ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร	วิศวกรรมเกษตร
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การจำแนกมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วโดยการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรพหุคูณจากสมบัติเชิงกล และทางกายภาพ

Classification of Translucent Mangosteen Using Multivariate Data Analysis Based on Mechanical and Physical Properties

นามผู้วิจัย นายสารสิน รัตนเสถียร

ได้พิจารณาเห็นชอบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ .....

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภรต กุญชร ณ อยุธยา, M.Eng)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจำแนกมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วโดยการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรพหุคูณจากสมบัติเชิงกล และทางกายภาพ

Classification of Translucent Mangosteen Using Multivariate Data Analysis Based on Mechanical and Physical Properties

โดย

นายสารสิน รัตนเสถียร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารสิน รัตนเสถียร 2557: การจำแนกมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วโดยการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรพหุคูณจากสมบัติเชิงกล และทางกายภาพ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D. 82 หน้า

มังคุดเนื้อแก้วเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญ ซึ่งลดความเชื่อมั่นในคุณภาพมังคุดส่งออก และยากต่อการคัดแยก เทคนิคในการตรวจสอบมังคุดเนื้อแก้วที่แม่นยำจะมีความซับซ้อน และราคาสูง งานวิจัยนี้ศึกษาการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วจากสมบัติเชิงกล และกายภาพ โดยศึกษาการใช้เทคนิคการแกว่งแบบเพนดูลัม เพื่อหาคาบการแกว่ง และสมบัติทางกายภาพด้านรูปแบบการลอยตัวในของเหลว และความถ่วงจำเพาะ เพื่อนำข้อมูลมาสร้างโมเดลการคัดแยกแบบตัวแปรพหุคูณ โดยใช้ผลมังคุดสดเกรดส่งออกจำนวน 189 ผล จากการวิเคราะห์แบบจำแนกกลุ่ม พบว่าโมเดลสามารถจำแนกกลุ่มมังคุดเนื้อแก้ว และที่ไม่เป็นเนื้อแก้วโดยรวมได้ถูกต้องร้อยละ 79.9 โดยตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการคัดแยกที่สุด คือความถ่วงจำเพาะ รองลงมา คือรูปแบบการลอยตัวในของเหลว และผลต่างคาบการแกว่ง ตามลำดับ

_____ _____ ____/_____/_____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sarasin Rattanasatian 2013: Classification of Translucent Mangosteen Using Multivariate Data Analysis Based on Mechanical and Physical Properties. Master of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anupun Terdwongworakul, Ph.D. 82 pages.

Translucent mangosteen is one of the most important problems which causes low quality mangosteen for export and is not easily differentiated. Successful technique for accurate detection of translucent mangosteen is complicated and expensive. This research investigated application of pendulum oscillation to determine oscillating time, floating orientation characteristic and specific gravity data of which were used to build multivariate discriminant model. A set of 189 export standard mangosteens were used in the investigation. From discriminant analysis, the result showed that the obtained model could be used to segregate mangosteens into normal and translucent groups with accuracy of 79.9%. The most important parameter in discrimination was specific gravity with floating orientation characteristic and oscillating time for less importance respectively.

_____ _____ ____/____/____

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร. ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน ให้การสนับสนุนการศึกษาค้นคว้าวิจัยตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ฝึกอบรม และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ด้วยคุณประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่ออิทธิพล และคุณแม่แสนสุข รัตนเสถียร ที่ได้อบรม ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดมา

สารสิน รัตนเสถียร

มกราคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (2)

สารบัญภาพ (4)

คำนำ 1

วัตถุประสงค์ 2

การตรวจเอกสาร 3

อุปกรณ์และวิธีการ 25

ผลและวิจารณ์ 34

ผล 34

วิจารณ์ 52

สรุปและข้อเสนอแนะ 59

สรุป 59

ข้อเสนอแนะ 60

เอกสารอ้างอิง 61

ภาคผนวก 65

ภาคผนวก ก canonical discriminant function coefficients และ structure matrix 65

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ สมบัติทางกายภาพ และผลจากการทดลอง 67

ภาคผนวก ค module (macro) สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลดิบ ใน Microsoft Excel 2007 79

ประวัติการศึกษาและการทำงาน 82

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลการผลิตมังคุดภายในประเทศ	9
2	ข้อมูลการค้ามังคุด	10
3	ข้อกำหนดเรื่องขนาดของมังคุด	13
4	ผลการศึกษาระยะแขนแกว่งที่เหมาะสม	36
5	ผลการศึกษามุมเริ่มต้นการแกว่ง	37
6	การเปรียบเทียบผลต่างค่าเฉลี่ยคาบการแกว่งของผลมังคุดเมื่อพิจารณาเป็นกลุ่มจากลักษณะภายในผล	40
7	ผลการศึกษาลักษณะการลอยตัวในของเหลว	42
8	ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และไม่เป็นเนื้อแก้ว	45
9	การเปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มมังคุดที่เป็นยางไหล และไม่เป็นยางไหล	46
10	การเปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และมังคุดปกติ	46
11	ผลการจำแนกผลมังคุดเนื้อแก้วโดยทำนายจากตัวแปรทั้งหมด	47
12	ผลการจำแนกผลมังคุดเนื้อแก้วโดยทำนายจากความถ่วงจำเพาะ	48
13	ผลการจำแนกผลมังคุดเนื้อแก้วโดยทำนายจากลักษณะการลอยตัวในของเหลว	48
14	ผลการจำแนกผลมังคุดเนื้อแก้วโดยทำนายจากผลต่างคาบเวลา	49
15	ผลการจำแนกผลมังคุดที่เป็นยางไหลโดยทำนายจากตัวแปรทั้งหมด	50
16	ผลการจำแนกผลมังคุดที่เป็นยางไหลโดยทำนายจากความถ่วงจำเพาะ	50
17	ผลการจำแนกผลมังคุดที่เป็นยางไหลโดยทำนายจากลักษณะการลอยตัวในของเหลว	51
18	ผลการจำแนกผลมังคุดที่เป็นยางไหลโดยทำนายจากผลต่างคาบเวลา	51
19	ลักษณะการลอยตัวของมังคุดปกติ	56
20	ลักษณะการลอยตัวของมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว และ/หรือยางไหล	56
21	ลักษณะการลอยตัวของมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว	57
22	ลักษณะการลอยตัวของมังคุดที่เป็นยางไหล	57
23	ลักษณะการลอยตัวของมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล	57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข1	การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่มุมเริ่มต้นการแกว่ง 30 องศา	68
ข2	การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่มุมเริ่มต้นการแกว่ง 60 องศา	68
ข3	การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่มุมเริ่มต้นการแกว่ง 90 องศา	69
ข4	การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่ระยะแขน 3 เซนติเมตร	69
ข5	การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่ระยะแขน 5 เซนติเมตร	70
ข6	การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่ระยะแขน 10 เซนติเมตร	70
ข7	แสดงข้อมูลทางกายภาพของมังคุดที่ใช้ทดลอง	71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลูกตุ้มอย่างง่าย	17
2	ลูกตุ้มฟิสิกัล	19
3	มังคุดที่วางในลักษณะแกนแนวนอนโดยมีกลีบใหญ่อยู่ด้านบน	26
4	ลักษณะอุปกรณ์จับมังคุด	27
5	ลักษณะการต่อเซนเซอร์กับอุปกรณ์	27
6	ลักษณะของแผ่นวัดมุมเริ่มต้นในการแกว่งมังคุด	28
7	ลักษณะสลักยึดแขนแกว่ง	28
8	การจับมังคุดตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ยึดมังคุด	28
9	ลักษณะมังคุดก่อนปล่อยให้แกว่ง	29
10	ลักษณะการส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ	29
11	ตัวอย่างลักษณะกราฟที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Ultrascope DS1000E	29
12	การทดสอบลักษณะมังคุดเมื่ออยู่ในของเหลว	32
13	เครื่องวัดคาบการแกว่ง	34
14	ระยะแขนแกว่งที่ทดลอง	35
15	ระดับมุมเริ่มต้นการแกว่งที่ใช้ในการทดลอง	37
16	เปรียบเทียบจุดศูนย์กลางมวลระหว่างมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และมังคุดปกติ	39
17	ระยะต่างๆ จากจุดหมุนกรณีมังคุดปกติ และมังคุดเนื้อแก้ว	41
18	ลักษณะการลอยตัวของมังคุดในของเหลวแบบที่ 1 ขั้วคว่ำลง	43
19	ลักษณะการลอยตัวของมังคุดในของเหลวแบบที่ 2 ขั้วผลอยู่ในแนวนอน	43
20	ลักษณะการลอยตัวของมังคุดในของเหลวแบบที่ 3 ผลเอียงขั้วผลอยู่ด้านบน	44
21	แนวจุดศูนย์กลางมวลของมังคุดจากการแขวนด้วยเชือก	45
22	ลักษณะด้านที่หันขึ้นบริเวณผิวน้ำ	53
23	การผ่าเปิดผลในระนาบเดียวกับแกนผล	53
24	การผ่าเนื้อเพื่อดูลักษณะภายในผล	53
25	ลักษณะด้านที่หันขึ้นบริเวณผิวน้ำ	54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

26	การผ่าเปิดผลในระนาบเดียวกับแกนผล	54
27	การผ่าเนื้อเพื่อดูลักษณะภายในผล	54
28	ลักษณะด้านที่หันขึ้นบริเวณผิวน้ำ	55
29	การผ่าเปิดผลในระนาบเดียวกับแกนผล	55
30	การผ่าเนื้อเพื่อดูลักษณะภายในผล	55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจำแนกมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วโดยการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรพหุคูณจากสมบัติเชิงกล และทางกายภาพ

Classification of Translucent Mangosteen Using Multivariate Data Analysis Based on Mechanical and Physical Properties

คำนำ

มังคุดเป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งซึ่งมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวพร้อมทั้งอุดมไปด้วยคุณประโยชน์มากมายจึงเป็นที่นิยมชมชอบทั้งในตลาดทั่วไป และต่างประเทศอย่างกว้างขวางจนได้ชื่อว่าเป็นราชินีแห่งผลไม้

การปลูกมังคุดเพื่อการค้าโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ในประเทศไทยจะปลูกมังคุดกันมากทางภาคใต้ส่วนใหญ่จะอยู่ในจังหวัดชุมพร และนครศรีธรรมราช ในภาคตะวันออกได้แก่จันทบุรี ตราด ระยอง ในส่วนของการเก็บเกี่ยวของภาคตะวันออกจะอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน และภาคใต้จะอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม โดยตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ประเทศจีน ฮ่องกง เวียดนาม สำหรับมังคุดสด และเกาหลีใต้ ไต้หวัน ญี่ปุ่นสำหรับมังคุดแช่แข็ง โดยมีคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญได้แก่ อินโดนิเซีย และเวียดนาม ในปี พ.ศ. 2553 มีเนื้อที่ในการเพาะปลูกภายในประเทศกว่า 405,622 ไร่ ให้ผลผลิต 250,508 ตัน ปริมาณการส่งออกมังคุดเป็นอันดับหนึ่งของโลก สูงถึง 119,572 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,955.8 ล้านบาท แต่ตลาดก็ยังต้องการมังคุดที่มีคุณภาพอีกมาก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) อย่างไรก็ตามในการผลิตมังคุดคุณภาพยังมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพภายนอกและภายใน ที่ส่งผลกระทบต่อการขยายตัวของตลาด เช่น ผิวมังคุดไม่สะอาด ลักษณะภายนอกไม่สมบูรณ์ มีร่องรอยการเข้าทำลายของศัตรูพืช อาการเนื้อแก้ว โรค รา และยางไหล เป็นต้น

มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาการใช้เทคนิคต่างๆ ในการตรวจสอบมังคุดเนื้อแก้วเทคนิคที่ให้ความแม่นยำจะเป็นเทคนิคที่มีความซับซ้อน และใช้เครื่องมือที่มีราคาสูง งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เทคนิคการแกว่งแบบเพนดูลัม และสมบัติทางกายภาพด้านการลอยตัวในน้ำ เพื่อสร้างโมเดลการคัดแยกแบบตัวแปรพหุคูณ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ซับซ้อนในการตรวจสอบเนื้อแก้วโดยอาศัยความแตกต่างทางกายภาพของจุดศูนย์ถ่วงระหว่างมังคุดเนื้อแก้ว และมังคุดปกติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างโมเดลการคัดแยกแบบตัวแปรพหุคูณสำหรับตรวจสอบเนื้อแก้วโดยอาศัยสมบัติเชิงกล และทางกายภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมังคุด

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) อยู่ในวงศ์ Guttiferae เป็นไม้ผลขนาดกลาง ต้นโตเต็มที่สูง 10 - 25 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 25 - 35 เซนติเมตร เปลือกของลำต้นมีสีน้ำตาลเข้ม การเจริญเติบโตช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออายุน้อยๆ ลักษณะทรงต้นแบบตั้งตรง และแข็งแรง ทรงพุ่มเป็นแบบปิรามิด มีการแตกกิ่งก้านออกจากลำต้นเป็นรัศมีรอบลำต้นเท่ากันทุกด้าน

1.1 ใบ เป็นแบบเดี่ยวขนาดใหญ่มีลักษณะคล้ายรูปไข่ ค่อนข้างยาวโดยที่โคนใบอาจเล็กเรียว หรือเป็นมุมป้าน หรือใบกลม ปลายใบแคบ และหนาแข็ง พื้นใบด้านบนมีสีเขียวเข้มอมเหลือง มีลักษณะมัน มองเห็นเส้นขนานซึ่งมีประมาณ 35 - 40 คู่ ยาวจนชิดขอบใบ ด้านท้องใบมีสีเขียวอมเหลือง หรือเหลืองอมเขียว ใบมีความกว้าง 4.5 - 10 เซนติเมตร และยาวตั้งแต่ 12 – 23 เซนติเมตร ก้านใบแต่ละก้านจะขึ้นบนกิ่งตรงข้ามกัน ยาวประมาณ 1.5 – 2 เซนติเมตร และห่อหุ้มยอดอ่อนซึ่งขึ้นตรงโคนก้านใบ

1.2 ดอกมังคุด จะเกิดบนปลายกิ่งที่มีอายุมากกว่า 2 ปี เกิดดอกเดียว หรือเป็นคู่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกประมาณ 5 – 6 เซนติเมตร ก้านดอกหนา แข็ง และเป็นเหลี่ยมยาวประมาณ 1.8 – 2 เซนติเมตร แต่ละดอกจะมีกลีบดอก 4 กลีบ 2 กลีบแรกจะอยู่ด้านใน ห่อหุ้มด้วย 2 กลีบนอกซึ่งยาวประมาณ 2 เซนติเมตร มีสีเขียวอมเหลือง กลีบด้านในเล็กกว่าตรงขอบมีสีแดง ส่วนกลีบเลี้ยงมี 4 กลีบเช่นเดียวกัน มีลักษณะของกลีบเป็นรูปไข่ค่อยข้างกลม หนา และอวบ มีสีเขียวอมเหลือง ส่วนขอบมีสีแดง กลีบเลี้ยงใหญ่ประมาณ 2.5 x 3.0 เซนติเมตร ในดอกตัวเมียอาจพบส่วนของตัวผู้ที่เป็นหมันเรียกว่า สตามิโนด (staminode) อยู่ด้วยกัน 1 – 3 ดอก ติดอยู่ตรงฐานภายในดอกตัวเมีย ยาวประมาณ 0.5 – 0.6 เซนติเมตร อับละอองเกสรตัวผู้มีขนาดเล็ก และเป็นหมัน

1.3 รังไข่ มีลักษณะเป็นแฉกจัดตัวเป็นวงกลมแนบติดผิวมี 4 – 8 เซลล์ ส่วนก้านเกสรตัวเมีย หรือยอดรังไข่ในดอกมีลักษณะกลมอยู่ติดผิวมีลักษณะคล้ายเซลล์ที่อยู่ในรังไข่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ผลมังคุด เป็นชนิดเบอรี่ประกอบด้วยยอดของรังไข่ดอกห่อหุ้มด้วยกลีบเลี้ยง ผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5 – 7.0 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเข้มอมม่วงถึงสีม่วงเข้มมีเปลือกหนาประมาณ 0.8 - 1 เซนติเมตร ผลมียางสีเหลืองเมื่อปอกเปลือกมังคุดจะเห็นกลีบสีขาวน่ารับประทานจำนวน 4 – 8 กลีบ ซึ่งกลีบสีขาวแต่ละกลีบจะมีเมล็ดอยู่ภายใน 2 – 3 เมล็ดต่อผล เมล็ดมีความยาวประมาณ 2 เซนติเมตร

1.5 เมล็ดมังคุด โดยทั่วไปเกิดจากเนื้อเยื่อของไข่อ่อนจากชั้นที่เรียกว่านิวเซลลัส ไม่ได้เกิดจากการผสมแบบเมล็ดพืชทั่วไป ฉะนั้นการมีชีวิตของเมล็ดเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นจึงสั้นกว่าปกติ เมล็ดที่อยู่ในผลสุกจะมีอายุเพียง 3 – 5 สัปดาห์ แต่ถ้าเก็บเมล็ดไว้ในสภาวะที่เหมาะคืออุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส และมีความชื้นพอควรอายุของเมล็ดจะยาวขึ้น เมล็ดมังคุดไม่มีต้นอ่อน และใบเลี้ยง และเมล็ดมีช่วงชีวิตที่สั้นมากเพราะไม่ได้มาจากการผสมพันธุ์

เนื่องจากการปลูกมังคุดส่วนใหญ่จะปลูกจากเมล็ด ทำให้มังคุดใช้เวลาในการเริ่มให้ผลผลิตช้ากว่าพืชชนิดอื่น คือมังคุดจะใช้เวลา 7 – 10 ปี ดังนั้นการขยายตัวทางด้านพื้นที่จึงเป็นไปอย่างช้าๆ อย่างไรก็ตามมังคุดเป็นพืชที่มีคุณสมบัติที่ดี คือ ไม่มีโรค และแมลงที่ร้ายแรงเหมือนกับไม้ผลอื่นๆ และมังคุดทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าไม้ผลอื่นๆ

1.6 พันธุ์มังคุด มังคุดเป็นพืชที่มีสายพันธุ์เพียงสายพันธุ์เดียวเท่านั้น เพราะมังคุดเป็นพืชที่ขยายพันธุ์จากเมล็ด และเมล็ดมังคุดไม่ได้มาจากการผสมเกสร แต่มันมาจากเนื้อเยื่อของอวัยวะเพศเมีย ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของมังคุดที่ไม่มีความแปรปรวนทางด้านพันธุกรรมในสปีชีส์ ดังนั้นการคัดเลือกพันธุ์ และผลิตพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงจึงเป็นเรื่องที่ยาก แต่ก็จะต้องมีการศึกษาคัดเลือกพันธุ์มังคุดต่อไป ซึ่งเพื่อจะได้มาซึ่งสายพันธุ์ที่มีผลผลิตสูง และคุณภาพดี

อย่างไรก็ตาม ลักษณะประจำพันธุ์พันธุ์นั้น เช่น ทรงต้น ลักษณะผล รสชาติ และขนาดของผลจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ต้นมังคุดขึ้น

จากการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะมังคุดภาคใต้ กับภาคตะวันออก และภาคกลาง พบว่ามังคุดในภาคกลาง และภาคตะวันออกใบค่อยข้างเรียว ผลขนาดเล็กกว่า และเปลือกผลค่อนข้างบาง ผลเมื่อสุกจะมีสีม่วงดำ มังคุดภาคใต้ใบจะกลมป้อม และอ้วน ผลมีขนาดใหญ่กว่า เปลือกผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หนาเมื่อสุกจะมีสีแดงอมชมพู ได้มีการค้นพบว่าผลของมังคุดที่มี 4 เมล็ด ใน 1 ผล จะมีคุณสมบัติในการขยายพันธุ์ หรือปลูกดีที่สุด (นิวัฒน์, 2533)

2. การเลือกพื้นที่ปลูกมังคุด

การเลือกพื้นที่ปลูกให้เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปลูกมังคุด เพราะถ้าพื้นที่ปลูกไม่เหมาะสมการปลูกมังคุดก็จะประสบผลสำเร็จน้อยลงไป แต่ถ้าพื้นที่ปลูกเหมาะสมจะทำให้มังคุดที่มีความเจริญตามต้องการ และพัฒนาอย่างรวดเร็วให้ผลผลิตสูง ดังนั้นการทำสวนมังคุดจะต้องพิจารณาพื้นที่ปลูกเป็นสิ่งแรก (นิวัฒน์, 2533)

2.1 อุณหภูมิ และความชื้น มังคุดเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งที่มีความชื้นสูง มีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 80% และมีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 1,300 มิลลิเมตรต่อปี เพราะในช่วงฤดูแล้งหากมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอจะทำให้การเจริญเติบโตของต้นได้รับความกระทบกระเทือนได้ง่าย โดยเฉพาะต้นปลูกใหม่ หรือมีอายุยังน้อยอาจตายได้ ในขณะเดียวกันน้ำฝนมีอิทธิพลต่อการติดดอกเปลี่ยนไปเป็นตายอด หรือแทนที่มังคุดจะออกดอกก็จะเปลี่ยนเป็นการแตกใบอ่อนแทน อุณหภูมิที่มังคุดจะเจริญเติบโตได้ดีจะต้องมีอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดปี หรืออยู่ในช่วง 25 - 35 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส จะทำให้มังคุดชะงักการเจริญเติบโตและโตช้า และถ้าหากอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส หรือต่ำว่า 5 องศาเซลเซียส จะทำให้มังคุดตายได้ ดังนั้นสภาพพื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกมังคุด และมังคุดจะเจริญเติบโตได้ดี คือ สภาพอากาศแบบร้อนชุ่มชื้นในประเทศไทยจะอยู่ที่ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคกลางบางส่วน แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช จันทบุรี ตราด ปราจีนบุรี และนนทบุรี

2.2 ดิน แม้ว่ามังคุดจะเป็นพืชที่สามารถขึ้นได้ดีในดินทุกประเภทแต่ดินที่เหมาะสมกับมังคุดคือดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เป็นดินเหนียวปนทรายที่อุ้มน้ำ และระบายน้ำได้ดี มีหน้าดินลึกประมาณ 2 เมตร เป็นดินกรดอ่อนๆ หรือมีพีเอช 5 - 6 ไม่เป็นดินที่มีความเป็นด่างสูง เพราะเมื่อปลูกแล้วจะทำให้ต้นมังคุดมีการเจริญเติบโตช้าผิดปกติ และมีเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดลดลงมาก ลักษณะประเภทของดินจะมีผลต่อต้น และผลมังคุด คือ ดินเหนียวจะทำให้ทรงพุ่มของมังคุดมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะหนาทึบ ดินทรายจะทำให้ทรงพุ่มโปร่ง เปลือกมังคุดบาง น้ำหนักน้อยแต่หวาน มังคุดที่ปลูกทางภาคใต้จะมีลูกใหญ่เพราะมีความชื้นสูง และดินดี

2.3 ลม และระดับพื้นที่ กระแสลมที่แรงจะเป็นอุปสรรคในการทำสวนมังคุด นอกจากจะทำให้ต้นหักโค่นง่ายแล้วในระยะที่มังคุดกำลังติดดอก และผล จะทำให้ดอก และผลร่วง ถ้าบริเวณพื้นที่ปลูกมีลมแรงควรมีการปลูกไม้บังลม และให้ร่มเงา ไม้บังลมพวกกระถินยักษ์ ทองหลาง หรือไผ่ ใช้ปลูกสลับระหว่างมังคุดบนหลังร่องเป็นร่มให้กับมังคุด ถ้าปลูกแบบไร่จะใช้ไม้โตเร็วอื่นๆ เป็นร่มเงาก็ได้

สำหรับระดับพื้นที่มังคุดสามารถขึ้นได้ดีในระดับน้ำทะเลจนถึงประมาณ 160 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล แต่พื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดคือความสูงใกล้เคียงระดับน้ำทะเล จนถึง 70 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล พื้นที่แถบหุบเขาที่มีรับดับความสูงจากน้ำทะเลจะต้องเลือกบริเวณที่มีแหล่งน้ำ เพราะมังคุดต้นเล็กจะขาดน้ำไม่ได้เลย (นิวัฒน์, 2533)

3. วิธีปลูกมังคุด

3.1 การเตรียมพื้นที่ สวนมังคุดมีการเตรียมพื้นที่คล้ายกับการทำสวนผลไม้อื่นๆ โดยเริ่มทำตั้งแต่ช่วงฤดูแล้งเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานเครื่องมือการเกษตรเช่น รถแทรกเตอร์สามารถทำงานได้ดี การไถเตรียมดินควรทำ 2 ครั้ง ครั้งแรกเป็นการไถด้วยจาน 3 และตามด้วยไถ 7 ซึ่งจะทำให้มีการแตกตัวของดินที่เหมาะแก่การปลูก และยังเป็นการกำจัดวัชพืชด้วย

หลังจากเตรียมพื้นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการวางแนวปลูกเพื่อให้ได้รูปร่างแปลงและระยะที่ถูกต้อง

3.2 ระยะปลูก การปลูกมังคุดสลับกับไม้ผลอื่นๆ ระยะปลูกขึ้นอยู่กับระยะถี่ห่างของต้นไม้ที่เป็นไม้ประธานอยู่ เช่น ปลูกมังคุดแซมในสวนทุเรียนที่มีระยะปลูก 10 เมตร การปลูกมังคุดก็ต้องปลูกระยะ 10 เมตร ด้วย หากปลูกมังคุดเป็นสวนเอกเทศ หรือมังคุดอย่างเดียวระยะปลูกที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน คือจะใช้ระยะปลูกตั้งแต่ 6 - 10 เมตร เดิมทีเดียวระยะปลูกที่เหมาะสมของมังคุดคือ 10x10 เมตร แต่เนื่องจากมังคุดเป็นไม้ที่เจริญเติบโตช้า และต้องการร่มเงาบ้าง บางสวนจึงปลูกระยะ 6x6 เมตร รอไว้เมื่อต้นใหญ่ราว 20 - 30 ปีจึงค่อยตัดออก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การเตรียมหลุมปลูก เมื่อกำหนดจุดสำหรับปลูก และขุดหลุมแล้ว ขุดหลุมปลูกขนาดกว้างยาวลึก 50 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่มีดินอุดมสมบูรณ์ ส่วนในพื้นที่ดินไม่ค่อยอุดมสมบูรณ์ควรเตรียมหลุมกว้างยาวลึก 1 เมตร ดินที่ขุดขึ้นมาควรแยกชั้นหน้าดิน และดินชั้นล่างไว้คนละกอง ซึ่งความลึกของหน้าดินควรแยกไว้เป็นชั้นหน้าดิน 25 เซนติเมตร การเตรียมหลุมปลูกนี้ควรทำให้เสร็จก่อนการปลูกประมาณ 1 สัปดาห์

3.4 การปลูก เลือกมังคุดที่เพาะไว้ในถุงอายุ 2 - 3 ปี มีความสูง 30 - 50 เซนติเมตร ก่อนนำลงหลุมปลูกตัดใบให้เหลือครึ่งใบเพื่อลดการคายน้ำ และลดการกระทบกระเทือนในการปลูก การขนย้ายต้นกล้าต้องทำอย่างระมัดระวังไม่ให้กระทบกระเทือนมากนัก ก่อนปลูกควรรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 0.5 กิโลกรัม ต่อหลุม และปุ๋ยฟอสเฟต 200 กรัม ต่อหลุมโดยการผสมคลุกเคล้ากับดิน หลังจากที่นำต้นกล้าลงหลุมแล้วจับให้ต้นตั้งตรง กลบดินให้สูงเป็นเนิน แต่ถ้าปลูกในดินทรายไม่จำเป็นต้องยกเนินก็ได้

หลังปลูกเสร็จควรปักหลักผูกยึดลำต้นกันลมโยก และหลักล้ม ซึ่งต้องปัก และผูกไว้ 2 - 3 ปี จนกว่าต้นจะแข็งแรง ในช่วงต้นอ่อนนี้ควรจะมีการกำจัดวัชพืชรอบโคนต้นให้ห่างจากรัศมีโคนต้นประมาณ 1 เมตร ช่วงเวลาปลูกที่เหมาสมที่สุดคือช่วงต้นฤดูฝน เพื่อให้ต้นตั้งตัว และได้รับน้ำฝนอย่างเต็มที่ในช่วงฤดูฝน (นิวัฒน์, 2533)

4. การเก็บเกี่ยว และการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวมังคุด

ผลมังคุดเมื่อเริ่มแก่จะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเขียวเป็นสีชมพูปนแดง หรือเรียกว่า “สายเลือด” ซึ่งระยะแรกจะปรากฏจุดประไม่เป็นระเบียบบนผล และจุดประดังกล่าวจะขยายตัวติดต่อกัน ต่อมาเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงแสดงว่าผลแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ในระยะนี้ระหว่างขั้วผลและกิ่งจะมีการสร้างชั้น Abscission ของผล ซึ่งทำขั้วผลหลวมผลหลุดจากกิ่งได้ง่าย ในการเก็บเกี่ยวควรเก็บให้ติดขั้วผล และกรณีเก็บในระยะผลที่เป็นสีม่วงแดงไม่ควรส่งไปจำหน่ายยังตลาดไกลๆ เพราะอาจเน่าเสียหายระหว่างทางได้ หากต้องการเก็บไว้นานๆ เพื่อรอการจำหน่ายควรเก็บในระยะที่ผลมังคุดมีสีระดับที่ 3 ผลจะมีสีชมพูสม่ำเสมอ ประสีชมพูเริ่มขยายตัว และเข้ามารวมกันยางภายในเปลือกผลยังคงมีน้อย (นิวัฒน์, 2533)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การเก็บเกี่ยวผล

อายุของผลที่เหมาะสม และพร้อมต่อการเก็บเกี่ยวคืออายุประมาณ 11 - 12 สัปดาห์หลังจากดอกบาน ปกติผลมังคุดในต้นหนึ่งๆออกดอกไม่พร้อมกัน ทำให้การสุกแก่พร้อมเก็บเกี่ยวผลไม่พร้อมกัน ฉะนั้นการเก็บเกี่ยวผลมังคุดจึงควรเก็บวันเว้นวัน โดยเก็บผลที่มีลักษณะเป็นสายเลือด (นิวัฒน์, 2533)

6. วิธีเก็บเกี่ยวมังคุด

การเก็บเกี่ยวอย่างถูกวิธี ยึดหลักให้มังคุดช้ำน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ จะช่วยรักษาคุณภาพไว้ได้มาก เพราะผลมังคุด หากได้รับความกระทบกระเทือน เช่น ตกลงพื้นด้วยระยะเพียง 20 เซนติเมตร ในเวลาต่อมาผลจะแข็ง และทำให้เนื้อเสียจนบริโภคไม่ได้ หรือใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยวจากระดับสีของมังคุด (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

7. เครื่องมือที่เกษตรกรใช้เก็บมังคุด

ในปัจจุบันมีอยู่หลายรูปแบบดังนี้ (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

- ใช้จำปาสอย ทำจากไม้ไผ่ ผ่าเป็น 5 แฉก ควรลบเหลี่ยมที่ปลายจำปาด้วย เพื่อป้องกันผลเกิดรอยแผล สอยมังคุดได้ครั้งละ 1-3 ลูก ต้องระวังอย่าให้ปลายไม้ตะแคง จะทำให้ผลมังคุดร่วงหล่นเสียหายง่าย วิธีนี้เก็บได้ช้า และค่อนข้างยุ่งยาก

- เครื่องเกี่ยวแบบถุงกาแฟที่กรมวิชาการเกษตรทำขึ้น สามารถเก็บเกี่ยวได้ครั้งละ 5-7 ลูก ค่อนข้างจะปลอดภัยต่อการบอบช้ำ แต่ปัญหายุ่งยากคือ เครื่องมือชนิดนี้จะหนัก เป็นปัญหามากสำหรับการขึ้นต้นเก็บ ใช้ถุงกาแฟเก็บเกี่ยว ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด

1) ชนิดขอบกลม ชนิดนี้ก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ครั้งละ 3-5 ลูก แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถซอนเข้าไปสอยบริเวณซอกกิ่งแคบ ๆ ได้ และยังทำให้กิ่งมังคุดหักอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ชนิดขอบรูปไข่ ชนิดนี้เกษตรกรนิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในแถบตำบลตรอกนอง อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ข้อดีของชนิดนี้คือ มีน้ำหนักเบา และสามารถเก็บผลในบริเวณกิ่งแคบ ๆ ได้ และไม่ทำให้กิ่งมังคุดหักติดมากับลูก

- เครื่องเก็บเกี่ยวชนิดใหม่ของเกษตรกรที่ตำบลคลองนารายณ์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี สามารถเก็บเกี่ยวมังคุดได้ครั้งละ 4-5 ลูก สะดวกในการชอนเข้าไปเก็บตามกิ่งต่างๆ และไม่ทำให้กิ่งมังคุดหักติดมากับลูก

- ใช้ถุงผ้า (ย่าม) หรือตะกร้าขึ้นเก็บ วิธีนี้จะใช้เด็กตัวเล็กๆ หิ้วตะกร้าหรือสะพายถุงย่ามปีนขึ้นไปเก็บ การเก็บเกี่ยวโดยวิธีนี้ผลมังคุดจะเสียหายน้อย

8. ตลาดมังคุด

8.1 ตลาดภายในประเทศ

มังคุดเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดีเก็บรักษาง่าย และเก็บได้นานสามารถส่งได้ไกลจึงมักใช้บริโภคในครัวเรือน โดยเฉพาะช่วงเทศกาลต่างๆ จะมีราคาที่สูงขึ้นเป็นพิเศษ จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2550-2552 ราคามังคุดคละมีแนวโน้มสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าความต้องการมังคุดคละสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตมังคุดภายในประเทศ

รายการ	2550	2551	2552
1. จำนวนครัวเรือน (ครัวเรือน)	107,515	99,464	102,753
2. เนื้อที่ให้ผล (ไร่)	387,292	396,325	399,438
3. ผลผลิต (ตัน)	348,181	175,274	270,554
4. ผลผลิตต่อไร่ (กก.)	899	442	677
5. ต้นทุนการผลิต (บาท/ตัน)	9,824	19,414	9,830

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 **(ต่อ)**

รายการ	2550	2551	2552
6. ราคาที่เกษตรกรขายได้ (บาท/ตัน)			
- มังคุดคละ	9,840	12,190	16,310
7. ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ตัน)	16	-7,224	6,480
8. มาตรฐาน			
- ตามประกาศคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตร และอาหารแห่งชาติ มกอช. 2-2546			

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552)

8.2 ตลาดต่างประเทศ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิต และส่งออกมังคุดเป็นอันดับ 1 ของโลก และปริมาณการผลิตมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากสามารถส่งออกมากขึ้นโดยลักษณะการส่งออกส่วนใหญ่จะเป็นมังคุดสด ซึ่งมีแนวโน้มด้านราคาส่งออกที่สูงขึ้นในแต่ละปี จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีส่วนแบ่งทางตลาดที่สูงกว่า 60% ไทยจึงเป็นประเทศที่ผลิต และส่งออกมังคุดที่สำคัญ

ตารางที่ 2 ข้อมูลการค้ามังคุด

รายการ	2550	2551	2552
1. การค้าของโลก (ล้านตัน)	0.071	0.068	0.171
2. ส่วนแบ่งการตลาดโลก (%)	66.27	65.13	65.04
3. ใช้ในประเทศ (ตัน)	301.008	131.066	159.254
4. ส่งออกรวม (ตันสด)	47,173	44,268	111,300
มังคุดสด			
- ปริมาณ (ตัน)	46,860	43,979	111,000
- มูลค่า (ล้านบาท)	728	718	1,700

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 **(ต่อ)**

รายการ	2550	2551	2552
มังคุดแช่แข็ง			
- ปริมาณ (ตัน)	313	289	300
- มูลค่า (ล้านบาท)	27	26	25
5. ราคาส่งออก (บาท/ตัน)			
- มังคุดสด	15,527	16,327	20,000
- มังคุดแช่แข็ง	86,262	89,965	83,000
6. คู่ค้าที่สำคัญ			
- มังคุดสด	จีน, ฮ่องกง, ญี่ปุ่น, เวียดนาม		
- มังคุดแช่แข็ง	ญี่ปุ่น, สหรัฐอเมริกา		
7. คู่แข่งที่สำคัญ	อินโดนิเซีย, เวียดนาม		

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552)

9. มาตรฐานมังคุด

คุณภาพขั้นต่ำ (Minimum Requirements)ทุกชั้นมาตรฐาน มังคุดต้องมีคุณภาพดังต่อไปนี้ (เว้นแต่จะมีข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละชั้น และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้มีได้ตามที่ระบุไว้)

- เป็นผลมังคุดสดทั้งผล
- มีกลีบเลี้ยง (calyx) และก้านผล (pedicel) ครบ และสมบูรณ์
- มีรูปทรง สี และรสชาติปกติ
- ไม่มีรอยช้ำ หรือตำหนิที่เห็นเด่นชัด ไม่แตกร้าว และไม่มีน้ำยางที่ผิวผล และไม่เน่าเสีย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- สามารถผ่าเปิดเปลือกผลได้ในสภาพปกติ

- สะอาด และปราศจากสิ่งแปลกปลอม โดยการตรวจสอบด้วยสายตา

- ปลอดจากศัตรูพืช และความเสียหายอันเนื่องมาจากศัตรูพืช ยกเว้นร่องรอยผิวลายที่ไม่กระทบต่อคุณภาพภายใน (not effecting internal quality) โดยการตรวจสอบด้วยสายตา

- ปลอดจากความชื้นที่ผิดปกติจากภายนอก ทั้งนี้ ไม่รวมถึงหยดน้ำที่เกิดขึ้นหลังการนำผลมังคุดออกจากห้องเย็น

- ปลอดจากความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ

- ไม่มีกลิ่น และรสชาติผิดปกติจากสิ่งแปลกปลอมภายนอก

ผลมังคุดต้องผ่านการเก็บเกี่ยวตามกระบวนการเก็บเกี่ยว และการดูแลภายหลังการเก็บเกี่ยวอย่างถูกต้อง เพื่อให้ได้คุณภาพตามกำหนด ผลมังคุดต้องแก่ระยะสายเลือด (ผิวเปลือกเกิดจุดแต้ม หรือประสีม่วงแดง) เป็นอย่างน้อย และอยู่ในสภาพที่ยอมรับได้เมื่อถึงปลายทาง (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

10. การแบ่งชั้นคุณภาพ

แบ่งเป็น 3 ชั้น คุณภาพ ดังนี้

- ชั้นพิเศษ (Extra Class) ผลมังคุดในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดีที่สุด ผลต้องปลอดจากตำหนิ ยกเว้นตำหนิผิวเผินเล็กน้อย โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผล คุณภาพ และคุณภาพการเก็บรักษา รวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- ชั้นหนึ่ง (Class I) ผลมังคุดในชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดี รูปทรงอาจผิดปกติได้เล็กน้อย มีตำหนิได้เล็กน้อย เช่น ตำหนิที่เปลือก กลีบเลี้ยง รอยขีดข่วน และ/ หรือตำหนิอื่น ๆ โดยไม่มีผลต่อเนื้อมังคุด รูปลักษณ์ คุณภาพ และคุณภาพการเก็บรักษารวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ ตำหนิโดยรวมต่อผลต้องมีพื้นที่ไม่เกินร้อยละ 10 ของพื้นที่ผิว

- ชั้นสอง (Class II) ชั้นนี้รวมผลมังคุดที่ไม่เข้าข้นชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพขั้นต่ำ ดังข้อ 1 รูปทรงอาจผิดปกติได้เล็กน้อย มีตำหนิได้เล็กน้อย เช่น ตำหนิที่เปลือก กลีบเลี้ยง รอยขีดข่วน และ/ หรือตำหนิอื่น ๆ โดยไม่มีผลต่อเนื้อมังคุด รูปลักษณ์ คุณภาพ และคุณภาพการเก็บรักษารวมทั้งการจัดเรียงเสนอในภาชนะบรรจุ (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

11. ข้อกำหนดเรื่องขนาด

การกำหนดรหัสขนาดของผลจะพิจารณาจากน้ำหนัก หรือเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดตามแนวขวาง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดเรื่องขนาดของมังคุด

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

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

12. ข้อกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพ และขนาดในแต่ละภาชนะบรรจุ สำหรับผลิตผลที่ไม่เข้าชั้นที่ระบุไว้

12.1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพ (Quality Tolerances)

- ชั้นพิเศษ (Extra Class) ยอมให้มีผลมังคุดที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นพิเศษ แต่เป็นไปตามคุณภาพของชั้นหนึ่ง หรือยกเว้นว่าคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของชั้นหนึ่ง ปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 5 ของจำนวนผลทั้งหมด หรือน้ำหนักรวม ยกเว้นผลที่มีร่องรอยของผิวลาย อันเนื่องมาจากศัตรูพืชจะปนมาไม่ได้

- ชั้นหนึ่ง (Class I) ยอมให้มีผลมังคุดที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นหนึ่ง แต่เป็นไปตามคุณภาพของชั้นสอง หรือยกเว้นว่าคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของชั้นสองปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของจำนวนผลทั้งหมด หรือน้ำหนักรวม

- ชั้นสอง (Class II) ยอมให้มีผลมังคุดที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นสอง หรือไม่ได้คุณภาพขั้นต่ำ ปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของจำนวนผลทั้งหมด หรือน้ำหนักรวม โดยไม่มีผลเน่าเสีย

12.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องขนาด (Size Tolerances)

ยอมให้มังคุดทุกชั้นมีขนาดที่ใหญ่ หรือเล็กกว่าในชั้นถัดไปหนึ่งชั้นปนมาได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของจำนวนผลทั้งหมด หรือน้ำหนักรวม (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

13. มังคุดเนื้อแก้ว

ในการคัดเลือกมังคุดที่เหมาะสมต่อการบริโภค นอกจากการสังเกตคุณภาพภายนอก คุณภาพภายในก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกันในการสร้างความเชื่อมั่นให้ผู้บริโภค ซึ่งผลมังคุดที่ดีภายในต้องไม่มีอาการเนื้อแก้ว ยางไหล เปลือกแข็ง เน่า หรือเป็นโรค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความผิดปกติภายในผลมังคุดอย่างหนึ่งคือ อาการเนื้อแก้ว ซึ่งถือว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้วเป็นมังคุดเสีย โดยปกติเนื้อภายในผลมังคุดจะมีลักษณะนุ่ม และมีสีขาวขุ่น ส่วนเนื้อมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วจะใส และมีลักษณะคล้ายฉ่ำน้ำอยู่ภายใน อาการเนื้อแก้วมักเกิดกับกลีบเนื้อที่มีเมล็ดหรือกลีบที่มีขนาดใหญ่ และลุกลามไปยังพูข้างเคียง หรือถ้าเป็นทั้งผลจะทำให้เกิดอาการเปลือกแข็ง (นิวัฒน์, 2533)

ศรีสังวาล (2537) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด พบว่าผลที่เป็นเนื้อแก้ว และความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในช่วงที่เป็นเนื้อแก้ว และความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วมากด้วย ส่วนผลที่มียางไหล และความรุนแรงของอาการยางไหลช่วงต้นฤดูเก็บเกี่ยวพบน้อย และเพิ่มมากขึ้นในปลายฤดูเก็บเกี่ยว แต่ไม่ค่อยผันแปรตามปริมาณน้ำฝน นอกจากนี้ยังได้ทดลองให้น้ำเพิ่มจากปกติติดต่อกัน 5 วัน เป็นปริมาณน้ำ 75 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วงเวลาก่อนการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับการให้น้ำตามปกติ (15-20 มิลลิเมตรต่อวัน) พบว่าต้นมังคุดที่ได้รับน้ำเพิ่มจากปกติมีจำนวนผลที่เป็นเนื้อแก้วมากกว่าปกติแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วค่อนข้างใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่ามังคุดแต่ละต้นในทรีตเมนต์เดียวกันมีผลที่เกิดอาการเนื้อแก้วแตกต่างกันมาก สำหรับจำนวนผลที่มียางไหล และความรุนแรงของอาการยางไหลในต้นที่ให้น้ำเพิ่มจากปกติมีมากกว่าต้นที่ได้รับน้ำตามปกติ

ศิริวรรณ และ จริงแท้ (2544) ได้ศึกษาเกี่ยวกับกลไกการเกิดอาการเนื้อแก้วของผลมังคุด พบว่าในเนื้อแก้วมังคุดปกติมีจำนวนโปรโตพลาสต์ที่สมบูรณ์มากกว่า และมีโปรโตพลาสต์ที่เสียหายน้อยกว่าผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว เมื่อผลมีการพัฒนามากขึ้นปริมาณ water soluble pectin เพิ่มขึ้น CDTA soluble pectin เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และ Na_2CO_3 soluble pectin ลดลง ในขณะที่มังคุดเนื้อแก้วมีประมาณ water soluble pectin และ CDTA soluble pectin ต่ำกว่าเนื้อปกติ แต่มีปริมาณ Na_2CO_3 soluble pectin สูงกว่าเนื้อปกติ ในเมล็ดสมบูรณ์มีปริมาณ SS และ TA ต่ำกว่าในเมล็ดลีบ เมื่อเกิดอาการเนื้อแก้วปริมาณกรดซัคซินิกเพิ่มขึ้น และกรดดี-มาลิกลดลง การแช่เนื้อมังคุดในสารละลายกรดมาลิก 15% ภายใต้สภาพความดันต่ำ ทำให้ค่าความแน่นเนื้อของมังคุดสูงกว่าการให้สารละลายอื่นๆ ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเพกตินในมังคุดมีการเปลี่ยนรูปจากที่ไม่ละลายน้ำเป็นรูปที่ละลายได้มากขึ้นเมื่อผลมีอายุมากขึ้น แต่เมื่อได้รับน้ำมากเกินไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

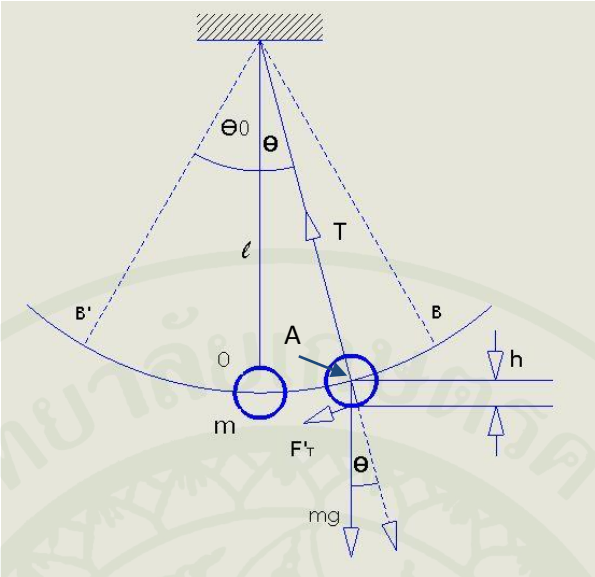
เซลล์เกิดความเสียหายสารละลายต่างๆจึงรั่วออกมายังบริเวณผนังเซลล์ ส่งผลให้เพกตินเปลี่ยนเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำอีกครั้งทำให้มังคุดเนื้อแก้วมีความแข็งมากกว่าเนื้อปกติ

14. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

14.1 การแกว่งแบบลูกตุ้มนาฬิกา (pendulum test)

ลูกตุ้มอย่างง่าย (Simple pendulum) จากภาพที่ 1 สามารถอธิบายหลักการทฤษฎีลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายได้ว่า ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายประกอบด้วยมวล m แขวนอยู่ในแนวดิ่งด้วยเชือกเบา และไม่ยืดมีความยาว l ดังภาพที่ 1 ขณะสมดุลมวลอยู่ที่ตำแหน่ง A และเชือกอยู่ในแนวดิ่งเมื่อดึงมวลออกไปข้างๆที่จุด B ทำมุม θ_0 กับแนวดิ่ง และปล่อย มวล m จะแกว่งไปมาระหว่างตำแหน่ง B และ B' ซึ่งอยู่ห่างไปทางขวามือเท่ากับจุด B โดยทั่วไปการแกว่งจะเป็นคาบแต่ไม่เป็นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก การแกว่งจะเป็นซิมเปิลฮาร์โมนิกได้ก็ต่อเมื่อ θ_0 มีค่าน้อย หรือที่ $\sin\theta \cong \theta$ ขณะเชือกทำมุม θ กับแนวดิ่งแรงกระทำต่อมวลคือแรงดึงดูดของโลก mg และความตึงในเส้นเชือก แตกแรง mg เป็นแรงตามแนวเส้นเชือกมีขนาด $mg\cos\theta$ และแรงตามแนวตั้งฉากกับเส้นเชือก (ในระนาบ BOB') มีขนาด $mg\sin\theta$ ความตึงของเส้นเชือกจะเท่ากับผลบวกของแรงส่วนประกอบ $mg\cos\theta$ กับแรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากมวล m เคลื่อนที่รอบจุด O แต่เนื่องจากแรงตึงในเส้นเชือกนี้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกของ m จึงละไว้ไม่กล่าวถึงอีก แรงอีกส่วนหนึ่งคือ $mg\sin\theta$ เป็นแรงที่จะพยายามจะดึงมวลกลับสู่ตำแหน่งสมดุล จึงเป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับการแกว่งของมวล (พรชัย และ ลิขิต, 2532)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 ลูกตุ้มอย่างง่าย

ที่มา: พรชัย และ ลิขิต (2532)

ให้แรงนี้เป็น F_T คือ แรงกระทำต่อมวลในแนวเส้นสัมผัส ดังนั้น

$$F_T = -mg\sin\theta \quad (1)$$

เนื่องจากมวลเคลื่อนที่เป็นส่วนหนึ่งของวงกลมรัศมี l ตามกฎข้อ 2 ของนิวตัน

$$F_T = ma_T \quad (2)$$

โดยที่ a_T คือ ความเร่งตามแนวเส้นสัมผัส จะได้

$$a_T = l\alpha = l\frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (3)$$

เมื่อ α คือความเร่งเชิงมุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของมวลนี้เขียนได้เป็น

$$ml\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg\sin\theta \quad (4)$$

หรือ

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\sin\theta = 0 \quad (5)$$

ในกรณีที่ θ_0 เล็กมาก และเนื่องจาก $|\theta| \leq |\theta_0|$ เราอาจเขียน $\sin\theta \cong \theta$ เรเดียน และเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\theta = 0 \quad (6)$$

เปรียบเทียบสมการที่ (6) กับสมการที่ (7) รากของสมการที่ (6) จึงมีรูปเดียวกับรากของสมการที่ (7) คือ

$$\theta = \theta_0\sin(\omega t + \phi) \quad (7)$$

โดยที่ ω คือความถี่เชิงมุม

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (8)$$

จะได้คาบ

$$P = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (9)$$

ให้สังเกตว่า คาบของการแกว่งไม่ขึ้นกับมวลของลูกตุ้ม แต่ขึ้นกับความยาวของลูกตุ้ม และค่าสมดุล คือเมื่อเชือกอยู่ในแนวดิ่ง และมีอัตราเร็วเป็นศูนย์เมื่ออยู่ที่ตำแหน่งไกลสุด (θ_0) ทั้งสอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้าง เมื่อไม่คิดแรงต้านของอากาศ พลังงานจะเปลี่ยนรูประหว่างพลังงานจลน์ ($\frac{1}{2}mv^2$) และพลังงานศักย์โน้มถ่วง (mgh) เมื่อ h คือระยะตามแนวดิ่งวัดเทียบกับตำแหน่งสมดุล และพลังงานรวมจะมีค่าคงที่เสมอ

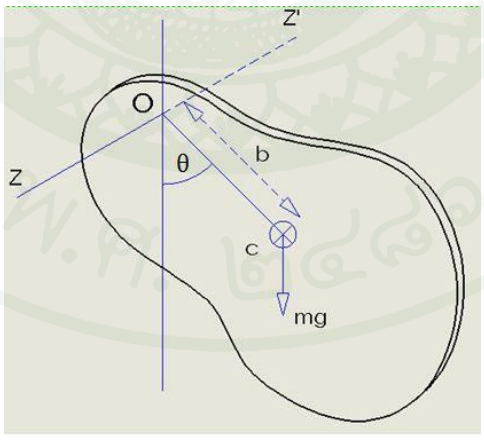
ถ้าเป็นการแกว่งที่มีอำพนกว้าง คือ θ_0 กว้าง จะไม่เป็นการแกว่งแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกอีกต่อไปแต่อย่างไรก็ตามถ้ามุม θ_0ไม่โตเกินไปนัก คาบของการแกว่งจะได้

$$P' = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1+\frac{1}{16}\theta_0^2\right) \quad (10)$$

ซึ่งเป็นค่าประมาณที่ใช้ได้ดีพอควร หลักการของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายนี้ใช้ทดลองวัดค่า g ของโลกได้

14.2 ลูกตุ้มฟิสิกัล (Physical pendulum)

วัตถุเกร็งที่แกว่งรอบแกนราบอันหนึ่งเรียกว่าลูกตุ้มฟิสิกัล พิจารณาจากภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลูกตุ้มฟิสิกัล

ที่มา: พรชัย และ ลิขิต (2532)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 2 วัตถุเกร็งแกว่งรอบแกนราบ ZZ' ผ่านจุด O โดยมีจุด C คือจุดศูนย์กลางมวล ห่างจากจุดหมุนเป็นระยะ b เมื่อเส้น OC ทำมุม θ กับแนวดิ่ง ทอร์คในแนวแกน *Z* ที่กระทำต่อวัตถุนั้นคือ

$$\tau_z = -mgb\sin\theta \tag{11}$$

เมื่อ m คือมวลของวัตถุเกร็งนี้ ให้ I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุเกร็งนี้รอบแกน *Z* ดังนั้น

$$\tau_z = I\alpha = I\frac{d^2\theta}{dt^2} \tag{12}$$

สมการข้างบนเขียนได้เป็น

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgb\sin\theta \tag{13}$$

หรือ

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} + mgb\sin\theta = 0 \tag{14}$$

ถ้า θ เป็นมุมแคบๆ จะได้ $\sin\theta \cong \theta$ เรเดียน จะเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgb}{I}\theta = 0 \tag{15}$$

เมื่อเทียบสมการที่ (15) กับสมการที่ (7) แล้ว จะเห็นว่าการแกว่งของวัตถุเกร็งนี้เป็นการแกว่งแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก และ $I = mk^2$ เมื่อ k คือรัศมีไจเรชันของวัตถุเกร็งรอบแกน *Z* จะได้ความถี่เชิงมุมของการแกว่งคือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\left.\begin{aligned} \omega &= \sqrt{\frac{mgb}{I}} = \sqrt{\frac{gb}{k^2}} \\ \text{และคาบการแกว่ง} \quad P &= \sqrt{\frac{2\pi}{\omega}} = 2\pi\sqrt{\frac{k^2}{gb}} \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

เช่นเดียวกับลูกตุ้มอย่างง่าย คาบของการแกว่งไม่ขึ้นกับมวลของวัตถุ เราอาจจะใช้ลูกตุ้มฟิสิกัลนี้หาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (I) โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ได้

15. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชูศักดิ์ และคณะ (2544) ได้ทำการทดสอบทำนายเนื้อแก้วในมังคุดโดยศึกษาอุลตร้าซาวด์และเสียงจากการเคาะ พบว่าวิธีการวัดสัญญาณอุลตร้าซาวด์ไม่สามารถนำมาใช้ในการคัดแยกได้ ในขณะที่วิธีการวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะสามารถให้ผลคัดแยกที่ดีกว่า โดยได้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบหามังคุดเนื้อแก้วโดยการลอยน้ำที่มีผู้ทำวิจัยได้ทำมาก่อน

Tongleam *et al.* (2004) ได้ใช้คลื่นไมโครเวฟส่งผ่านมังคุดเพื่อตรวจสอบหาอาการเนื้อแก้ว พบว่าวิธีนี้สามารถนำมาใช้ตรวจสอบหามังคุดเนื้อแก้วได้ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 79% เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากผลมังคุดปกติ (positive fault) 7.4%

นารถระพี (2554) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการทำนายปริมาณเนื้อแก้วในมังคุด และการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้ว โดยศึกษาตำแหน่งการวัดและรูปแบบการวัดที่เหมาะสม มังคุดปกติ 96 ผล และมังคุดเนื้อแก้ว (พิจารณาจากเนื้อแก้วที่เห็นจากผิวเนื้อภายนอก) 39 ผล ถูกนำมาวัดการดูดกลืนแสงแบบส่องผ่านที่ช่วงความยาวคลื่น 665 ถึง 955 นาโนเมตร ผลละ 8 ตำแหน่งรอบผลด้วยรูปแบบการวัด 3 แบบ พบว่าสมการสามารถทำนายพารามิเตอร์สัดส่วนพื้นที่เนื้อแก้วได้แม่นยำที่สุด ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.83, standard error of prediction เท่ากับ 7.51% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ (bias) -0.08% โดยเป็นสมการที่สร้างจากสเปกตรัมเฉลี่ยของการวัด 8 ตำแหน่ง และปรับแต่งเบื้องต้นด้วยวิธี smoothing และ standard normal variate รูปแบบการวัดเป็นแบบให้ต้นกำเนิดแสงทำมุม 45 องศากับแนวดิ่ง และวางผลมังคุดให้ขั้วอยู่ในแนวนอน สำหรับการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เทคนิค discriminant analysis ด้วยการจัดกลุ่มมังคุดเป็นมังคุดปกติ และมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้ค่าสัดส่วนพื้นที่เท่ากับ 23.34% เป็นเกณฑ์ในการคัดแยกกลุ่ม มีความถูกต้องในการคัดแยกรวมเท่ากับ 83.3% และมีความถูกต้องในการคัดแยกของกลุ่มมังคุดเนื้อแก้วเท่ากับ 94.1% สัดส่วนพื้นที่เนื้อแก้วสามารถใช้เป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมในการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วเพื่อการส่งออกด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ซึ่งจะทำให้มีมังคุดเนื้อแก้วปะปนไปกับมังคุดปกติลดลง โดยยอมให้มังคุดปกติบางผลปะปนไปกับมังคุดเนื้อแก้วที่คัดออก

ณัฐดนัย และ สุวรรณ (2552) ได้นำโปรแกรม LabVIEW 7.0 มาใช้ในการรับ และประมวลผลสัญญาณการสั่นของสปริงเพื่อตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นม ยู.เอช.ที บรรจุกล่อง โดย สปริงสั่นแบบเสรีมีตัวหน่วงชนิดของเหลวหนืดกรณีการหน่วงต่ำ โดยการสั่นนี้เป็นผลในลักษณะการเคลื่อนที่ของนมภายในกล่องต่างกัน เมื่อน้ำที่ไม่มีคุณภาพ คือจับตัวกันเป็นก้อนทำให้ผลจากการหน่วงต่างจากนมที่ไม่จับตัวเป็นก้อน พบว่าสามารถแยกได้ถูกต้อง 99.92%

ปาริชาติ (2550) ได้ศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือก พบว่าเมื่อทดสอบค่าทางสถิติค่าความถ่วงจำเพาะ Load at Limit, Maximum Load, Work Load, พื้นที่ใต้กราฟด้านตรงข้ามเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร ค่าแฟคเตอร์ Principle Component (แฟคเตอร์ PC) ด้านเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร (PC_3L) และค่าแฟคเตอร์ PC ด้านตรงข้ามเมล็ดใหญ่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างมังคุดเนื้อปกติ และมังคุดเนื้อแก้ว เมื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วนวิธี discriminant analysis โดยใช้ตัวแปรอิสระ คือ ค่าที่วัดทางด้านคุณภาพของมังคุดทั้งหมดแต่ใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเปลือก (พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ) ผลความถูกต้องการจัดกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 66.3 สำหรับการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มโดยใช้ตัวแปรอิสระ ค่าที่วัดทางด้านคุณภาพของมังคุดทั้งหมดแต่ใช้การเปลี่ยนแปลงภายในเปลือก (แฟกเตอร์ PC) ผลความถูกต้องในการจัดกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 69.8 และเมื่อใช้ตัวแปรไม่ทำลายทั้งหมด ได้แก่ความถ่วงจำเพาะ ค่าความแข็งของเปลือก พารามิเตอร์พื้นที่ใต้กราฟ และแฟกเตอร์ PC ได้ผลความถูกต้องในการจัดกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 70.4 และพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการจำแนกกลุ่มทั้ง 3 กลุ่มตัวแปรคือ Load at Limit

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรภัทร และ จริงแท้ (2539) ได้ศึกษา และพัฒนาการการเกิดเนื้อแก้วในมังคุดโดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลที่มีเนื้อปกติมากกว่าเนื้อแก้วเล็กน้อยซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ water soluble pectin ที่พบในเนื้อปกติมากกว่าที่พบในเนื้อแก้ว 0.55 นาโนกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ส่วน CDTA soluble pectin มีปริมาณเท่าๆกัน แต่ปริมาณ Na_2CO_3 soluble pectin ในเนื้อแก้วมากกว่าที่พบในเนื้อปกติ 0.53 นาโนกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ผลที่มีอาการเนื้อแก้วมีปริมาณอากาศในเนื้อผลน้อยกว่าเนื้อปกติ 15 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.02 ของปริมาณเนื้อมังคุด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำในเนื้อผล พบว่าเนื้อแก้วมีปริมาณน้ำในเนื้อผลมากกว่าเนื้อปกติร้อยละ 1.21 แสดงให้เห็นว่าน้ำได้เข้าไปแทนที่อากาศในเนื้อมังคุด จึงทำให้เนื้อมังคุดมีลักษณะใส ส่วนความแน่นเนื้อของเนื้อแก้วสูงเป็น 3 เท่าของเนื้อปกติ ข้อมูลที่พบสนับสนุนข้อสันนิษฐานที่ว่า อาการเนื้อแก้วเกิดจากการที่เซลล์เนื้อมังคุดรับน้ำเข้าไปมาก จนทำให้เซลล์แตก และตาย ส่งผลให้น้ำ และสารต่างๆภายในเซลล์รั่วไหลออกสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์ ซึ่งไปมีผลทำให้โมเลกุลของ pectin เปลี่ยนแปลงจากที่ละลายน้ำเป็นไม่ละลายน้ำ ทำให้เนื้อมังคุดดูใส และแข็งขึ้น

สนธิสุข (2550) ได้ศึกษาการใช้เทคนิค Short Wave Near Infrared Spectroscopy (SW-NIRS) แบบทะลุผ่านเพื่อสร้างโมเดลการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้ว ผู้วิจัยพบว่าลักษณะที่ปรากฏของสเปคตราของมังคุดปกติ และมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วมีความแตกต่างกัน โดยมังคุดเนื้อแก้วจะยอมให้แสงทะลุผ่านผลได้มากกว่ามังคุดปกติ โมเดลที่สร้างขึ้นสามารถประเมินค่าทางสถิติในการคัดแยกของมังคุดเนื้อแก้ว และมังคุดเนื้อปกติได้ จากผลการทดลองมีความถูกต้องสูงสุด 92 เปอร์เซ็นต์

สิรินาฏ (2552) ได้ทำการศึกษาเทคนิคการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติ โดยวิธีวิเคราะห์แบบตัวแปรพหุคูณ โดยใช้มังคุด 217 ผล นำมาวัดค่าความถ่วงจำเพาะ เปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือก แล้ววัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA-Near Infrared (NIR) GUN ช่วงคลื่น 700-1100 นาโนเมตร แบบ Interactance ที่จุดกึ่งกลางด้านข้างของแต่ละผลบนแนวเส้นอีเควเตอร์ (equatorial line) ในแนวตั้งฉากรอบผล จำนวน 4 ด้าน โดยได้ศึกษาวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อลดการกระเจิงแสงด้วยวิธี first derivative (1D) หรือ Second Derivative (2D) หรือ Multiplicative Scatter Correction (MSC) หรือ Standard Normal Variate (SNV) เพื่อให้ได้โมเดลการทำนายกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดแล้ววิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี Discriminant Analysis (DA) พบว่าการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ข้อมูลสเปกตรัม NIR

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรับแต่งด้วย MSC ทั้งช่วงความยาวคลื่นที่ด้าน 1, 3 และ 4 ให้ผลความถูกต้องในการจำแนกดีที่สุด 83.9% ต่อจากนั้นได้ใช้เทคนิค Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) วิเคราะห์เพื่อเลือกเฉพาะสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับการแยกมังคุดเนื้อปกติ และเนื้อแก้วเพื่อลดความซับซ้อนของโมเดล ซึ่งข้อมูลการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น 708 และ 880 นาโนเมตร ให้ผลความถูกต้องในการจำแนกดีที่สุด 83.9% ในทุกด้าน และสำหรับการจำแนกกลุ่มโดยใช้ตัวแปรทำนายกลุ่ม คือ ความยาวคลื่นที่เลือกมาจากเทคนิค PLS-DA ซึ่งโมเดล 2D ของการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น 716, 752, 831, 910, 953, 989, 1022, 1038 และ 1058 นาโนเมตร ร่วมกับค่าความถ่วงจำเพาะให้ผลความถูกต้องในการจำแนกที่ดีที่สุด 84.8% จากข้อมูลสเปกตรัมทั้ง 4 ด้านเฉลี่ย

Teerachaichayut *et al.* (2008) ได้ศึกษาเทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วโดยใช้ตัวแปรทางกายภาพ และทางเคมี ได้แก่อัตราส่วนระหว่างเส้นรอบวงต่ำสุดและสูงสุด อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักกลีบเลี้ยง และผลมังคุด ความถ่วงจำเพาะ ความชื้นเปลือกเฉลี่ย และความแตกต่างของความชื้นเปลือก โดยใช้มังคุดทั้งหมด 257 ผล และนำตัวแปรทั้งหมดมาสร้างสมการจำแนกกลุ่มด้วยวิธี discriminant analysis พบว่าเมื่อใช้ตัวแปรทั้งหมดมาวิเคราะห์จะมีความถูกต้อง 78.9% ซึ่งมากกว่าใช้ตัวแปรความถ่วงจำเพาะเพียงอย่างเดียวซึ่งมีความถูกต้อง 72%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์ที่ใช้

1.1 proximity sensor (inductive sensor)

1.2 oscilloscope (Rigol model ds1000e)

1.3 power supply (MCP model M10-TP3005H)

1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล (Mettler Toledo model PL3002)

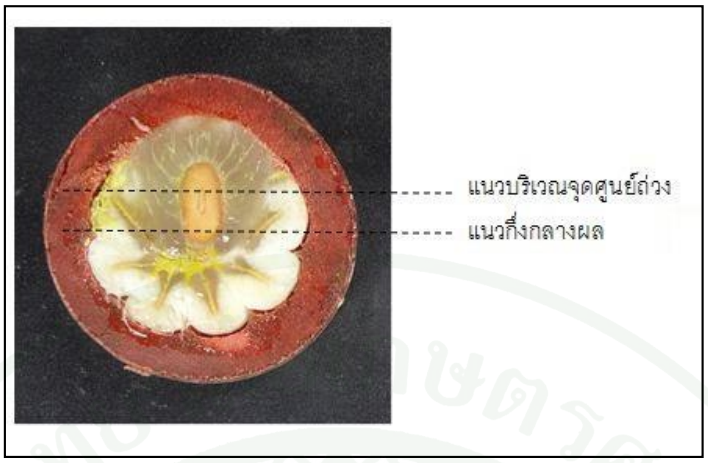
1.5 vernier caliper (NAZA 8')

1.6 computer (Program: Ultrascope DS1000e, SPSS V16.0)

2. การสร้างเครื่องวัดคาบการแกว่งมังคุด

แนวความคิดของงานวิจัยมาจากผลงานวิจัยของ Pankasemsuk et al., (1996) ที่กล่าวว่ามังคุดเนื้อแก้วมีความชื้นในเปลือก (65%) มากกว่ามังคุดเนื้อปกติ (63%) ความถ่วงจำเพาะของมังคุดเนื้อแก้วจะมีค่ามากกว่า 1 และมังคุดเนื้อปกติจะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 ดังนั้นความถ่วงจำเพาะสามารถใช้แยกมังคุดเนื้อแก้ว และมังคุดเนื้อปกติได้ มังคุดเนื้อแก้วจะมี soluble solids concentration และเปอร์เซ็นต์ปริมาณกรดต่ำกว่ามังคุดเนื้อปกติ นอกจากนี้ยังได้กล่าวว่าความชื้นในเปลือกของผลมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วจะมีค่าสูงกว่าผลปกติ และเนื้อแก้วมักจะเป็นกับเมล็ดที่ใหญ่ที่สุดในผล ดังนั้นจุดศูนย์ถ่วงของมังคุดจึงน่าจะมีแนวโน้มไปทางกลีบใหญ่ในผลมังคุดเนื้อแก้ว ซึ่งถ้าวางมังคุดให้แนวแกนขั้วอยู่ในแนวนอน และหมุนให้กลีบใหญ่อยู่ด้านบนดังแสดงในภาพที่ 3 จะทำให้มังคุดปกติที่มีขนาดผลเท่ากัน แนวจุดศูนย์ถ่วงของมังคุดเนื้อแก้วจึงมีแนวโน้มอยู่สูงกว่า หรือห่างจากแนวกึ่งกลางผลมากกว่ามังคุดปกติ เนื่องจากเนื้อแก้วมีน้ำหนักมากกว่าเนื้อปกติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 มังคุดที่วางในลักษณะแกนแนวนอนโดยมีกลีบใหญ่อยู่ด้านบน ทำให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่สูงกว่าแนวกึ่งกลางผล

ถ้านำมังคุดมาแขวนในลักษณะเพนดูลัม โดยให้บริเวณกลีบใหญ่อยู่ด้านบน และแกนขั้วอยู่ในแนวนอน คาบการแกว่งของมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วซึ่งสัมพันธ์กับระยะจากจุดหมุนจนถึงแนวจุดศูนย์ถ่วงของผลมังคุด (ระยะ l ในสมการ (9)) จึงน่าจะมีค่าน้อยกว่ามังคุดปกติ

การทดลองนี้เป็นการนำทฤษฎีการแกว่งลูกตุ้มเพนดูลัมมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาผลการตอบสนองของคาบเวลาของมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว โดยการทดลองแบ่งออกเป็นสามขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างอุปกรณ์แกว่งมังคุด ขั้นตอนที่สองเป็นการทดสอบอุปกรณ์ที่ได้สร้างขึ้นเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง และขั้นตอนที่สามเป็นการใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นทดลองกับมังคุด

การสร้างเครื่องวัดคาบการแกว่งมังคุดนั้นเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และได้ผลต่างของเวลาที่ชัดเจนจะยึดหลักการในการสร้างดังนี้

ก. อุปกรณ์จับมังคุดสามารถยึดจับมังคุดเกรดส่งออกได้อย่างมั่นคง

ข. อุปกรณ์จับมังคุดสามารถหมุนมังคุดโดยอ้างอิงแกนเดิมได้ (แนวแกนขั้วผลถึงกึ่งกลางกลีบยอดเกสรตัวเมีย)

ค. อุปกรณ์จับมังคุดต้องมีน้ำหนักเบา และแข็งแรง

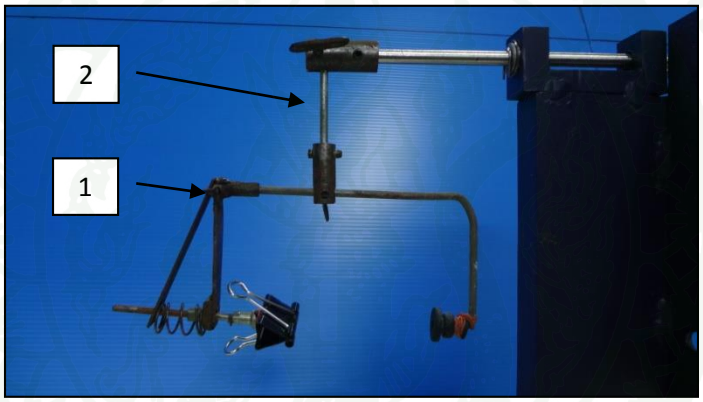
ง. ปรับเปลี่ยนความยาวแขนเพลาได้

จ. สามารถปล่อยมังคุดในมุมต่างๆที่กำหนดได้

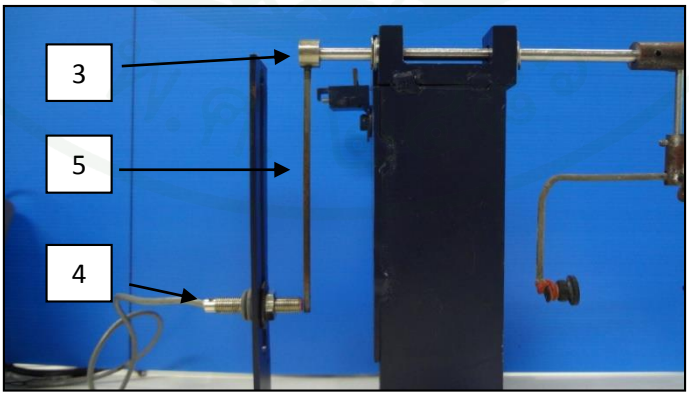
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เครื่องวัดคาบการแกว่งมังคุดที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย

1. อุปกรณ์จับมังคุด (หมายเลข 1 ในภาพที่ 4)
2. แขนเพลา (หมายเลข 2 ในภาพที่ 4)
3. เพลา (หมายเลข 3 ในภาพที่ 5)
4. เซนเซอร์ (หมายเลข 4 ในภาพที่ 5)
5. แขนแกว่ง (หมายเลข 5 ในภาพที่ 5)
6. แผ่นวัดมุม (หมายเลข 6 ในภาพที่ 6)
7. สลักยึดแขนแกว่ง (หมายเลข 7 ในภาพที่ 7)

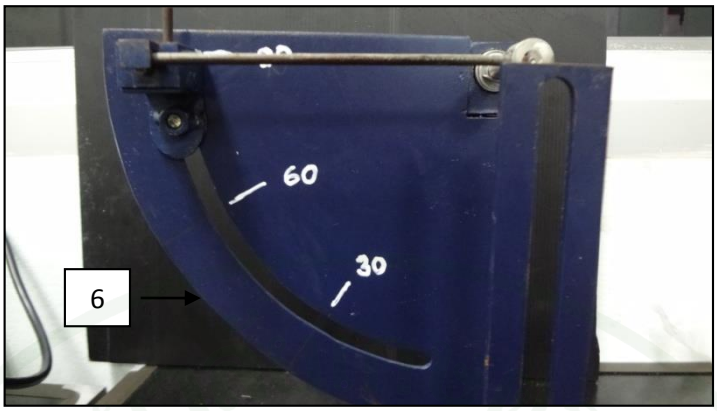


ภาพที่ 4 ลักษณะอุปกรณ์จับมังคุด หมายเลข 1 คือ อุปกรณ์จับมังคุด และ 2 คือ แขนเพลา

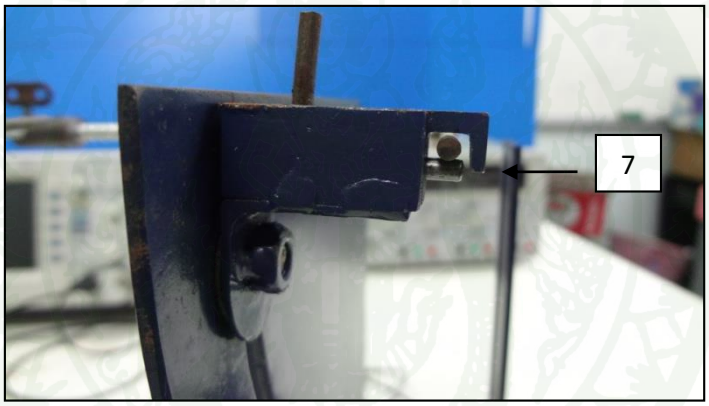


ภาพที่ 5 ลักษณะการต่อเซนเซอร์กับอุปกรณ์ หมายเลข 3 คือ เพลา 4 คือ เซนเซอร์ และ 5 คือ แขนแกว่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 ลักษณะของแผ่นวัดมุมเริ่มต้นในการแกว่งมังคุด หมายเลข 6 คือ แผ่นวัดมุม

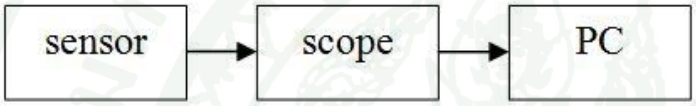


ภาพที่ 7 ลักษณะสลักยึดแขนแกว่ง หมายเลข 7 คือ ชุดสลักยึดแขนแกว่ง

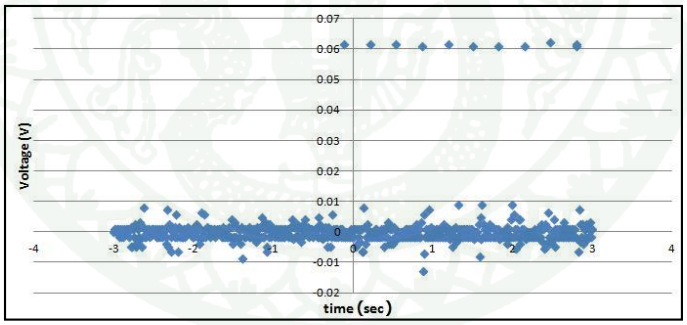
ภาพที่ 8 การจับมังคุดตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ยึดมังคุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 9 ลักษณะมังคุดก่อนปล่อยให้แกว่ง



ภาพที่ 10 ลักษณะการส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ



ภาพที่ 11 ตัวอย่างลักษณะกราฟที่สร้างจากข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Ultrascope DS1000E

หลักการทำงานของอุปกรณ์ คือให้กิ่งกลางบริเวณกลีบยอดเกสรตัวเมีย (stigma) ยึดกับแกนเหล็กด้านในโดยอาศัยแรงกดจากแกนหนีบก้านผลด้านหน้า (ภาพที่ 9) ซึ่งแกนหนีบก้านผลสามารถปรับระยะ และหมุนได้รอบ (ภาพที่ 8) จากนั้นนำแขนแกว่งมายึดกับสลัก (ภาพที่ 7) แล้วปล่อยให้แกว่งอิสระ แขนที่ยึดกับสลักนั้นจะผ่านเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งแบบ magnetic sensor ทำให้เกิดสัญญาณเข้าสู่ Oscilloscope แล้วส่งผ่านสาย USB เข้าสู่ Computer (ภาพที่ 10) โดย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แสดงผลในโปรแกรม Ultrascope DS1000E แล้วบันทึกข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์ผลในโปรแกรม Microsoft excel 2007 (ภาพที่ 11)

3. การทดสอบหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับเครื่องวัดคาบการแกว่งของมังคุด

เพื่อให้การวัดคาบเวลาของการแกว่งผลมังคุดมีความเที่ยงตรง และเซนเซอร์ที่ใช้วัดตำแหน่งสามารถตอบสนองได้อย่างเหมาะสม จึงศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องมือสำหรับวัดโดยเป็นการศึกษาระยะแขนเพลาที่เหมาะสม และมุมเริ่มต้นการแกว่งที่เหมาะสม โดยมีการทดลองดังนี้

3.1 ศึกษาระยะแขนเพลาที่เหมาะสมในการแกว่งมังคุด โดยการทดสอบหาค่าความแตกต่างของคาบการแกว่งเมื่อนำผลมังคุดมายึดให้มั่นคงด้วยอุปกรณ์ในลักษณะแนวแกนกลางขนานกับแนวระดับ ให้บริเวณกลีบใหญ่ที่สุดของมังคุดอยู่ด้านบน และเมื่อหมุนมังคุด 180 องศา ให้กลีบใหญ่อยู่ด้านล่าง หรือศูนย์ถ่วงอยู่ต่ำกว่าแนวศูนย์กลาง โดยวัดคาบเวลาที่ระยะแขน 3 ระดับ ได้แก่ 3, 5 และ 10 เซนติเมตร ปล่อยที่มุมเริ่มต้น 90 องศา โดยอ้างอิงจากแนวตั้งฉากของแนวระดับ โดยระยะแขนที่เหมาะสม คือ ระยะแขนที่ทำให้ค่าคาบเวลาการแกว่งที่ได้จากการวัดซ้ำมีความแตกต่างน้อยที่สุด

3.2 ศึกษามุมเริ่มต้นการแกว่งที่เหมาะสม โดยใช้ระยะแขนที่เหมาะสมจากการทดลอง 3.1 และวัดคาบเวลาโดยติดตั้งผลมังคุด เช่นเดียวกับการทดลอง 3.1 ศึกษาเปรียบเทียบมุมการปล่อย 3 ค่า คือ 30, 60 และ 90 องศา โดยอ้างอิงจากแกนแนวดิ่ง โดยค่ามุมที่เหมาะสมเป็นมุมที่ทำให้ค่าคาบเวลาที่วัดได้ของมังคุดมีความแตกต่างกันมากที่สุด และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากการวัดซ้ำ

4. การวัด และเก็บข้อมูล

ในการทดลองนี้ ได้ใช้มังคุดตัวอย่างขนาดเบอร์ 1, 2 และ 3 ระยะความสุกที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะกับการส่งออก เป็นจำนวน 189 ลูก เก็บ และทดลองในห้องอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1 การวัดค่าทางกายภาพ

หาน้ำหนัก และความถ่วงจำเพาะของมังคุดโดยนำผลมังคุดมาชั่งน้ำหนักในอากาศ (W_f) จากนั้นใช้เหล็กปลายแหลมแทงบริเวณกลีบยอดเกสรตัวเมีย (stigma) ด้านใต้ผลแล้วจุ่มทั้งผลลงไปในน้ำให้ปริ่มพอดี เขย่าผลมังคุดเล็กน้อยเพื่อไล่ฟองอากาศที่อยู่ภายใต้กลีบเลี้ยง (calyx) หลุดออกมา อ่านค่าน้ำหนักที่ได้ จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่อ่านได้ขณะที่ผลมังคุดอยู่ในน้ำ (W_d) นี้ไปคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดตามสมการที่ 17 จากนั้นใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด และระยะจากขั้วบนถึงขั้วล่างของผลมังคุด

สมการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ (บัณฑิต, 2546)

$$SG = \frac{W_f}{W_d} \qquad (17)$$

โดยที่ SG คือ ความถ่วงจำเพาะ

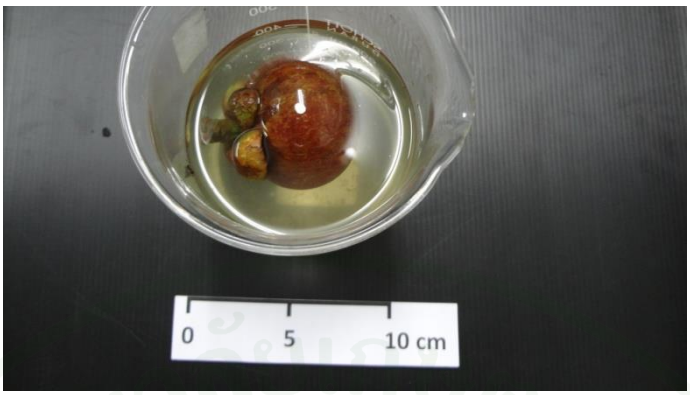
W_f คือ น้ำหนักมังคุดที่ชั่งในอากาศ

W_d คือ น้ำหนักมังคุดที่ชั่งในน้ำ

4.2 การวัดลักษณะการลอย

มังคุดเนื้อแก้วส่วนใหญ่จะเกิดกับกลีบที่ใหญ่ที่สุด และเนื้อแก้วจะมีน้ำหนักมากกว่าเนื้อปกติ สมมติฐานในการทดลองนี้ คือ มังคุดเนื้อแก้วจะมีลักษณะการลอยที่มีบริเวณด้านเบี้ยว (หรือด้านที่มีกลีบใหญ่) อยู่ด้านล่างเสมอเมื่อลอยอยู่ในของเหลว โดยทดลองนำมังคุดมาปล่อยลงในน้ำ (หรือน้ำเกลือ เพื่อให้มังคุดลอยทุกผล) และบันทึกลักษณะการลอย โดยมังคุดแต่ละผลจะปล่อยลงน้ำ 3 ลักษณะ คือ ปล่อยด้านกลีบยอดเกสรตัวเมีย (stigma) ลงน้ำ ปล่อยในลักษณะขั้วบนหันลงน้ำ และปล่อยในลักษณะแนวแกนขั้วอยู่ในแนวนอน แล้วทำจุดเครื่องหมายจุดกึ่งกลางส่วนที่ลอยเหนือน้ำไว้ จากนั้นแบ่งมังคุดออกเป็นสามส่วนได้แก่ ส่วนบน (บริเวณใกล้กลีบเลี้ยง) ส่วนกลาง และส่วนบริเวณกลีบยอดเกสรตัวเมีย (stigma) โดยมีระยะในแนวผิวจากแกนขั้วผลด้านบนถึงขั้วผลด้านล่างเท่ากัน ในด้านเดียวกับจุดที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ (ภาพที่ 12) สำหรับตรวจสอบลักษณะของมังคุดเมื่ออยู่ในของเหลวว่ามังคุดหันส่วนใดขึ้นด้านบน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 การทดสอบลักษณะมังคุดเมื่ออยู่ในของเหลว

4.3 การทดลองด้วยเครื่องวัดคาบการแกว่งมังคุด

การทดลองนี้เป็นการหาผลต่างคาบการแกว่งของมังคุดแต่ละลูกด้วยเครื่องวัดคาบการแกว่ง โดยใช้ทฤษฎีจากสมการที่ (9) เพื่อหาผลต่างคาบเวลาของมังคุดแต่ละลูก

4.3.1 ศึกษาผลต่างคาบการแกว่งของมังคุดโดยนำมังคุดมาจับด้วยอุปกรณ์จับมังคุดที่ได้สร้างไว้ (ภาพที่ 8) โดยหันด้านตรงข้ามกับบริเวณที่จมน้ำ (จากข้อ 4.2) ออกจากแกนเพลา (ด้านที่ลอยน้ำ หรือด้านที่ลอยอยู่ด้านบนจะหันเข้าหาแกนเพลา) เพื่อให้จุดศูนย์ถ่วงของมังคุดอยู่ห่างจากแกนเพลามากที่สุด

4.3.2 หมุนแขนแกว่งมายึดกับสลักด้านหลัง (ภาพที่ 7) จากนั้นจึงปลดสลักให้เริ่มแกว่ง เมื่อแขนแกว่งหมุนตัดผ่านเซนเซอร์ เซนเซอร์จะส่ง Output ไปยัง Oscilloscope แสดงเวลาที่ใช้ในการแกว่งแต่ละคาบผ่านทางสาย USB แสดงผลใน computer ด้วยโปรแกรม Ultrascope DS1000E ในลักษณะการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่สัมพันธ์กับเวลาโดยความต่างศักย์จะมีค่าสูงเมื่อแขนแกว่งเคลื่อนผ่านเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่ง ทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลดิบมาวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ในการแกว่งแต่ละคาบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3.3 หมุนมังคุด 180 องศา ตามแนวแกน (ด้านที่ทำเครื่องหมายไว้จะหันออกจากแกนเพลา) เพื่อให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่ใกล้แกนเพลามากที่สุด แล้วทำขั้นตอนที่ 4.3.2 อีกครั้ง

4.3.4 หาผลต่างค่าเฉลี่ยของมังคุดแต่ละลูก โดยนำค่าเฉลี่ยคาบเวลาจากข้อ 4.3.2 ลบด้วยค่าเฉลี่ยคาบเวลาจากข้อ 4.3.3

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

แบ่งมังคุดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เนื้อปกติ และกลุ่มที่เป็นเนื้อแก้ว นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยกำหนดให้ตัวแปรต้น คือ ผลแตกต่างของเวลาในแต่ละคาบของมังคุดแต่ละลูก ความถ่วงจำเพาะ และลักษณะการลอยตัวในของเหลว แล้วหาความถูกต้องในการคัดแยกทางสถิติจากการวิเคราะห์ discriminant analysis โดยวิธี leave-one-out-cross เพื่อหาความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมังคุดเนื้อปกติ และมังคุดเนื้อแก้ว โดยใช้โปรแกรม SPSS V.16

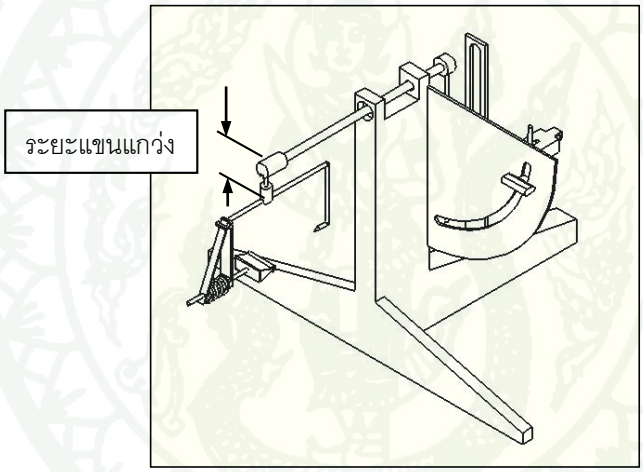
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

1. เครื่องวัดคาบการแกว่งของมังคุด

เครื่องวัดคาบการแกว่งของมังคุด (ภาพที่ 13) สร้างขึ้นเพื่อวัดคาบการแกว่งของมังคุด โดยอาศัยหลักการของเพนดูลัม โดยลักษณะของผลมังคุดที่มีกลีบใหญ่ทำให้ผลมังคุดเบี้ยว และจุดศูนย์ถ่วงมีตำแหน่งเยื้องไปทางด้านผลที่มีกลีบใหญ่ ดังนั้นมังคุดปกติจะมีผลต่างคาบการแกว่งน้อยกว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว



ภาพที่ 13 เครื่องวัดคาบการแกว่ง

2. ผลการทดสอบหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับเครื่องวัดคาบการแกว่งของผลมังคุด

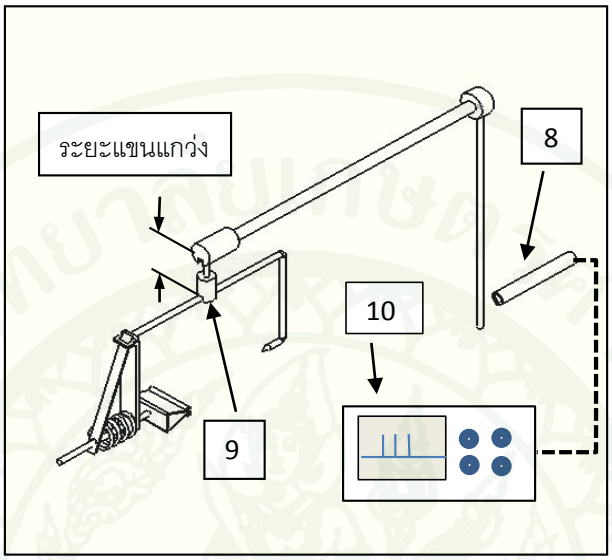
จากการทดสอบกับผลมังคุด 10 ลูก ขนาดเบอร์ 1, 2 และ 3 ระยะความสุกที่ 2 และ 3 โดยเลือกปัจจัยที่ทำให้ค่าคาบการแกว่งที่ได้จากการวัดซ้ำมีความแตกต่างน้อยที่สุด ได้ผลดังนี้

2.1 ผลการศึกษาระยะแขนแกว่งที่เหมาะสม

การศึกษาหาระยะแขนแกว่งที่เหมาะสมซึ่งเป็นระยะความยาวแขนจากจุดกึ่งกลางแกนเพลาถึงกึ่งกลางคานตัวจับมังคุด (ภาพที่ 8) เพื่อหาระยะแขนที่ให้ค่าคาบการแกว่งที่มีความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แตกต่างน้อยที่สุด ในการทดลองเบื้องต้นได้ทดลองที่ 3 ระยะ ได้แก่ 3, 5 และ 10 เซนติเมตร (ภาพที่ 14) โดยวัดคาบการแกว่งของมังคุดที่ติดตั้งให้กลีบใหญ่อยู่ด้านล่าง และอยู่เหนือศูนย์กลางผล



ภาพที่ 14 ระยะแขนแกว่งที่ทดลอง (หมายเลข 8, 9 และ 10 คือ เซนเซอร์จับสัญญาณ แขนเพลา และ oscilloscope ตามลำดับ)

จากตารางที่ 4 พบว่าที่ระยะแขน 3 เซนติเมตร มีความคลาดเคลื่อนของคาบเวลาน้อยที่สุด รองลงมาคือ 5 และ 10 เซนติเมตร มีความคลาดเคลื่อนรวม 5.66, 6.96 และ 8.72 มิลลิวินาที ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้ระยะแขนสั้นลงจะทำให้อุปกรณ์จับมังคุดสามารถจับยึดมังคุดได้มั่นคงกว่าความยาวอื่นๆ ไม่หลุดออกจากอุปกรณ์ขณะทดลองซึ่งจะทำให้ผลมังคุดเกิดการเสียหาย และยังให้ผลต่างคาบการแกว่งมากกว่าระยะแขน 5 และ 10 เซนติเมตร จึงเลือกใช้ความยาวแขนแกว่งระยะ 3 เซนติเมตร ตลอดการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาระยะแขนแกว่งที่เหมาะสม

ระยะแขน (ซม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของคาบการแกว่ง (มิลลิวินาที)		รวม
	กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล*	กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล**	
3	2.36	3.30	5.66
5	1.77	5.19	6.96
10	4.24	4.48	8.72

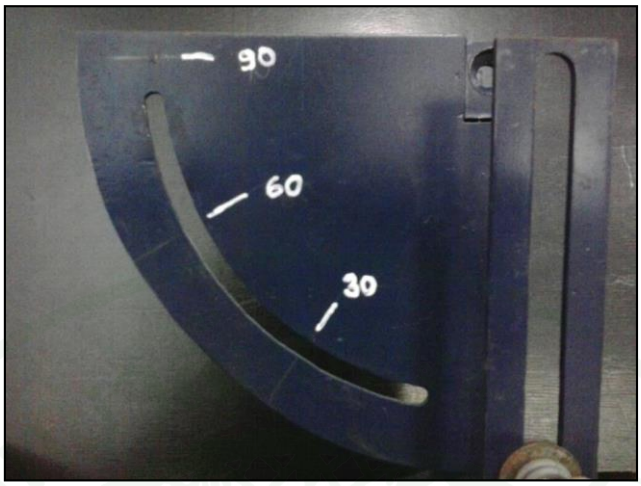
หมายเหตุ * ลักษณะผลมังคุดหันด้านศูนย์ถ่วงออกจากแกนเพลา

** ลักษณะผลมังคุดหันด้านศูนย์ถ่วงเข้าหาแกนเพลา

2.2 ผลการศึกษามุมเริ่มต้นการแกว่งที่เหมาะสม

จากตารางที่ 5 พบว่าที่มุม 90 องศา (โดยอ้างอิงจากแนวตั้งฉากของแนวระดับ) มีความคลาดเคลื่อนของคาบการแกว่งน้อยที่สุด รองลงมาคือ 60 และ 30 องศา (ภาพที่ 15) ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนรวม 5.66, 5.94 และ 8.01 มิลลิวินาที ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ในการทดลองถ้ากำหนดมุมเริ่มต้นการแกว่งมากกว่า 90 องศา จะทำให้อุปกรณ์จับมังคุดมีความมั่นคงน้อยลงอาจเกิดการเสียหายกับมังคุด ส่วนมุม 90 องศาเป็นมุมมากที่สุดที่อุปกรณ์ยังสามารถจับมังคุดได้ จึงใช้มุมเริ่มต้นการแกว่ง 90 องศา ตลอดการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 ระดับมุมเริ่มต้นการแกว่งที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 5 ผลการศึกษามุมเริ่มต้นการแกว่ง

มุมเริ่มต้น (องศา)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของคาบการแกว่ง (มิลลิวินาที)		รวม
	กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล*	กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล**	
30	3.77	4.24	8.01
60	3.09	2.85	5.94
90	2.36	3.30	5.66

หมายเหตุ * ลักษณะผลมังคุดหันด้านศูนย์ถ่วงออกจากแกนเพลา

** ลักษณะผลมังคุดหันด้านศูนย์ถ่วงเข้าหาแกนเพลา

จากผลการทดลอง (ในข้อ 2.1 และ 2.2) จึงเลือกระยะแขน 3 เซนติเมตร และมุมเริ่มต้นการแกว่ง 90 องศา (โดยอ้างอิงจากแนวตั้งฉากของแนวระดับ) เพราะเป็นปัจจัยที่มีความแตกต่างการวัดซ้ำน้อยที่สุดในการปรับตั้งเครื่องวัดคาบการแกว่งในการทดลองกับผลมังคุดตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

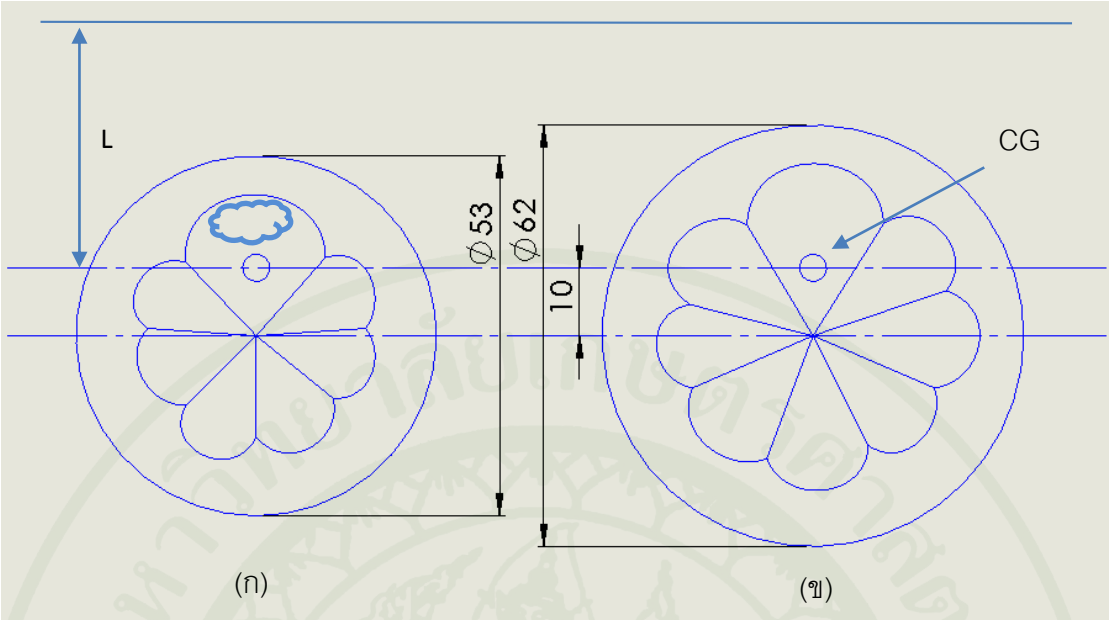
3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 คาบการแกว่ง

จากตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างค่าเฉลี่ยค่าการแกว่งของผลมังคุด พบว่าคาบการแกว่งเฉลี่ยเมื่อผลมังคุดหันด้านศูนย์ถ่วงออกจากแกนเพลา (กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล) มีค่ามากกว่าคาบการแกว่งเมื่อหันผลมังคุดด้านศูนย์ถ่วงเข้าหาแกนเพลา (กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล) คือ 0.6781 และ 0.6628 วินาที ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสมการที่ (9) คือ คาบของการแกว่งไม่ขึ้นกับมวลของผลมังคุดแต่ขึ้นกับความยาวจากกึ่งกลางเพลาไปถึงจุดศูนย์ถ่วงของผลมังคุด (ภาพที่ 2 และ 16) ทำให้คาบเวลาที่ใช้ในการแกว่งเมื่อกลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล (หันด้านจุดศูนย์ถ่วงออกจากเพลาหมุน) มีค่าสูงเนื่องจากมีระยะการแกว่งคือ L_1 ในภาพที่ 16 มากกว่าระยะการแกว่ง L_2 ในภาพที่ 16 กรณีกลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล (หันด้านจุดศูนย์ถ่วงเข้าหาจุดหมุน)

อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้เฉพาะคาบการแกว่งเป็นค่าในการแยกมังคุดปกติ และเนื้อแก้ว มังคุดที่มีขนาดแตกต่างกันจะมีผลต่อระยะ (L) จากจุดศูนย์กลางมวล (CG) ถึงแกนจุดหมุน หรือคาบการแกว่งได้ โดยมังคุดเนื้อแก้วขนาดเล็กอาจมีระยะเท่ากับมังคุดปกติขนาดใหญ่ (ภาพที่ 16) ดังนั้นเพื่อเป็นการชดเชยขนาดผลจึงใช้ความแตกต่างของคาบการแกว่งจากการวัดสองครั้ง คือ กรณีกลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล และกรณีกลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล ซึ่งมีสมมติฐานว่ามังคุดเนื้อแก้วน่าจะมีผลต่างคาบการแกว่งมากกว่ามังคุดปกติ หรือมีค่า $\Delta L_b > \Delta L_a$ (ภาพที่ 17)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 เปรียบเทียบจุดศูนย์กลางมวลระหว่างมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว (ก) และมังคุดปกติ (ข)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลต่างค่าเฉลี่ยคาบการแกว่งของผลมังคุดเมื่อพิจารณาเป็นกลุ่มจากลักษณะภายในผล

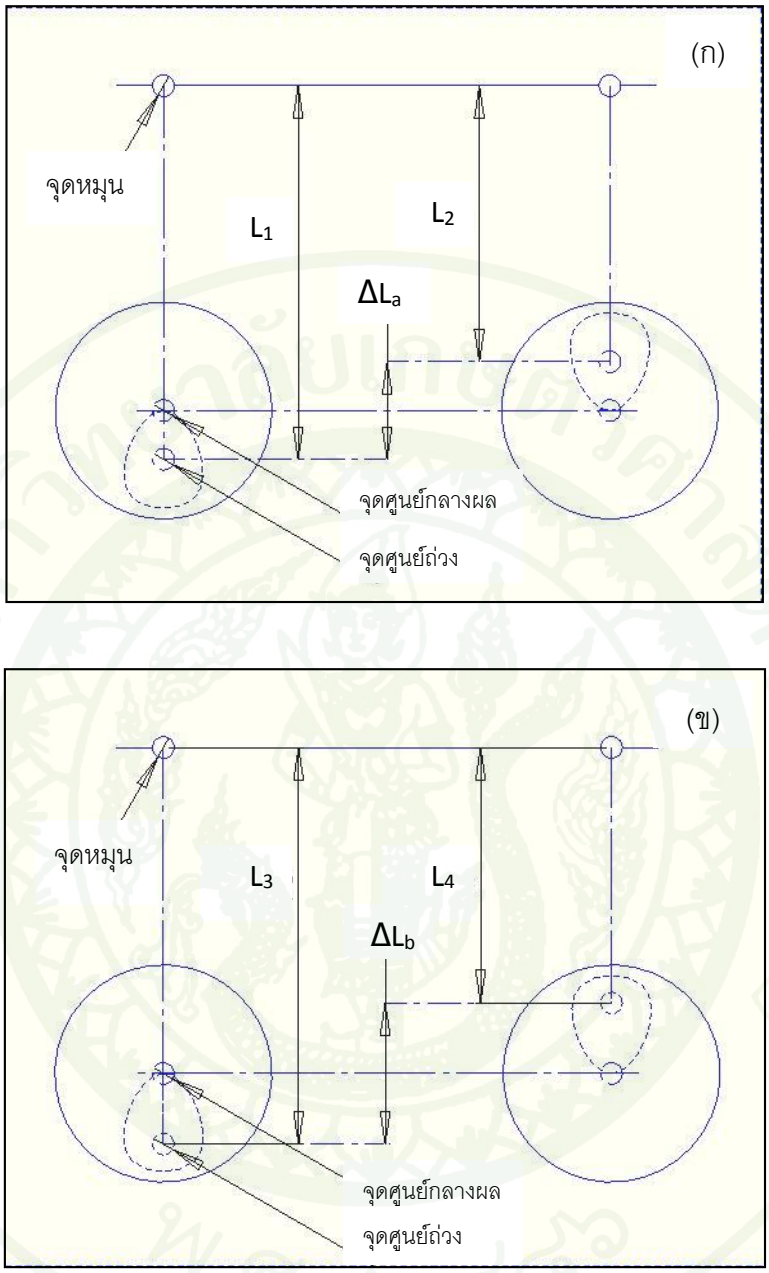
ทดสอบกับผลมังคุด	จำนวน (ลูก)	คาบการแกว่งเฉลี่ย (วินาที)		ผลต่างคาบการแกว่ง	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคาบการแกว่ง (มิลลิวินาที)	
		กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล*	กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล**		กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล*	กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล**
ทั้งหมด	189	0.6781a	0.6628b	0.0153c***	3.6	8.3
ไม่เป็นเนื้อแก้ว	142	0.6771a	0.6613b	0.0158c	3.5	9.0
เนื้อแก้ว	34	0.6795a	0.6626b	0.0169c	4.0	4.9
ยางไหล	28	0.6815a	0.6758b	0.0057c	3.2	4.4
เนื้อแก้วกับยางไหล	15	0.6777a	0.6716b	0.0061c	3.6	5.3

หมายเหตุ * ลักษณะผลมังคุดหันด้านศูนย์ถ่วงออกจากแกนเพลา

** ลักษณะผลมังคุดหันด้านศูนย์ถ่วงเข้าหาแกนเพลา

*** a, b และ c อักษรเหมือนกันหมายความว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 ระยะต่างๆ จากจุดหมุนกรณีมังคุดปกติ (ก) และมังคุดเนื้อแก้ว (ข)

เมื่อแยกพิจารณาเปรียบเทียบทางสถิติค่าเฉลี่ยผลต่างคาบการแกว่งของผลมังคุดแต่ละลูกโดยแบ่งกลุ่มตามลักษณะภายในผลด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) ได้แก่ วิเคราะห์ผลมังคุดทั้งหมด เฉพาะที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว เฉพาะเนื้อแก้ว เฉพาะยางไหล และวิเคราะห์เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างคาบการแกว่งของผลมังคุดทั้ง 5 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตาม ผลต่างคาบการแกว่งของมังคุดเนื้อแก้ว (0.0169 วินาที) มีค่ามากกว่ามังคุดปกติ (0.0158 วินาที)

3.2 ลักษณะการลอยตัวในของเหลว

จากตารางที่ 7 พบว่ามังคุดปกติ มังคุดเนื้อแก้ว ยางไหล เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และเนื้อแก้ว และ/ หรือยางไหล มีลักษณะการลอยตัวรูปแบบที่ 2 (ลอยในลักษณะที่แกนผลอยู่ในแนวนอนตาม ภาพที่ 19) มากที่สุด รองลงมา คือแบบที่ 3 (ลอยในลักษณะที่แกนผลเอียงตัวโดยขั้วอยู่ด้านบนตาม ภาพที่ 20) ยกเว้นมังคุดปกติ และมังคุดเนื้อแก้ว และแบบที่ 1 (ลอยในลักษณะที่ขั้วผลคว่ำลงตาม ภาพที่ 18) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 60.55, 21.67 และ 17.78 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในมังคุดปกติ พบว่าส่วนใหญ่จะมีลักษณะการลอยตัวในของเหลวแบบที่ 2 รองลงมา คือแบบที่ 1 และแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 56.34, 42.96 และ 0.70 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามังคุดเนื้อปกตินั้นจะมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 3 น้อยมาก และในมังคุดเนื้อแก้วมีค่าเฉลี่ยร้อยละของลักษณะการลอยตัวในของ เหลวแบบที่ 3 มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าในมังคุดปกติจะมีจุดศูนย์ถ่วงเยื้องไปด้านใกล้กับก้านของผลมังคุดซึ่งอาจเกิดจากช่องอากาศในเซลล์มากกว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และยางไหล

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาลักษณะการลอยตัวในของเหลว

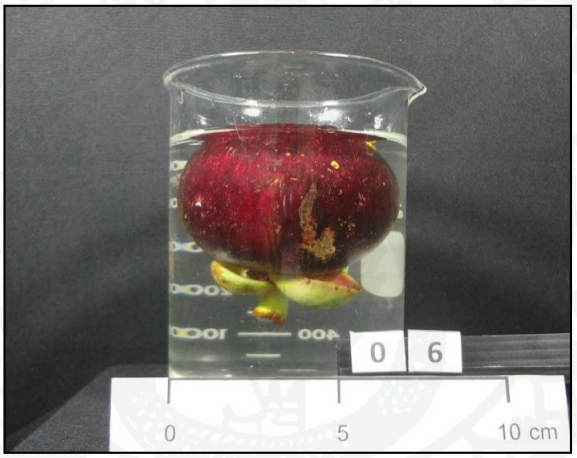
ประเภทมังคุด	จำนวนมังคุด (ผล) ตามลักษณะการลอยตัวในของเหลว		
	แบบที่ 1*	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ปกติ	61	80	1
	42.96%	56.34%	0.70%
เนื้อแก้ว	5	12	2
	26.32%	63.16%	10.53%
ยางไหล	2	8	3
	15.38%	61.54%	23.08%
เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล	1	9	5
	6.67%	60.00%	33.33%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

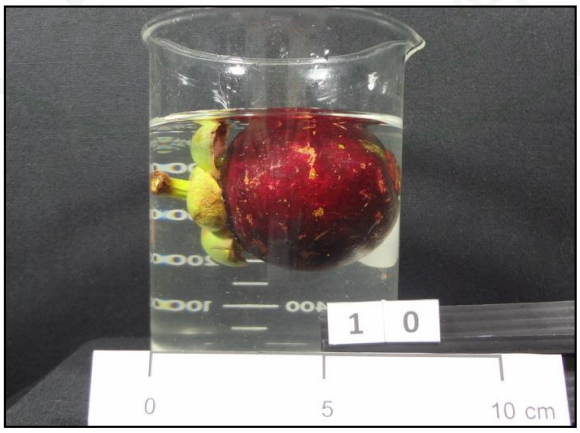
ตารางที่ 7 (ต่อ)

ประเภทมังคุด	จำนวนมังคุด (ผล) ตามลักษณะการลอยตัวในของเหลว		
	แบบที่ 1*	แบบที่ 2	แบบที่ 3
เนื้อแก้ว และ/ หรือยางไหล	8	29	10
	17.02%	61.70%	21.28%
เฉลี่ย	21.67%	60.55%	17.78%

หมายเหตุ * แบบที่ 1, 2 และ 3 คือ ลอยในลักษณะขั้วผลคว่ำลง ลอยในลักษณะแกนผลอยู่ในแนวนอน และลอยในลักษณะแกนผลเอียงตัวโดยขั้วอยู่ด้านบน ตามลำดับ

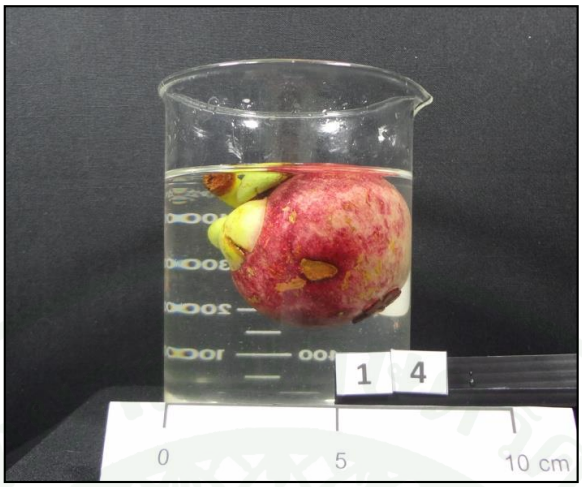


ภาพที่ 18 ลักษณะการลอยตัวของมังคุดในของเหลวแบบที่ 1 ขั้วคว่ำลง



ภาพที่ 19 ลักษณะการลอยตัวของมังคุดในของเหลวแบบที่ 2 ขั้วผลอยู่ในแนวนอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 ลักษณะการลอยตัวของมังคุดในของเหลวแบบที่ 3 ผลเอียงขั้วผลอยู่ด้านบน

3.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางกล และทางกายภาพ

จากตารางที่ 8 พบว่าในกลุ่มมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วกับกลุ่มที่ไม่เป็นเนื้อแก้วมีค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมังคุดปกติที่ไม่เป็นเนื้อแก้วมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าลูกที่เป็นเนื้อแก้วโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 และ 1.03 ตามลำดับ ในส่วนของลักษณะการลอยตัวในของเหลวของลูกที่เป็นเนื้อแก้วมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2 และ 3 และมังคุดปกติมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2 และ 1 แสดงให้เห็นว่ามังคุดที่ไม่ปกติ (เป็นเนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล) จุดศูนย์ถ่วงจะเยื้องไปด้านกลีบยอดเกสรตัวเมีย ขณะที่มังคุดปกติจะมีจุดศูนย์ถ่วงเยื้องไปด้านกลีบเลี้ยง (calyx) มากกว่า สำหรับการเปรียบเทียบค่าผลต่างคาบการแกว่ง มังคุดปกติมีค่าผลต่างคาบการแกว่งน้อยกว่ามังคุดเนื้อแก้วแต่ไม่มีนัยสำคัญ

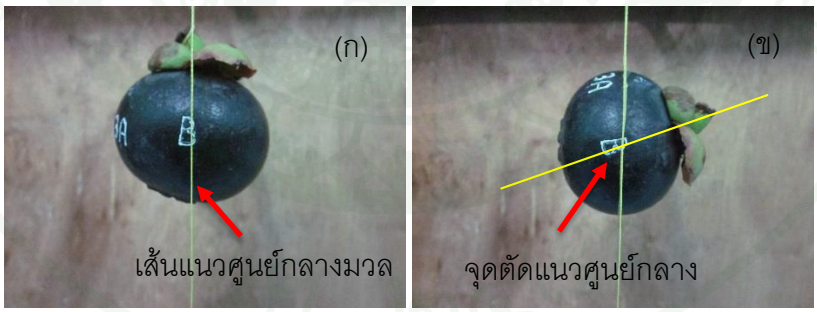
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และไม่เป็นเนื้อแก้ว

กลุ่ม	ความถ่วงจำเพาะ	ลักษณะการลอยตัวในของเหลว	ผลต่างคาบการแกว่ง (วินาที)
ไม่เป็นเนื้อแก้ว	0.97a*	2 (56.77%), 1 (40.65%)	0.0158c
เป็นเนื้อแก้ว	1.03b	2 (63.16%), 1 (26.32%)	0.0169c

หมายเหตุ * a, b และ c อักษรเหมือนกันหมายความว่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอย่างสาเหตุที่ทำให้เกิดลักษณะการลอยตัวตัวอย่างหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 21 โดยมังคุดในตัวอย่างนี้เมื่อนำมาลอยน้ำจะมีลักษณะการลอยตัวเอียงโดยมีกลีบเลี้ยงเอียงขึ้นดัง ภาพที่ 20 ในภาพที่ 21แสดงการหาจุดศูนย์ถ่วงของมังคุดตัวอย่างด้วยการแขวน 2 ครั้ง เมื่อนำเส้นแนวศูนย์กลางมวลจากภาพที่ 21 (ก) ลากผ่านเส้นแนวศูนย์กลางมวลในภาพที่ 21 (ข) จะได้จุดตัดของแนวเส้นทั้งสอง ซึ่งจุดตัดนี้คือ จุดศูนย์ถ่วงของผลมังคุด โดยจะเห็นว่าจุดศูนย์ถ่วงอยู่ทาง ด้านล่างและเยื้องไปทางด้านหนึ่งของแกนผล จึงเป็นสาเหตุให้มีลักษณะการลอยตัวโดยหันด้าน ที่มีจุดศูนย์ถ่วงลงด้านล่าง



ภาพที่ 21 เส้นแนวจุดศูนย์กลางมวลของมังคุดจากการแขวนด้วยเชือก (ก) และจุดตัดแนวศูนย์กลางมวล (ข)

จากตารางที่ 9 พบว่ากลุ่มมังคุดที่เป็นยางไหลกับกลุ่มที่ไม่เป็นยางไหลมีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามมังคุดทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันในส่วนของผลต่างคาบการแกว่ง โดยลูกที่ไม่เป็นยางไหลมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าลูกที่เป็นยางไหลโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 และ 1.03 ในส่วนของลักษณะการลอยตัวในของเหลวพบว่า มังคุดที่เป็นยาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไหล และไม่เป็นยางไหลส่วนใหญ่จะมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2 แต่มังคุดที่ไม่เป็นยางไหลจะมีลักษณะการลอยตัวค่อนไปทางลักษณะที่ 1 ขณะที่มังคุดที่เป็นยางไหลจะมีลักษณะการลอยตัวค่อนไปทางลักษณะที่ 3 ซึ่งหมายถึงมังคุดที่เป็นยางไหลจะมีจุดศูนย์ถ่วงใกล้บริเวณก้านผลมากกว่า

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มมังคุดที่เป็นยางไหล และไม่เป็นยางไหล

กลุ่ม	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย	ลักษณะการลอยตัวในของเหลว	ผลต่างคาบการแกว่ง (วินาที)
ไม่เป็นยางไหล	0.97a*	2 (56.88%), 1 (41.25%)	0.0169c
เป็นยางไหล	1.02b	2 (61.54%), 3 (23.08%)	0.0057c

หมายเหตุ * a, b และ c อักษรเหมือนกันหมายความว่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 10 พบว่ากลุ่มมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลมีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในส่วนของผลต่างคาบการแกว่ง โดยลูกที่ไม่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าลูกที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 และ 1.05 ในส่วนของลักษณะการลอยตัวในของเหลวพบว่า มังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และมังคุดปกติส่วนใหญ่จะมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2 แต่มังคุดที่ไม่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลจะมีลักษณะการลอยตัวค่อนไปทางลักษณะที่ 1 ขณะที่มังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลจะมีลักษณะการลอยตัวค่อนไปทางลักษณะที่ 3 ซึ่งหมายถึงมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลจะมีจุดศูนย์ถ่วงใกล้บริเวณก้านกลีบยอดเกสรตัวเมียมากกว่ามังคุดปกติ

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และมังคุดปกติ

กลุ่ม	ความถ่วงจำเพาะ	ลักษณะการลอยตัวในของเหลว	ผลต่างคาบการแกว่ง (วินาที)
มังคุดปกติ	0.97a*	2 (56.34%), 1 (42.96%)	0.0312c
เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล	1.05b	2 (60.00%), 3 (33.33%)	0.0061c

หมายเหตุ * a, b และ c อักษรเหมือนกันหมายความว่าไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสำหรับมังคุดปกติ และมังคุดเนื้อแก้ว

จากตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำตัวแปรทั้งหมดได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ลักษณะการลอยตัวในของเหลว และผลต่างคาบการแกว่ง สร้างสมการจำแนก พบว่าในกลุ่มที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว ซึ่งมี 155 ลูก แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม พบว่าทำนายได้ถูกต้อง 124 ลูก คิดเป็นร้อยละ 80.0 ส่วนในกลุ่มที่เป็นเนื้อแก้ว เดิมมี 34 ลูก แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 27 ลูก คิดเป็นร้อยละ 79.4 เมื่อคิดรวมทั้งหมด 189 ลูก พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 79.9

ตารางที่ 11 ผลการจำแนกผลมังคุดเนื้อแก้วโดยทำนายจากตัวแปรทั้งหมด

การจำแนก	จำนวนมังคุดที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว	จำนวนมังคุดทั้งหมด	ความถูกต้องในการคัดแยก (%)
จำนวนทั้งหมด	155	189	
ถูก	124	151	79.9
ผิด	31	38	

จากตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำเฉพาะตัวแปรความถ่วงจำเพาะมาทำนาย พบว่าในกลุ่มที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว ซึ่งมี 155 ลูก แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม พบว่าทำนายได้ถูกต้อง 116 ลูก คิดเป็นร้อยละ 74.8 ส่วนในกลุ่มที่เป็นเนื้อแก้ว เดิมมี 34 ลูก แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 29 ลูก คิดเป็นร้อยละ 85.3 เมื่อคิดรวมทั้งหมด 189 ลูก พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 76.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลการจำแนกผลมังคุดเนื้อแก้วโดยทำนายจากความถ่วงจำเพาะ

การจำแนก	จำนวนมังคุดที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว	จำนวนมังคุดทั้งหมด	ความถูกต้องในการคัดแยก (%)
จำนวนทั้งหมด	155	189	
ถูก	116	145	76.7
ผิด	39	44	

จากตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำเฉพาะตัวแปรลักษณะการลอยตัวในของเหลวมาทำนาย พบว่าในกลุ่มที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว ซึ่งมี 155 ลูก แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม พบว่าทำนายได้ถูกต้อง 63 ลูก คิดเป็นร้อยละ 40.6 ส่วนในกลุ่มที่เป็นเนื้อแก้วเดิมมี 34 ลูก แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 28 ลูก คิดเป็นร้อยละ 82.4 เมื่อคิดรวมทั้งหมด 189 ลูก พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 48.1

ตารางที่ 13 ผลการจำแนกผลมังคุดเนื้อแก้วโดยทำนายจากลักษณะการลอยตัวในของเหลว

การจำแนก	จำนวนมังคุดที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว	จำนวนมังคุดทั้งหมด	ความถูกต้องในการคัดแยก (%)
จำนวนทั้งหมด	155	189	
ถูก	63	91	48.1
ผิด	92	98	

จากตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำเฉพาะตัวแปรผลต่างคาบเวลามาทำนาย พบว่าในกลุ่มที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว ซึ่งมี 155 ลูก แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม พบว่าทำนายได้ถูกต้อง 105 ลูก คิดเป็นร้อยละ 67.7 ส่วนในกลุ่มที่เป็นเนื้อแก้ว เดิมมี 34 ลูก แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 18 ลูก คิดเป็นร้อยละ 52.9 เมื่อคิดรวมทั้งหมด 189 ลูก พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 65.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ผลการจำแนกผลมังคุดเนื้อแก้วโดยทำนายจากผลต่างคาบเวลา

การจำแนก	จำนวนมังคุดที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว	จำนวนมังคุดทั้งหมด	ความถูกต้องในการคัดแยก (%)
จำนวนทั้งหมด	155	189	
ถูก	105	123	65.0
ผิด	50	66	

จากตารางที่ 12, 13 และ 14 แสดงให้เห็นว่าความถ่วงจำเพาะมีความถูกต้องในการคัดแยกดีที่สุด รองลงมาคือ ผลต่างคาบเวลา และลักษณะการลอยตัวในของเหลว โดยสาเหตุที่ความถ่วงจำเพาะมีความถูกต้องในการคัดแยกดีที่สุดอาจเกิดจากในผลมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วมีความชื้นในกลีบเนื้อ (ส่วนใหญ่เป็นที่กลีบใหญ่) และเปลือกมากกว่าผลมังคุดปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pankasemsuk et al., (1996) ที่ได้กล่าวว่ามังคุดเนื้อแก้วมีความชื้นในเปลือก (65%) มากกว่ามังคุดปกติ (63%) และเนื้อแก้วมักจะเป็นกับเมล็ดที่ใหญ่ที่สุดในผล และเมื่อพิจารณาลักษณะการลอยตัวในของเหลว จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าผลมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วส่วนใหญ่จะมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2

3.5 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสำหรับมังคุดปกติ และมังคุดยางไหล

สำหรับการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเพื่อคัดแยกมังคุดที่เป็นยางไหลออกจากมังคุดปกตินั้นได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำตัวแปรทั้งหมดได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ลักษณะการลอยตัวในของเหลว และผลต่างคาบการแกว่ง สร้างสมการจำแนกพบว่าในกลุ่มที่ไม่เป็นยางไหล ซึ่งมี 161 ลูก แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม พบว่าทำนายได้ถูกต้อง 123 ลูก คิดเป็นร้อยละ 76.4 ส่วนในกลุ่มที่เป็นยางไหล เดิมมี 28 ลูก แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 22 ลูก คิดเป็นร้อยละ 78.6 เมื่อคิดรวมทั้งหมด 189 ลูก พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 76.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ผลการจำแนกผลมังคุดที่เป็นยางไหลโดยทำนายจากตัวแปรทั้งหมด

การจำแนก	จำนวนมังคุดที่ไม่เป็นยางไหล	จำนวนมังคุดทั้งหมด	ความถูกต้องในการคัดแยก (%)
จำนวนทั้งหมด	161	189	
ถูก	123	145	76.7
ผิด	38	44	

จากตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำเฉพาะตัวแปรความถ่วงจำเพาะมาทำนาย พบว่าในกลุ่มที่ไม่เป็นยางไหล ซึ่งมี 161 ลูก แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม พบว่าทำนายได้ถูกต้อง 109 ลูก คิดเป็นร้อยละ 67.7 ส่วนในกลุ่มที่เป็นยางไหล เดิมมี 28 ลูก แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 22 ลูก คิดเป็นร้อยละ 78.6 เมื่อคิดรวมทั้งหมด 189 ลูก พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 69.3

ตารางที่ 16 ผลการจำแนกผลมังคุดที่เป็นยางไหลโดยทำนายจากความถ่วงจำเพาะ

การจำแนก	จำนวนมังคุดที่ไม่เป็นยางไหล	จำนวนมังคุดทั้งหมด	ความถูกต้องในการคัดแยก (%)
จำนวนทั้งหมด	161	189	
ถูก	109	131	69.3
ผิด	52	58	

จากตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำเฉพาะตัวแปรลักษณะการลอยตัวในของเหลวมาทำนาย พบว่าในกลุ่มที่ไม่เป็นยางไหล ซึ่งมี 161 ลูก แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม พบว่าทำนายได้ถูกต้อง 66 ลูก คิดเป็นร้อยละ 41.0 ส่วนในกลุ่มที่เป็นยางไหล เดิมมี 28 ลูก แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 25 ลูก คิดเป็นร้อยละ 89.3 เมื่อคิดรวมทั้งหมด 189 ลูก พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 48.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 ผลการจำแนกผลมังคุดที่เป็นยางไหลโดยทำนายจากลักษณะการลอยตัวในของเหลว

การจำแนก	จำนวนมังคุดที่ไม่เป็นยางไหล	จำนวนมังคุดทั้งหมด	ความถูกต้องในการคัดแยก (%)
จำนวนทั้งหมด	161	189	
ถูก	66	91	48.1
ผิด	95	98	

จากตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำเฉพาะตัวแปรผลต่างคาบเวลามาทำนาย พบว่าในกลุ่มที่ไม่เป็นยางไหล ซึ่งมี 161 ลูก แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม พบว่าทำนายได้ถูกต้อง 115 ลูก คิดเป็นร้อยละ 71.4 ส่วนในกลุ่มที่เป็นยางไหล เดิมมี 28 ลูก แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 16 ลูก คิดเป็นร้อยละ 57.1 เมื่อคิดรวมทั้งหมด 189 ลูก พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 69.3

ตารางที่ 18 ผลการจำแนกผลมังคุดที่เป็นยางไหลโดยทำนายจากผลต่างคาบเวลา

การจำแนก	จำนวนมังคุดที่ไม่เป็นยางไหล	จำนวนมังคุดทั้งหมด	ความถูกต้องในการคัดแยก (%)
จำนวนทั้งหมด	161	189	
ถูก	115	131	69.3
ผิด	46	58	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

ระหว่างการทดลอง และเก็บข้อมูลพบว่าลักษณะการลอยตัวของผลมังคุดในของเหลวที่มีลักษณะแตกต่างกันเนื่องจากในผลมังคุดแต่ละลูกมีลักษณะคุณสมบัติที่แตกต่างกัน คือบางลูกที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 จะมีผลมาจากองค์ประกอบความถ่วงจำเพาะของเปลือก กลีบเลี้ยง (calyx) เมล็ด และช่องว่างของอากาศภายในผลมังคุด

ระหว่างการทดลองพบว่าถ้าสร้างสมการจำแนกกลุ่มมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และไม่เป็นเนื้อแก้วจากกลุ่มมังคุดที่ไม่มีเมล็ด ผลการทำนายจะมีเปอร์เซนต์ความถูกต้องมากขึ้น (84.0%) แสดงให้เห็นว่าเมล็ดมังคุดก็เป็นส่วนสำคัญที่สามารถทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้ ควรมีการคัดขนาดมังคุด และวิเคราะห์ตามเกณฑ์ ซึ่งจะบอกถึงประสิทธิ์ภาพในการ ทดสอบของมังคุดแต่ละเกรดได้

มังคุดที่มีลักษณะการลอยตัวในของเหลวแบบที่ 1 นั้นส่วนใหญ่จะมีอาการเนื้อแก้วไม่รุนแรง ในกลีบใหญ่ที่มักจะเป็นเนื้อแก้ว และกลีบเนื้อข้างเคียงจึงยังมีแรงพยุงทำให้มังคุด หันด้านกลีบเลี้ยงลงด้านล่าง (ภาพที่ 22 ถึง 24)

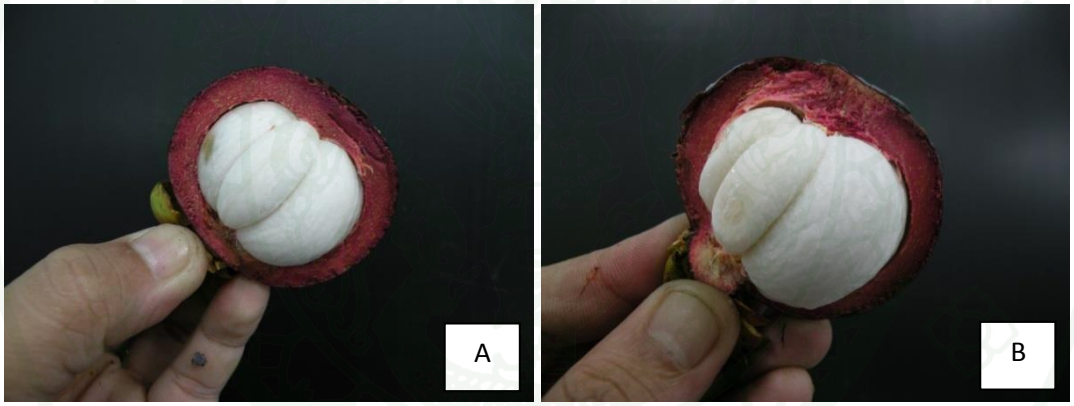
มังคุดที่มีลักษณะการลอยตัวในของเหลวแบบที่ 2 จะมีอาการเนื้อแก้วรุนแรงมากขึ้น ความถ่วงจำเพาะจำเพาะบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วจะมากขึ้น ทำให้แรงกดบริเวณผลมังคุดมากขึ้น แต่ส่วนที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าคือกลีบเลี้ยง และกลีบเนื้อส่วนที่ยังมีอากาศแทรกยังมีอยู่มาก ทำให้มังคุดลอยตัวอยู่ในลักษณะที่ 2 (ภาพที่ 25 ถึง 27)

มังคุดที่มีลักษณะการลอยตัวในของเหลวแบบที่ 3 ช่องว่างของอากาศในเนื้อมังคุด มีปริมาณน้อยลงทำให้เนื้อที่ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวที่แทรกอยู่ในเนื้อ และมักจะมียางไหลร่วมอยู่ด้วยทำให้ความถ่วงจำเพาะของมังคุดเพิ่มขึ้น ในขณะที่กลีบเลี้ยงยังมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 ทำให้มังคุดหันด้านกลีบเลี้ยงขึ้นด้านบน (ภาพที่ 28 ถึง 30)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะ 1 หันด้านใกล้กับกลีบยอดเกสรตัวเมีย (stigma) ขึ้นบริเวณผิวน้ำในมังคุดปกติ

ภาพที่ 22 ลักษณะด้านที่หันขึ้นบริเวณผิวน้ำ (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)

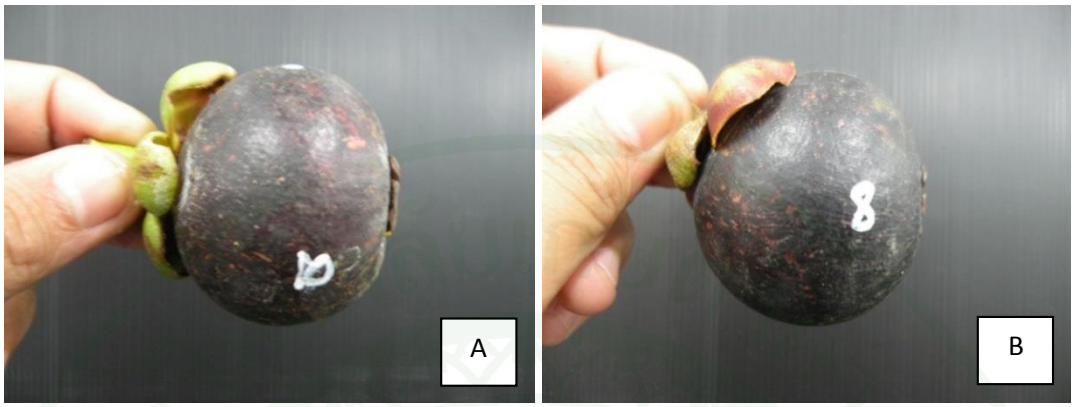


ภาพที่ 23 การผ่าเปิดผลในระนาบเดียวกับแกนผล (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)

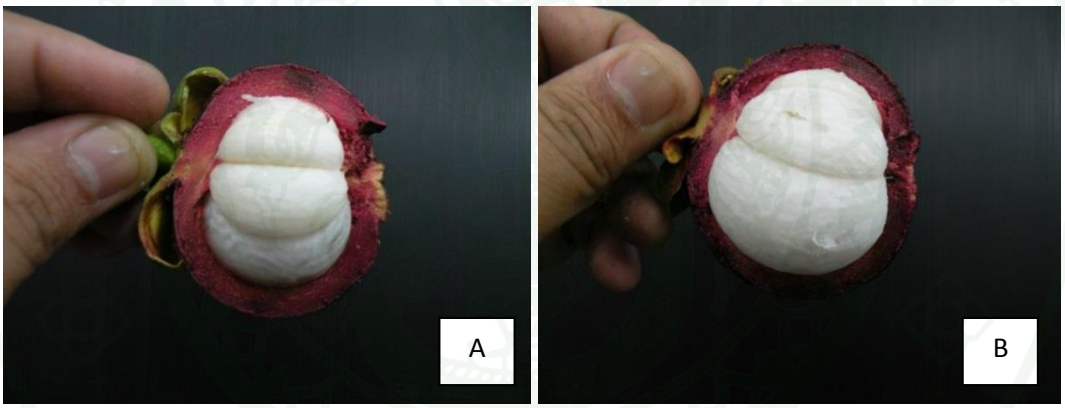
ภาพที่ 24 การผ่าเนื้อเพื่อดูลักษณะภายในผล (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

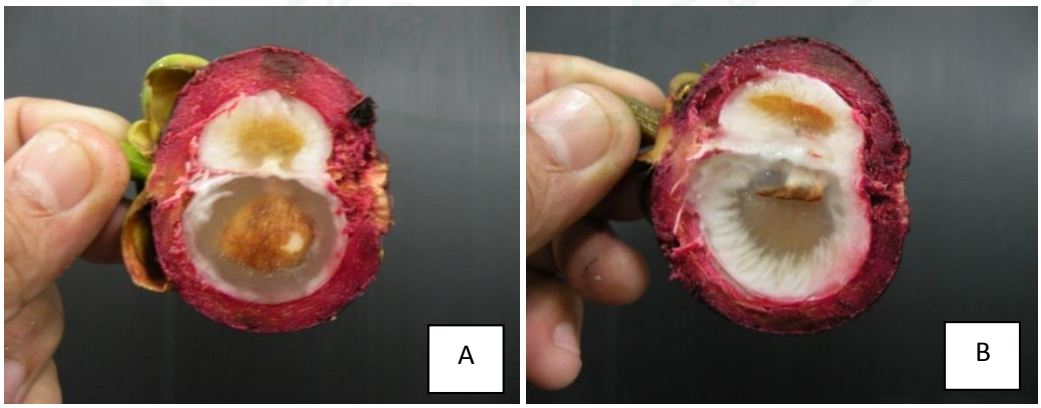
ลักษณะ 2 หันบริเวณกึ่งกลางผลขึ้นด้านบน



ภาพที่ 25 ลักษณะด้านที่หันขึ้นบริเวณผิวน้ำ (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)



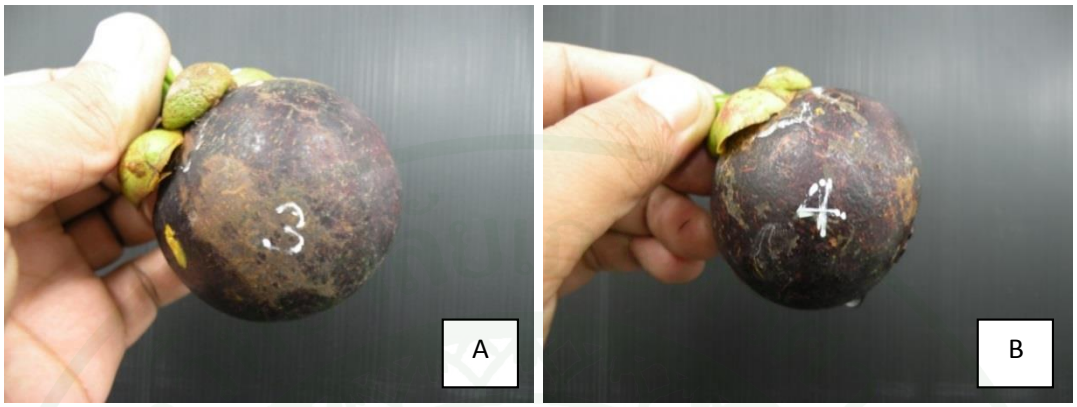
ภาพที่ 26 การผ่าเปิดผลในระนาบเดียวกับแกนผล (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)



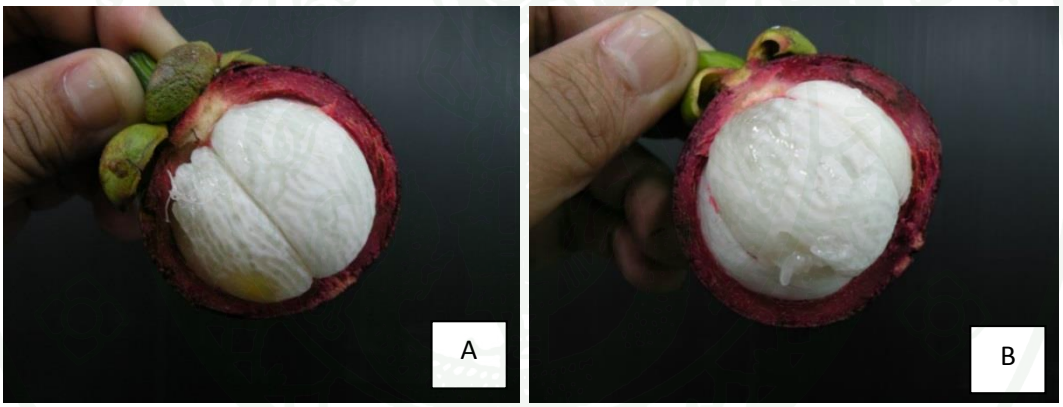
ภาพที่ 27 การผ่าเนื้อเพื่อดูลักษณะภายในผล (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

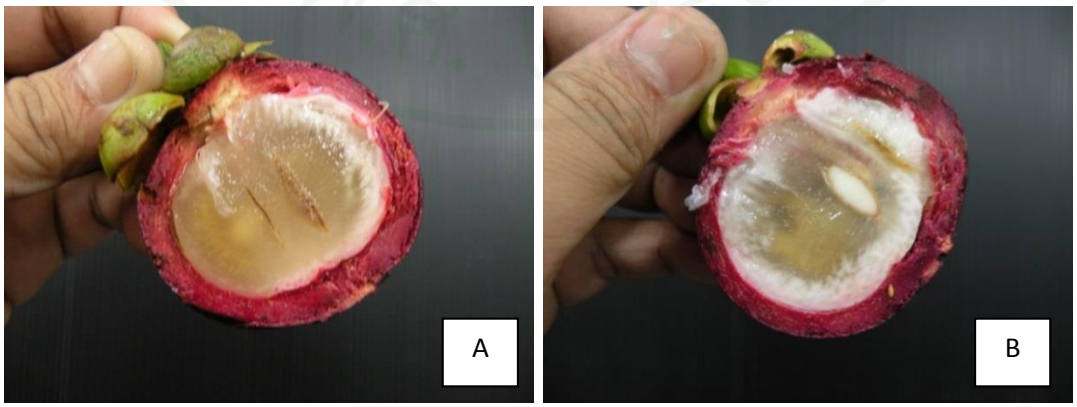
ลักษณะ 3 หันบริเวณกลีบเลี้ยงขึ้นด้านบน



ภาพที่ 28 ลักษณะด้านที่หันขึ้นบริเวณผิวน้ำ (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)



ภาพที่ 29 การผ่าเปิดผลในระนาบเดียวกับแกนผล (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)



ภาพที่ 30 การผ่าเนื้อเพื่อดูลักษณะภายในผล (A: เนื้อแก้ว, B: ปกติ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 19 พบว่ามังคุดปกติส่วนใหญ่จะมีลักษณะการลอยตัวในแบบที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือ แบบที่ 1 และแบบที่ 3 ตามลำดับ สังเกตได้ว่ามังคุดปกติจะมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 3 ในปริมาณน้อย ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 21

ตารางที่ 19 ลักษณะการลอยตัวของมังคุดปกติ

ลักษณะ	1	2	3	รวม
จำนวน	63	88	4	155
ร้อยละ	40.65	56.77	2.58	

จากตารางที่ 20 พบว่ามังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว และ/ หรือยางไหล จะมีลักษณะการลอยตัวในแบบที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือ แบบที่ 3 และแบบที่ 1 ตามลำดับ จากตารางที่ 19 และ 20 จะเห็นได้ว่า มังคุดปกตินั้นจะมีแนวโน้มการลอยตัวในแบบที่ 1 มากกว่าแบบที่ 3

ตารางที่ 20 ลักษณะการลอยตัวของมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว และ/ หรือยางไหล

ลักษณะ	1	2	3	รวม
จำนวน	8	29	10	47
ร้อยละ	17.02	61.70	21.28	

จากตารางที่ 21 พบว่ามังคุดเนื้อแก้วจะมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือ แบบที่ 1 และแบบที่ 3 ซึ่งสาเหตุที่มังคุดมีลำดับลักษณะการลอยตัวเหมือนกับลำดับในตารางที่ 19 มีสาเหตุมาจากการสังเกตอาการเนื้อแก้วในมังคุดนั้นอาจเกิดเล็กน้อยทำให้ลักษณะการลอยตัวไม่แตกต่างกันเด่นชัด แต่จะเห็นได้ว่าร้อยละของการลอยในลักษณะที่ 1 ของมังคุดปกติจะสูงกว่ามังคุดเนื้อแก้ว คือ ร้อยละ 40.65 และ 26.32 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 21 ลักษณะการลอยตัวของมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว

ลักษณะ	1	2	3	รวม
จำนวน	5	12	2	19
ร้อยละ	26.32	63.16	10.53	

จากตาราง 22 พบว่ามังคุดที่เป็นยางไหลมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือ แบบที่ 3 และแบบที่ 1 ทั้งนี้สาเหตุที่ลำดับลักษณะการลอยตัวในตารางที่ 21 แตกต่างจากตารางที่ 22 มีสาเหตุมาจากการแทนที่อากาศด้วยน้ำในกลีบที่ใหญ่ที่สุดของผลมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วมีผลต่อการลอยตัวน้อยกว่ายางไหล จึงทำให้มังคุดมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 3 มากกว่า

ตารางที่ 22 ลักษณะการลอยตัวของมังคุดที่เป็นยางไหล

ลักษณะ	1	2	3	รวม
จำนวน	2	8	3	13
ร้อยละ	15.38	61.54	23.08	

จากตารางที่ 23 พบว่ามังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือ แบบที่ 3 และแบบที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 20 และยังพบว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลมีร้อยละของลักษณะการลอยตัวแบบที่ 3 มากกว่าในตารางที่ 20 กล่าวได้ว่าความเด่นชัดของลักษณะการลอยตัวแบบที่ 3 จะสูงขึ้นเมื่อปรากฏอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลด้วย

ตารางที่ 23 ลักษณะการลอยตัวของมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล

ลักษณะ	1	2	3	รวม
จำนวน	1	9	5	15
ร้อยละ	6.67	60.00	33.33	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการทดลอง (ภาพที่ 22 ถึง 30) พบว่ากลีบเลี้ยง และเนื้อมังคุดบริเวณที่มีสีขาวจะลอยน้ำเสมอเนื่องจากในส่วนสีขาวจะมีช่องอากาศแทรกอยู่ในเนื้อมังคุด ในส่วนที่โปร่งใสของเนื้อรวมถึงเมล็ด และเปลือกจะจม และส่วนใหญ่มังคุดปกติจะมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 2 (56.7%) และแบบที่ 1 (40.6%) ตามลำดับ โดยแต่ละลักษณะนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของเนื้อแก้วด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การใช้เทคนิคการแกว่งแบบเพนดูลัมร่วมกับลักษณะการลอยตัวในของเหลว และความถ่วงจำเพาะ สร้างโมเดลการคัดแยกแบบตัวแปรพหุคูณ สามารถใช้จำแนกมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วได้ (79.9%) โดยตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการคัดแยกที่สุด คือ ความถ่วงจำเพาะ รองลงมา คือ ลักษณะการลอยตัวในของเหลว และผลต่างคาบการแกว่ง ตามลำดับ

2. การใช้เทคนิคการแกว่งแบบเพนดูลัมร่วมกับลักษณะการลอยตัวในของเหลว และความถ่วงจำเพาะ สร้างโมเดลการคัดแยกแบบตัวแปรพหุคูณ สามารถใช้จำแนกมังคุดที่เป็นยางไหลได้ (76.7%) โดยตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการคัดแยกที่สุด คือ ความถ่วงจำเพาะ รองลงมา คือ ลักษณะการลอยตัวในของเหลว และผลต่างคาบการแกว่ง ตามลำดับ

3. จากการศึกษาด้านความถ่วงจำเพาะ พบว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และ/ หรือยางไหลมีความถ่วงจำเพาะมากกว่ามังคุดปกติ

4. จากการศึกษาลักษณะการลอยตัวในของเหลว พบว่ามังคุดปกติ มังคุดเนื้อแก้ว ยางไหล เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และ เนื้อแก้ว และ/ หรือยางไหล มีลักษณะการลอยตัวรูปแบบที่ 2 (ลอยในลักษณะที่แกนผลอยู่ในแนวนอนดังภาพที่ 19) มากที่สุด รองลงมา คือแบบที่ 3 (ลอยในลักษณะที่แกนผลเอียงตัวโดยขั้วอยู่ด้านบนดังภาพที่ 20) ยกเว้นมังคุดปกติ และมังคุดเนื้อแก้ว และแบบที่ 1 (ลอยในลักษณะที่ขั้วผลคว่ำลงดังภาพที่ 18) เมื่อพิจารณาในมังคุดปกติ พบว่าส่วนใหญ่จะมีลักษณะการลอยตัวในของเหลวแบบที่ 2 รองลงมา คือแบบที่ 1 และแบบที่ 3 จะเห็นได้ว่ามังคุดเนื้อปกตินั้นจะมีลักษณะการลอยตัวแบบที่ 3 น้อยมาก และในมังคุดเนื้อแก้วมีค่าเฉลี่ยร้อยละของลักษณะการลอยตัว ในของเหลวแบบที่ 3 มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าในมังคุดปกติจะมีจุดศูนย์ถ่วงเยื้องไปด้านใกล้กับก้านของผลมังคุดซึ่งอาจเกิดจากช่องอากาศในเซลล์มากกว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และยางไหล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. จากการศึกษาเทคนิคการแกว่งแบบเพนดูลัม สร้างโมเดลการคัดแยกแบบตัวแปรพหุคูณ พบว่าโมเดลมีความถูกต้องในการคัดแยกมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วได้น้อย (65.0%) ไม่สามารถนำมาคัดแยกคุณภาพภายในผลมังคุดได้ แต่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกได้ เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับตัวแปรลักษณะการลอยตัวในของเหลว และความถ่วงจำเพาะ

ข้อเสนอแนะ

1. การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้านการลอยตัวในน้ำ มังคุดทุกลูกจะมีอากาศอยู่บริเวณใต้กลีบเลี้ยง ซึ่งขณะมังคุดอยู่ในของเหลวอาจทำให้การวัดค่าคลาดเคลื่อนได้ จะต้องเปิดกลีบเลี้ยงที่ปิดสนิทออกเพื่อให้ของเหลวเข้าแทนที่อากาศ แล้วจึงทำการวัดค่าโดยให้มังคุดหันด้านกลีบยอดเกสรตัวเมียขึ้น

2. การใช้อุปกรณ์วัดคาบการแกว่งจับผลมังคุดแน่นจนเกินไปอาจทำให้ผลมังคุดเกิดการช้ำบริเวณกลีบยอดเกสรตัวเมีย และหากไม่แน่นพอผลมังคุดอาจหลุดจากอุปกรณ์จับมังคุดได้จึงต้องใช้ความระมัดระวัง และใช้แรงกดที่เหมาะสม

3. การใช้วิธีหนีบบริเวณก้านผล แม้จะสามารถจับก้านมังคุดได้ทุกลูก แต่อาจสร้างตำหนิบริเวณก้านมังคุดบางลูกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2552. **มังคุด**. แหล่งที่มา: http://it.doa.go.th/vichakan /news.php ?newsid=41, 29 มิถุนายน 2555.

ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล, สายัณห์ สดุดี, พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ และคณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์. 2544. **การพัฒนา และการตรวจจับอาการเนื้อแก้ว และยางไหลในผลมังคุด**. โครงการวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, น.171-173

ณัฐดนัย ตัณฑวิรุฬห์ และ สุวรรณ หอมหวล. 2552. การประยุกต์โปรแกรมแลบวิวสำหรับการตรวจสอบความผิดปกติของนม ยู. เอช. ที. บรรจุกล่องแบบไม่ทำลาย. **วิทยาสารกำแพงแสนปีที่ 7, ฉบับที่ 3**, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นารถระพี นาคะวัจนะ. 2554. **การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรกโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อทำนายปริมาณเนื้อแก้วในมังคุด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิวัฒน์ พรหมแพทย์. 2533. **มังคุดเพื่อการส่งออก**. ชมรมไม้ผลแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ปาริชาติ ราชมณี. 2550. **การศึกษาการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดโดยการวัดการถ่ายเทความร้อนในเปลือก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บัณฑิต จริโมภาส. 2546. **คุณสมบัติทางกายภาพผลิตผลเกษตร**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พรชัย พัชรินทร์ตนะกุล และลิขิต ฉัตรสกุล. 2532. **ฟิสิกส์ 1**. ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพ

วรภัทร ลัคนทินวงศ์ และจริงแท้ ศิริพานิช. 2539. **การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความมีชีวิตของเซลล์ และปัจจัยของน้ำที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิรินาฏ น้อยพิทักษ์. 2552. **เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบสะท้อนแสง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริวรรณ แดงฉ่ำ และจริงแท้ ศิริพานิช. 2544. กลไกการเกิดเนื้อแก้วของมังคุด. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39**, กรุงเทพฯ, น.483.

ศรีสังวาลย์ ลายวิเศษกุล. 2537. **ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วในมังคุด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. **ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/download/download_journal/fundamation-2552.pdf, 29 มิถุนายน 2555.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2550. **เทคนิคการตรวจสอบเนื้อแก้วมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนแสง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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). pp. 112-113.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Teerachaichayut, S., Terdwongworakul, A. and Pathaveerat, S. 2008. Multiple Parameters for Prediction of Translucent Flesh in Mangosteen, **Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal**. Manuscript FP 08 007. Vol. 10. December, 2008.

Tongleam, T. Jittiwarangkul, N. Kumhom, P.,and Chamnongthai, K. 2004. Non-Destructive Grading of Mangosteen by Using Microwave Moisture Sensing. pp. 650-653. **International Symposium on Communications and Information Technologies 2004**, 26- 29 October 2004. Sapporo, Japan

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

Canonical Discriminant Function Coefficients

และ Structure Matrix

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก1 สมการทำนายมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วจากวิธี discriminant analysis

$$y=-21.072 + 20.086(SG) + 0.710(DA) + 8.037(DT)$$

centroids
- มังคุดที่ไม่เป็นเนื้อแก้ว = - 0.270
- มังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว = 1.230

ภาคผนวก ก2 สมการทำนายมังคุดที่เป็นยางไหลจากวิธี discriminant analysis

$$y=-21.072 + 20.086(SG) + 8.037(DA) + 0.710(DT)$$

centroids
- มังคุดที่ไม่เป็นยางไหล = - 0.270
- มังคุดที่เป็นยางไหล = 1.230

ภาคผนวก ก3 สมการทำนายมังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และ/ หรือยางไหลจากวิธี discriminant analysis

$$y=-18.274 + 16.902(SG) + 1.002(DA) - 1.566 (DT)$$

centroids
- มังคุดปกติ = - 0.351
- มังคุดที่เป็นเนื้อแก้ว และ/ หรือยางไหล = 1.062

โดย SG คือ ความถ่วงจำเพาะ

DA คือ ลักษณะการลอยตัวในของเหลว

DT คือ ผลต่างคาบการแกว่ง

centroids คือ เลขวัดแนวโน้มการเข้ากลุ่มจากสมการทำนาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบอุปกรณ์ สมบัติทางกายภาพ และผลจากการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่มุมเริ่มต้นการแกว่ง 30 องศา

ลูกที่	กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล		กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล	
	1	2	1	2
1	0.653	0.650	0.637	0.640
2	0.667	0.663	0.637	0.640
3	0.670	0.663	0.640	0.647
4	0.660	0.670	0.657	0.650
5	0.663	0.670	0.643	0.640
6	0.640	0.637	0.660	0.663
7	0.667	0.673	0.647	0.633
8	0.667	0.660	0.663	0.660
9	0.657	0.660	0.647	0.657
10	0.680	0.677	0.693	0.687

ตารางผนวก ข2 การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่มุมเริ่มต้นการแกว่ง 60 องศา

ลูกที่	กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล		กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล	
	1	2	1	2
1	0.657	0.657	0.647	0.643
2	0.670	0.667	0.643	0.643
3	0.667	0.670	0.637	0.640
4	0.663	0.657	0.647	0.650
5	0.677	0.663	0.640	0.643
6	0.643	0.647	0.660	0.657
7	0.680	0.677	0.640	0.643
8	0.667	0.660	0.663	0.660
9	0.660	0.657	0.653	0.647
10	0.683	0.683	0.690	0.680

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข3 การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่มุมเริ่มต้นการแกว่ง 90 องศา

ลูกที่	กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล		กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล	
	1	2	1	2
1	0.653	0.653	0.643	0.637
2	0.667	0.670	0.640	0.637
3	0.667	0.663	0.643	0.640
4	0.660	0.660	0.647	0.640
5	0.660	0.663	0.647	0.643
6	0.637	0.633	0.657	0.657
7	0.677	0.670	0.640	0.633
8	0.660	0.657	0.663	0.657
9	0.653	0.653	0.647	0.643
10	0.690	0.680	0.693	0.687

ตารางผนวก ข4 การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่ระยะแขน 3 เซนติเมตร

ลูกที่	กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล		กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล	
	1	2	1	2
1	0.653	0.653	0.643	0.637
2	0.667	0.670	0.640	0.637
3	0.667	0.663	0.643	0.640
4	0.660	0.660	0.647	0.640
5	0.660	0.663	0.647	0.643
6	0.637	0.633	0.657	0.657
7	0.677	0.670	0.640	0.633
8	0.660	0.657	0.663	0.657
9	0.653	0.653	0.647	0.643
10	0.690	0.680	0.693	0.687

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางภาคผนวก ข5 การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่ระยะแขน 5 เซนติเมตร

ลูกที่	กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล		กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล	
	1	2	1	2
1	0.755	0.740	0.730	0.737
2	0.760	0.760	0.710	0.710
3	0.737	0.740	0.710	0.713
4	0.743	0.740	0.720	0.717
5	0.747	0.747	0.740	0.717
6	0.737	0.737	0.740	0.743
7	0.767	0.767	0.717	0.713
8	0.740	0.740	0.740	0.723
9	0.747	0.743	0.733	0.740
10	0.757	0.757	0.693	0.687

ตารางภาคผนวก ข6 การศึกษาเวลาที่ใช้ต่อการแกว่ง 2 คาบ ที่ระยะแขน 10 เซนติเมตร

ลูกที่	กลีบใหญ่อยู่ด้านล่างศูนย์กลางผล		กลีบใหญ่อยู่เหนือศูนย์กลางผล	
	1	2	1	2
1	0.863	0.860	0.847	0.850
2	0.877	0.880	0.847	0.850
3	0.867	0.860	0.837	0.840
4	0.860	0.863	0.850	0.853
5	0.877	0.860	0.863	0.853
6	0.850	0.840	0.860	0.857
7	0.880	0.877	0.853	0.843
8	0.867	0.860	0.863	0.860
9	0.860	0.857	0.860	0.847
10	0.883	0.880	0.690	0.680

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข7 ข้อมูลทางกายภาพของมังคุดที่ใช้ทดลอง

No.	weight (g)	Max diameter (mm)	height (mm)	S.G.	*ลักษณะการลอยตัว	เนื้อแก้ว 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ยางไหล 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ผลต่างคาบการแกว่ง
1	115.15	62.15	51.25	1.028	3	1	1	-0.023
2	86.58	56.55	49.45	1.013	3	1	0	0.027
3	93.97	57.40	46.00	1.039	2	1	1	0.030
4	159.35	70.60	56.00	1.023	2	1	0	-0.012
5	107.90	61.00	49.15	1.004	1	0	0	-0.025
6	132.46	61.50	52.30	1.007	1	0	0	0.003
7	102.85	60.35	48.30	1.029	2	1	1	-0.003
8	96.83	59.50	49.25	1.034	2	0	0	-0.030
9	145.12	65.50	54.60	1.043	2	1	1	-0.003
10	90.83	56.50	46.75	1.033	2	0	0	0.020
11	100.20	60.08	49.00	1.028	2	0	0	-0.017
12	113.51	64.00	49.65	1.027	1	0	0	-0.003
13	110.45	62.30	48.05	1.051	2	0	1	-0.035
14	140.17	64.60	54.00	1.012	1	0	0	0.003
15	119.69	63.50	51.45	1.035	2	0	0	-0.027
16	109.79	60.70	49.90	1.023	1	1	0	0.010
17	122.81	63.60	48.55	1.021	2	1	1	0.028
18	80.59	56.55	46.50	1.002	1	0	0	0.015
19	108.78	63.00	47.00	1.024	1	0	0	0.032
20	105.85	59.80	48.60	1.006	2	0	0	-0.007
21	87.81	55.00	47.30	1.032	2	0	1	0.025
22	95.16	58.90	48.30	0.982	1	0	0	0.030
23	110.00	61.25	49.75	0.994	2	0	0	0.028
24	100.31	58.80	46.00	1.037	2	1	1	0.022

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข7 (ต่อ)

No.	weight (g)	Max diameter (mm)	height (mm)	S.G.	*ลักษณะการลอยตัว	เนื้อแก้ว 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ยางไหล 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ผลต่างคาบการแกว่ง
25	105.33	60.60	48.30	1.010	1	0	0	-0.013
26	127.40	64.85	50.80	1.015	1	0	0	-0.030
27	134.89	66.35	50.60	1.015	1	0	0	-0.012
28	97.25	58.50	50.50	1.012	1	0	0	0.018
29	99.97	59.25	47.35	1.031	2	0	1	-0.027
30	108.93	60.75	52.35	1.017	2	0	1	-0.013
31	85.09	56.00	42.40	1.028	2	0	0	0.003
32	100.62	60.75	49.00	1.012	1	1	0	0.008
33	137.66	68.70	50.75	1.061	1	1	1	-0.038
34	137.76	60.30	51.00	1.058	3	0	1	-0.028
35	115.92	63.25	52.50	1.073	1	0	0	-0.010
36	82.60	56.00	46.00	0.935	2	0	0	0.015
37	63.24	54.20	43.10	0.898	1	0	0	0.027
38	97.25	59.90	50.60	0.987	2	0	0	0.035
39	64.23	53.80	39.25	0.944	2	0	0	0.027
40	75.41	53.00	45.30	1.005	1	0	0	0.015
41	96.59	60.80	49.60	0.933	1	0	0	0.000
42	95.22	60.75	45.50	0.971	2	0	0	0.032
43	76.21	55.40	44.00	0.938	1	0	0	0.032
44	80.08	47.15	55.85	0.969	2	0	0	0.028
45	83.12	44.20	55.60	0.997	3	0	1	0.018
46	70.40	53.20	43.50	0.983	2	0	0	0.028
47	70.26	60.90	44.00	0.680	3	0	0	0.035
48	90.85	59.20	48.00	0.971	2	0	1	-0.002

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข7 (ต่อ)

No.	weight (g)	Max diameter (mm)	height (mm)	S.G.	*ลักษณะการลอยตัว	เนื้อแก้ว 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ยางไหล 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ผลต่างคาบการแกว่ง
49	84.68	58.00	44.50	0.949	2	0	0	0.022
50	93.03	59.30	45.15	0.967	2	0	0	0.025
51	78.10	56.80	41.00	0.949	2	0	0	0.022
52	63.54	53.00	40.00	0.934	1	0	0	0.013
53	70.60	52.80	43.00	0.982	2	0	0	0.027
54	69.63	53.10	45.70	0.989	2	0	0	-0.005
55	72.81	53.80	45.90	0.982	2	0	0	0.015
56	77.20	56.15	41.30	0.962	1	0	0	0.020
57	87.73	56.50	49.55	1.012	2	0	0	0.027
58	104.40	61.75	48.50	0.951	1	0	0	0.035
59	83.09	57.80	46.40	0.951	1	0	1	0.018
60	84.69	56.90	45.00	0.937	2	0	0	0.028
61	68.76	52.70	48.40	0.940	1	0	0	0.030
62	65.47	53.00	41.50	0.923	2	0	0	0.030
63	70.10	54.00	41.30	0.946	1	0	0	0.002
64	66.50	53.00	44.80	0.932	1	0	0	0.032
65	115.67	65.50	51.55	0.978	1	0	0	0.013
66	93.69	60.00	44.15	0.994	2	0	0	0.008
67	82.38	58.80	46.95	1.001	2	0	0	0.003
68	99.34	60.30	46.75	0.996	2	0	0	0.013
69	97.98	60.10	47.10	0.958	2	0	0	0.053
70	85.14	57.45	43.90	0.994	1	0	0	0.008
71	104.57	60.00	49.60	1.074	2	1	0	0.012

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข7 (ต่อ)

No.	weight (g)	Max diameter (mm)	height (mm)	S.G.	*ลักษณะการลอยตัว	เนื้อแก้ว 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ยางไหล 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ผลต่างคาบการแกว่ง
72	84.54	58.80	44.65	0.986	2	0	0	0.013
73	95.11	60.20	47.30	1.018	2	0	0	0.043
74	89.56	55.90	45.70	1.039	2	1	0	-0.045
75	87.49	58.50	43.60	0.956	1	0	0	0.037
76	118.79	65.85	50.20	1.002	2	0	0	0.013
77	88.92	57.70	47.30	0.966	1	0	0	0.027
78	87.47	58.50	42.50	0.966	2	0	0	0.023
79	133.04	67.60	52.20	0.990	2	0	0	0.022
80	103.33	61.20	48.30	0.999	2	0	0	0.002
81	93.68	59.15	45.10	0.994	2	1	0	0.033
82	140.13	67.60	54.20	1.037	1	0	0	-0.005
83	78.45	55.80	43.20	0.949	2	0	0	0.017
84	88.11	56.55	44.30	1.021	2	1	1	0.053
85	94.93	57.50	45.35	1.061	2	1	0	0.020
86	90.46	59.50	41.30	0.956	1	0	0	0.043
87	78.54	57.20	42.85	0.970	1	0	0	0.010
88	98.30	60.20	44.60	1.004	2	0	0	0.028
89	90.55	60.20	46.30	0.964	1	0	0	0.040
90	84.44	57.45	41.35	0.981	1	0	0	0.037
91	91.89	58.90	43.90	0.996	2	0	0	0.038
92	102.79	60.40	49.20	0.93	2	0	0	0.002
93	108.40	65.00	43.60	0.975	1	0	0	0.015
94	91.96	58.30	44.60	0.996	2	0	0	0.055

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข7 (ต่อ)

No.	weight (g)	Max diameter (mm)	height (mm)	S.G.	*ลักษณะการลอยตัว	เนื้อแก้ว 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ยางไหล 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ผลต่างคาบการแกว่ง
95	96.44	59.00	45.50	1.015	2	0	0	0.020
96	94.10	59.00	46.00	0.967	1	0	0	0.030
97	95.46	60.00	44.30	0.976	2	0	0	0.053
98	99.21	58.52	46.75	1.008	2	1	1	0.007
99	87.13	53.80	42.00	1.003	2	0	0	-0.005
100	76.28	55.00	44.70	1.034	2	0	0	0.000
101	117.24	63.60	53.30	1.024	1	0	0	0.025
102	111.01	61.70	49.70	1.014	2	0	0	0.030
103	93.90	58.50	50.85	0.956	2	0	0	0.027
104	78.14	54.40	42.65	1.012	2	0	0	0.020
105	75.75	54.30	44.65	1.016	2	0	0	0.005
106	110.44	63.30	51.70	0.961	1	0	0	0.045
107	77.10	56.50	41.80	0.947	2	0	0	-0.036
108	100.11	59.60	43.60	0.955	2	0	0	0.038
109	91.11	56.10	46.25	1.059	3	1	1	-0.027
110	89.93	56.50	47.70	1.046	3	0	1	-0.013
111	76.05	54.30	42.30	0.964	2	0	0	0.028
112	83.79	57.40	45.50	0.946	2	0	0	-0.043
113	94.73	59.30	46.65	0.969	2	0	0	0.030
114	106.62	63.40	48.30	0.974	2	0	0	0.040
115	115.30	64.10	49.50	0.967	2	0	0	0.035
116	89.11	59.30	48.70	0.943	1	0	0	0.015
117	89.20	55.00	49.30	1.054	3	1	1	-0.013
118	91.14	58.60	47.60	1.034	3	1	0	-0.015

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข7 (ต่อ)

No.	weight (g)	Max diameter (mm)	height (mm)	S.G.	*ลักษณะการลอยตัว	เนื้อแก้ว 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ยางไหล 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ผลต่างคาบการแกว่ง
119	105.05	62.35	49.30	0.969	1	0	0	0.010
120	115.50	62.20	49.50	1.023	2	1	1	-0.005
121	84.07	56.90	42.40	1.023	3	1	1	0.030
122	91.48	57.60	49.00	0.986	2	0	0	0.035
123	104.49	62.65	49.20	0.955	1	0	0	0.015
124	111.60	61.20	49.65	1.057	3	1	1	0.032
125	76.72	55.00	42.20	0.961	2	0	0	0.025
126	93.80	49.50	48.10	0.957	1	0	0	0.018
127	123.29	66.35	52.40	0.972	2	0	0	-0.007
128	100.84	60.50	50.40	1.001	2	0	0	-0.002
129	92.81	59.20	50.20	0.907	1	0	0	0.022
130	88.95	59.10	48.60	0.935	2	0	0	0.018
131	127.44	62.75	51.60	1.030	2	1	0	0.010
132	86.86	57.00	48.10	0.949	2	0	0	0.037
133	89.07	57.60	46.70	0.941	2	0	0	0.023
134	73.60	55.80	45.60	0.933	2	0	0	0.028
135	84.05	48.35	46.00	0.950	1	0	0	0.033
136	107.73	60.55	52.60	0.980	2	1	0	0.033
137	72.36	54.00	45.00	0.941	1	1	0	0.042
138	99.40	59.50	47.80	1.011	1	0	0	-0.032
139	81.10	59.40	47.75	0.940	2	0	0	0.007
140	92.58	56.80	49.10	0.940	1	0	0	0.047
141	79.65	64.40	47.85	0.939	2	0	0	0.043
142	111.43	59.40	47.85	0.958	2	0	0	0.015

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข7 (ต่อ)

No.	weight (g)	Max diameter (mm)	height (mm)	S.G.	*ลักษณะการลอยตัว	เนื้อแก้ว 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ยางไหล 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ผลต่างคาบการแกว่ง
143	90.15	53.00	47.80	0.944	2	0	0	0.053
144	76.39	55.50	48.80	0.963	2	0	0	0.037
145	77.84	55.80	46.80	0.907	1	0	0	0.037
146	68.50	55.00	44.00	0.888	1	0	0	0.023
147	91.35	58.60	48.50	0.944	2	0	0	0.037
148	91.02	58.65	47.90	0.942	2	0	0	0.035
149	67.04	53.20	42.40	0.944	1	0	0	0.015
150	72.39	54.00	42.60	0.929	2	0	0	0.033
151	95.10	58.80	47.95	0.972	2	0	0	0.017
152	85.18	58.25	47.55	0.928	1	0	0	0.025
153	68.01	54.15	42.50	0.928	1	0	0	0.028
154	84.64	58.00	45.95	0.938	1	0	0	0.050
155	76.02	54.30	44.70	0.955	2	0	0	0.043
156	87.85	57.90	43.80	0.981	2	0	0	0.020
157	113.30	64.80	50.55	0.933	1	0	0	0.042
158	73.80	55.20	44.60	0.947	2	0	0	0.012
159	75.22	56.40	42.35	0.900	2	0	1	0.045
160	95.00	59.90	46.60	0.904	1	0	1	0.048
161	69.26	54.20	43.50	0.929	1	0	0	0.025
162	90.24	60.30	45.50	0.923	1	0	0	0.027
163	67.07	53.10	52.80	0.950	2	0	1	0.028
164	73.82	54.40	44.40	0.927	2	0	0	0.027
165	107.38	61.30	50.80	0.969	2	0	0	0.025
166	135.29	67.20	53.30	1.310	2	1	1	0.003

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวก ข7 (ต่อ)

No.	weight (g)	Max diameter (mm)	height (mm)	S.G.	*ลักษณะการลอยตัว	เนื้อแก้ว 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ยางไหล 1 เป็น 0 ไม่เป็น	ผลต่างคาบการแกว่ง
167	104.46	63.10	48.40	0.979	2	0	0	0.020
168	99.80	61.00	48.55	0.938	1	0	0	0.000
169	100.94	64.00	46.00	0.943	1	0	0	-0.005
170	112.11	64.60	48.00	0.960	2	0	0	0.015
171	82.88	58.30	47.10	0.911	1	0	0	0.037
172	110.17	64.20	45.75	0.906	1	0	0	0.045
173	95.42	62.10	44.15	0.939	1	0	0	0.047
174	153.05	69.10	53.00	1.026	2	1	0	0.047
175	132.56	65.85	54.50	1.018	1	1	0	0.005
176	122.39	62.90	50.25	1.005	1	0	0	0.053
177	143.78	69.20	51.45	1.013	2	0	0	0.035
178	153.24	70.10	55.40	1.025	2	0	1	0.007
179	104.26	60.70	47.50	1.002	2	1	0	0.040
180	117.32	63.80	49.50	0.994	2	0	0	0.028
181	142.65	66.95	56.00	1.049	2	1	0	0.030
182	108.40	61.20	50.80	0.988	2	0	0	0.025
183	104.08	62.20	58.25	0.946	1	0	0	0.030
184	152.77	73.20	55.50	0.915	1	0	0	0.003
185	108.02	61.30	49.60	1.003	2	1	0	0.017
186	104.22	61.20	51.15	1.012	2	1	0	0.022
187	108.65	61.80	49.60	1.003	1	0	0	0.020
188	98.09	59.95	48.50	1.011	1	1	0	0.013
189	111.17	63.55	49.65	0.982	2	0	0	0.000

หมายเหตุ * ลักษณะการลอยตัวในของเหลวมี 3 ลักษณะโดยแบ่งตามลักษณะตามด้านที่ลอยอยู่ ด้านบนได้แก่ 1 คือบริเวณใกล้กลีบล่าง 2 คือบริเวณกลางลูก และ 3 คือบริเวณใกล้กลีบเลี้ยง (calyx)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

Module (macro) สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลดิบใน Microsoft Excel 2007

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค1 Module (macro) สำหรับหาคาบเวลาในข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Ultrascope DS1000E ด้วยโปรแกรม Microsoft office Excel 2007

```
Sub n ()
    b = 10
    c = 10
    d = 0.01
    e = 2
    f = 1
    k = 1
Do
     (c, 8) = d
    c = a = 1 + (Cells (b, 3))
    Cells (b, 7) = a
    b = b + 1
    Cells c + 1
    d = d + 0.01
Loop Until (Cells (b, 1) = 0)
    e = 11
    f = 10
    k = 1
    Z = 11
    x = 2
Do
    g = Cells (e, 7)
    h = Cells (f, 7)
    e = e + 1
    f = f + 1
    If g - h > 0.2 Then
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
        k = k + 1
        i = Cells (f, 8)
        If k = 2 Then
        j = "Interval"
Else
        j = i - l
        End If
        Cells (f, 9) = g
        Cells (f, 10) = i
        Cells (k, 11) = j
        l = i
End If
Loop Until (Cells (e, 7)) = 0
Do
        Z = Z + 1
        x = x + 1
        Cells (20, Z) = Cells (x, 11)
        Loop Until (Cells (x, 11) = 0)
End Sub
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นายสารสิน รัตนเสถียร

เกิดวันที่ 26 สิงหาคม 2529

สถานที่เกิด อำเภอนาทวี จังหวัดสงขลา

ประวัติการศึกษา วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์