค้าเกษตรกรรมภายในประเทศแล้ว การส่งออกสินค้าเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลไม้เศรษฐกิจต่างๆ ยังได้ส่งผลทำให้เกิดรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนไม่น้อย มังคุดเป็นผลไม้เมืองร้อนที่มีรสชาติดีและเป็นที่ยอมรับของชาวต่างประเทศว่าเป็นผลไม้เมืองร้อนที่มีรสชาติที่สุด จึงได้สมญานามว่าเป็น *ราชินีของผลไม้* (Queen of fruit) โดยรัฐบาลกำหนดให้เป็นสินค้าชนิดหนึ่งในกลุ่มเพื่อการส่งออกตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2529 – 2534 (กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) ในปัจจุบันมังคุดมีแนวโน้มการส่งออกมากขึ้นจึงเป็นผลไม้ที่ต้องเร่งรัดทำการวิจัยและพัฒนาเพื่อการส่งออก ซึ่งต้องมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงให้มีคุณภาพดี การส่งออกไปจำหน่ายมีทั้งรูปผลไม้สดและผลไม้แช่แข็ง ในปีพ.ศ. 2548 ประเทศไทยสามารถส่งออกมังคุดคิดเป็น มูลค่า 734 ล้านบาท แบ่งออกเป็นมังคุดผลสด 705 ล้านบาท มังคุดแช่แข็ง 29 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2549)

ปัญหาที่สำคัญในการจำหน่ายมังคุดทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดต่างประเทศคือคุณภาพของมังคุดที่ผลิตได้ไม่สม่ำเสมอ ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอ ทั้งนี้เกณฑ์คุณภาพของมังคุดส่งออกได้แก่ ผลต้องมีความสมบูรณ์ ปราศจากตำหนิและร่องรอยการทำลายของโรคและแมลง มีขนาดผลสม่ำเสมอ ไม่มีอาการผลแตก ไม่มีอาการก้น ผลจีบ มีสีนวลตามธรรมชาติ ภายในผลต้องไม่มีอาการเนื้อแก้วและยางไหล ดังนั้นถึงแม้ว่าลักษณะภายนอกของผลมังคุดจะสมบูรณ์ปราศจากร่องรอยแต่อาจจะมีคุณภาพที่ไม่ยอมรับก็ได้ถ้าปรากฏอาการเนื้อแก้วภายใน ซึ่งอาการเนื้อแก้วไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก อันเป็นปัญหาสำคัญ

ปัจจุบันยังไม่มีเทคนิคที่ดีหรือเครื่องมือที่ตรวจสอบคุณภาพมังคุดอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์หรือเป็นวิธีที่ต้องใช้เครื่องมือราคาสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้

ศึกษาวิธีการตรวจสอบมังคุดเนื้อแก้วจากสมบัติของเปลือก ซึ่งยังไม่มีการศึกษามาก่อนและเป็นวิธีที่ไม่ใช้เครื่องมือราคาสูง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันในเปลือกของมังกุคและพารามิเตอร์อื่นๆในการจำแนกมังกุคเนื้อแก้วกับมังกุคเนื้อปกติ
2. เพื่อให้ได้เทคนิคสำหรับคัดแยกมังกุคที่เป็นเนื้อแก้วโดยใช้การถ่ายเทความร้อนในเปลือก

การตรวจเอกสาร

1. มังคุด

1.1 ลักษณะทั่วไปของมังคุด

มังคุด (Mangosteen) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangosteen* L. อยู่ในวงศ์ Guttiferae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบคาบสมุทรมลายู และมักจะไม่พบในเขตอื่นนอกเหนือจากถิ่นกำเนิดนี้ มังคุดมีการปลูกเป็นการค้าอยู่ในประเทศไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ แม้จะมีการนำเข้าไปยังประเทศอื่น แต่ก็มักจะพบในปริมาณน้อย เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านสภาพนิเวศวิทยา

มังคุดเป็นไม้ผลยืนต้นที่ไม่มีการผลัดใบมีลำต้นตรง และกิ่งก้านสาขาแตกออกอย่างสมคูล มีทรงต้นเป็นแบบปิรามิด มังคุดเป็นพืชที่เจริญช้า เนื่องจากระบบรากของมังคุดพัฒนาไม่ดี ใบเป็นใบเดี่ยวที่อยู่ตรงข้ามกัน รูปไข่ ยาวรี หรือยาว ขอบใบเรียบ ใบค่อนข้างหนา สีเขียวเข้มหรือเหลือง อมเขียวทางด้านหลังใบ และสีเขียวเหลืองด้านท้องใบ ความยาวของใบประมาณ 10-12 เซนติเมตร และกว้าง 5-10 เซนติเมตร ก้านใบมีความยาว 1.5-2.1 เซนติเมตร ใบของมังคุดมีอายุได้หลายปี การแตกใบชุดใหม่เกิดขึ้นปีละ 1-2 ครั้ง ดอกของมังคุด อาจเกิดเป็นดอกเดี่ยว หรือเป็นกลุ่มที่ปลายยอด ดอกมีกลีบเลี้ยง 4 กลีบ และกลีบดอก 4 กลีบ มีอับละอองเกสรตัวผู้ขนาดเล็ก 16-17 อัน รังไข่มีรูปร่างค่อนข้างกลมแบ่งเป็น 4-8 ช่อง (locule)

ผลเป็นแบบ berry รูปร่างกลมรี หรือกลมแป้น ขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนักเฉลี่ย 75-100 กรัม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 3.5-7.0 เซนติเมตร มีเปลือกหนาประมาณ 0.8-1 เซนติเมตร ผลที่ยังอ่อนอยู่เมื่อถูกเสียดสีจะมียางเหลืองไหลออกมาที่ผิวเปลือก ส่วนของเนื้อที่รับประทานมีสีขาว ใน 1 ผล เนื้อมังคุดจะแบ่งออกได้เป็น 5-7 กลีบ ภายในมีเมล็ดที่อาจจะพัฒนาหรือไม่พัฒนา เมื่อผลสุกส่วนของเนื้อจะแยกออกจากเปลือกง่าย เนื้อมีความนุ่ม ฉ่ำน้ำ รสชาติหวานอมเปรี้ยว และมีกลิ่นหอมเล็กน้อย เมล็ดที่พัฒนาจะมีรูปร่างแบน มีเส้นใยโดยรอบ และขยายต่อไปถึงส่วนของเนื้อผลมังคุดส่วนใหญ่จะเจริญโดยไม่ได้รับการผสมเกสร (Parthenocarpic fruit) เมล็ดที่เกิดขึ้นมาจากเนื้อเยื่อ nucellus และมักจะมีไม่เกิน 2 เมล็ด/ผล ผลมังคุดอุดมไปด้วยวิตามิน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแคลเซียมและฟอสฟอรัส

มังคุดเป็นพืชที่เจริญได้ดีในเขตพื้นที่ที่อุณหภูมิสม่ำเสมอ คืออยู่ช่วงประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส การปลูกมังคุดในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส หรือความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเฉพาะตัวของมังคุดจะไม่ชอบอากาศหนาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูที่มีการออกดอก หากกระทบกับความหนาวจะทำให้การออกดอกชะงักงัน สภาพของดินที่เหมาะสมคือ ดินที่ค่อนข้างเป็นกรด มี pH ประมาณ 5.5 จะทำให้มังคุดเจริญเติบโตได้ดีที่สุด มังคุดเป็นผลไม้ที่ต้องการน้ำมาก โดยเฉพาะในขณะที่ต้นมังคุดยังเล็กอยู่จะขาดน้ำไม่ได้เลย (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

1.2 พันธุ์มังคุด

มังคุดที่มีปลูกกันอยู่ในปัจจุบันนั้นมีเพียงพันธุ์เดียวคือ พันธุ์พื้นเมือง เนื่องจากมังคุดเป็นไม้ผลชนิดเดียวที่ไม่มีการกลายพันธุ์ จึงยังคงสภาพพันธุ์เดิมเอาไว้ได้มาจนถึงปัจจุบัน จากการที่ได้มีผู้ศึกษาและให้ความสังเกตอย่างใกล้ชิด พบว่าพันธุ์มังคุดยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ มังคุดเมืองนนท์ และมังคุดปักษ์ใต้ ซึ่งมังคุดทั้งสองนี้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดหลายลักษณะ

1.2.1 มังคุดเมืองนนท์ ลักษณะโดยทั่วไปของใบค่อนข้างเรียวย ผลมีขนาดเล็กกว่าส่วนของขั้วผลจะเล็กยาว เปลือกผลค่อนข้างบาง สีของกลีบที่ปลายขั้วผลมีสีแดง ผลเมื่อสุกจะมีสีม่วงดำ ให้คุณภาพของเนื้อดี

1.2.2 มังคุดปักษ์ใต้ ลักษณะของใบอ้วนและป้อม ผลมีขนาดใหญ่กว่ามังคุดเมืองนนท์ ให้น้ำหนักผลดี ขั้วผลสั้น เปลือกหนา กลีบที่ปลายขั้วผลมีสีเขียวเข้ม ผลเมื่อสุกจะมีสีแดงอมชมพู ผลจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงได้ช้ากว่ามังคุดเมืองนนท์

อย่างไรก็ตามความแตกต่างของมังคุดทั้งสองพันธุ์นี้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเข้าใจว่าอาจเกิดจากหลายสาเหตุ โดยเฉพาะทางด้านสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะดิน ความสมบูรณ์ของดิน ปริมาณของน้ำ อุณหภูมิ ความชื้น อาจเป็นตัวชักนำที่อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้ในมังคุดที่ปลูกในแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน (สมศักดิ์, 2541)

1.3 การเปลี่ยนสีของผลมังคุด

ผลมังคุดเมื่อเข้าระยะแก่จะมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านการเจริญเติบโต และสีผิวของผลอยู่ตลอดเวลาจนกระทั่งถึงระยะผลสุก การเปลี่ยนแปลงของผลมังคุดในระยะดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ระยะ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีผิวของผลได้ดังนี้

1.3.1 ระดับสีที่ 0 ลักษณะผลมีสีเขียวอมเหลืองสม่ำเสมอ หรือมีสีเขียวอมเหลืองเต็มด้วยสีเขียวอ่อนหรือจุดสีเทา มียางสีเหลืองภายในเปลือกในระดับรุนแรงมาก เนื้อและเปลือกไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ผลมังคุดที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้ ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนสีไปเป็นระดับสีที่ 6 ก็ตาม แต่ผลที่ได้จะมีรสชาติไม่ดี

1.3.2 ระดับสีที่ 1 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมเขียว มีจุดสีชมพูกระจายอยู่บางส่วนของผิวผล ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่ในระดับรุนแรง เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ผลที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้ ถึงแม้จะเปลี่ยนสีไปเป็นระดับที่ 6 แต่ผลที่ได้จะรสชาติไม่ดีเช่นกัน

1.3.3 ระดับสีที่ 2 ผลมีสีเหลืองอ่อนชมพู มีสีชมพูกระจายไปทั่วทั้งผล ยางภายในเปลือกยังมีอยู่ในระดับปานกลาง การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ยากถึงปานกลาง เป็นระยะอ่อนที่สุดสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลที่มีคุณภาพ

1.3.4 ระดับสีที่ 3 ผลมีสีชมพูสม่ำเสมอ ประสีชมพูเริ่มขยายเข้ามาร่วมกันไม่แบ่งแยกกันอย่างชัดเจนเหมือนในระดับสีที่ 2 ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่น้อยถึงน้อยมากการแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกปานกลาง เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวผลเพื่อส่งออกต่างประเทศ

1.3.5 ระดับสีที่ 4 ผลสีแดงหรือน้ำตาลอมแดง บางครั้งมีแต้มสีม่วง ยางภายในเปลือกมีน้อยมากจนถึงไม่มีเลย การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกดีมากเหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกต่างประเทศเป็นระยะที่เกือบจะรับประทานได้

1.3.6 ระดับสีที่ 5 ผลมีสีม่วงภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่รับประทานได้

1.3.7 ระดับสีที่ 6 ผลมีสีม่วงหรือม่วงเข้มจนถึงดำ ซึ่งบางครั้งพบว่ามีสีม่วงปนอยู่เล็กน้อยภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่เหมาะสมแก่การรับประทาน (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ตารางแนบแนววัย (ชั้น) ของผลมังคุดสำหรับการเก็บเกี่ยว และเพื่อรับประทานให้อร่อยที่สุด

ตารางที่ 1 ตารางแสดงแนบแนววัยของผลมังคุด : แต่ละชั้นของแนบแนววัย 1-4 จะมีระยะเวลาแตกต่างกันประมาณหนึ่งวัน ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส

ชั้นที่	ลักษณะภายนอก	คุณภาพผล
0	ผลอ่อนเกินไปสีเขียว	: ผลที่มีสีเขียวทั้งผล เป็นผลอ่อนเกินไป ห้ามเก็บเกี่ยวโดยเด็ดขาด ผลอ่อนนี้จะมีคุณภาพด้อยมาก ไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับการบริโภค
1	ผลมีสายเลือด (เกิดจุดแต้มหรือประสีม่วงแดง)	: ชั้นนี้แสดงถึงสัญลักษณ์ของวัยที่เหมาะสมต่อการบริโภค เพราะเนื้อยังติดเปลือก และเหมาะต่อการส่งไปจำหน่ายยังตลาดห่างไกล ผลมังคุดในระยะที่มีสายเลือดนี้จะใช้บริโภคภายใน 3-4 วัน หลังการเก็บเกี่ยว
2	ผลมีการเปลี่ยนสี	: ผลสีน้ำตาลแดงเรื่อยๆ เกือบทั้งผล ผลในระยะนี้จะต้องทำการเก็บเกี่ยวให้หมดไม่ควรละเลยหรือปล่อยให้มียังมากกว่านี้
3	ผลมีสีน้ำตาลแดง	: ผลระยะนี้อาจจะใช้บริโภคได้ แต่เปลือกยังมียางสีเหลืองอยู่บ้าง
4	ผลมีสีม่วงแดง	: ระยะนี้ใช้บริโภคได้
5	ผลมีสีม่วงเข้มหรือม่วงดำ	: ระยะที่เหมาะสมต่อการรับประทานให้อร่อยมากที่สุด ผลมังคุดระยะนี้จะมีสภาพที่เหมาะสมต่อการรับประทาน อยู่ได้ประมาณ 10 วัน ถ้ามีการเก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิห้องอย่างถูกต้อง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

1.4 การเก็บเกี่ยวผลมังคุด

การเก็บเกี่ยวผลมังคุดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมาก ในด้านคุณภาพของผลผลิต การทำให้มังคุดได้รับความกระทบกระเทือนหรือชอกช้ำ เช่น หล่นกระทบพื้นจะทำให้คุณภาพของ

ผลมังคุดเสื่อมไป อาการที่มักปรากฏบ่อย ๆ ได้แก่ เปลือกของผลแข็งเนื้อขุ่นเป็นแก้ว เป็นผลให้การจำหน่ายไม่ได้ราคา

อายุของผลมังคุดที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว หลังจากที่มีมังคุดเริ่มติดผลแล้ว จะใช้ระยะเวลาประมาณ 11-12 สัปดาห์ (77-84 วัน) มังคุดก็จะมี ความแก่พร้อมที่จะทำการเก็บผลได้ ลักษณะของผลที่แก่แล้วเต็มที่นี่ จะสังเกตได้จากเส้นสีแดง ๆ หรือที่เรียกกันว่าสายเลือดปรากฏขึ้นตามบริเวณผิวเปลือกภายนอกของผล จำนวนของเส้นดังกล่าวนี้ จะมีมากขึ้นอยู่กับความแก่ของผลมังคุดนอกจากนี้อาจจะสังเกตได้จากการหลุดของขั้วผล ผลมังคุดที่แก่เต็มที่จะทำการผลิตผลหรือสอยผลจะหลุดตรงบริเวณปลิงของขั้วผลพอดี แตกต่างไปจากผลที่ยังไม่แก่ ซึ่งจะไม่เป็นในลักษณะดังกล่าวนี้

วิธีการรักษา ผลมังคุดที่สามารถนำมาเก็บรักษาไว้นานที่สุดนั้นจะต้องเป็นมังคุดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวผลจากต้นในระยะเวลาที่เหมาะสม นั่นก็คือผลมังคุดที่จะทำการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออกต่างประเทศควรเลือกเก็บผลที่มีสีชมพูสุ่ม่าเสมอหรือผลที่เริ่มมีสายเลือด และในขณะที่เก็บเกี่ยวจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวังให้ผลมังคุดได้รับความกระทบกระเทือนน้อยที่สุด

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลมังคุด คือ 13 องศาเซลเซียส ควรบรรจุผลในถุงพลาสติกเจาะรู ถ้าเก็บรักษาผลมังคุดไว้สภาพที่เหมาะสม แล้วก็จะได้มังคุดที่มีสภาพดี อยู่ได้ถึง 4 สัปดาห์ (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

1.5 ลักษณะความผิดปกติของผลมังคุด (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ปัญหาที่สำคัญที่สุดของมังคุดคือ ปัญหาเรื่องของผลมังคุดไม่ได้คุณภาพ เนื่องจากการขาดการบำรุงรักษา และปัญหาการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตมีปัญหาบางประการที่ลดคุณภาพของผลมังคุด

1.5.1 เปลือกแข็ง ในการเลือกซื้อมังคุดนั้นเรามักจะเลือกโดยการบีบดูผลที่เปลือกนิ่ม ผลที่เปลือกแข็งเป็นไต บีบไม่ลงทั้งผลหรือบางส่วน ซึ่งผลที่แข็งนี้เมื่อผ่าดูด้านใน เนื้อจะเสียเป็น ส่วนๆ หรือถ้าเป็นมากผลที่เปลือกแข็งนี้จะแข็งเป็นหินผ่าไม่ออกเลย ผลที่เก็บไว้นานเกินก็จะมีเปลือกแข็งเช่นนี้เช่นกัน

1.5.2 ผลบวบ ลักษณะจะพบผิวเปลือกของมังคุดด้านใดด้านหนึ่งบวมหรือยุบเข้าไปข้างในเป็นรอยบวม ซึ่งเกิดจากการกระแทกจากการสอยหล่นหรือจากการกระทบกันในภาชนะระหว่างการขนส่งที่ไม่ระมัดระวัง

1.5.3 เนื้อแก้ว โดยปกติเนื้อมังคุดจะมีลักษณะนุ่มและมีสีขาวขุ่น ส่วนเนื้อมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วจะใส มีลักษณะน้ำนํ้าอยู่ภายใน เนื้อมีความกรอบ รสชาติค่อนข้างจัด อาการเนื้อแก้วมักจะเกิดกับกลีบเนื้อหรือกลีบที่มีเมล็ดและลูกกลมไปยังกลีบข้างเคียง ถ้าอาการรุนแรงอาจจะสังเกตได้จากภายนอก คือ ผิวเปลือกจะมีรอยร้าวตามแนวนอน ถ้ารอยร้าวนี้ยาว เนื้อแก้วในผลนั้นจะมีมาก หากอาการเนื้อแก้วเกิดเพียงเล็กน้อยอาจไม่พบอาการผิดปกติใดๆ บนผิวผลเลย ถ้าเป็นไม่มากบางคนอาจจะชอบรับประทานเพราะเนื้อจะกรอบกว่าเนื้อมังคุดทั่วไป แต่ถ้าเป็นทั้งผลจะทำให้มังคุดเสียคุณภาพอาจทำให้เปลือกแข็ง ถือว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้วนี้เป็นมังคุดเสีย และต้องคัดออกถ้าส่งต่างประเทศ

1.5.4 ผลแตก ในแปลงมังคุดที่เก็บเกี่ยวผลโดยการสอยให้ตกกระแทกพื้น มักจะพบผลที่มีลักษณะแตกร้าวเป็นรอย ซึ่งนอกจากจะทำให้ผลเสียคุณภาพแล้ว ยังทำให้เชื้อราเข้าทำลายเนื้อมังคุดภายในได้อีกด้วย

1.5.5 ยางไหล มี 2 ชนิด คือ ยางไหลภายนอก และยางไหลภายใน

ก. ยางไหลภายนอก ที่ผิวของผลจะมียางสีเหลืองปูดขึ้นมาเกาะเป็นก้อนอยู่ที่ผิว อาการยางไหลมีมากน้อยต่างกันไป บางลูกอาจจะมียางไหลเพียงจุดเดียวขณะที่บางลูกมียางไหลเป็นรอบไปที่ผิวเกือบทั้งลูก สาเหตุยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่สันนิษฐานว่าเกิดจากการทำลายของไร เพลี้ยไฟ หรือแมลงวันทอง แมลงพวกนี้ทำให้เกิดแผลแล้วจะมียางไหลออกมา แต่ก็ยังไม่มีการทดลองยืนยัน ผลที่มียางไหลนี้ไม่มีผลทำความเสียหายต่อภายในผล เพียงแต่ปิดออกด้วยแปรงก็สามารถส่งไปขายได้ แต่ทำให้เสียเวลาในการทำและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และผลมีผิวไม่สวยเท่าที่ควร

ข. ยางไหลภายใน สาเหตุที่แท้จริงยังไม่ทราบ แต่จากการสังเกตพบว่ามังคุดที่ตกจากต้นโดยการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกวิธี โดยเก็บระยะผลที่ค่อนข้างอ่อนก็จะมีโอกาสเกิดยางไหลภายในผลมังคุดต้นที่ไม่ค่อยสมบูรณ์ก็มีอาการยางไหลภายในอีกลักษณะหนึ่งเพราะท่อน้ำเลี้ยงของผลภายในแตก ยางซึ่งขณะผลกำลังอ่อนก็จะออกมาทำให้เกิดอาการดังกล่าว

1.5.6 ผลกร้านหรือซีกกลาง จะมีอาการเกิดเป็นปื้นหรือแถบสีน้ำตาลบางๆ เกิดขึ้นบนผิวของผลมังคุด อาการผลกร้านนี้พบตั้งแต่เริ่มติดผลที่อยู่บนต้นจนกระทั่งผลแก่ อาการผลกร้านหรือซีกกลาง เกิดจากการทำลายของเชื้อไฟและไรแดง

1.6 มาตรฐานคุณภาพมังคุด (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : มังคุด มกอช. 2-2546)

1.6.1 นิยามของผลิตผล

มาตรฐานนี้ใช้กับ “มังคุด” (Mangosteen) พันธุ์ที่ผลิตเป็นการค้าซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า “*Garcinia mangostana* L.” อยู่ในวงศ์ Guttiferae สำหรับการบริโภคสด

1.6.2 ข้อกำหนดเรื่องคุณภาพ

ก. คุณภาพขั้นต่ำ มังคุดทุกชั้นมาตรฐานต้องมีคุณภาพดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะมีข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละชั้นและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามที่ระบุไว้

- 1.) เป็นมังคุดทั้งผล
- 2.) มีกลีบเลี้ยง (Calyx) และขั้วผล (Pedicel)
- 3.) ผลมีความสด
- 4.) ไม่แตกร้าว และไม่เน่าเสีย
- 5.) สะอาดและปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
- 6.) ไม่มีศัตรูพืช ที่มีผลกระทบต่อรูปลักษณะทั่วไปของผลิตผล
- 7.) ไม่มีความเสียหายของผลิตผลเนื่องจากศัตรูพืชหรือสาเหตุอื่นที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อมังคุด
- 8.) ปลอดภัยจากความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหรืออุณหภูมิสูง
- 9.) ปลอดภัยจากกลิ่นและรสชาติแปลกปลอม หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง
- 10.) สามารถผ่าเปลือกผลได้ง่ายและสามารถแยกเนื้อออกจากเปลือกได้

ผลมังคุดต้องแก่ระยะสายเลือด (ผิวเปลือกเกิดจุดแต้มหรือปะสีม่วงแดง) เป็นอย่างน้อย เพื่อให้สามารถพัฒนาเป็นผลสุกต่อไปได้ และอยู่ในสภาพที่ยอมรับได้เมื่อถึงปลายทาง

ข. การแบ่งชั้นคุณภาพ มังคุดตามมาตรฐานนี้ แบ่งเป็น 3 ชั้นคุณภาพดังนี้

- 1.) ชั้นพิเศษ (“Extra” Class) มังคุดในชั้นนี้มีคุณภาพดีที่สุด มีกลิ่นดีและ
 ขั้วผลสมบูรณ์ ผลมีตำหนิได้เล็กน้อย ที่ไม่สามารถมองเห็น ได้ชัดเจน และไม่มีผลกระทบต่อ
 คุณภาพในด้านรูปลักษณะทั่วไปของผล รวมทั้งต่อคุณภาพภายใน ต่อคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา
 และการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ มีเนื้อแก้ว ยางไหลในผลได้ไม่เกินร้อยละ 5 ของจำนวนผล
 ทั้งหมด ของรุ่นที่ส่งมอบ
- 2.) ชั้นหนึ่ง (Class I) มังคุดในชั้นนี้มีคุณภาพดี ผลมีตำหนิได้เล็กน้อย แต่
 ตำหนิโดยรวมต่อผลมีพื้นที่ไม่เกินร้อยละ 30 ของพื้นที่ผิว และตำหนิดังกล่าวไม่มีผลต่อเนื้อมังคุด
 รูปลักษณะทั่วไปของผล รวมทั้งต่อคุณภาพภายใน ต่อคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา และการจัดเรียง
 เสนอในภาชนะบรรจุ มีเนื้อแก้ว ยางไหลในผลได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของจำนวนผลทั้งหมดของรุ่นที่
 ส่งมอบ
- 3.) ชั้นสอง (Class II) ชั้นนี้รวมผลมังคุดที่ไม่เข้าชั้นชั้นที่สูงกว่า แต่มี
 คุณภาพชั้นต่ำตามข้อ 2.1 มีเนื้อแก้ว ยางไหล ในผลได้ไม่เกินร้อยละ 20 ของจำนวนผลทั้งหมดของ
 รุ่นที่ส่งมอบ

ค. ข้อกำหนดเรื่องขนาด

ขนาดของผลจะพิจารณาจากน้ำหนัก หรือเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดตาม
 แนวทางขวางของผลมังคุดตามตาราง 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดเรื่องขนาดของมังคุด

รหัสขนาด	น้ำหนัก (กรัม)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
1	> 125	> 62
2	101 - 125	59 - 62
3	76 - 100	53 - 58
4	51 - 75	46 - 52
5	30 - 50	38 - 45

ที่มา: มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2546)

ง. ข้อกำหนดเรื่องเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพและขนาดที่ยอมรับไม่ได้ในแต่ละ
ภาชนะบรรจุ สำหรับผลิตภัณฑ์ไม่เข้าชั้นที่ระบุไว้มีดังนี้

1.) เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพ

ชั้นพิเศษ (“Extra” Class) ไม่เกินร้อยละ 5 โดยจำนวนหรือน้ำหนักของ
ผลมังคุด ที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นพิเศษ แต่เป็นไปตามคุณภาพชั้นหนึ่ง หรือ
คุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคุณภาพชั้นหนึ่งปนมาได้ ยกเว้นผลที่มีร่องรอยของผิว
ลายอันเนื่องมาจากศัตรูพืช

ชั้นหนึ่ง (Class I) ไม่เกินร้อยละ 10 โดยจำนวนหรือน้ำหนักของผล
มังคุด ที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นหนึ่ง แต่เป็นไปตามคุณภาพชั้นสอง หรือคุณภาพ
ยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคุณภาพชั้นสอง

ชั้นสอง (Class II) ไม่เกินร้อยละ 10 โดยจำนวนหรือน้ำหนักของผล
มังคุด ที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดชั้นสอง หรือไม่ได้คุณภาพขั้นต่ำ โดยไม่มีผลเน่าเสีย

2.) เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องขนาด

มังคุดทุกชั้นมีผลมังคุดขนาดที่ใหญ่หรือเล็กกว่าชั้นถัดไปหนึ่งชั้นปลงมาได้ไม่เกินร้อยละ 10 โดยจำนวนหรือน้ำหนัก

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วในมังคุด

อาการเนื้อแก้วของมังคุด คือ การที่เนื้อของมังคุดมีการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวขุ่นเป็นใส และจากเนื้อที่อ่อนนุ่มเป็นแข็ง ซึ่งอาการดังกล่าวไม่สามารถตรวจสอบจากภายนอกได้เสมอไป (ศรียนต์, 2529) อาการเนื้อแก้วมักเกิดกับเมล็ดใหญ่ที่สุดในผล และมักพบอาการเนื้อแก้วร่วมกับอาการเปลือกแตกในมังคุดเมื่อมีฝนตกชุกระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยว

เนื้อมังคุดประกอบด้วยเซลล์พารินโคมา และพบช่องว่างระหว่างเซลล์ขนาดใหญ่ ในเนื้อผลมังคุดปกติมีอากาศแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จึงทำให้เนื้อผลมีสีขาวเช่นเดียวกับน้ำแข็ง ที่มีฟองอากาศแทรกอยู่ จะเห็นเป็นสีขาวขุ่น ในขณะที่เนื้อแก้วได้รับน้ำเข้ามากเกินไปจนทำให้เซลล์แตก น้ำจึงเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์ทำให้เห็นเนื้อผลใสเหมือนกับน้ำแข็งที่ไม่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายใน

การศึกษาข้อมูลทางภูมิอากาศต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วของมังคุด พบว่า จำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วและความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในช่วงที่เก็บเกี่ยวผลมังคุด คือ ถ้าปริมาณฝนมากพบจำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วและอาการรุนแรงมากด้วย และการให้น้ำเพิ่มจากการให้น้ำแบบปกติ มีแนวโน้มว่าทำให้มีจำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วมากกว่าต้นที่ให้น้ำแบบปกติ (ศรีสังวาลย์, 2537)

การศึกษาอิทธิพลของน้ำต่อการเกิดลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลมังคุด พบว่า การให้น้ำเหนือทรงพุ่ม ทำให้เกิดอาการเนื้อแก้วมากกว่าการให้น้ำเฉพาะใต้ทรงพุ่ม และพบอีกว่า ผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วมีปริมาณอากาศในเนื้อผลน้อยกว่าเนื้อปกติ 15 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.02 ของปริมาตรเนื้อมังคุด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำในเนื้อผล พบว่าเนื้อแก้วมีปริมาณน้ำในเนื้อผลมากกว่าเนื้อปกติร้อยละ 1.21 แสดงให้เห็นว่าน้ำได้เข้าไปแทนที่อากาศในเนื้อมังคุด จึงทำให้เนื้อมังคุดมีลักษณะใส ส่วนความแน่นเนื้อของเนื้อแก้วสูงเป็น 3 เท่าของเนื้อปกติ (วรภัทร, 2539)

นอกจากนั้นคณะวิจัยยังพบว่า อาการเนื้อแก้วส่วนใหญ่มักพบกับเมล็ดใหญ่ที่สุดในผล หากเป็นทั้งผลจะพบว่า เปลือกผลจะบางกว่าปกติ และมีอาการน้ำน้ำ และบริเวณก้นผลจะมีวงสีเข้มกว่าสีผล บริเวณอื่นๆและปริมาณน้ำในเปลือกผลยังมีความสัมพันธ์กับอาการเนื้อแก้วที่ $R^2 = 0.67$

ลักษณะของมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้วมีความแตกต่างกัน พบว่ามังคุดเนื้อแก้วมีความชื้นในเปลือก (65%) มากกว่ามังคุดเนื้อปกติ (63%) ความถ่วงจำเพาะของมังคุดเนื้อแก้วจะมีค่ามากกว่า 1 และมังคุดเนื้อปกติจะมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 ความถ่วงจำเพาะและการแตกของเปลือกตามธรรมชาติสามารถใช้แยกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ มังคุดเนื้อแก้วจะมี soluble solids concentration และเปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดต่ำกว่ามังคุดเนื้อปกติ (Pankasemsuk et al., 1996)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดคุณภาพของมังคุด

ธนัชชัย (2534) วัดคุณภาพของผลมังคุดโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) ของผล พบว่าผลมังคุดที่จมน้ำมี ถ.พ. เฉลี่ย 1.01 เป็นผลมังคุดเนื้อแก้วร้อยละ 75.13 ส่วนผลที่ลอยน้ำมี ถ.พ. เฉลี่ย 0.95 เป็นผลมังคุดเนื้อปกติ ร้อยละ 90.68 การหาความถ่วงจำเพาะของผลโดยวิธีการแทนที่น้ำคำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ความถ่วงจำเพาะผล (ถ.พ.)} = \frac{\rho_{\text{fruit}} (\text{g} / \text{cm}^3)}{\rho_{\text{water}} (\text{g} / \text{cm}^3)}$$

$$\rho_{\text{fruit}} = \text{ความหนาแน่นของผล (g/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_{\text{water}} = \text{ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{ความหนาแน่นของผล} = \frac{\text{weight(g)}}{\text{volume(cm}^3\text{)}}$$

$$\text{ความหนาแน่นของน้ำ} = 1$$

ชูศักดิ์ และคณะ (2543) วัดคุณภาพของผลมังคุดโดยวิธีการวัดทางไฟฟ้า 2 วิธี คือ

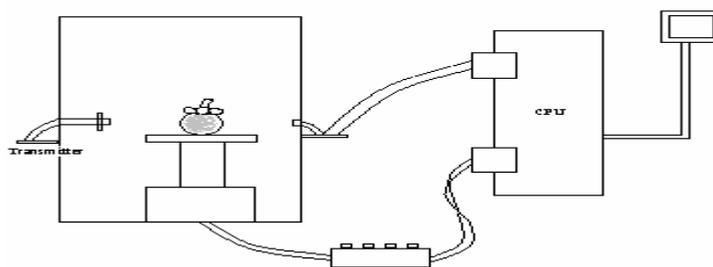
วิธีวัดสัญญาณอุตสาหกรรม

วิธีการวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ โดยนำเทคนิคของการวิเคราะห์สัญญาณ

แบบการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปกตรัม

และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการคัดแยกแบบลอยน้ำ ซึ่งผู้วิจัยพบว่า วิธีการวัดสัญญาณ อุตร้าซาวด์ ไม่สามารถนำมาใช้ในการคัดแยกได้ วิธีการวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ โดยนำเทคนิคของการวิเคราะห์สัญญาณแบบการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปกตรัมให้ผลการคัดแยกที่ดี มีความถูกต้องในการคัดแยกได้ 71.1 %

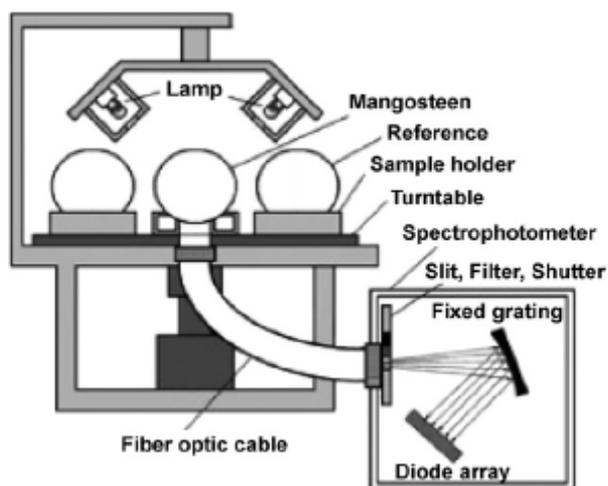
สุรเชษฐ์ และ เอกพงษ์ (2540) วัดคุณภาพของผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR (ดังภาพที่ 1) ใช้ไดโอดเปล่งแสงความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ยิงทะลุผ่านผลมังคุดโดยทำการตรวจสอบรอบ ๆ ผลเพื่อหาจุดที่คุณภาพไม่ดี จากนั้นนำไฟโอดีโอดมารับสัญญาณที่ออกจากมังคุดแล้วนำสัญญาณที่ได้นี้ไปประมวลผล ซึ่งรูปแบบสัญญาณของรังสีที่ผ่านผลมังคุดแล้วหักเห และดูดซึมพลังงานตามความแข็งของเนื้อมังคุดที่ได้จะมีความแตกต่างกัน ทดสอบกับมังคุดจำนวน 30 ผล สามารถแบ่งแยกเนื้อมังคุดที่แข็งได้ถูกต้องประมาณ 70 %



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR

ที่มา: สุรเชษฐ์ และ เอกพงษ์ (2540)

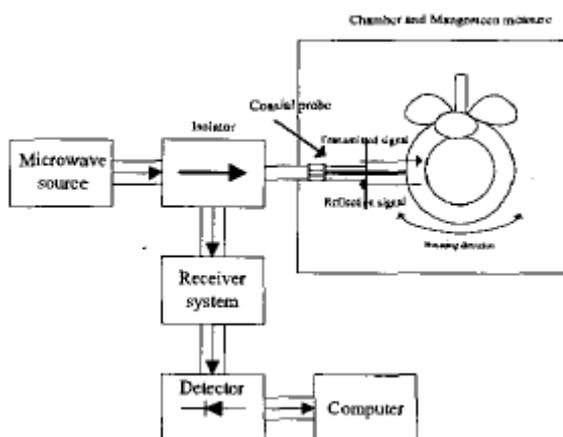
Teerachaichayut et al. (2007) การวัดคุณภาพแบบไม่ทำลายและเทคนิคการประเมินค่าข้อมูลเพื่อไปทำนายมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ความยาวคลื่นสั้นใกล้อินฟราเรด (SW-NIR) สภาวะที่ดีในการตรวจสอบจะใช้เวลา 78 ms ที่แหล่งกำเนิดแสง 200 วัตต์ (ดังภาพที่ 2) การตรวจสอบโดยใช้ SW-NIR มังคุด 193 ผล สามารถดูดซับความยาวคลื่นได้ที่ 640 ถึง 980 นาโนเมตร ที่ผิวมังคุดทั้งหมด 4 จุดแต่ละผล จากการทดสอบผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม มีความถูกต้องที่ 92.0% ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องในการตรวจสอบมังคุดเนื้อแก้ว จากการศึกษาี้แสดงว่า SW-NIR สามารถใช้ในการทำนายการตรวจสอบมังคุดเนื้อแก้วโดยไม่ทำให้มังคุดเสียหาย



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ SW-NIR สำหรับวัดคุณภาพมังคุด

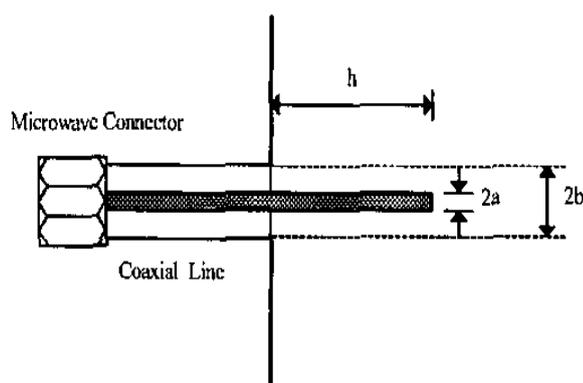
ที่มา: Teerachaichayut et al. (2007)

Tonglearm et al. (2004) วัดคุณภาพมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ Microwave moisture sensing (ดังภาพที่ 3) ซึ่งใช้ความถี่ที่ 2.45 GHz ตัว probe (ดังภาพที่ 4) มีขนาด $h = 30.6$ mm, $a = 3$ mm, $b = 7$ mm ทดลอง 4 จุด และมีตัวรับสัญญาณ ทำการทดลอง 67 ผล ผลจากการทดลองพบว่ามีความถูกต้องร้อยละ 79 %



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมวัดคุณภาพมังคุดโดยใช้ Microwave moisture sensing

ที่มา: Tonglearm et al. (2004)



ภาพที่ 4 แสดงขนาดตัว probe

ที่มา: Tonglearm et al. (2004)

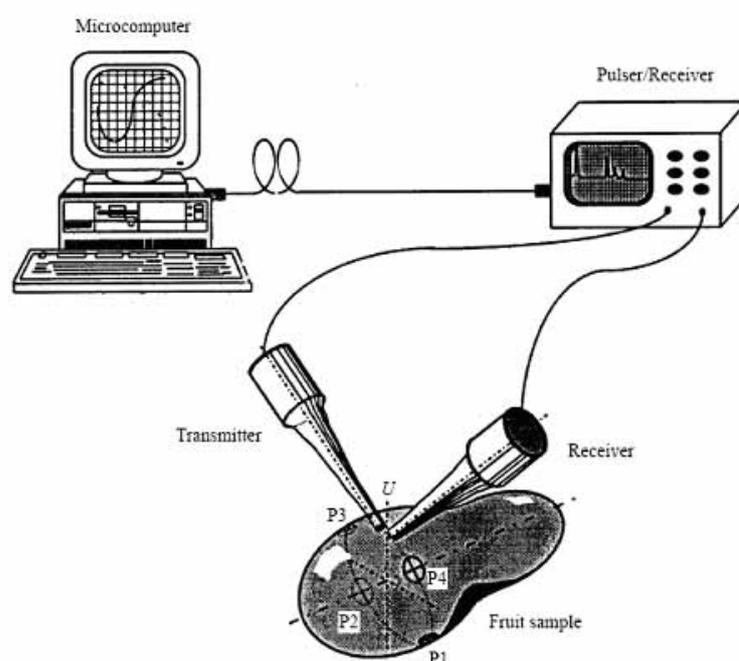
4. งานวิจัยที่นำการวัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ไปประยุกต์ใช้

Camps et al. (2005) ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของแอปเปิ้ลจากการทดสอบการกด โดยทดสอบด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ใช้หัวกดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร กดลึกลงไป 10 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 3.3 มิลลิเมตรต่อวินาที ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการกด ซึ่งคณะผู้วิจัยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 แบบ คือ ใช้ค่าพารามิเตอร์ 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ แรงสูงสุดในการกด, ระยะการกด, ความชัน, งานสูงสุด, แรงหลังจากการกด, งานหลังจากผิวแตก แบบที่สอง ใช้ข้อมูลทั้งหมด 300 ค่า โดยที่ทดสอบทั้งแอปเปิ้ลสดและแอปเปิ้ลที่เก็บในห้องเย็น และนำข้อมูลไปทดสอบการจำแนกกลุ่มด้วยวิธีการวิเคราะห์กลุ่ม (discriminant analysis) พบว่า ใช้พารามิเตอร์ 6 พารามิเตอร์มีความถูกต้องที่ 92% ส่วนที่ใช้ข้อมูลทั้งหมด 300 ค่า มีความถูกต้องที่ 87%

Batu (2004) ศึกษาหาค่าความแน่นเนื้อและสีของมะเขือเทศเพื่อบอกถึงคุณภาพของมะเขือเทศ ค่าความแน่นเนื้อ ใช้เครื่อง Instron Universal Testing Machine รุ่น 1122 ใช้หัวกดแบบหัวแบนเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อวินาที จากการทดสอบพบว่า ความแน่นเนื้อของมะเขือเทศแบ่งออกเป็น 2 ประการที่เป็นไปได้ คือ ค่าความแน่นเนื้อของมะเขือเทศสำหรับขายที่ตลาด อยู่ที่ประมาณ 1.45 นิวตันต่อมิลลิเมตร ส่วนค่าความแน่นเนื้อของมะเขือเทศสำหรับใช้ที่บ้านจะสูงกว่า 1.28 นิวตันต่อมิลลิเมตร

Mizrach et al. (1996) ได้ศึกษาการใช้เทคนิค Ultrasonic ในการประเมินคุณภาพของผลอะโวคาโด และสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Ultrasonic parameter กับ maturity factors โดยใช้ ผลอะโวคาโด ที่เก็บจากสวนต่างๆ และมีระยะความสุกที่แตกต่างกัน โดยแบ่งผลอะโวคาโดออกเป็น 3

ชุด ชุดละ 140 ผล ชุดที่ 1 หาความสัมพันธ์ระหว่าง Ultrasonic parameter, firmness และ เวลา อีก 2 ชุดใช้เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ที่ได้ นำผลอะโวคาโด ไปทำ pre-cooling และคัดขนาด ชุดที่ 1 และ 2 เก็บที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชุดที่ 3 เก็บที่สภาวะเดียวกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้น ย้ายไปเก็บที่ห้องทดลองที่สภาวะ 20°C, ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % เพื่อทำการทดลอง สำหรับการ ทดสอบ Firmness penetrometer test ทำการทดสอบทุก 2 วัน โดยเรียงลำดับจาก P₁ ถึง P₄ แล้วนำ ค่าที่ได้มาผ่านกระบวนการ Time shifting ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าขณะเก็บรักษา คลิ่นส่งผ่าน Avocado มีความเข้มมากขึ้น ในขณะที่ความแน่นเนื้อลดลง ($R^2 = 0.9563$) และได้ สมการความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อ, F (N) และ attenuation, A(dB/mm) คือ $F = -19.048A + 130.17$ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 อุปกรณ์ในการทดสอบ Ultrasonic test

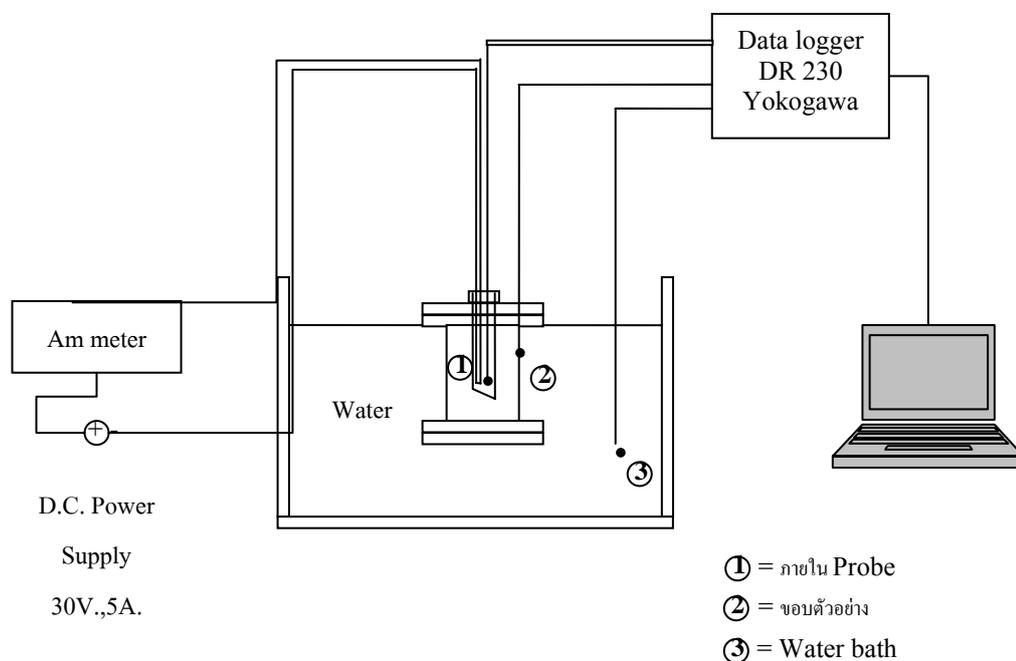
ที่มา: Mizrach et al. (1996)

Konopacka and Plocharski (2004) ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับการ ทดสอบทางประสาทสัมผัส ทดสอบกับแอปเปิ้ล 3 พันธุ์ (Elstar, Jonagold และ Gloster) ทดสอบที่ 3 สภาวะ คือ สภาวะปกติ สภาวะ controlled atmosphere (CA) (5% CO₂ : 3% O₂) และ สภาวะ CA (1.5% CO₂ : 1.5% O₂) ทดสอบความแน่นเนื้อด้วย Magness-Taylor test (Instron รุ่น 4303) กดลึกลง ไป 8 mm ด้วยความเร็ว 100 mm/min พบว่า แอปเปิ้ลพันธุ์ Jonagold และ Gloster ที่เก็บในสภาวะ

CA มีค่าความแน่นเนื้อสูงและมีช่วงค่าความแน่นเนื้อกว้างที่ยอมรับได้มากกว่าที่เก็บในสภาวะปกติ สำหรับแอปเปิ้ลพันธุ์Eistar ไม่พบความแตกต่างกัน

5. งานวิจัยที่นำวิธีการถ่ายเทความร้อนไปประยุกต์ใช้

อัมพวัน และคณะ (2543) ศึกษาการประเมินค่าความร้อนจำเพาะและค่าการนำความร้อนของขนุนในช่วงอุณหภูมิ 60-90°C และความชื้นร้อยละ 30-75 ค่าความร้อนจำเพาะวัดด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC) แบบกำลังชดเชย ค่าการนำความร้อนวัดด้วยอุปกรณ์วัดค่าการนำความร้อนแบบ Line Heat Source (Probe) (ดังภาพที่ 6) จากการศึกษาพบว่าความชื้นและอุณหภูมิมีผลต่อค่าความร้อนจำเพาะและค่าการนำความร้อนของขนุน เมื่อความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความร้อนจำเพาะ (C_p) และค่าการนำความร้อน (k) ของขนุนมีค่าสูงขึ้น ส่วนการวางเรียงชั้นขนุนแบบแนวนอนและแนวตั้งทำให้ค่าการนำความร้อนต่างกันเพียงเล็กน้อยสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนของเนื้อขนุนกับสัดส่วนความชื้น (X_w) และอุณหภูมิ (T) คือ $C_p = 1.053 + 5.069 X_w + 0.01035T - 3.05 X_w^2$ ($R^2=0.901$) และ $k = 1.111 - 0.164 X_w^2 - 0.0247T + 0.000163T^2 + 0.875 X_w T$ ($R^2=0.841$)

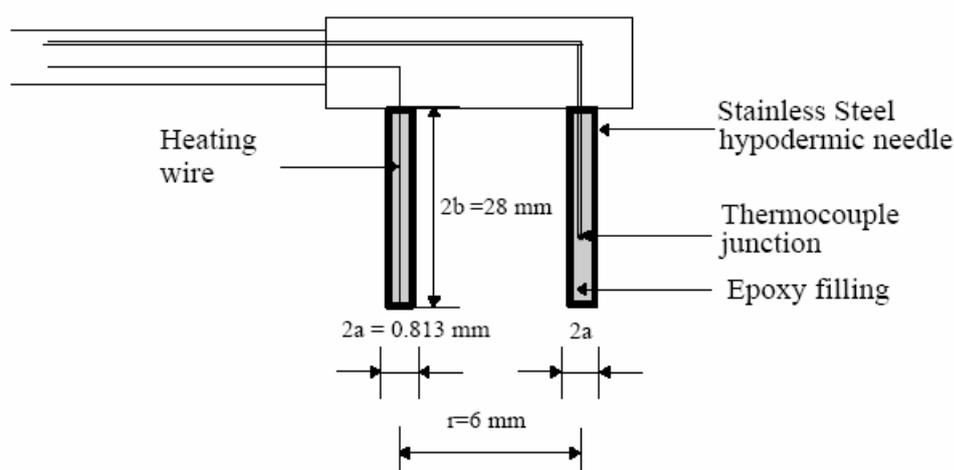


ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์วัดค่าการนำความร้อนแบบ Probe

ที่มา: อัมพวัน และคณะ(2543)

Fontana et al. (1999) ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของอาหารโดยใช้วิธี DUAL NEEDLE HEAT-PULSE SENSOR (ดังภาพที่ 7) โดยวัดค่า specific heat capacity (C_p), thermal conductivity (k) และ thermal diffusivity (D) ของอาหาร อาหารที่ใช้ในการทดสอบคือ แอปเปิ้ลแดง, แอปเปิ้ลเหลือง, เนื้อวัว, ไข่ขาว, ไข่แดง โดยมีกลีเซอรินเป็นสารมาตรฐานในการทดสอบ เครื่องมือวัด พบว่า DNHP มีความแม่นยำในการตรวจสอบเมื่อเปรียบเทียบกับกลีเซอริน ในการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของแอปเปิ้ล 2 ชนิด , เนื้อวัว และไข่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่มีการวิจัยมาแล้วพบว่า คุณสมบัติทางความร้อนในแอปเปิ้ล 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน

ส่วนเนื้อและไข่นั้นอยู่กับอุณหภูมิ คุณสมบัติทางความร้อนมีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันน้อยมากสำหรับค่าการแผ่กระจายความร้อนของไข่ขาวและไข่แดงที่อุณหภูมิ $7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $31.3\text{ }^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 7 ส่วนประกอบของ DUAL NEEDLE HEAT-PULSE SENSOR

ที่มา: Fontana et al. (1999)

จากการตรวจเอกสารข้างต้น พบว่าน้ำมีผลต่ออาการการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด และยังพบอีกว่ามังคุดเนื้อแก้วจะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่ามังคุดเนื้อปกติ ดังนั้นในการทดสอบงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะศึกษาพารามิเตอร์ ความถ่วงจำเพาะ เปอร์เซ็นต์ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก จากการตรวจเอกสารการวัดความแน่นเนื้อจะนำมาประยุกต์ในการทดสอบค่าความแข็งเปลือกมังคุดเพื่อต้องการทราบว่ามังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วเมื่อนำไปกดที่ผิวเปลือกมังคุดจะมีค่าความแตกต่างจากมังคุดเนื้อปกติอย่างไร

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

มังคุด 200 ผล ที่มีขนาดสำหรับการส่งออกและมีลักษณะภายนอกใกล้เคียงกัน มีความผิดปกติภายนอกน้อยที่สุด จากตลาดสดองค์กรตลาดเพื่อเกษตรกร

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เทอร์โมคัปเปิล
2. อุปกรณ์ให้ความร้อน
3. เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger)
4. Power supply
5. โวลต์มิเตอร์
6. เวอร์เนียร์
7. ห้องเย็น ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C
8. Hot air oven
9. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า
10. ถ้วยสำหรับบอบความชื้น
11. กระดาษฟอยล์
12. เครื่องคอมพิวเตอร์
13. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (บริษัท Lloyd Instrument)

วิธีการ

นำผลมังคุดที่มีขนาดสำหรับการส่งออกและมีลักษณะภายนอกใกล้เคียงกัน มีความผิดปกติภายนอกน้อยที่สุด จำนวน 200 ผล จากตลาดสดองค์กรตลาดเพื่อเกษตรกร นำมาเก็บรักษาไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C เป็นระยะเวลา 1 วัน เพื่อให้ผลมังคุดทุกผลมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ หลังจากนั้นก็ทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1. วัดขนาด D_{\min} (ดังภาพที่ 8), D_{\max} (ดังภาพที่ 9) และความสูงตามแนวตั้งของผล (ดังภาพที่ 10)

D_{\min} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสั้นสุด

D_{\max} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางยาวสุด



ภาพที่ 8 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสั้นสุด (D_{\min})



ภาพที่ 9 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาวสุด (D_{max})



ภาพที่ 10 การวัดขนาดความสูง

2. วัดความถ่วงจำเพาะ โดยนำผลมังคุดไปชั่งน้ำหนักในอากาศโดยทำการตัดขั้วเรียบร้อย แล้ว หลังจากนั้นนำผลมังคุดไปชั่งน้ำหนักในน้ำ นำผลที่ได้ไปคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ นำค่าความถ่วงจำเพาะไปทดสอบเพื่อหาความแตกต่างทางสถิติของมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ โดยใช้ T-Test เป็นวิธีการทางสถิติทดสอบ

คำนวณหาความถ่วงจำเพาะ (SC) โดยใช้สูตร

$$SC = \frac{W_a}{W_a - W_w} \quad (1)$$

เมื่อ W_a หมายถึง น้ำหนักในอากาศ (กรัม) (ดังภาพที่ 11)

W_w หมายถึง น้ำหนักในน้ำ (กรัม) (ดังภาพที่ 12)

$W_a - W_w$ หมายถึง น้ำหนักที่หายไปในน้ำ หรือ หมายถึง น้ำหนักของน้ำที่ปริมาตรเท่ากับผลมัน้กด



ภาพที่ 11 การชั่งน้ำหนักในอากาศ (W_a)

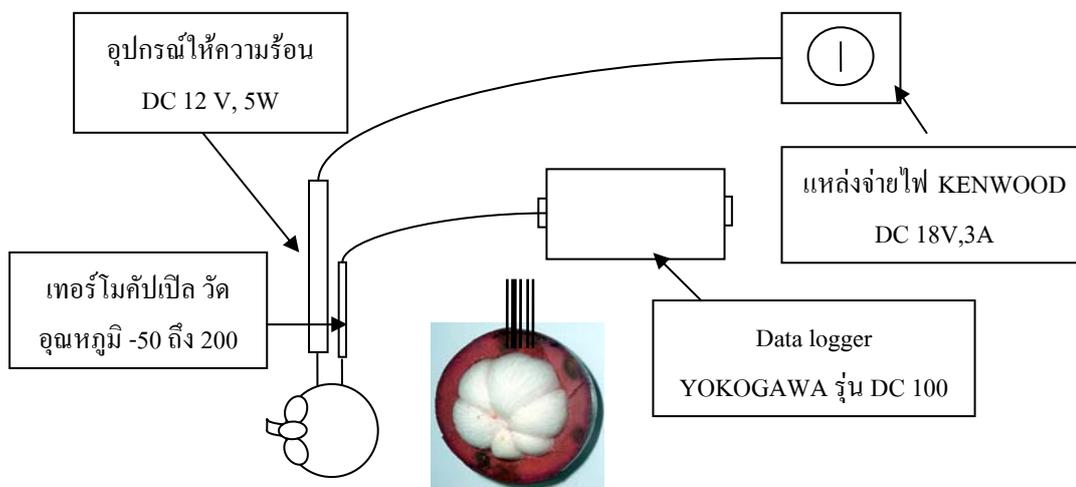


ภาพที่ 12 การชั่งน้ำหนักในน้ำ (W_w)

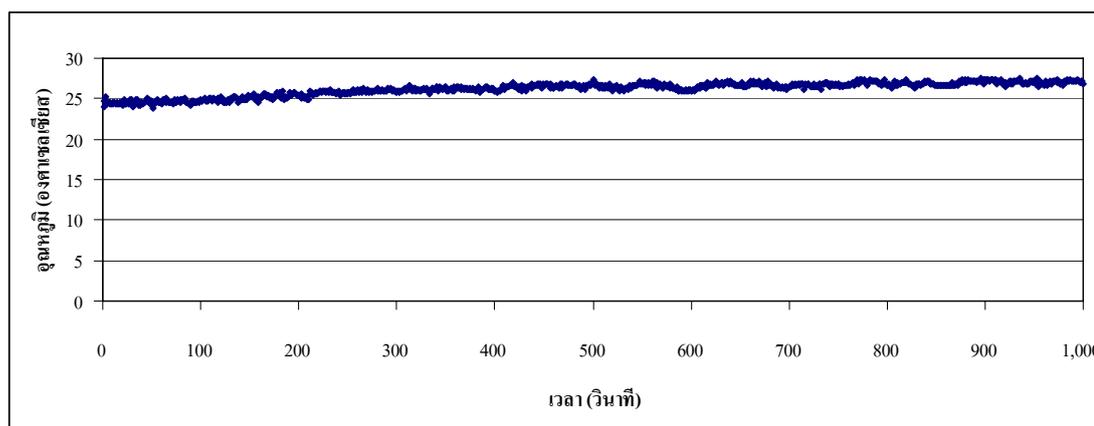
3. การวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก

จากการตรวจเอกสารพบว่า ความชื้นในเปลือกของผลมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วจะมีค่าสูงกว่าผลปกติ (Pankasemsuk et al., 1996) และเนื้อแก้วมักจะเป็นกับเมล็ดที่ใหญ่ที่สุดในผล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการวัดความชื้นในเปลือกหรือการวัดพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับความชื้นในเปลือก เพื่อหาพารามิเตอร์ที่สามารถแยกมังคุดเนื้อแก้วและเนื้อปกติได้ โดยจะวัดด้านที่มีเมล็ดใหญ่ที่สุดกับด้านตรงข้าม

ในการทดลองนี้เป็นการวัดความสามารถของเปลือกในการส่งผ่านความร้อนโดยจะให้ความร้อนด้วยแท่งให้ความร้อนที่แทงเข้าไปในเปลือกมังคุดแต่ไม่ถึงเนื้อมังคุด และวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ที่ตำแหน่งห่างจากจุดให้ความร้อนเป็นระยะทางคงที่ ในการวัดการถ่ายเทความร้อนภายในเปลือกจะใช้วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลา วัดผลละ 2 ตำแหน่ง โดยวัดที่ตำแหน่งเปลือกด้านเมล็ดใหญ่และด้านตรงข้าม โดยวางมังคุดให้ขั้วอยู่ในแนวนอน ซึ่งจะแทงอุปกรณ์ให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลลงไปในเปลือกมังคุด แนวราบเส้นรอบวงที่ตั้งฉากกับแนวแกนขั้วผล อุปกรณ์ให้ความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (บริษัทนอร์ท อีทเทค) และเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร (บริษัทนอร์ท อีทเทค) ที่ระยะลึก 3, 5 และ 7 มิลลิเมตร เพื่อที่จะศึกษาระยะลึกที่เหมาะสมระหว่างอุปกรณ์ให้ความร้อนกับระยะลึกเทอร์โมคัปเปิลในเปลือกมังคุด ที่แรงดัน 7 โวลต์ ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ให้ความร้อนกับเทอร์โมคัปเปิล 1 เซนติเมตร ทดลองที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ดังภาพที่ 13) โดยบันทึกอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลาด้วย Data logger ((YOKOGAWA รุ่น DC 100) ทุกๆ 1 วินาทีเป็นระยะเวลา 1000 วินาที (ดังภาพที่ 14)



ภาพที่ 13 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์การวัดค่าการถ่ายความร้อนในเปลือกมังคุด



ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของมังคุดเนื้อปกติ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา สามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนในเปลือกได้ ที่จะนำไปเป็นพารามิเตอร์จำแนกกลุ่ม โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ โดยแบ่งช่วงออกเป็น 1000 ช่วงเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู คำนวณอินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟสี่เหลี่ยมคางหมู $(1/2 * \text{สูง} * \text{ผลบวกด้านคู่ขนาน})$ ทั้งกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้ว นำค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ระยะลึก 3, 5 และ 7 มิลลิเมตร ไปทดสอบเพื่อหาความแตกต่างทางสถิติของมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ โดยใช้ T-Test เป็นวิธีการทางสถิติทดสอบ

และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้ว นำค่าอุณหภูมิที่ได้ไปสร้างพารามิเตอร์ขึ้นใหม่ด้วยวิธี Principle Component Analysis ซึ่งเป็นการสร้างพารามิเตอร์จากข้อมูลเดิมทั้งหมด พารามิเตอร์ใหม่นี้จะเรียกว่า พารามิเตอร์ ซึ่งสร้างจากความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลเดิมทั้งหมด และจำนวนพารามิเตอร์ใหม่หรือแฟกเตอร์จะมีได้สูงสุดเท่ากับจำนวนข้อมูลเดิม อย่างไรก็ตามจำนวนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะมีจำนวนไม่มากโดยพารามิเตอร์แรกๆจะสามารถอธิบายความแปรปรวน (Variance) ที่มีอยู่ในข้อมูลเดิมทั้งหมด นำค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้ ที่ระยะลึก 3, 5 และ 7 มิลลิเมตร ไปทดสอบเพื่อหาระยะลึกที่เหมาะสมในการจำแนก โดยใช้ Anova เป็นตัวทดสอบ และที่ระยะเวลา 1000 วินาที 500 วินาที 400 วินาที 300 วินาที 200 วินาที 100 วินาที 60 วินาที 30 วินาที และ 10 วินาที เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการจำแนก โดยใช้ Anova เป็นวิธีการทางสถิติทดสอบ

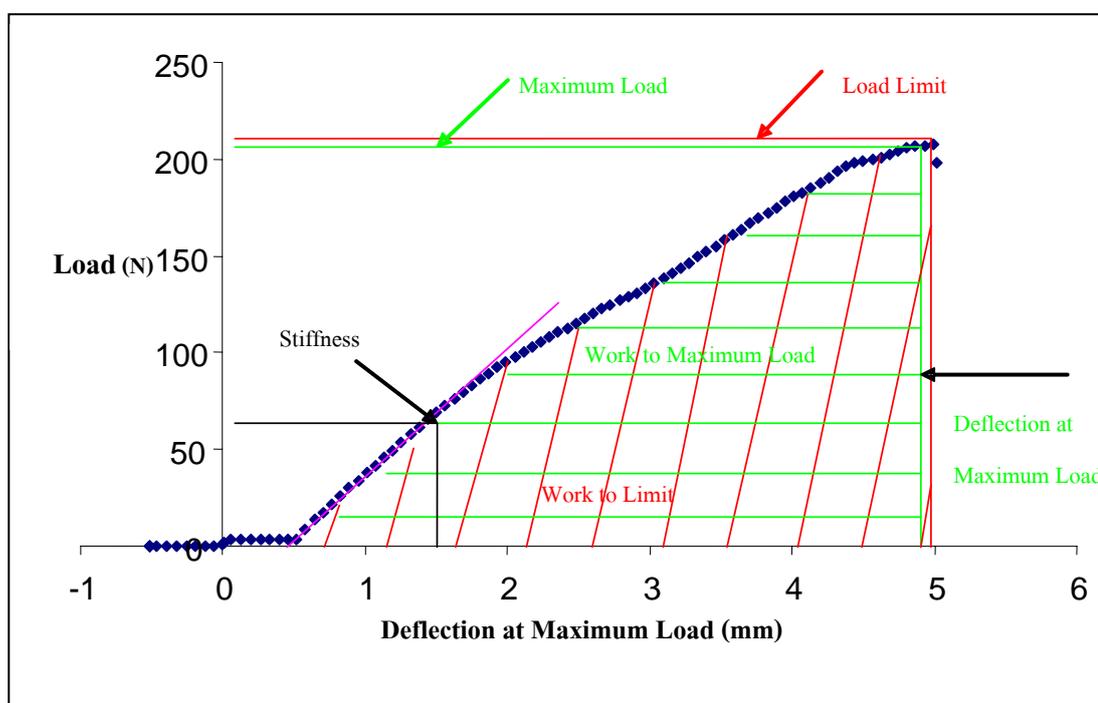
4. ค่าความแข็งของเปลือกมังคุด (firmness) โดยใช้เครื่องกด (LLOYD Instruments, รุ่น LR5K,UK) ดังภาพที่ 15 จะนำผลมังคุดด้านที่มีเมล็ดใหญ่ขึ้น ใช้หัวทดสอบแบบแผ่นกลมเรียบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร (ดังภาพที่ 16) กดลงบนผิวมังคุดด้านที่มีเมล็ดใหญ่ลึกลงไป 5 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วในการกด 30 มิลลิเมตรต่ออนาที ใช้โปรแกรม NEXYGEN ในการอ่านผลข้อมูล นำค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะกด (ดังภาพที่ 17) ได้แก่ Load at Limit (N), Work to Limit (J), Maximum Load (N), Deflection at Maximum Load (mm), Work to Maximum Load (J) และ Stiffness (N/m) ไปทดสอบเพื่อหาความแตกต่างทางสถิติของมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ โดยใช้ T-Test เป็นวิธีการทางสถิติทดสอบ



ภาพที่ 15 เครื่องกด (LLOYD Instruments, รุ่น LR5K,UK)



ภาพที่ 16 การกดเปลือกมังคุด



ภาพที่ 17 กราฟแสดงค่าความแข็งเปลือกของมังคุดเนื้อปกติ

5. ผ้ามังคุดสังเกตลักษณะภายในบันทึกความผิดปกติของมังคุดแต่ละลูก โดยบันทึกมังคุดที่มีอาการเนื้อปกติ โดยสังเกตที่เนื้อว่าต้องมีลักษณะขาวปุย ไม่มีอาการเนื้อแก้ว และไม่มียางไหล (ดังภาพที่ 18 ส่วนมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว จะสังเกตที่เนื้อมังคุดมีลักษณะเป็นเนื้อขาวขุ่นใส ถ้าปรากฏที่ผิวเนื้อด้านนอก จะบันทึกให้เป็นมังคุดเนื้อแก้ว (ดังภาพที่ 19)



ภาพที่ 18 มังคุดเนื้อปกติ



ภาพที่ 19 มังคุดเนื้อแก้ว

6. วัดค่าความชื้น โดยใช้ Hot air oven ยี่ห้อ WTB binder รุ่น FD240 ที่อุณหภูมิ 105°C อ้างอิงมาตรฐานการวัดความชื้น ASAE Standard ใช้ระยะเวลาการอบ 10 ชั่วโมง โดยนำเปลือกมังคุดบริเวณด้านเมล็ดใหญ่และด้านตรงข้าม ขนาด 2×2 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักเปลือกมังคุดที่เตรียมไว้ทั้งก่อนอบและหลังอบ นำผลไปคำนวณหาความชื้นด้วยสมการที่ 2 แล้วนำไปทดสอบเพื่อหาความแตกต่างทางสถิติของมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ โดยใช้ T-Test เป็นวิธีการทางสถิติทดสอบ

$$\text{คำนวณโดย } \% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (2)$$

7. ศึกษาการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม (discriminant analysis) ใช้พารามิเตอร์ไม่ทำลายและกิ่งทำลาย ได้แก่ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ และแฟคเตอร์ principal component, PC) ความถ่วงจำเพาะ และค่าความแข็งเปลือก เป็นพารามิเตอร์จำแนก ส่วนพารามิเตอร์จัดกลุ่มคือ มังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยวิเคราะห์ด้วยตัวแปรแบ่งเป็น 3 กลุ่ม

7.1 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มใช้ทุกพารามิเตอร์เป็นตัวจำแนกและทำนายความถูกต้อง คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

7.2 วิเคราะห์จำแนกกลุ่มใช้ทุกพารามิเตอร์เป็นตัวจำแนกและทำนายความถูกต้อง โดยใช้แฟคเตอร์ PC เป็นพารามิเตอร์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลา

7.3 การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์ไม่ทำลายและกิ่งทำลาย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ และแฟคเตอร์ PC) ความถ่วงจำเพาะ และค่าความแข็งเปลือก

ผลและวิจารณ์

1. ความแตกต่างของพารามิเตอร์ต่างๆระหว่างมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ

1.1 ความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด

จากการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุด มีลักษณะภายในเป็นเนื้อปกติ และมีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆรวมอยู่ด้วยกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ไม่สามารถคัดแยกออกจากกันก่อนทำการทดลองได้ ดังนั้นจึงใช้ผลที่มีลักษณะภายนอกที่สมบูรณ์ มีขนาดสำหรับการส่งออก มีผิวเรียบเป็นมัน ไม่มีรอยช้ำ ไม่มีรอยเจาะทำลายของแมลงมาใช้ในการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงผ่าผลมังคุดประเมินลักษณะอาการภายในแต่ละผล โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ มังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว

จากการทดลองวัดค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดทั้ง 200 ผล และประเมินลักษณะอาการภายในแต่ละผล แยกเป็นมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล มังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล มังคุดเสีย 1 ผล พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของมังคุดเนื้อปกติเฉลี่ย 0.988 มังคุดเนื้อแก้วค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 1.004 เมื่อนำค่าความถ่วงจำเพาะมาทดสอบทางสถิติ พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยระหว่างมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้ว

ประเภท	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
มังคุดเนื้อปกติ	0.99
มังคุดเนื้อแก้ว	1.00
T-Test	*

* : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

1.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกมังคุด

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมังคุดที่ผ่านมา วรภัทร(2539) ได้ศึกษาอิทธิพลของน้ำต่อการเกิดลักษณะผิดปกติของสรีรวิทยาของผลมังคุด พบว่า ผลที่มีอาการเนื้อแก้วมีปริมาณอากาศในเนื้อผลน้อยกว่าเนื้อปกติ 15 เท่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำในเนื้อผลก็พบว่ามังคุดเนื้อแก้วมีปริมาณน้ำในเนื้อผลมากกว่ามังคุดเนื้อปกติร้อยละ 1.21 และยังพบว่าอาการเนื้อแก้วส่วนใหญ่มักพบกับเมล็ดใหญ่ที่สุดในผล หากเป็นทั้งผลจะพบว่าเปลือกผลจะบางกว่าปกติ และมีอาการฉ่ำน้ำ ในการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกมังคุด โดยส่วนใหญ่อาการเนื้อแก้วมักพบกับเมล็ดใหญ่ที่สุดของผล จึงศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกด้านติดกับเมล็ดใหญ่ของมังคุดปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยของมังคุดปกติคือ 64.24 % สำหรับเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยของมังคุดเนื้อแก้วเท่ากับ 63.93 % ส่วนเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกด้านตรงข้ามด้านติดกับเมล็ดใหญ่ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว มีค่า 64.76 % และ 64.73 % ตามลำดับ เมื่อนำค่ามาทดสอบทางสถิติ ได้ว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกด้านติดกับเมล็ดใหญ่ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกด้านตรงข้าม ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4)

เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยในเปลือกมังคุดของมังคุดปกติ เมื่อนำค่ามาทดสอบทางสถิติพบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกด้านติดกับเมล็ดใหญ่กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกด้านตรงข้าม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกับของมังคุดเนื้อแก้วเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกด้านติดกับเมล็ดใหญ่กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเปลือกด้านตรงข้าม ก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4)

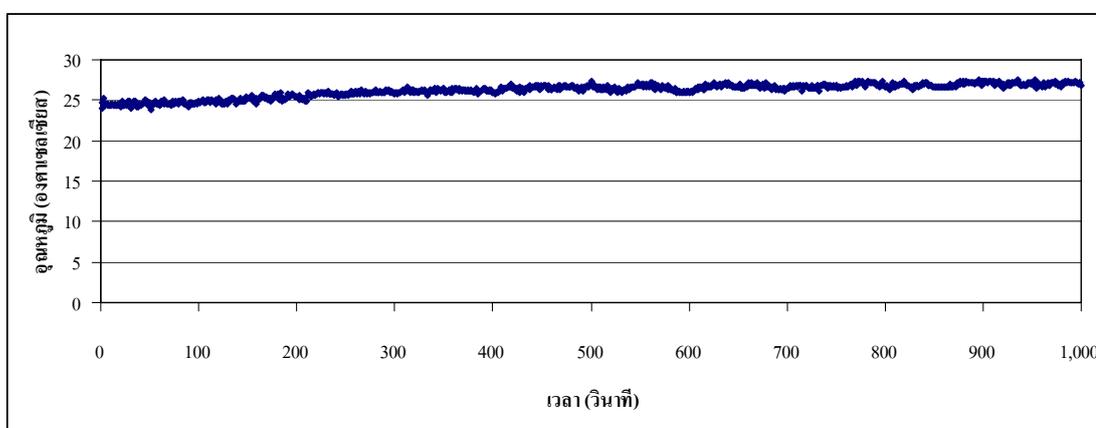
ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยของเปลือกมังคุดด้านติดกับเมล็ดใหญ่และด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่

ประเภท	เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปลือกด้านติดกับเมล็ด ใหญ่	เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปลือกด้านตรงข้าม	T-Test
มังคุดเนื้อปกติ	64.24	64.76	ns
มังคุดเนื้อแก้ว	63.93	64.73	ns
T-Test	ns	ns	-

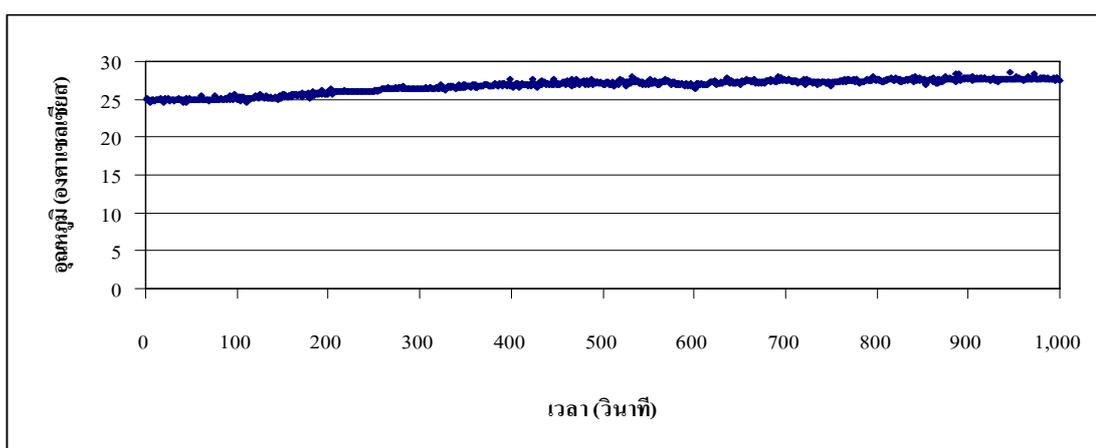
ns : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ)

การศึกษาการวัดการถ่ายเทความร้อนภายในเปลือกจะใช้วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลา จากการศึกษาพบว่าอาการเนื้อแก้วส่วนใหญ่จะพบที่เมล็ดใหญ่ที่สุดของผล ดังนั้นในการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จึงเลือกวัดตำแหน่งนั้น และจากการทดลองได้ค่าอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลา 1000 ค่า (1000 วินาที) ของทั้งมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว (ดังภาพที่ 20, 21) จากกราฟจะเห็นว่ามังคุดเนื้อแก้วจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่ามังคุดปกติ ณ เวลาที่เท่ากัน



ภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของมังคุดปกติ



ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของมังคุดเนื้อแก้ว

และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ ที่ระยะลึก 3 , 5 และ 7 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะลึกของแท่งให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลที่แทงลงไปในการปลีอกมังคุด ค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากระยะลึกต่างๆ จะนำมาเป็นพารามิเตอร์คัดแยกมังคุดเนื้อปอกดีกับมังคุดเนื้อแก้ว เมื่อนำค่าพื้นที่ใต้กราฟไปทดสอบค่าทางสถิติ พบว่าค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านเมล็ดใหญ่ของมังคุดเนื้อปอกดีกับมังคุดเนื้อแก้วที่ระยะลึก 3 , 5 และ 7 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามเมล็ดใหญ่ของมังคุดเนื้อปอกดีกับมังคุดเนื้อแก้ว พบว่าที่ระยะลึก 3 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนที่ระยะลึก 5 และ 7 มิลลิเมตร ค่าพื้นที่ใต้กราฟไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลาของมังคุดเนื้อปอกดี และมังคุดเนื้อแก้ว

ประเภท	พื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่			พื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่ที่				
	ระยะลึกในเปลือก (มิลลิเมตร)	3	5	7	ระยะลึกในเปลือก (มิลลิเมตร)	3	5	7
มังคุดเนื้อปอกดี	26260.09	27081.09	27648.24	26411.61	27294.24	27853.98		
มังคุดเนื้อแก้ว	26123.40	27104.49	27614.70	26224.69	27273.57	27844.90		
T-Test	ns	ns	ns	*	ns	ns		

ns : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

1.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (แฟกเตอร์ Principle Component, PC)

ตัวแทนข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก โดยใช้พื้นที่ใต้กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา อาจจะไม่ใช่ตัวแทนที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงสร้างตัวแปรขึ้นใหม่ด้วยวิธี Principle Component Analysis ซึ่งเป็นการสร้างพารามิเตอร์จากข้อมูลเดิมทั้งหมด พารามิเตอร์ใหม่นี้จะสร้างจากความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลเดิมทั้งหมด และจำนวนพารามิเตอร์ใหม่หรือแฟกเตอร์จะมีได้สูงสุดเท่ากับจำนวนข้อมูลเดิม อย่างไรก็ตามจำนวนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะมีจำนวนไม่มากโดยพารามิเตอร์แรกๆจะสามารถอธิบายความแปรปรวน (Variance) ที่มีอยู่ในข้อมูลเดิมทั้งหมด

อย่างไรก็ตามจากข้อมูล 1000 วินาที ที่ระยะลึก 3 , 5 และ 7 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะลึกของแท่งให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลที่แทงลงไปเปลือก เมื่อนำไปทดสอบค่าทางสถิติ ได้ว่าระหว่างมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ แพลตฟอร์มที่ระยะลึก 3 มิลลิเมตรด้านเมล็ดใหญ่ (PC_3L) และ ด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่ (PC_3S) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าที่ระยะลึก 3 มิลลิเมตร เป็นระยะลึกที่ดีที่สุดของแท่งให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลที่แทงลงไปเปลือก (ตารางภาคผนวกที่ ข1)

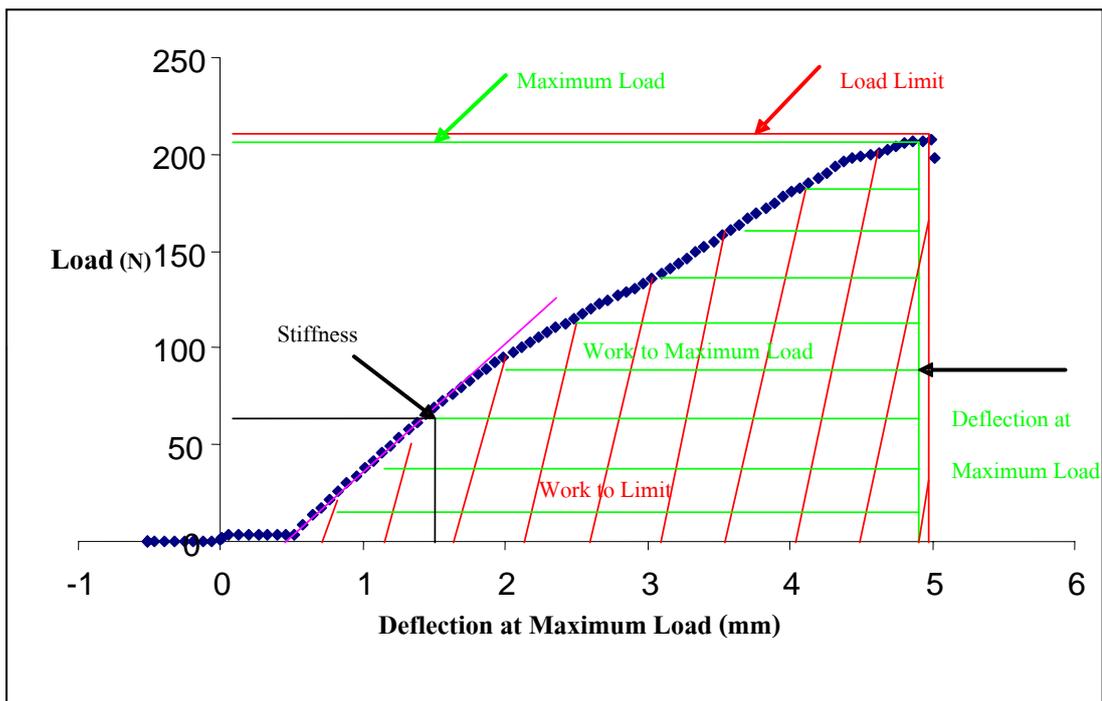
1.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือกที่สัมพันธ์กับเวลา

ตัวแทนข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือกที่สัมพันธ์กับเวลา เพื่อที่จะหาเวลาที่เหมาะสมที่สุด จากข้อมูล 1000 วินาที ซึ่งเป็นเวลานานเกินไปสำหรับการไปจำแนกมังคุดเนื้อแก้วในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นจึงสร้างตัวแปรขึ้นใหม่ด้วยวิธี Principle Component Analysis ซึ่งได้กล่าวไว้ข้างต้น

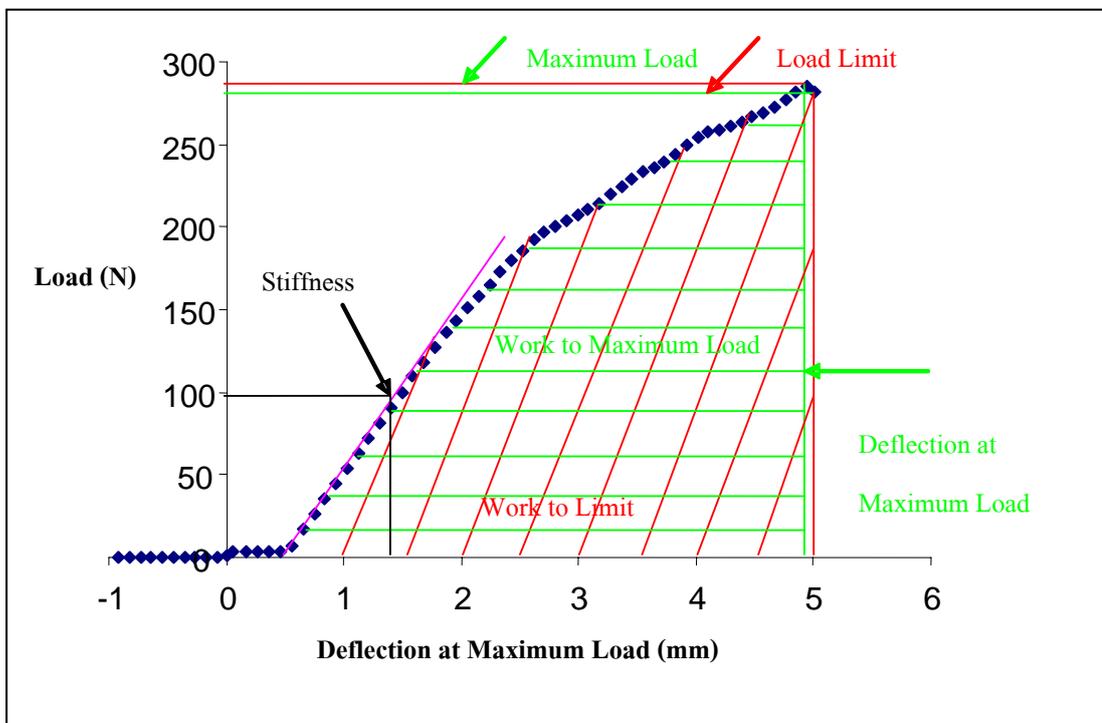
อย่างไรก็ตามได้วิเคราะห์สร้างพารามิเตอร์จากข้อมูล 1000 วินาที 500 วินาที 400 วินาที 300 วินาที 200 วินาที 100 วินาที 60 วินาที 30 วินาที และ 10 วินาที เพื่อเปรียบเทียบว่าข้อมูลซึ่งเก็บที่ระยะเวลาสั้นกว่านั้น จะอธิบายความแปรปรวนระหว่างมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วได้เหมือนกับข้อมูลที่เก็บเป็นระยะเวลานานกว่าหรือไม่ จากการทดสอบค่าทางสถิติพบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการจำแนกมังคุดเนื้อแก้วที่เหมาะสมที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด ที่ระยะเวลา 200 วินาที (ตารางภาคผนวกที่ ข2) ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์เหมือนข้อมูล 1000 วินาที

1.6 ความแข็งของเปลือกมังคุด (Firmness)

จากการทดลองโดยใช้เครื่องกด ค่าที่คำนวณจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะกด (ดังภาพที่ 22, 23) จากกราฟทั้งสองจะเห็นว่าแรงที่ใช้ในการกดเปลือกมังคุดเนื้อแก้วจะใช้แรงมากกว่าการกดเปลือกมังคุดเนื้อปกติ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะกด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1. ค่าที่ได้จากระยะกดลงบนผิวมังคุดโดยกำหนดไว้ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร ซึ่งคือ ค่าแรงที่ใช้ (Load at Limit) งานที่ได้ (Work to Limit) และค่าความชัน (Stiffness) (ตารางที่ 6) 2. ค่าได้จากค่าแรงสูงสุด (Maximum Load) เป็นตัวกำหนดที่ใช้ในการกดลงบนผิวมังคุด ซึ่งคือ ระยะกดของแรงสูงสุด (Deflection at Maximum Load) แรงสูงสุด (Maximum Load) งานที่เริ่มกดจนถึงแรงกดสูงสุด (Work to Maximum Load) (ตารางที่ 7)



ภาพที่ 22 กราฟแสดงค่าการคำนวณของค่าความแข็งเปลือกของมังคุดเนื้อปกติ



ภาพที่ 23 กราฟแสดงค่าการคำนวณของค่าความแข็งเปลือกของมังคุดเนื้อแก้ว

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการกำหนดระยะการกดที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

ประเภท	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Stiffness (N/m)
มังคุดเนื้อปกติ	73.37	0.14	34391.94
มังคุดเนื้อแก้ว	90.61	0.18	38790.28
T-Test	*	ns	ns

ns : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

จากตารางที่ 6 ค่าที่ได้จากเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ที่กำหนดระยะกดลงไป 5 มิลลิเมตร เมื่อนำค่าไปทดสอบทางสถิติ ได้ว่า แรงที่ใช้ในการกดลงบนผิวมังคุดทั้งมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนงานที่ใช้และความชัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดลงบนผิวมังคุด

ประเภท	Deflection at Maximum Load (mm)	Maximum Load (N)	Work to Maximum Load (J)
มังคุดเนื้อปกติ	4.93	74.50	0.13
มังคุดเนื้อแก้ว	4.94	91.80	0.18
T-Test	ns	*	*

ns : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

จากตารางที่ 7 พบว่าแรงเฉลี่ยที่ใช้ในการกดลงบนผิวมังคุด มังคุดเนื้อปกติใช้แรงในการกดน้อยกว่ามังคุดเนื้อแก้ว แสดงว่ามังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วจะมีลักษณะเปลือกแข็งกว่า ใช้แรงในการกดมากกว่ามังคุดเนื้อปกติ เช่นเดียวกันกับงานที่ใช้และความชันก็พบว่ามังคุดเนื้อแก้วค่างานที่ใช้และความชันมีค่าเฉลี่ยมากกว่ามังคุดเนื้อปกติ เมื่อนำไปทดสอบทางสถิติ ได้ว่า แรงที่ใช้กับงานที่ใช้ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนระยะกดกับค่าความชันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2. การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดปกติโดยใช้พารามิเตอร์แบบพหุ

การวิเคราะห์พารามิเตอร์แบบพหุ โดยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) เป็นเทคนิคที่ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูล หรือหน่วยตัวอย่าง ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่าพารามิเตอร์ที่วัดได้สามารถที่จะจำแนกออกเป็นกลุ่มๆ ได้อย่างถูกต้องหรือไม่ ซึ่งจะต้องจัดให้ข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันคล้ายกัน ส่วนข้อมูลที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะแตกต่างกัน ซึ่งต้องทราบก่อนว่าต้องการจำแนกข้อมูลเป็นกี่กลุ่มและทราบว่าแต่ละข้อมูลอยู่ในกลุ่มใด แล้วใช้ข้อมูลดังกล่าวสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะทำให้ข้อมูลที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีความแตกต่างกัน และยังใช้สมการดังกล่าวจัดกลุ่มหรือพยากรณ์กลุ่มให้กับข้อมูลที่ยังไม่ทราบกลุ่มได้ (กัลยา, 2544)

การศึกษาพารามิเตอร์แบบพหุที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของมังคุด และใช้ทำนายการจำแนกกลุ่มมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติ พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่ (ML) ความชื้นด้านตรงข้าม (MS) ความถ่วงจำเพาะ (SC) ความแข็งของเปลือกมังคุด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ และแฟคเตอร์ PC) ข้อมูลทางด้านพารามิเตอร์คุณภาพต่างๆ จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) การศึกษาการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม ระหว่างมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว จากการที่มีพารามิเตอร์คุณภาพหลายพารามิเตอร์ ในการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มจึงต้องแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน คือ

2.1 ศึกษาการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มใช้ทุกพารามิเตอร์เป็นตัวจำแนกและทำนายความถูกต้อง คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้วยวิธี Enter (ตารางภาคผนวกที่ ข3) พบว่าพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการแยกมังคุดเนื้อแก้ว แสดงในตารางที่ 8 โดยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญสูงได้แก่ Load at Limit (LL) MML (Maximum Load) ค่าความถ่วงจำเพาะ (SC) เป็นต้น ซึ่งแสดงว่าพารามิเตอร์ดังกล่าว สามารถใช้จำแนกกลุ่มของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วได้

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์พารามิเตอร์จำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้พารามิเตอร์ คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value	ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value
LL	0.97	0.01	MML	0.97	0.01
SC	0.97	0.01	WL	0.98	0.03
WML	0.98	0.03	WS_3	0.98	0.04

จากตารางที่ 9 พบว่า Wilks' Lambda (ภาคผนวก ง) มีค่าเท่ากับ 0.85 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ทดสอบสมมติฐานที่ว่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทุกตัวในกลุ่มที่ 1 เท่ากับของทุกกลุ่มที่ 2 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานดังกล่าว นั่นคือสมการเชิงเส้นที่สร้างขึ้นพารามิเตอร์ทุกตัวสามารถจำแนกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติได้อย่างมีนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ในการจำแนกกลุ่มแสดงดังสมการที่ 1

$$D = -3.77 + (5 \times 10^{-3})LL - 0.04MML - 18.76SC + 7.02WL + 0.65WML + (9 \times 10^{-4})WS_3 \quad (1)$$

เมื่อพิจารณาจากตาราง Structure Matrix (ตารางผนวกที่ ข4) แสดงค่าสัมประสิทธิ์หรือความสำคัญของแต่ละพารามิเตอร์ต่อค่า canonical function ในการจำแนกกลุ่มหรือ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างพารามิเตอร์อิสระแต่ละตัว กับพารามิเตอร์ canonical พบว่า ตัวแปร Load at Limit (LL) มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ canonical มากที่สุด ขณะที่พารามิเตอร์ ความชื้นด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่ (MS) มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ canonical น้อยที่สุด

ตารางที่ 9 ค่าทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วเท่ากัน

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	P-value
1	0.85	29.79	15	0.01

จากตารางที่ 10 ในการจำแนกมังคุดทั้งหมด 199 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล พบว่าถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อปกติ 97 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 54 ผล (คิดเป็นร้อยละ 64.2 และ 35.8) แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล พบว่าถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 27 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อปกติ 21 ผล (คิดเป็นร้อยละ 56.3 และ 43.8) และความถูกต้องในการจัดจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 62.3

ตารางที่ 10 การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้วใช้ทุกพารามิเตอร์ คือความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

	ตัวแปรจัดกลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วยทั้งหมด	ร้อยละความถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
จำนวน	ปกติ	97	54	151	62.3
	เนื้อแก้ว	21	27	48	
ร้อยละ	ปกติ	64.2	35.8	100.0	62.3
	เนื้อแก้ว	43.8	56.3	100.0	

เมื่อนำเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญจากตารางที่ 8 มาพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วพบว่า มังคุดทั้งหมด 199 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล พบว่าจำแนกถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อปกติ 105 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 46 ผล (คิดเป็นร้อยละ 69.5 และ 30.5) แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 48 พบว่าจำแนกถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 27 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อปกติ 21 ผล (คิดเป็นร้อยละ 56.3 และ 43.8) และความถูกต้องในการจัดจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 66.3 ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมั่งคุดเนื้อปกติกับมั่งคุดเนื้อแก้วโดยเลือกค่าที่มี
นัยสำคัญ จากตารางที่ 9

	ตัวแปรจัด กลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วย ทั้งหมด	ร้อยละความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
จำนวน	ปกติ	105	46	151	66.3
	เนื้อแก้ว	21	27	48	
ร้อยละ	ปกติ	69.5	30.5	100.0	66.3
	เนื้อแก้ว	43.8	56.3	100.0	

2.2 วิเคราะห์จำแนกกลุ่มใช้ทุกพารามิเตอร์เป็นตัวจำแนกและทำนายความถูกต้อง โดยใช้
ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (แฟกเตอร์ Principal Component, PC) ค่าความ
แข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

ในการวิเคราะห์นี้จะใช้แฟกเตอร์ PC ที่สร้างจากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่
สัมพันธ์กับเวลา แทนการใช้พื้นที่ได้กราฟ โดยสร้างพารามิเตอร์จากข้อมูล 1000 วินาที 500 วินาที
400 วินาที 300 วินาที 200 วินาที 100 วินาที 60 วินาที 30 วินาที และ 10 วินาที เพื่อเปรียบเทียบว่า
ข้อมูลซึ่งเก็บที่ระยะเวลาสั้นกว่านั้น จะอธิบายความแปรปรวนระหว่างมั่งคุดปกติและมั่งคุดเนื้อแก้ว
ได้เหมือนกับข้อมูลที่เก็บเป็นระยะเวลานานกว่าหรือไม่ ระยะเวลาที่ใช้ในการจำแนกมั่งคุดเนื้อแก้ว
ที่เหมาะสมที่ใช้ระยะเวลาสั้น ที่ระยะเวลา 200 วินาที จากหัวข้อที่ 1.5 และเลือกที่ระยะลึก 3
มิลลิเมตร เป็นระยะลึกที่ดีที่สุดของแท่งให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลที่แทงลงไปเปลือก จาก
หัวข้อที่ 1.4

จากการวิเคราะห์ตัวแปรด้วยวิธี Enter (ตารางผนวกที่ ข5) พบว่าพารามิเตอร์ที่มี
นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการแยกมั่งคุดเนื้อแก้ว แสดงในตารางที่ 12 โดยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญสูง
ได้แก่ Load at Limit (LL) Maximum Load (MML) ค่าความถ่วงจำเพาะ (SC) เป็นต้น ซึ่งแสดงว่า
พารามิเตอร์ดังกล่าว สามารถใช้จำแนกกลุ่มของมั่งคุดเนื้อปกติกับมั่งคุดเนื้อแก้วได้

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์พารามิเตอร์จำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วใช้ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (แฟกเตอร์ Principal Component, PC) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value	ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value
LL	0.97	0.01	MML	0.97	0.01
SC	0.97	0.01	WL	0.98	0.03
WML	0.98	0.03	PC3_1S	0.97	0.02
PC1_1S	0.97	0.01			

จากตารางที่ 13 Wilks' Lambda (ดูภาคผนวก ง) เมื่อพิจารณาพบว่า Wilks' Lambda มีค่าเท่ากับ 0.82 จะใช้ทดสอบสมมติฐานที่ว่า ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อิสระทุกตัวในกลุ่มที่ 1 เท่ากับของทุกกลุ่มที่ 2 และมีค่านัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานดังกล่าว นั่นคือสมการเชิงเส้นที่สร้างขึ้นพารามิเตอร์ทุกตัวสามารถจำแนกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติได้อย่างมีนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ในการจำแนกกลุ่มแสดงดังสมการที่ 2

$$D = 15.87 - 0.02LL - 0.01MML + 0.41PC1_1S - 0.417PC3_1S - 14.26SC + 7.11WL - 1.71WML \quad (2)$$

เมื่อพิจารณาจากตาราง Structure Matrix (ตารางผนวกที่ ข6) แสดงค่าสัมประสิทธิ์หรือความสำคัญของแต่ละพารามิเตอร์ต่อค่า canonical function ในการจำแนกกลุ่มหรือ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างพารามิเตอร์อิสระแต่ละตัว กับพารามิเตอร์ canonical พบว่า พารามิเตอร์ Load at Limit (LL) มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ canonical มากที่สุด ขณะที่พารามิเตอร์ ความชื้นด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่ (MS) มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ canonical น้อยที่สุด

ตารางที่ 13 ค่าทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วเท่ากัน

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	P-value
1	0.82	38.43	19	0.01

ตารางที่ 14 การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้วใช้ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (แฟกเตอร์ Principal Component, PC) ค่า ความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

	ตัวแปรจัด กลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วย ทั้งหมด	ร้อยละความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
จำนวน	ปกติ	104	47	151	64.8
	เนื้อแก้ว	23	25	48	
ร้อยละ	ปกติ	68.9	31.1	100.0	64.8
	เนื้อแก้ว	47.9	52.1	100.0	

จากตารางที่ 14 ในการจำแนกมังคุดทั้งหมด 199 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล พบว่าถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อปกติ 104 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 47 ผล (คิดเป็นร้อยละ 68.9 และ 31.1) แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล พบว่าถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 25 ผล และผิดพลาดมังคุดเนื้อปกติ 23 ผล (คิดเป็นร้อยละ 52.1 และ 47.9) และความถูกต้องในการจัดจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 64.8

เมื่อนำเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญจากตารางที่ 12 มาพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วพบว่า มังคุดทั้งหมด 199 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล พบว่าจำแนกถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อปกติ 108 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 43 ผล (คิดเป็นร้อยละ 71.5 และ 28.5) แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 48 พบว่าจำแนกถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 31 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อปกติ 17 ผล (คิดเป็นร้อยละ 64.6 และ 35.4) และความถูกต้องในการจัดจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 69.8 ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วโดยเลือกค่าที่มีนัยสำคัญ จากตารางที่ 12

	ตัวแปรจัด กลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วย ทั้งหมด	ร้อยละความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
จำนวน	ปกติ	108	43	151	69.8
	เนื้อแก้ว	17	31	48	
ร้อยละ	ปกติ	71.5	28.5	100.0	69.8
	เนื้อแก้ว	35.4	64.6	100.0	

2.3 การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์ไม่ทำลายและกิ่งทำลาย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ และแฟลคเตอร์ PC) ความถ่วงจำเพาะและค่าความแข็งเปลือก

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้วยวิธี Enter (ตารางผนวกที่ ข7) พบว่าพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการแยกมังคุดเนื้อแก้ว แสดงในตารางที่ 16 โดยตัวแปรที่มีนัยสำคัญสูง ได้แก่ Load at Limit (LL) Maximum Load (MML) ค่าความถ่วงจำเพาะ(SC) เป็นต้น

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์พารามิเตอร์จำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว

ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value	ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value
LL	0.97	0.01	MML	0.97	0.01
SC	0.97	0.01	WL	0.98	0.03
WML	0.98	0.03	WS_3	0.98	0.04
PCA1_1S	0.97	0.01	PCA3_1S	0.97	0.02

จากตารางที่ 17 Wilks' Lambda (ดูภาคผนวก ค) เมื่อพิจารณาพบว่า Wilks' Lambda มีค่าเท่ากับ 0.82 จะใช้ทดสอบสมมติฐานที่ว่า ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อิสระทุกตัวในกลุ่มที่ 1 เท่ากับของทุกกลุ่มที่ 2 และมีค่านัยสำคัญ เท่ากับ 0.003 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานดังกล่าว

นั่นคือสมการเชิงเส้นที่สร้างขึ้นพารามิเตอร์ทุกตัวสามารถจำแนกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติได้อย่างมีนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ในการจำแนกกลุ่มแสดงดังสมการที่ 3

$$D = -3.423 - 0.012LL - 0.022MML + 0.396PC1_1S - 0.402PC3_1S - 17.731SC + 8.917WL - 1.277WML + (9 \times 10^{-4})WS_3 \quad (3)$$

เมื่อพิจารณาจากตาราง Structure Matrix (ตารางผนวกที่ ข8) แสดงค่าสัมประสิทธิ์หรือความสำคัญของแต่ละพารามิเตอร์ต่อค่า canonical function ในการจำแนกกลุ่มหรือ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างพารามิเตอร์อิสระแต่ละตัว กับพารามิเตอร์ canonical ซึ่งพบว่า พารามิเตอร์ Load at Limit (LL) มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ canonical มากที่สุด ขณะที่พารามิเตอร์ Deflection at Maximum Load (DML) มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ canonical น้อยที่สุด

ตารางที่ 17 ค่าทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์มังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วเท่ากัน

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	P-value
1	0.82	37.495	17	0.003

จากตารางที่ 18 ในการจำแนกมังคุดทั้งหมด 199 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล พบว่าจำแนกถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อปกติ 100 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 51 ผล (คิดเป็นร้อยละ 66.2 และ 33.8) แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล พบว่าจำแนกถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 25 ผล และมังคุดเนื้อปกติ 23 ผล (คิดเป็นร้อยละ 52.1 และ 47.9) และความถูกต้องในการจำแนกโดยรวม คือ ร้อยละ 62.8

ตารางที่ 18 การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติและมังคุดเนื้อแก้วใช้พารามิเตอร์ ไม่ทำลายและกิ่งทำลายได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ได้กราฟ และแฟลคเตอร์ PC) ความถ่วงจำเพาะ และค่าความแข็งเปลือก

	ตัวแปรจัด กลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วย ทั้งหมด	ร้อยละความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
จำนวน	ปกติ	100	51	151	62.8
	เนื้อแก้ว	23	25	48	
ร้อยละ	ปกติ	66.2	33.8	100.0	
	เนื้อแก้ว	47.9	52.1	100.0	

เมื่อนำเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญจากตารางที่ 16 มาพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วพบว่า มังคุดทั้งหมด 199 ผล แบ่งเป็นมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว 48 ผล สำหรับมังคุดเนื้อปกติ 151 ผล พบว่าจำแนกถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อปกติ 108 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 43 ผล (คิดเป็นร้อยละ 71.5 และ 28.5) แต่สำหรับมังคุดเนื้อแก้ว 48 พบว่าจำแนกถูกต้องเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 32 ผล และผิดพลาดเป็นมังคุดเนื้อปกติ 16 ผล (คิดเป็นร้อยละ 66.7 และ 33.3) และความถูกต้องในการจัดจำแนกโดยรวมเท่ากับร้อยละ 70.4 ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การพยากรณ์ความถูกต้องในการทำนายมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้วโดยเลือกค่าที่มีนัยสำคัญ จากตารางที่ 16

	ตัวแปรจัด กลุ่ม	จำนวนหน่วยแต่ละกลุ่ม		จำนวนหน่วย ทั้งหมด	ร้อยละความ ถูกต้อง
		ปกติ	เนื้อแก้ว		
จำนวน	ปกติ	108	43	151	70.4
	เนื้อแก้ว	16	32	48	
ร้อยละ	ปกติ	71.5	28.5	100.0	
	เนื้อแก้ว	33.3	66.7	100.0	

จากการทดลองการตัดแยกมังคุดเนื้อแก้ว โดยการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโดยมีพารามิเตอร์จำแนก คือ ความถ่วงจำเพาะ (SC) ความแข็งของเปลือกมังคุด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก มีความถูกต้องในการจำแนก 70.4 % เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการตัดแยกมังคุดเนื้อแก้วแบบไม่ทำลายที่มีผู้คิดค้นที่ผ่านมาก พบว่า เปอร์เซนต์ความถูกต้องของการตัดแยกของการทดลองครั้งนี้มีความถูกต้องใกล้เคียงกันกับการตัดแยกด้วยวิธีการจมน้ำ-ลอยน้ำ วิธีการวัดสัญญาณเสียงจากการเคาะ และวิธีใช้ไดโอดเปล่งแสงความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร โดยการตัดแยกด้วยวิธีการจมน้ำ-ลอยน้ำ ความถูกต้อง 75.13% แต่วิธีการจมน้ำ-ลอยน้ำ มีข้อเสียคือถ้าปีใดในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวมังคุดมีฝนตกหนัก เมื่อใช้วิธีการจมน้ำ-ลอยน้ำตัดแยกมังคุดเนื้อแก้ว ผลการตัดแยกที่ได้อาจจะเกิดการปนกันของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว และอีกอย่าง หากเก็บรักษามังคุดไว้เป็นเวลาหลายวัน มังคุดเนื้อแก้วอาจไม่จมน้ำแต่อาจลอยน้ำ เนื่องจากการเก็บรักษาผลมังคุดไว้ มังคุดจะมีการสูญเสียน้ำออกจากผลไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเนื้อผลกับเปลือกของมังคุด

วิธีการตัดแยกมังคุดโดยการวัดทางไฟฟ้า ด้วยวิธีการวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ โดยนำเทคนิคของการวิเคราะห์สัญญาณแบบการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปกตรัม ให้ความถูกต้องในการตัดแยก 71.1% ซึ่งการตัดแยกด้วยวิธีนี้มีความซับซ้อนในการตัดแยก

วิธีการตัดแยกมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR ใช้ไดโอดเปล่งแสงความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ยิ่งทะลุผ่าน สามารถแบ่งแยกมังคุดเนื้อแก้วถูกต้องประมาณ 70 % แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ผลมังคุดมีรูปร่างที่ไม่คงที่ เป็นวิธีที่ซับซ้อนยุ่งยากในการตรวจสอบ

อย่างไรก็ตามวิธีการตัดแยกมังคุดเนื้อแก้ว โดยการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโดยมีพารามิเตอร์จำแนก คือ ความถ่วงจำเพาะ ความแข็งของเปลือกมังคุด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก เป็นวิธีการตัดแยกมังคุดโดยใช้พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเป็นเนื้อแก้วของผลมังคุด โดยพารามิเตอร์ที่ใช้สามารถวัดด้วยเครื่องที่ซับซ้อน แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการตัดแยก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกมังกุคเนื้อแก้ว ที่ทดสอบค่าทางสถิติ พบว่า ความถ่วงจำเพาะ , พื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ 3 มิลลิเมตร (WS_3) , Load at Limit, Maximum Load, Work to Maximum Load, แฟลคเตอร์ด้านเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร(PC_3L) และแฟลคเตอร์ด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร (PC_3S) สามารถจำแนกมังกุคเนื้อแก้วได้

2. การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Discriminant Analysis โดยใช้พารามิเตอร์ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุดในการจำแนกกลุ่มคือ Load at Limit และความชื้นด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญน้อยสุด และมีความถูกต้องในการจำแนกมังกุคเนื้อแก้ว คิดเป็นร้อยละ 66.3

3. การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Discriminant Analysis โดยใช้พารามิเตอร์ ความชื้น ใช้ค่าแฟลคเตอร์ (Principal Component) เป็นพารามิเตอร์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลา ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุดในการจำแนกกลุ่มคือ Load at Limit และความชื้นด้านตรงข้ามกับเมล็ดใหญ่ เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญน้อยสุดมีความถูกต้องในการจำแนกมังกุคเนื้อแก้ว คิดเป็นร้อยละ 69.8

4. การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Discriminant Analysis โดยใช้พารามิเตอร์ไม่ทำลาย คือ พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ พารามิเตอร์ Principal Component Analysis พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุดในการจำแนกกลุ่มคือ Load at Limit และ Deflection at Maximum Load เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญน้อยที่สุดมีความถูกต้องในการจำแนกมังกุคเนื้อแก้ว คิดเป็นร้อยละ 70.4

5. เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังกุคโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือกสามารถคัดแยกมังกุคเนื้อแก้วได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาวิธีการกำหนดตำแหน่งด้านเมล็ดใหญ่ของผลมังคุดที่มีความแม่นยำ เพื่อให้การทดสอบด้วยการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือกมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากวิธีการกำหนดตำแหน่งด้านเมล็ดใหญ่ของผลมังคุด จะช่วยในการแทงอุปกรณ์ให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลภายในเปลือกได้ถูกต้องและแม่นยำ
2. อุปกรณ์ให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลควรมีปลายที่แหลมมาก และต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเล็กมากด้วย เพื่อสะดวกในการแทงลงบนผิวมังคุด และจะช่วยให้ทำลายเปลือกมังคุดน้อยลง
3. ในการทดลองการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก ยังมีปัญหาเรื่องของการเก็บข้อมูล ซึ่งใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 1000 ค่า (1000 วินาที) ควรหาวิธีการที่สามารถเก็บข้อมูลให้มากแต่ควรใช้เวลาสั้นที่สุด
4. อุปกรณ์ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิล ควรมีความมั่นคงและสะดวกในการเคลื่อนเมื่อทำการเปลี่ยนผลมังคุด และคิดค้นอุปกรณ์จับผลมังคุดให้มีความมั่นคงและสะดวกในการจับวางผลมังคุดขณะทำการทดลอง
5. ขณะทำการทดลองที่ห้องควบคุมอุณหภูมิอาจจะมีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิห้องควบคุมอุณหภูมิและความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์วัด
6. ควรทำการทดลองซ้ำ 2 ฤดูกาล เพื่อความแม่นยำในการทดลอง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547 . พิมพ์ครั้งที่ 1.
เอกสารวิชาการลำดับ : มังคุด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,
กรุงเทพฯ.

ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล , สายัณห์ สดุดี , พรชัย พุกภัยภัทรานนท์ และคณิตก เจษฎ์พัฒนานนท์. 2543. การ
พัฒนาและการตรวจจําอาการเนื้อแก้วและยางไหลในผลมังคุด. สารแม่ผล ปีที่ 5 ฉบับที่ 4
สิงหาคม 2543.

ชนะชัย พันธุ์เกษมสุข . 2534. การศึกษาวิธีการตัดคุณภาพของผลมังคุด. ภาควิชาพืชสวน คณะ
เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วรภัทร ลักนทินวงศ์. 2539. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความมีชีวิตของเซลล์ และปัจจัยของน้ำ
ที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ศรียนต์ ชัยจําริญพันธ์. 2539. การศึกษาอาการเนื้อแก้วของมังคุด . ปัญหาพิเศษปริญญาตรี.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรีสังวาลย์ ลายวิเศษกุล. 2537. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วในมังคุด. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร . 2549. สถานการณ์
การค้ามังคุด. แหล่งที่มา : http://www.dft.moc.th/the_files/16/level4/mangosteen 49.doc,
25 พฤษภาคม 2550

สุรเชษฐ์ บุญรัตน์ และ เอกพงษ์ ปรีชาสุชาติ. 2540. การตรวจสอบคุณภาพมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIR. โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมศักดิ์ วรรณศิริ . 2541. มังคุด. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์เกษตรกรรม. บริษัทเอเชียแปซิฟิก พรินต์ติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : มังคุด (มกอช. 2-2546).

อัมพวัน ต้นสกุล , ศักรินทร์ ภูมิรัตน์ และศิริลักษณ์ เพ็ชรขาว . 2543 . ค่าความร้อนจำเพาะและค่าการนำความร้อนของขนุน.วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2543. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. **Journal of Food Engineering**. 61 (3): 471-475.

Camps C., P. Guillermin, J. C. Mauget and D. Bertrand. 2005. Data analysis of penetrometric force/displacement curves for the characterization of whole apple fruits. **Journal of Texture Studies**. 36 (2005): 387-401.

Fontana1, A. J., J. Varith, J. Ikediala, J. Reyes, and B. Wacker. 1999. Thermal Properties of Selected Food Using a Dual Needle Heat-Pulse Sensor . **ASAE Meeting Presentation**. Paper No. 996063.

Konopacka, D. and W. J. Plochanski. 2004. Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. **Postharvest Biology and Technology**. 32 : 205-211.

- Mizrach, A., N. Galili, S. Ganmor, U. Flitsanov and I. Prigozin. 1996. Models of Ultrasonic Parameters to Assess Avocado Properties and Shelf Life. **J. agric. Engng Res.** 65: 261-267
- Pankasemsuk, T., J. O. jr. Garner, F. B. Matta, and J. L. Silva, 1996. **Translucent flesh disorder of mangosteen fruit (*Garcinia mangostana* L.)**. HortScience. 31(1). 112-113.
- Teerachaichayut, S., K. Y. Kill, A. Terdwongworakul., W. Thanapase and Y. Nakanishi. 2007. **Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy**. Postharvest Biology and Technology. 43(2). 202-206.
- Tonglearn, T., N. Jittiwarakul., P. Kumhom and K. Chamnongthai. 2004. Non-destructive grading of mangosteen by using microwave moisture sensing. **International Symposium on Communications and Information Technologies**. 650-653.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลขนาดผลมังคุดและข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆ

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลขนาดที่วัดของมังคุดเนื้อปกติ (หน่วย : mm)

No.	D _{min}	D _{max}	High
1	63	65.2	52.4
2	62	64.3	51.3
3	61.1	63.5	48.4
4	63.1	65.2	51
5	64.8	68.3	58.3
6	65.8	68.4	55.7
7	59.9	64.6	49.5
8	61.9	64.2	52.5
9	59.6	60.7	47.8
10	53.3	56.1	46.4
11	71.6	75.1	60
12	71.4	74	58.5
13	64.8	65	52.3
14	70.7	70.8	58
15	64.8	65.2	50.8
16	64.3	66	48.5
17	62.4	63.3	51.3
18	64	64.1	55
19	67.3	71	53.7
20	67.9	68.4	56.5
21	66.5	67.4	55.1
22	68.1	68.3	55.1
23	71	72.4	56.8
24	68.1	71	55.2
25	69.9	74.2	56.6
26	69	73	54.7

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	D _{min}	D _{max}	High
27	68.2	69.1	55.7
28	65.6	69.9	54.7
29	68.3	68.8	53
30	67.9	68	54.1
31	65	71.2	53
32	67.7	70.6	51
33	67.2	68.8	52
34	71.7	72	56.6
35	66.4	76.9	51.1
36	73.2	74.6	57.7
37	68.5	70.4	53.6
38	66.1	67.9	51
39	66	67.6	53.8
40	68.4	70.9	52.7
41	63.6	68.6	52.1
42	64.6	65.8	53.8
43	63.7	65.9	52.6
44	65.2	66.7	50.8
45	68.2	67.2	52.9
46	67.9	68.1	54.9
47	67.9	68.1	54.9
48	66.8	68.6	53.2
49	65.2	67.7	53.6
50	66.7	67.1	51.7
51	65.4	65.5	51.5
52	64.7	66.8	52.1

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	D _{min}	D _{max}	High
53	64.4	65.1	50.5
54	63.8	65.9	50.7
55	63.1	64.7	49.5
56	63.5	64.1	52.3
57	63.5	64.3	51.6
58	62.2	63.2	50.9
59	61.6	62.6	49.8
60	69.9	72.3	52.8
61	68	68.5	53.9
62	68	71.8	51.4
63	69.4	69.9	54.9
64	66.5	67.3	53.1
65	64.8	65.4	52.3
66	64.9	65.7	52.1
67	65.7	66.4	53.3
68	64.5	64.9	51.6
69	65.1	65.1	51.2
70	64.7	67	50.9
71	65.3	66.2	53.7
72	63.7	65.7	54.4
73	64.1	65.8	52.1
74	65	66	53.1
75	63.4	65.4	51.8
76	66.1	67.7	54.4
77	66.6	69.7	53.9
78	66.4	67.2	55.6

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	D _{min}	D _{max}	High
79	64.5	64.6	48.1
80	65.9	69.4	51.9
81	65.9	66.9	51.5
82	66.7	67.1	49.9
83	62.2	65.6	51.8
84	65.4	66.6	50.4
85	62.7	65.4	51.6
86	63.2	64.4	51.3
87	61.9	62.6	50.8
88	63.3	64.7	50.8
89	61.9	64.9	51.4
90	61.1	64.5	51.4
91	62.2	64.2	51.9
92	60.8	61.9	52.7
93	62	62	49.6
94	61.4	63	47.7
95	62.5	63.3	50.6
96	62.8	63	51.7
97	63.6	65.1	47.6
98	65.6	67.6	54.1
99	63.2	65	52.2
100	67.3	67.7	54.2
101	66.4	67.2	52.9
102	65	67.5	53.7
103	63.2	69.1	53.8
104	64.5	64.6	50.5

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	D _{min}	D _{max}	High
105	64	67.5	50.6
106	62.3	63	51.6
107	61.5	64.2	50
108	60.4	61.9	51.3
109	63.4	62.5	52.4
110	59.6	61.6	50.1
111	59.6	61.9	49.6
112	61.5	62.3	48.4
113	67	67	53.7
114	67	67.8	54.2
115	66	68.9	53.3
116	68	68.7	50.5
117	64.9	67	54
118	62.8	66	49.8
119	68.6	68.8	56.9
120	66.2	67.4	53.1
121	66.5	66.7	56
122	63.7	64.7	52.6
123	64.9	65.7	53.1
124	63.8	66	49.4
125	66	66.6	52.3
126	65.1	65.4	52.4
127	63.6	64	50.2
128	64.1	64.6	54.7
129	62.4	66.3	52.1
130	64.9	65.4	50.3

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No.	D _{min}	D _{max}	High
131	63.7	65	51.8
132	63.4	64.8	52.7
133	63.9	66.4	50.4
134	64.4	65.2	53
135	63.5	64.6	51.6
136	62.3	63.1	54.3
137	61.3	64.8	48.9
138	64.5	64.8	53
139	60.6	61.1	48.8
140	59.9	61.5	46.2
141	59.7	59.8	49
142	60.6	61.9	48.7
143	58	60.8	45.2
144	57.2	60.2	49.2
145	57.3	57.8	47.9
146	59.1	60.3	49.9
147	57.1	60.4	51.7
148	56.2	58.9	48.5
149	57.7	58.4	49.9
150	56.8	56.9	47.8
151	56.6	58.3	45.7

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลขนาดที่วัดของมังคุดเนื้อแก้ว (หน่วย : mm)

No.	D _{min}	D _{max}	High
1	64.2	67	50.2
2	62.6	63.1	50.1
3	61.7	63.8	50.6
4	59.5	61.5	50.3
5	60.7	62.8	59
6	60.2	63	49
7	68.4	69.8	56.4
8	67.7	68.4	55.6
9	66.7	67.7	55.2
10	66.4	68.1	51.7
11	63	64	50.7
12	66.2	67.7	54.4
13	64.1	65.9	54.4
14	68.4	69	56.3
15	69.3	69.8	53
16	65.7	66.2	54.6
17	71.2	71.6	54.7
18	68	68.7	55.6
19	64.3	65.5	53
20	67.3	69.1	50.9
21	65.1	65.8	52.9
22	64.1	64.9	52.9
23	62	66.8	49.9
24	61.8	65.3	50.8
25	62	65.6	50
26	62.7	64.3	50.9

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No.	D _{min}	D _{max}	High
27	61.8	64.3	50.7
28	71.7	75.5	57.4
29	67.6	70	54
30	67.1	69.4	55.9
31	68.7	69.4	56.7
32	65.5	66	51.3
33	65.6	65.8	51.4
34	63.9	66.1	46.3
35	63.4	64.2	49.6
36	66.5	69.2	53.9
37	63.1	63.3	52.2
38	62.5	63.5	52.3
39	62	62.1	50.2
40	67.1	72.2	55.9
41	63.2	63.8	48.7
42	64.9	66.9	51.2
43	66.5	68.4	52.3
44	59.4	60.2	52.9
45	64.5	65.1	50.9
46	65.4	66.7	52.4
47	59	59.2	48.6
48	58	59	48.1

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลน้ำหนักของมังคุดเนื้อปกติ (หน่วย : g)

No.	น้ำหนักรวมทั้งหมด	น้ำหนักไม่รวมขั้ว
1	112.71	109.08
2	100.39	97.58
3	105.26	102.21
4	112.01	109.3
5	149.51	146.45
6	141.26	139.12
7	122.25	118.68
8	126.92	123.46
9	99.03	96.73
10	76.3	74.4
11	188.76	184.25
12	188.78	184.36
13	126.18	122.75
14	171.1	166.16
15	127.56	124.2
16	127.8	124.4
17	128.34	124.25
18	127.56	123.73
19	155.48	152.03
20	152.1	148.38
21	148.97	138.38
22	149.57	145.23
23	179.07	175.12
24	154.89	151.3
25	176.46	172.21
26	170.74	166.54

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	น้ำหนักรวมทั้งหมด	น้ำหนักไม่รวมข้าว
27	156.85	152.35
28	150.36	146.42
29	150.95	146.96
30	147.54	143.42
31	149.82	145.63
32	148.83	145.14
33	145.05	141.48
34	166.11	162.1
35	141.2	137.88
36	180.33	177.16
37	146.46	143.34
38	130.7	127.96
39	136.58	132.89
40	146.03	142.94
41	132.8	129.89
42	128.97	126.12
43	126.63	123.91
44	125.31	122.12
45	148.17	144.11
46	149.67	146.14
47	153.98	149.97
48	153.42	148.64
49	142.74	138.94
50	142.74	138.13
51	139.47	135.24
52	135.01	130.24

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	น้ำหนักรวมทั้งหมด	น้ำหนักไม่รวมข้าว
53	131.99	127.01
54	131.27	127.27
55	122.59	118.28
56	131.02	126.85
57	124.82	121.1
58	118.74	114.84
59	114.67	110.66
60	169.01	165.08
61	145.26	141.37
62	146.73	142.9
63	157.1	153.55
64	138.48	134.92
65	129.48	126.04
66	132.63	128.76
67	133.81	130.52
68	131.26	127.63
69	124.33	121.12
70	127.49	123.44
71	131.49	128.7
72	133.32	131.42
73	127.65	123.99
74	129.73	126.93
75	126.62	123.06
76	143.62	140.41
77	146.47	143.16
78	142.35	140.93

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	น้ำหนักรวมทั้งหมด	น้ำหนักไม่รวมข้าว
79	125.01	120.44
80	144..5	141.27
81	141.14	137.81
82	142.48	138.92
83	125.33	123.67
84	132.16	128.1
85	122.71	119.19
86	129.44	126.38
87	112.72	110.12
88	116.53	113.85
89	116.18	113.02
90	116.19	114.79
91	121.48	119.62
92	116.99	114.04
93	110.21	107.68
94	111.69	108.81
95	112.55	110.21
96	121.09	118.39
97	119.01	115.64
98	133.21	131.8
99	128.75	126.15
100	128.79	126.17
101	136.72	133.48
102	126.27	123.15
103	139.22	136.31
104	123.36	120.33

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	น้ำหนักรวมทั้งหมด	น้ำหนักไม่รวมข้าว
105	120.93	117.25
106	115.64	113.25
107	112.6	110.68
108	101.2	99.87
109	111.22	109.43
110	106.29	104.46
111	104.7	101.66
112	97.76	94.14
113	139.64	135.85
114	150.5	146.88
115	144.71	141.98
116	147.07	144.03
117	138.48	134.3
118	119.73	116.69
119	154.61	150.71
120	140.88	137.88
121	137.11	133.64
122	123.23	119.73
123	134.63	131.17
124	122.15	118.69
125	134.02	130.38
126	129.06	124.85
127	121.32	117.75
128	120.04	116.87
129	123.46	119.6
130	122.59	119.72

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No.	น้ำหนักรวมทั้งหมด	น้ำหนักไม่รวมข้าว
131	123.54	119.61
132	119.5	116.17
133	120.18	118.11
134	114.99	111.9
135	115.19	112.57
136	124.75	122.27
137	102.07	99.67
138	119.68	116.65
139	96.13	93.54
140	102.16	98.76
141	97.45	93.34
142	98.54	94.54
143	87.22	83.34
144	89.97	87.21
145	86.06	82.49
146	87.25	83.47
147	95.36	92.91
148	86.72	83.62
149	88.11	85.4
150	82.8	80.72
151	86.86	83.38

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลน้ำหนักมังคุดเนื้อแก้ว (หน่วย : g)

No.	น้ำหนักรวมทั้งหมด	น้ำหนักไม่รวมขั้ว
1	121.71	118.16
2	105.88	102.95
3	109.78	107.63
4	92.36	88.64
5	104.49	101.81
6	104.73	102.13
7	167.32	164.84
8	159.76	156.82
9	147.87	145.51
10	144.46	140.95
11	130.97	127.8
12	148.24	143.95
13	133.46	129.54
14	159.31	155.26
15	154.39	150.67
16	148.39	148.84
17	175.91	171.88
18	159.55	156.09
19	138.24	134.82
20	153.37	149.78
21	135.39	130.44
22	131.33	127.03
23	123.35	119.41
24	132.39	128.31
25	124.52	120.72
26	127.43	123.2

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

No.	น้ำหนักรวมทั้งหมด	น้ำหนักไม่รวมข้าว
27	127.96	125.27
28	191.55	187.98
29	146.17	142.87
30	148.93	146.03
31	161.27	159.66
32	131.4	128.05
33	130.29	126.96
34	125.69	121.75
35	120.1	117.15
36	141.83	138.61
37	118.9	116.8
38	120.85	117.69
39	113.39	110.59
40	162.59	159.78
41	110.83	107.27
42	136.77	133.33
43	139.03	135.86
44	108.48	105.5
45	127.14	123.71
46	129.89	126.86
47	92.64	88.77
48	91.28	88.28

ตารางผนวกที่ ก5 ค่าความถ่วงจำเพาะของมังกุคเนื้อปกติ

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
1	0.92	27	1.02
2	0.87	28	1.02
3	1.02	29	1.05
4	1.00	30	1.00
5	1.03	31	1.00
6	0.99	32	1.01
7	1.07	33	1.00
8	1.04	34	0.97
9	0.99	35	0.97
10	0.98	36	0.98
11	0.99	37	0.99
12	1.01	38	0.95
13	0.97	39	0.98
14	1.00	40	1.02
15	1.00	41	0.97
16	1.00	42	0.98
17	1.04	43	1.00
18	0.98	44	0.95
19	1.01	45	1.03
20	0.99	46	1.02
21	0.97	47	1.04
22	0.99	48	1.03
23	1.04	49	1.03
24	0.99	50	1.01
25	1.01	51	1.05
26	1.03	52	1.00

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
53	1.02	79	1.00
54	1.04	80	1.01
55	1.00	81	1.02
56	1.02	82	1.01
57	1.03	83	1.01
58	1.01	84	1.00
59	1.00	85	1.01
60	1.01	86	1.03
61	0.95	87	0.99
62	0.97	88	0.97
63	1.00	89	0.96
64	1.00	90	1.01
65	0.99	91	1.02
66	0.98	92	0.98
67	0.97	93	0.99
68	1.00	94	1.03
69	0.96	95	0.97
70	0.96	96	1.02
71	0.96	97	0.98
72	1.02	98	0.98
73	0.99	99	1.02
74	0.98	100	0.89
75	1.00	101	1.01
76	1.02	102	0.93
77	1.01	103	1.03
78	1.02	104	0.99

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
105	0.96	131	0.99
106	0.97	132	0.96
107	0.99	133	0.96
108	0.96	134	0.90
109	0.95	135	0.95
110	1.01	136	1.02
111	0.98	137	0.90
112	0.91	138	0.93
113	0.99	139	0.93
114	1.02	140	0.99
115	0.98	141	0.97
116	0.99	142	0.91
117	1.02	143	0.87
118	0.98	144	0.92
119	0.98	145	0.94
120	1.01	146	0.87
121	0.98	147	0.93
122	0.98	148	0.94
123	1.03	149	0.97
124	0.96	150	0.94
125	1.00	151	0.98
126	0.97		
127	0.97		
128	0.93		
129	0.97		
130	0.98		

ตารางผนวกที่ 6 ค่าความถ่วงจำเพาะมังกูคเนื้อแก้ว

No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ	No.	ค่าความถ่วงจำเพาะ
1	0.96	27	1.04
2	0.98	28	1.03
3	0.99	29	0.97
4	0.90	30	0.97
5	0.95	31	1.03
6	1.00	32	0.99
7	1.04	33	0.98
8	1.07	34	0.99
9	1.01	35	0.99
10	1.03	36	0.96
11	1.05	37	1.01
12	1.02	38	1.00
13	1.02	39	1.03
14	1.02	40	1.03
15	1.00	41	0.96
16	1.03	42	1.02
17	1.02	43	0.99
18	1.00	44	1.01
19	1.01	45	1.01
20	1.05	46	0.97
21	1.02	47	0.93
22	1.03	48	0.98
23	0.99		
24	1.06		
25	1.02		
26	1.03		

ตารางผนวกที่ ก7 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกของมังคุดเนื้อปกติ

No.	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านตรงข้าม
1	61.46	59.10
2	55.77	58.63
3	62.73	61.82
4	60.68	58.78
5	67.90	67.29
6	59.12	61.17
7	66.93	65.92
8	62.61	64.75
9	58.89	62.20
10	62.69	64.22
11	64.46	64.71
12	61.69	62.93
13	63.20	62.68
14	65.32	65.87
15	68.35	67.34
16	62.80	63.47
17	65.64	66.97
18	63.16	68.58
19	62.35	60.93
20	61.94	63.54
21	59.72	60.36
22	59.52	60.20
23	63.43	63.97
24	68.60	70.88
25	66.62	65.65
26	64.74	62.25

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

No.	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านตรงข้าม
27	65.35	67.96
28	66.01	66.58
29	63.28	64.23
30	65.12	65.96
31	64.43	65.36
32	65.86	66.90
33	65.89	66.62
34	65.71	66.21
35	63.98	63.86
36	66.55	64.25
37	65.93	66.75
38	66.23	66.53
39	66.86	68.71
40	62.18	63.61
41	63.95	65.88
42	62.09	63.53
43	67.03	67.84
44	58.00	60.92
45	65.01	65.91
46	65.24	67.47
47	64.38	66.11
48	61.88	65.19
49	61.77	61.65
50	62.54	65.29
51	67.17	67.48
52	66.84	69.22

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

No.	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านตรงข้าม
53	67.86	69.30
54	64.71	65.42
55	60.12	62.39
56	64.61	66.08
57	66.31	65.58
58	63.80	69.46
59	63.58	65.77
60	69.19	67.80
61	65.72	64.75
62	63.50	63.04
63	66.80	67.04
64	66.57	67.95
65	63.19	66.88
66	63.92	67.28
67	63.05	64.75
68	65.12	63.80
69	64.14	39.51
70	62.24	62.23
71	55.82	58.07
72	61.44	60.84
73	61.67	64.20
74	61.29	62.95
75	65.22	65.97
76	67.52	67.34
77	63.53	61.75
78	67.16	67.42

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

No.	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านตรงข้าม
79	67.09	69.03
80	65.39	66.34
81	69.09	69.44
82	67.94	66.98
83	62.58	63.70
84	64.04	62.64
85	67.06	65.01
86	65.67	64.62
87	60.83	66.93
88	65.80	62.31
89	62.75	64.11
90	64.86	62.76
91	63.77	64.01
92	65.14	65.33
93	61.49	64.41
94	65.96	67.37
95	61.49	63.44
96	66.36	70.03
97	64.76	65.04
98	67.69	69.69
99	66.37	66.99
100	65.36	65.94
101	68.31	65.45
102	63.72	65.74
103	67.12	67.35
104	63.94	64.62

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

No.	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านตรงข้าม
105	62.95	64.34
106	62.79	72.69
107	63.06	63.07
108	64.61	67.10
109	81.96	65.96
110	65.34	67.98
111	63.32	65.22
112	60.61	60.89
113	67.29	69.39
114	67.75	66.90
115	60.62	63.30
116	67.86	69.77
117	59.55	62.40
118	65.68	65.11
119	66.18	65.82
120	65.24	66.59
121	65.24	65.14
122	62.17	64.36
123	71.41	71.07
124	64.34	63.50
125	67.00	68.91
126	64.80	66.36
127	63.08	64.89
128	71.09	63.87
129	62.20	61.81
130	66.13	69.44

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

No.	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านตรงข้าม
131	63.75	66.30
132	59.88	60.15
133	61.55	64.68
134	72.39	66.01
135	64.76	65.63
136	61.90	60.64
137	65.24	64.49
138	63.91	62.67
139	64.34	64.92
140	63.88	66.48
141	64.61	67.48
142	61.11	65.16
143	61.87	58.72
144	62.42	61.35
145	61.68	61.75
146	54.13	54.97
147	61.04	60.15
148	60.72	59.96
149	61.66	63.83
150	62.52	64.10
151	63.14	63.02

ตารางผนวกที่ ก8 เปรูเซ็นต์ความชื้นของเปลือกมังคุดเนื้อแก้ว

No.	เปรูเซ็นต์ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่	เปรูเซ็นต์ความชื้นด้านตรงข้าม
1	63.26	62.42
2	58.87	62.12
3	66.26	67.78
4	58.90	59.81
5	59.95	63.67
6	68.20	67.07
7	72.34	69.78
8	68.69	67.96
9	66.26	65.67
10	64.06	63.16
11	61.36	63.85
12	65.45	65.37
13	63.06	66.16
14	61.97	64.55
15	61.76	64.53
16	59.81	61.39
17	66.83	65.39
18	58.14	61.56
19	63.21	62.44
20	64.72	65.06
21	64.78	67.81
22	67.14	69.31
23	67.20	68.17
24	64.49	67.81
25	66.44	67.19
26	65.55	64.77

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

No.	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านติดกับเมล็ดใหญ่	เปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านตรงข้าม
27	52.09	64.37
28	64.92	65.51
29	61.78	65.71
30	64.57	64.42
31	62.18	61.42
32	67.46	63.45
33	62.39	64.33
34	63.56	62.24
35	62.19	61.63
36	60.02	61.57
37	64.84	65.56
38	61.68	63.93
39	61.40	63.63
40	64.57	64.56
41	66.27	67.70
42	67.74	66.96
43	62.05	66.59
44	66.66	69.47
45	65.81	64.70
46	64.54	61.83
47	64.44	52.17
48	68.94	70.55

ตารางผนวกที่ ก9 ค่าพื้นที่ใต้กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของมังคุดเนื้อปกติ (หน่วย : °C / s)

No.	ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ			ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ		
	3	5	7	3	5	7
1	26517.7	27444.45	28259.7	25745.15	27457.8	28085.75
2	25582.9	27118.45	27439.95	25672.1	27104.3	27711.2
3	25954.5	26995.35	27886.85	25786.1	26901.75	27567.85
4	25956	26502.1	27189.65	26112.3	26887.55	28071.05
5	26185.2	27389.3	27788.5	26371.5	27149.3	27796.5
6	26052.9	26669.8	27371.9	26636.4	27226.7	27793.65
7	26193.7	26951.45	27541.85	26327.5	27559.55	28268.25
8	26028.2	26773.5	26999.85	25979.35	26887.5	27311.2
9	26523.65	27168.05	27888.7	25862.75	27209.25	28203.9
10	25942.3	27163.6	27736.6	26149.2	27768.15	28170.3
11	26589.3	26785.55	27320.6	26543.5	26353.1	26934.05
12	26454.6	26849.95	27687.05	26539.55	26712.9	27972
13	26593.3	26391.85	26945	26314.1	26530.9	26821.8
14	26589.5	27242.4	27741	26072.6	27271.95	27694.8
15	26361	27202.25	27433.3	26577.65	27171.1	27539.5
16	26385.4	26630.8	27291.55	26052.8	26428.9	27161.35
17	25966.2	26918.15	27437.6	26104.35	26499.35	27208.5
18	26520.5	26852.6	27636.65	26502.85	27219.7	27620.55
19	26075.7	26373.55	27064.15	26255.7	27061.2	27453.75
20	26164.6	26963.7	27631.25	26108.85	27282	28016.65
21	26196.85	27186.1	27946.2	26937.1	27309.5	27656.75
22	25684.1	26919.05	26800.25	25549.9	27040.8	26771.05
23	25997.85	26819.25	27337.5	25831.45	27447.45	27491
24	25791.35	27025.55	27225.6	26558.9	26978.5	27244.45
25	26331.4	27607.15	27632.25	26886.75	27715.2	27793.75

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

No.	ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ			ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ		
	3	5	7	3	5	7
26	26521.8	27133.5	27354.55	26529.8	27877.6	28097.1
27	26730.7	27891.2	28349	26845.05	27217	27793.9
28	26494.15	27342.2	27328.2	27275.45	27438.75	27937.4
29	27208.25	27554.15	28343.15	26650.2	27213.2	27695.6
30	26650.4	27755.1	28128.95	27023.35	27548.9	28748.3
31	26999.4	27873.9	28491.05	27021.7	27874.75	28454.9
32	26380.05	27262.15	27985.4	26902.7	27385	28034.5
33	26591.6	27376	27901.3	26309.1	27115.15	27396.45
34	25965.7	26469.4	27111	26540.85	27012.7	27441.4
35	26746.6	26978.4	27664.3	26576.6	27200.55	27797
36	26018.2	26640.8	27478	26652.5	27542.95	28431.85
37	27033.75	27204.5	27960.1	26552.6	26985.25	27418.05
38	26313.55	26522.2	27070.2	26824.75	27461.85	28273.7
39	26544.7	27242.7	27705.8	26848.3	27901.35	28464.95
40	26842.45	27117.65	27763.55	27234	27689.35	28537.95
41	26919	27395.05	28028.25	27228.75	27839	28682.45
42	26345.65	26420.15	27448.85	26519.85	26923.6	27103.65
43	26389.35	26894	27584.85	26843.6	27370.85	28396.5
44	26530.05	27640.45	28301.1	26249.95	27050.3	27626.2
45	24886.25	26595.5	27936.9	24826.8	27467.9	27409.75
46	26293.2	26550.9	27527.7	28002.55	29416.35	29296.95
47	25884.5	27635.1	27320.7	26481.8	27106.5	27703.2
48	26801.8	27672.35	27891.55	27758.3	29728.25	28357.3
49	26311.3	27784.55	27625.65	27138.25	27713.1	29707.5
50	26544.45	27328.9	31407.3	27674.3	28871.6	29016.35

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

No.	ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ			ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ		
	3	5	7	3	5	7
51	26410.55	27089.45	27330.3	26835.35	27406.15	27647.95
52	26195.05	26996.15	27611.9	26699.95	27825.45	27534.9
53	26508	27554.45	26882.5	26565.15	27176.55	27875.1
54	26783.2	28450.35	27876.85	27448.75	27982.3	29157.7
55	26770.1	26568.85	28152.35	27228.25	27748.75	27998.55
56	27124.6	27948.5	29017.3	27082.3	28574.7	28465.7
57	27126.45	27653.45	27589.8	27294.3	27756.1	27040.8
58	27046.8	27931.15	28042.8	26984.95	28432.45	27580.8
59	27194.3	26952.85	29493.3	27604.15	29339.1	29768.8
60	26259.1	24586.5	26834.05	25575.65	24683.65	26985.05
61	24853.3	24786.95	26350.2	24783.65	24787.8	27363.55
62	25816.85	26309.05	26937.55	26147.65	27188.05	27913.7
63	26115.35	27254.2	27209.2	25967.35	26704	27262.8
64	26133.65	26634.05	27461.25	26185.85	27093.7	27671.6
65	26259.25	26957.8	27096.65	26230.5	26918.6	27185.75
66	26523.05	27397.9	27929.85	26058.5	27376.75	28108.65
67	26138.05	26886.85	26683.5	26861.65	27517.85	27492.25
68	26845.1	28196.7	27697.75	26512.95	27702.2	28211.25
69	25993.75	26524.3	26568.6	25958.4	27027.9	26846.6
70	26239.8	27180.4	27648.05	26624.15	27405	27894
71	26051.05	26661.85	26512.4	26530.95	27063.9	27103
72	27494.5	27557.8	27629.1	27327.4	28030.55	27873.9
73	26270.8	26412.85	27331.2	26827.05	27655.05	28265.5
74	26462.5	26915.5	26941.75	27087.3	27901	28407.05
75	26421.35	27945.2	28829.75	27137.5	28950.65	29229.2

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

No.	ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ			ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ		
	3	5	7	3	5	7
76	25645.8	26576.3	27117.7	26074.95	27230.25	27572.75
77	26613.05	28209.1	29476.75	26352	27350.6	28009.65
78	26160.65	27190.85	27812.5	26078.25	26931.1	27650.55
79	26282.75	27573.3	28644.5	26830.35	28327.3	28515.6
80	25982.15	26877.8	27524.5	26143.3	27157.55	27691.65
81	26602.65	28452.65	29029.15	26403.25	28036.3	28425.95
82	26460	28717.3	28619.75	26809.7	28136.3	28352.5
83	26727.9	27313.15	28315.05	26939.55	27940.5	28664.4
84	26194.25	26751.5	27540.6	26940.45	28365.3	29309.95
85	26275.35	26831.8	27045.15	26425.35	27148.95	27428.85
86	26175.3	27264.4	28027.25	26852.7	28339.15	30044.55
87	26078.5	26936.1	27827.65	26332.9	27129.6	27927.05
88	26138.05	26923	27792.4	26070.1	26871.65	28209.6
89	26105.45	26783.35	27465.15	26049.5	26653.35	27767.75
90	26179.2	26836.25	27611.85	26479.25	27577.45	28175.05
91	26322.45	26946.8	27208.5	26208.1	27025.85	27274.95
92	26115.2	26708.65	27025.55	26024.85	27161.2	28189.4
93	26505.05	26771.9	27724.9	26685.55	27236.3	27858.9
94	26152.9	27474.3	27808.45	26473.4	27733.8	28979.05
95	26849.15	27028.2	28008.8	26589.55	27457.45	28327.85
96	25663.45	27047.5	27251.55	26376.5	26945.3	27592.3
97	26345.5	26655.05	27196.45	26040.5	26600.1	27213.05
98	26130.65	27227.8	27422.3	26341.4	27160.95	27508.75
99	26489.15	27571.55	27863.2	25826.85	27347	27619.75
100	26144.6	26959.95	26078.7	26093.05	26829.85	27576.7

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

No.	ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ			ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ		
	3	5	7	3	5	7
101	25998.75	27312.75	27638.6	26743.7	27060.4	28073.25
102	26202.6	26854.9	27306.85	26974.4	28141.05	28301.2
103	25954.6	26327.3	27314.3	26229.8	26544.45	27087.8
104	25972.3	26917.35	27363.65	25671.1	26830.45	27534
105	26447.7	26370.1	27045.35	26314.75	26518.3	27388.2
106	26230.7	27527.15	28872.65	26813.6	27338.65	28310.8
107	26284.55	27046.65	27416	26616	27276.65	26098.95
108	26316.45	26871.35	27429.1	26346.75	26916.25	27859.35
109	26323.45	26921.25	27488.95	26280.45	27531.8	28330.5
110	25762.6	26695.25	26946.55	26526.25	27989.25	29016.55
111	24808.15	26780.7	27325.45	26305.2	27032.95	27382.25
112	24783.5	28543.95	29612.95	25680.8	27155	27912
113	26810.35	27269.2	27334.25	27652.75	27048	27907.65
114	26157.9	26915.1	28066.5	26327.15	27150.7	27868.8
115	26147	26786.65	26871.4	26130.15	26476.85	26621.5
116	25473.4	26742.15	27338.75	26065.1	26798.9	27592
117	26035.6	26635.55	27045.55	26286.15	26967.3	27318.7
118	26514.5	27513.75	27953.5	26180.5	26647.35	27361.85
119	26169.55	27245.45	27083.75	25970.5	26594.3	27046.2
120	25784.55	26822.25	27008.75	25785.05	27167.9	27745.65
121	26478.75	27155.75	27534.35	26013.8	26132.15	27296.5
122	26163.95	26948.9	27374.1	26305.5	27291.6	27849.6
123	26251.5	27643.15	28567.75	26239.35	26929.65	27741.6
124	26845.15	28115.7	28196.15	26553.55	27863.25	28315.1
125	26072.45	27177.25	27302.45	25925	27093.4	28081.4

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

No.	ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ			ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ		
	3	5	7	3	5	7
126	26807.85	27852.65	28753	26229.75	27220.6	27557.6
127	26258.15	26873.95	27967.2	26221.35	27275.65	28213.35
128	25871	26510.1	27435.05	26094.05	27327	27988.25
129	26130.15	27288.4	28306.25	26371.4	27291.55	28215.4
130	25917.95	26557.95	27306.65	25954.35	27321.25	27327.75
131	26080.5	26617.95	27761.65	25979.9	27033.05	27836.9
132	26048.5	27257.2	27661.2	25819.15	27267.35	27651.55
133	25405.35	26408.4	27169.2	26023.8	26636.05	27536.1
134	26284.55	27041.35	27957.65	26175.85	26666.45	27528.15
135	26286.8	27133.25	27181.9	26060.15	27802.35	28092.55
136	26092	26691.6	27233.6	26151.1	26823.65	27156.95
137	26002.55	27994.45	28450.65	26172.4	26666.2	27746.35
138	25781.95	26205.45	27101.45	26069.6	26668.15	26641
139	26287.9	27726.55	28612.55	25731.8	27080.6	27545.05
140	26070.3	26821.55	27334.8	26353.95	27320.45	27729.55
141	26305.7	27171.3	26919.9	26222	27166.5	27330.8
142	26297.35	27128.75	28307.1	25980.95	26715	27783.3
143	26443	27393.8	27793.1	25936.05	27378	27732.05
144	25622.85	26545.25	26818.3	26060.55	27010.85	27583.7
145	26070.05	28008.85	28505	26416.6	28613.15	29242.4
146	26441.4	27400.2	28190.65	25937.2	26566.3	27139.65
147	26186.7	26992	27702.55	26190.55	27325.05	27916.8
148	26115	26848.2	27421.15	26091.1	26991.35	28113.95
149	26042.95	26825.75	27438.45	26219.25	27314.95	28549.85
150	26181.35	26956.55	27216.2	26505.55	27610.55	27845.45
151	26290.9	26647.25	26864.35	26257.3	26776.95	26951.65

ตารางผนวกที่ ก10 ค่าพื้นที่ใต้กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของมังกุคเนื้อแก้ว (หน่วย : °C / s)

No.	ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ			ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ		
	3	5	7	3	5	7
1	25907.5	27523.1	28815.45	25838.95	27012	27981.15
2	25835.4	27621.25	28026.55	25462.65	27072.05	27435.55
3	25793.5	26625.05	27289.7	25939.2	26782.6	27300.65
4	25658.9	26785.9	27263.15	25544.8	26839.65	27096.8
5	25619.1	27477.45	28067.6	25822.1	26483.4	27289.15
6	25667.5	26510.6	26951.1	26029.85	26715.8	27658.55
7	26713.1	27141.1	28054.85	26394.3	27236.05	28012.4
8	25483.8	26847.05	27453.15	24851.65	27094.15	27596.65
9	25527.5	26998.2	27758.55	25738.2	27071.85	27653.15
10	24401.1	26640.3	27155.1	24871.35	27186.1	27932.4
11	26402.1	26807.1	27423.2	26588.8	27360.35	28206.45
12	26664.8	26621.8	27812.35	26165.95	26629.55	27103.05
13	25937.7	26668.9	27218.5	25776.35	26876.5	27205.7
14	25759.5	25825.7	26445.3	26387.4	26691.4	26977.65
15	26458.9	27376.35	28505.7	26288.35	27705.8	28412.45
16	26530.3	27734.85	28051.05	26545.65	27199.35	27444.3
17	26715.1	27942.35	27670.2	26143.8	27296.5	27719.55
18	25931.5	26789.5	26671.2	26491.9	27459.6	27578.9
19	25907.6	26801.8	27028.9	26644.25	26857.7	27232.25
20	26001.4	26840.1	27733.5	26696.6	27378.05	28408.85
21	26704.9	27533.7	28275.9	26647.1	28389.85	28732.5
22	26750.6	27858.35	28132.6	26541.6	27603.2	28725.85
23	25989.9	27590.75	28539.05	26753.5	28674.3	28714.7
24	26523.5	27439.05	27450.45	27163.75	27647.1	27541.05
25	27060.8	27923.7	27073.8	27045.5	27361.4	27764.5

ตารางผนวกที่ ก10 (ต่อ)

No.	ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านที่ติดกับเมล็ดใหญ่ที่ระยะ			ค่าพื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามที่ระยะ		
	3	5	7	3	5	7
26	26822.1	26759.85	28588.5	27292.35	27606.6	29462.35
27	26806.3	27871.9	27886.4	26964.2	28173.5	27898.4
28	25828.5	27094.15	27532.1	25770.6	27638.1	28048.8
29	24784.2	24811.65	27239.55	24814.8	25938.2	27665.75
30	24738.9	26892.25	27114.35	24736.45	26917.8	27221.3
31	26528.2	28079.6	27551	26699	27878.8	28489.3
32	26139.9	27090.15	27213.35	26325.35	26943.9	27463.75
33	26214.1	27320.8	28238.5	26119.05	26876.15	26567.65
34	26611.5	27379.2	27974.9	26562.9	27711.75	28118
35	26556.9	27294.1	27139.15	27672.65	28335.05	28513.7
36	25697	26828.35	27090.75	26491.05	27442.05	28066.85
37	26916.6	27810.3	28597.2	26638.1	27623.05	28405.2
38	26319.2	27068.95	27591.6	26827.05	27175.1	28553.5
39	26432.3	26813.55	27100.2	25984.25	27752.75	29071.85
40	26324	26750.6	27164.1	26263.35	26431.25	27060.9
41	25943.9	26753.65	27255.7	26339	27625.25	28086.1
42	26225.7	27291.6	27481.35	26145.6	27262.9	27536
43	26472.2	27489.65	27959.7	25959.25	26829	27348.55
44	26003.3	26761.65	26642.25	26097.95	26577.3	25711.4
45	26157	27201.25	27655.45	26438.2	27401.65	28112.8
46	26328.3	27583	28379.45	26194.45	28209.9	29663.95
47	26312.4	26856.75	27199.35	26040.15	26566.5	27643.05
48	25815.7	27288.6	28043.75	26035.8	27590.5	28121.75

ตารางผนวกที่ ก11 ค่าความแข็งของเปลือกมังคุดเนื้อปกติ

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
1	174.59	0.49	174.68	5.01	0.49	74566.84
2	207.61	0.55	207.89	4.99	0.55	70996.51
3	326.60	1.01	335.74	4.86	0.96	135121.92
4	215.80	0.57	216.47	5.02	0.57	73553.00
5	82.35	0.23	83.65	4.53	0.19	29527.91
6	76.87	0.23	77.06	5.01	0.23	29050.41
7	191.61	0.44	191.95	5.01	0.45	53005.49
8	90.22	0.26	90.54	4.89	0.25	40773.61
9	69.96	0.22	76.38	4.28	0.17	29360.20
10	80.16	0.21	80.25	5.01	0.21	29155.29
11	79.28	0.24	80.86	4.39	0.19	27367.81
12	79.19	0.25	81.31	3.87	0.16	30857.42
13	74.22	0.20	74.28	5.01	0.20	23936.87

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
14	74.07	0.21	79.39	4.90	0.21	26839.29
15	70.64	0.19	70.97	4.98	0.19	24369.28
16	74.51	0.22	78.69	4.55	0.19	25232.156
17	80.16	0.19	80.27	4.74	0.17	25456.90
18	72.29	0.20	73.12	4.93	0.19	25669.09
19	72.47	0.13	73.21	4.93	0.13	29092.29
20	75.24	0.11	75.55	5.01	0.11	39192.70
21	106.76	0.19	108.15	4.35	0.12	70338.03
22	67.12	0.15	67.28	5.01	0.15	48885.77
23	81.63	0.22	85.39	4.69	0.20	41173.86
24	61.11	0.10	61.22	5.01	0.10	25416.24
25	58.43	0.08	58.63	5.01	0.08	27934.86
26	77.10	0.11	77.33	5.01	0.12	33418.85

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
27	68.14	0.08	68.46	5.01	0.08	33083.03
28	72.59	0.17	72.72	5.01	0.17	21628.72
29	47.36	0.04	47.65	5.01	0.04	28686.65
30	69.42	0.10	69.65	5.02	0.10	28132.79
31	65.55	0.12	70.38	4.89	0.11	31600.78
32	54.26	0.07	54.60	5.01	0.07	24243.56
33	67.41	0.09	67.97	5.01	0.09	30981.94
34	59.78	0.09	60.13	5.01	0.09	21769.57
35	67.93	0.13	67.94	5.01	0.13	28340.52
36	87.71	0.24	88.02	5.01	0.24	34853.21
37	65.16	0.10	65.33	5.01	0.10	28558.22
38	72.11	0.08	72.23	5.01	0.09	37626.93
39	77.50	0.12	77.70	5.01	0.12	30261.07

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
40	77.57	0.14	77.89	5.01	0.14	30041.87
41	75.63	0.13	75.70	4.92	0.12	31718.91
42	68.33	0.13	71.87	4.85	0.12	58929.60
43	61.25	0.10	61.58	5.01	0.10	23141.74
44	84.61	0.16	84.95	5.02	0.16	35272.54
45	35.15	0.03	35.53	5.01	0.03	25676.95
46	50.11	0.06	50.48	5.01	0.06	26210.29
47	31.93	0.03	32.27	5.01	0.03	23110.25
48	71.64	0.13	72.86	4.91	0.12	25143.60
49	56.98	0.08	57.64	4.97	0.08	27021.16
50	55.09	0.08	55.49	5.01	0.08	25174.79
51	56.75	0.08	57.37	5.01	0.08	28008.82
52	60.90	0.08	61.19	5.01	0.09	25977.198

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
53	58.03	0.07	58.05	5.00	0.07	28647.36
54	79.99	0.12	80.32	5.01	0.12	28969.04
55	43.13	0.05	43.43	5.01	0.05	23144.21
56	59.91	0.07	60.17	5.01	0.07	32346.27
57	55.79	0.07	55.94	5.01	0.07	27688.14
58	57.98	0.09	58.28	5.01	0.07	25454.51
59	52.60	0.08	52.78	5.01	0.08	22666.65
60	62.78	0.08	63.10	5.01	0.08	28752.30
61	60.13	0.08	60.53	5.01	0.08	26079.63
62	99.49	0.24	99.96	5.01	0.25	39734.50
63	56.27	0.08	56.39	5.01	0.09	27919.63
64	61.31	0.08	61.47	5.01	0.08	34217.93
65	63.16	0.07	63.41	5.01	0.07	39401.69

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
66	42.29	0.04	42.78	5.01	0.03	30410.49
67	56.64	0.07	56.92	5.01	0.07	30178.07
68	75.16	0.11	75.55	5.01	0.11	32936.24
69	50.78	0.05	51.15	5.01	0.05	31221.96
70	75.29	0.08	75.79	5.01	0.08	40149.48
71	77.37	0.09	77.38	5.00	0.09	40715.90
72	63.72	0.09	64.06	5.01	0.09	46240.57
73	55.81	0.07	56.28	5.02	0.07	28898.20
74	44.65	0.04	44.89	5.01	0.04	25805.94
75	48.08	0.06	48.36	5.01	0.06	30246.66
76	50.49	0.06	50.83	5.01	0.05	32832.36
77	71.12	0.08	71.44	5.01	0.08	39637.06
78	21.55	0.01	21.81	5.01	0.01	23128.17

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
79	47.02	0.05	47.11	5.00	0.05	25001.49
80	53.24	0.06	53.51	5.00	0.06	26135.51
81	147.66	0.27	148.66	5.00	0.26	68765.33
82	42.40	0.04	42.88	5.01	0.04	26452.39
83	76.43	0.10	76.80	5.01	0.10	31347.29
84	101.67	0.11	102.34	5.01	0.11	53593.72
85	65.55	0.12	65.77	5.01	0.11	27156.32
86	73.15	0.09	73.96	5.01	0.08	46364.63
87	63.00	0.09	63.25	5.01	0.09	26007.22
88	71.35	0.18	72.77	4.87	0.17	20431.71
89	66.54	0.10	66.82	5.00	0.10	28809.89
90	64.34	0.09	64.70	5.01	0.09	25680.46
91	63.84	0.08	64.21	5.00	0.08	30948.58

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
92	61.41	0.16	61.71	4.86	0.16	17891.44
93	68.46	0.12	68.57	5.00	0.12	27452.41
94	77.52	0.22	77.54	5.00	0.22	30357.78
95	65.52	0.11	65.69	5.00	0.11	26523.97
96	57.64	0.07	57.81	5.01	0.07	27786.97
97	92.04	0.14	92.28	5.00	0.14	61802.79
98	73.04	0.08	73.52	5.00	0.08	36622.51
99	54.41	0.05	54.87	5.01	0.05	29132.43
100	79.15	0.07	79.73	5.01	0.07	48676.58
101	97.95	0.08	99.10	5.01	0.08	67584.10
102	37.39	0.03	37.83	5.01	0.03	29843.61
103	92.93	0.25	93.09	5.00	0.25	38510.83
104	58.88	0.03	59.83	5.01	0.03	64970.24

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
105	64.77	0.07	65.03	5.01	0.07	40228.85
106	34.44	0.01	35.09	5.00	0.02	50501.53
107	33.14	0.02	33.59	5.00	0.02	31312.08
108	23.85	0.01	24.16	5.00	0.01	29266.45
109	50.59	0.05	50.83	5.00	0.05	27793.38
110	48.51	0.05	48.80	5.01	0.05	28735.49
111	47.48	0.05	47.79	5.00	0.06	22288.74
112	79.08	0.07	79.76	5.00	0.07	47706.12
113	66.90	0.09	67.28	5.00	0.09	25734.03
114	76.68	0.13	76.88	5.01	0.13	32179.34
115	77.98	0.14	78.40	5.01	0.14	31392.59
116	91.74	0.13	92.05	5.00	0.13	35320.21
117	92.5	0.18	92.83	5.00	0.18	37400.21

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
118	54.63	0.07	54.92	5.01	0.07	25930.79
119	73.30	0.18	73.51	5.01	0.18	23405.57
120	68.44	0.11	68.65	5.01	0.11	26576.74
121	87.82	0.17	87.95	5.01	0.17	31801.04
122	76.59	0.15	78.50	4.71	0.13	32195.62
123	83.83	0.17	85.50	4.98	0.17	30053.25
124	81.25	0.16	81.32	4.99	0.16	29958.22
125	105.46	0.34	121.66	3.64	0.18	51632.62
126	67.72	0.10	67.73	4.99	0.10	25701.36
127	57.11	0.07	57.55	5.00	0.071	27525.39
128	66.86	0.09	67.16	5.00	0.09	33946.35
129	78.63	0.22	78.72	4.98	0.22	36797.18
130	73.36	0.10	73.51	5.00	0.10	30929.00

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
131	81.39	0.18	81.47	5.00	0.18	30838.66
132	95.72	0.20	98.87	4.95	0.20	43008.72
133	118.81	0.32	120.40	4.17	0.22	50232.15
134	84.64	0.17	84.96	5.01	0.17	31462.11
135	63.32	0.07	63.71	5.00	0.07	36701.59
136	62.71	0.10	63.06	5.01	0.10	31536.32
137	56.59	0.07	57.00	5.00	0.07	26534.21
138	34.73	0.04	34.86	5.01	0.04	18310.07
139	91.60	0.11	91.71	4.96	0.11	42725.73
140	64.93	0.08	65.07	5.00	0.08	29170.65
141	59.10	0.05	59.58	5.00	0.05	36559.06
142	62.34	0.09	65.52	4.83	0.08	34075.68
143	94.78	0.23	95.03	5.00	0.23	42593.83

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
144	69.91	0.17	73.03	4.94	0.17	33409.79
145	43.46	0.20	88.54	3.61	0.11	54620.68
146	103.04	0.16	103.64	5.01	0.16	42481.49
147	74.89	0.14	75.04	5.01	0.14	28860.70
148	96.91	0.20	97.22	5.01	0.20	32495.68
149	59.24	0.11	60.76	4.50	0.08	27399.33
150	59.74	0.12	59.83	5.00	0.12	24965.01
151	61.48	0.18	67.17	3.95	0.12	32128.32

ตารางผนวกที่ ก12 ค่าความแข็งเปลือกของมังคุดเนื้อแก้ว

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
1	164.66	0.49	164.86	5.00	0.49	80429.16
2	260.59	0.74	261.15	5.00	0.75	99040.65
3	130.55	0.29	130.85	5.01	0.29	37024.06
4	288.15	0.79	288.57	5.00	0.79	100422.31
5	151.09	0.51	177.02	4.25	0.39	65253.25
6	122.07	0.33	122.43	5.01	0.33	40946.70
7	225.68	0.47	226.12	5.00	0.47	65512.57
8	112.62	0.28	112.92	5.01	0.28	32297.20
9	80.59	0.20	80.67	5.01	0.20	21900.60
10	107.52	0.28	107.65	4.97	0.27	32871.44
11	130.71	0.33	130.71	5.00	0.33	40885.50
12	83.72	0.24	87.11	3.91	0.15	27484.09
13	87.08	0.25	87.22	5.01	0.25	31245.98

ตารางผนวกที่ ก12 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
14	74.29	0.12	74.67	5.01	0.12	28834.68
15	70.81	0.10	71.32	5.01	0.10	44618.18
16	93.49	0.14	93.54	5.01	0.14	41312.45
17	89.66	0.14	89.79	5.00	0.14	37762.52
18	68.89	0.10	69.44	5.00	0.10	34600.03
19	63.82	0.09	64.00	5.00	0.09	26448.44
20	53.40	0.06	53.72	5.01	0.06	26113.09
21	76.92	0.11	77.42	5.01	0.11	36475.42
22	72.11	0.09	72.48	5.01	0.09	32900.82
23	49.28	0.06	49.95	5.04	0.06	22863.91
24	66.49	0.09	66.63	4.97	0.08	28995.91
25	46.49	0.05	46.68	5.00	0.05	27759.95
26	52.89	0.05	53.22	5.01	0.05	31304.05

ตารางผนวกที่ ก12 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
27	48.35	0.05	48.65	5.00	0.05	27180.13
28	89.54	0.19	89.79	5.00	0.19	39382.48
29	75.41	0.09	75.66	5.00	0.09	38045.51
30	56.74	0.07	56.93	5.01	0.07	29044.41
31	49.59	0.05	50.02	5.00	0.05	25637.24
32	139.73	0.36	150.15	4.24	0.25	80442.42
33	73.71	0.10	73.87	5.00	0.10	33009.32
34	67.24	0.08	67.49	5.01	0.08	31865.90
35	70.91	0.08	71.22	5.01	0.09	36404.01
36	79.26	0.11	79.81	5.01	0.11	33971.77
37	59.43	0.08	59.74	5.00	0.08	26142.35
38	76.27	0.11	76.35	5.00	0.11	40364.06
39	69.97	0.19	73.46	4.32	0.14	23872.13

ตารางผนวกที่ ก12 (ต่อ)

No.	Load at Limit (N)	Work to Limit (J)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
40	20.11	0.01	20.52	5.00	0.01	27328.10
41	66.88	0.07	67.54	5.01	0.07	37771.55
42	47.16	0.04	47.40	5.00	0.04	29849.69
43	84.56	0.08	85.18	5.00	0.08	47965.85
44	37.72	0.03	38.04	5.01	0.03	23241.82
45	52.19	0.06	52.52	5.01	0.06	28733.01
46	95.23	0.13	95.63	5.00	0.13	38479.99
47	83.40	0.10	83.69	5.01	0.10	36931.33
48	82.29	0.1	82.53	5.00	0.18	30967.08

ภาคผนวก ข
ข้อมูลค่าทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ข1 คำนัยสำคัญ (P-value) ของระยะลึกของแท่งให้ความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลที่
แทงลงไปนเป็ลือก

ตัวแปร	PC_3L	PC_3S	PC_5L	PC_5S	PC_7L	PC_7S
P-value	0.02	0.01	0.44	0.06	0.27	0.36

ตารางผนวกที่ ข2 คำนัยสำคัญ (P-value) ของเวลาของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก

ตัวแปร	P-value
PC_3L10	0.06
PC_3L100	0.51
PC_3L1000	0.02
PC_3L200	0.32
PC_3L30	0.55
PC_3L300	0.29
PC_3L400	0.19
PC_3L500	0.02
PC_3L60	0.11
PC_3L70	0.70
PC_3L80	0.95
PC_3L90	0.75
PC_3S10	0.47
PC_3S100	0.55
PC_3S1000	0.01
PC_3S200	0.01
PC_3S30	0.99
PC_3S300	0.00
PC_3S400	0.00
PC_3S500	0.00
PC_3S60	0.99
PC_3S70	0.66
PC_3S80	0.59
PC_3S90	0.59

ตารางผนวกที่ ข3 การวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว โดยใช้ตัวแปร คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value
DML	1.00	0.81
LL	0.97	0.01
ML	0.99	0.56
MML	0.97	0.01
MS	1.00	0.95
SC	0.97	0.01
stiffness	0.99	0.08
WL	0.98	0.03
WL_3	0.98	0.08
WL_5	1.00	0.80
WL_7	1.00	0.75
WML	0.98	0.03
WS_3	0.98	0.04
WS_5	1.00	0.84
WS_7	1.00	0.93

ตารางผนวกที่ ข4 Structure Matrix โดยใช้พารามิเตอร์ คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ) ค่าความแข็งเปลือก
ค่าความถ่วงจำเพาะ

ตัวแปร	LL	SC	MML	WML	WL	WS_3	WL_3	stiffness	ML	WL_7	WL_5	DML	WS_5	WS_7	MS
Function	0.45	0.45	0.45	0.38	0.37	-0.36	-0.31	0.30	-0.10	-0.05	0.04	0.04	-0.03	-0.01	-0.01
1															

ตารางผนวกที่ ข5 การวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Enter ของมั่งคุดเนื้อปอกติดกับมั่งคุดเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปร คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (แฟคเตอร์ Pricipal componant) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความถ่วงจำเพาะ

ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value
DML	1.00	0.81
LL	0.97	0.01
ML	0.99	0.56
MML	0.97	0.01
MS	1.00	0.95
PC1_1L	0.99	0.32
PC1_1S	0.97	0.01
PC2_1L	0.99	0.11
PC2_1S	1.00	0.42
PC3_1L	1.00	0.40
PC3_1S	0.97	0.02
PC4_1L	1.00	0.63
PC4_1S	1.00	0.71
PC5_1L	0.99	0.12
PC5_1S	0.99	0.25
SC	0.97	0.01
stiffness	0.98	0.08
WL	0.98	0.03
WML	0.98	0.03

ตารางผนวกที่ ๖6 Structure Matrix โดยใช้พารามิเตอร์ คือ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
ภายในเปลือก (พารามิเตอร์ Pricipal componant) ค่าความแข็งเปลือก ค่าความ
ถ่วงจำเพาะ

ตัวแปร	Function
	1
LL	0.39
sc	0.39
MML	0.39
PC1_1S	-0.38
PC3_1S	0.35
WML	0.33
WL	0.32
stiffness	0.26
PC2_1L	0.24
PC5_1L	0.24
PC5_1S	-0.17
PC1_1L	-0.15
PC3_1L	-0.13
PC2_1S	0.12
ML	-0.09
PC4_1L	0.07
PC4_1S	-0.05
DML	0.03
MS	-0.01

ตารางผนวกที่ ข7 การวิเคราะห์ตัวแปรจำแนกด้วยวิธี Enter ของมังคุดเนื้อปกติกับมังคุดเนื้อแก้ว โดยใช้ตัวแปรไม่ทำลายและกิ่งไม่ทำลาย

ตัวแปร	Wilks' Lambda	P-value
DML	1.00	0.81
LL	0.97	0.01
MML	0.97	0.01
PC1_1L	1.00	0.32
PC1_1S	0.97	0.01
PC2_1L	0.99	0.11
PC2_1S	1.00	0.42
PC3_1L	1.00	0.40
PC3_1S	0.97	0.02
PC4_1L	1.00	0.63
PC4_1S	1.00	0.71
PC5_1L	0.99	0.12
PC5_1S	0.99	0.25
SC	0.97	0.01
stiffness	0.98	0.08
WL	0.98	0.03
WL_3	0.98	0.08
WL_5	1.00	0.80
WL_7	1.00	0.75
WML	0.98	0.03
WS_3	0.98	0.03
WS_5	1.00	0.84
WS_7	1.00	0.93

ตารางผนวกที่ ๗8 Structure Matrix โดยใช้ตัวแปรไม่ทำลายและกิ่งไม่ทำลาย

ตัวแปร	Function
	1
LL	0.35
sc	0.35
MML	0.35
PC1_1S	-0.35
PC3_1S	0.32
WML	0.30
WL	0.29
WS_3	-0.28
WL_3	-0.24
stiffness	0.23
PC2_1L	0.22
PC5_1L	0.21
PC5_1S	-0.16
PC1_1L	-0.14
PC3_1L	-0.12
PC2_1S	0.11
PC4_1L	0.06
PC4_1S	-0.05
WL_7	-0.04
WL_5	0.03
DML	0.03
WS_5	-0.02
WS_7	-0.01

ภาคผนวก ค
ความหมายของคำต่างๆ

ความหมายของ Wilks' Lambda

Wilks' Lambda คือ $\text{Within-group Sum Square} / \text{Total Sum Square}$ ค่า Wilks' Lambda เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนความผันแปรของ Discriminant Score ที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วย ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

ความหมายของ Principal Component Analysis

Principal Component Analysis : PC คือ เทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักเป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปร โดยตัวประกอบหลักประกอบด้วยความผันแปรของตัวแปรเดิม ซึ่งตัวประกอบหลักตัวแรกจะมีความผันแปรของตัวแปรเดิมมากที่สุดและความผันแปรของตัวประกอบหลักตัวที่สอง ตัวที่สาม,.....จนถึงตัวประกอบหลักที่ p จะลดลงตามลำดับ นอกจากนั้นตัวประกอบหลักจะไม่มีความสัมพันธ์กันเอง ดังนั้นตัวประกอบหลักจึงมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนตัวแปรเดิม ตัวประกอบหลักที่สร้างขึ้นเป็นตัวแปรใหม่ซึ่งมีความหมายของตัวแปรเดิม จึงสามารถนำตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางสถิติอื่นๆต่อไป (กัลยา,2548)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวปาริชาติ ราชมณี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดนครพนม
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมกรรมการอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2546
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-