ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร	วิศวกรรมเกษตร
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาดัชนีการวัดความอ่อน-แก่ทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุด

Investigation of Minimally Destructive Maturity Assessing Indices of Durian

นามผู้วิจัย นายปราโมทย์ กุศล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์วิชา หมั่นทำการ, M.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภรต กุญชร ณ อยุธยา, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาดัชนีการวัดความอ่อน-แก่ทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุด

Investigation of Minimally Destructive Maturity Assessing Indices of Durian

โดย

นายปราโมทย์ กุศล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปราโมทย์ กุศล 2557: การศึกษาดัชนีการวัดความอ่อน-แก่ทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุด ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D. 124 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติการวัดค่าทางไฟฟ้าแปรผันตามความถี่ หรือ Electrical impedance spectroscopy (EIS) ของผลทุเรียนเพื่อหาความสัมพันธ์กับความอ่อน-แก่ การวิเคราะห์ด้วยวิธี partial least squares regression และ discriminant analysis ใช้สำหรับสร้างโมเดลทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งและจำแนกกลุ่มตามอายุเก็บเกี่ยวตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่าคุณสมบัติทางกลไม่สามารถนำมาใช้ประเมินความอ่อน-แก่ได้อย่างแม่นยำ ส่วนค่าทางไฟฟ้าของก้านและเปลือกที่ความถี่ 1 kHz, 41 kHz และ 200 kHz สามารถนำมาใช้สร้างโมเดลเพื่อทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยค่า correlation coefficient of prediction (R_p) เท่ากับ 0.798 และสามารถจำแนกทุเรียนออกเป็น 4 กลุ่มอายุด้วยความแม่นยำ 83.3 % อย่างไรก็ตาม เมื่อสร้างโมเดลทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยค่าทางไฟฟ้าของก้าน เปลือก และความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียนพบว่าได้ค่า R_p เพิ่มขึ้นเป็น 0.840

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pramote Kuson 2014: Investigation of Minimally Destructive Maturity Assessing Indices of Durian. Doctor of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anupun Terdwongworakul, Ph.D. 124 pages.

This research studied the mechanical properties and the electrical impedance spectroscopy (EIS) of durian fruit to determine their relationship with durian maturity. Partial least squares regression (PLSR) and discriminant analysis were used to build models for predicting dry matter content and classifying durians into groups based on number of days after harvesting. The results showed that the mechanical properties were not applicable for evaluation of maturity with good accuracy. However, electrical parameters measured at stem and rind at frequencies of 1 kHz, 41 kHz and 200 kHz could be used to create a model for prediction of the dry matter content with the correlation coefficient of prediction (R_p) of 0.798. In addition, a classifying model based on the electrical parameters could discriminate durians into four maturity groups with accuracy of 83.3%. However, the predictive model using both electrical parameters and the frequency of durian improved the prediction accuracy with R_p increasing to 0.840.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ อนุพันธ์ เทอดวงวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักเป็นอย่างสูงสุดที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ แนวทางในการศึกษาดัชนีการวัดความอ่อน-แก่ทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุดรวมถึงการประเมินผลให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ วิชา หมั่นทำการ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ที่อนุญาตให้ลาศึกษาต่อ ขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) ที่ให้ทุนสนับสนุนจากสำนักกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวไม้ผล (ADB) ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้การอุดหนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และ พี่ น้อง เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนทุกท่าน รวมถึงครอบครัว ดร.ทรงธรรม ไชยพงษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการศึกษาดัชนีการวัดความอ่อน-แก่ของทุเรียนเป็นอย่างดี

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้เขียนขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวของข้าพเจ้า ศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส และคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปราโมทย์ กุศล
ธันวาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายอักษรย่อและสัญลักษณ์	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	19
ผลและวิจารณ์	34
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	59
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก ข้อมูลคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ	68
ภาคผนวก ข ข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าและความถี่ธรรมชาติ	93
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	124

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 Model การทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งของผลทุเรียนโดยวิธี Stepwise จากตัวแปรคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ 42

2 PLSR Model ของการทำนายเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งของผลทุเรียนจากตัวแปรคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ 42

3 PLSR Model ของการทำนายความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนจากตัวแปรคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของทุเรียน 51

4 ผลการวิเคราะห์ด้วย Discriminant analysis ของการจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนด้วยตัวแปรของการวัด EIS จำนวน 5 และ 6 ตัวแปร 52

5 PLSR Model ของการทำนายความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนของตัวแปรคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของทุเรียนและความถี่ธรรมชาติ 54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	แรงบีบหนามสูงสุดของแต่ละพู (N)	69
ก2	แรงกดทะลุเปลือก	75
ก3	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง, ความเค้นดัดของก้านทุเรียน, ความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียน	81
ก4	ค่าความถ่วงจำเพาะ (S_f), ขนาดของผลทุเรียน	87
ข1	ค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่ตำแหน่งก้าน	94
ข2	ค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่ตำแหน่งปลิง	95
ข3	ค่าการเปลี่ยนแปลง Resistance และ Reactance ของก้าน	96
ข4	ค่าการเปลี่ยนแปลง Resistance และ Reactance ของปลิง	100
ข5	ค่าการเปลี่ยนแปลง Resistance และ Reactance ของเปลือก	104
ข6	ค่าการเปลี่ยนแปลง Impedance (Z) ของตำแหน่งก้าน	108
ข7	ค่าการเปลี่ยนแปลง Impedance (Z) ของตำแหน่งปลิง	112
ข8	ค่าการเปลี่ยนแปลง Impedance (Z) ของตำแหน่งเปลือก	116
ข9	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง, ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียน	120

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การสังเกตลักษณะของผลทุเรียนก่อนการเก็บเกี่ยว	8
2	วงจรการวัดค่าความต่างศักดิ์ทางไฟฟ้าของผลไม้	15
3	เครื่อง UTM	20
4	อุปกรณ์จับปลายหนาม	21
5	ตำแหน่งการวัดค่า	21
6	การติดตั้งผลทุเรียนลงในกระบะและตำแหน่งของการกดก้านผล 1 กระบะทราย 2 การวางผลทุเรียน 3 ตำแหน่งหัวกด	23
7	เครื่องมือเคาะและเก็บสัญญาณ	24
8	การค่าความถ่วงจำเพาะของผลทุเรียน	25
9	Schematic diagram ของการวัดด้วยวิธี EIS	28
10	ตำแหน่งของการวัดก้านทุเรียน 1 ตำแหน่งก้าน 2 ภาพตัดขวาง 3 ตำแหน่งปลิง	28
11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับระยะแรงบีบสูงสุดของปลายหนามตำแหน่งกลางผล	34
12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าความชันของกราฟตำแหน่งกลางผล	35
13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าพื้นที่ใต้กราฟตำแหน่งกลางผล	35
14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับแรงกดทะลุสูงสุดเฉลี่ยตำแหน่งกลางผลทุเรียน	36
15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับแรงกดทะลุสูงสุดเฉลี่ยตำแหน่งกลางผลทุเรียน	37
16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของแรงกดทะลุเปลือกตำแหน่งกลางผล	37
17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับความเค้นดัดของก้านทุเรียน	38
18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % DW กับค่าดัชนีความถี่ ($f^2m^{2/3}$)	39
19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าดัชนีความถี่ ($f^2m^{2/3}$)	39
20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าความถ่วงจำเพาะ	40
21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่า % DW	41

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	การเปลี่ยนแปลงค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่วัดได้จากส่วนก้าน	43
23	การเปลี่ยนแปลงค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่วัดได้จากส่วนปลิง	44
24	การเปลี่ยนแปลงค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่วัดได้จากส่วนเปลือก	44
25	กราฟระหว่างค่าเฉลี่ย Reactance กับค่าเฉลี่ย Resistance ที่ความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131, และ 138 วัน ที่วัดจากส่วนก้าน	46
26	กราฟระหว่างค่าเฉลี่ย Reactance กับค่าเฉลี่ย Resistance ที่ความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131, และ 138 วัน ที่วัดจากส่วนปลิง	46
27	กราฟระหว่างค่าเฉลี่ย Reactance กับค่าเฉลี่ย Resistance ที่ความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131, และ 138 วัน ที่วัดจากส่วนเปลือก	47
28	กราฟ Logarithmic ระหว่างค่า Impedance (Z) กับความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131 และ 138 วัน วัดจากส่วนก้าน	49
29	กราฟ Logarithmic ระหว่างค่า Impedance (Z) กับความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131 และ 138 วัน วัดจากส่วนปลิง	49
30	กราฟ Logarithmic ระหว่างค่า Impedance (Z) กับความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131 และ 138 วัน วัดจากส่วนเปลือก	50
31	กราฟ Scatter plot แสดงความสัมพันธ์ของค่าเปอร์น้ำหนักเนื้อแห้งกับที่ค่าที่ได้จากการทำนาย	52
32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DW กับค่าดัชนีความถี่ ($f^2m^{2/3}$)	53
33	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าดัชนีความถี่ ($f^2m^{2/3}$)	53
34	กราฟ Scatter plot แสดงความสัมพันธ์ของค่าเปอร์น้ำหนักเนื้อแห้งกับที่ค่าที่ได้จากการทำนาย	55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A/D	=	Analog-to-digital converter
Bias	=	ค่าความเอนเอียง
$^{\circ}$ Brix	=	Degree of brix
% DW	=	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง
EIS	=	Electrical impedance spectroscopy
f	=	ความถี่ธรรมชาติ
f^2m	=	ความชันของกราฟ 1/m
$f^2m^{2/3}$	=	Stiffness coefficient
m	=	หนักของผล (กรัม)
MPA	=	เมกะปาสกาล
PC	=	Principle component
PCA	=	Principle component analysis
PCR	=	Principle component regression
PLSR	=	Partial least square regression
R	=	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
R^2	=	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
RMSECV	=	Root mean square error of cross validation
R_p	=	Correlation coefficient of prediction
SEP	=	Standard error of prediction
tss	=	Total soluble solid
S_f	=	ค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุ
W_f	=	น้ำหนักของผลไม้ที่ชั่งในอากาศ (กรัม)
W_d	=	น้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ (กรัม)
ΔY	=	ความแตกต่างตัวแปรในแนวแกนตั้ง
ΔX	=	ความแตกต่างตัวแปรในแนวแกนนอน
M	=	โมเมนต์ดัด (นิวตันเมตร)
C	=	ระยะจากแกนสะเทิน (เมตร)
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (ตารางเมตร)
UTM	=	Universal testing machine
R	=	Resistance (โอห์ม)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

X	=	Reactance (โอห์ม)
Z	=	Impedance (นาโนโครฟารัด)
mx	=	ค่าสูงสุด
mm	=	ค่าต่ำสุด
pk	=	peak สูงสุด
LP	=	ตำแหน่งก้านที่ติดกับผล
RI	=	ตำแหน่งเปลือก
CS	=	ตำแหน่งปลิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาดัชนีการวัดความอ่อน-แก่ทุเรียนแบบทำลายน้อยที่สุด

Investigation of Minimally Destructive Maturity Assessing Indices of Durian

คำนำ

ไทยเป็นผู้ผลิตทุเรียนรายใหญ่ของโลก (ปี 2554-2556) เฉลี่ยปีละ 330,043 ตัน โดยในปี 2556 มีการผลิต 367,057 ตัน แหล่งที่สำคัญจะเป็นภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี ระยอง และตราด (เดือนมีนาคม-กรกฎาคมโดยช่วงพฤษภาคมออกสู่ตลาดมาก) และภาคใต้ ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี (เดือนมิถุนายน-ตุลาคม ช่วงสิงหาคมออกสู่ตลาดมาก) ในปี 2556 (ช่วง ม.ค.-ธ.ค.) ไทยส่งออกทุเรียนสดสูงถึง 381,413 ตัน มูลค่า 8,528,989,110 ล้านบาท มีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันที่ผ่านมาตลาดส่งออกที่มีมูลค่ามากได้แก่ จีน ฮ่องกง และอินโดนีเซีย การส่งออกทุเรียนสดแช่แข็งเฉลี่ยปีละ 1,3960 ตัน คิดเป็นมูลค่าเฉลี่ยปีละ 725,580,476 ล้านบาท มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกลดลงร้อยละ 1.6 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันที่ผ่านมา ตลาดส่งออกที่มีมูลค่ามากได้แก่ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย แคนนาดา และจีน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

ทุเรียนเป็นผลไม้ประเภท climacteric คือ มีการสะสมอาหารอยู่ในรูปของแป้งแล้วจึงมีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลเมื่อผลสุก การเก็บเกี่ยวต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่แต่ยังไม่สุกแล้วค่อยนำมาบ่มให้สุกในภายหลัง เพราะถ้าเก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกคุณภาพในการบริโภคจะไม่ดี เนื้อเละ กลิ่นฉุน รสชาติผิดปกติไม่ทนทานต่อการขนส่งและมีอายุเก็บรักษาสั้น ในทางตรงกันข้ามก็สามารถเก็บเกี่ยวก่อนผลแก่แล้วนำมาบ่มให้สุกได้เช่นกัน แต่ผลสุกจะมีคุณภาพไม่ดีเท่าผลที่เก็บเกี่ยวในวัยที่แก่พอเหมาะ ผลทุเรียนที่เก็บเกี่ยวอ่อนเกินไปเมื่อนำมาบ่มให้สุกต้องใช้เวลานานกว่าปกติ เมื่อผลสุกแล้วจะมีคุณภาพเนื้อไม่ดีรสชาติไม่กลมกล่อมหวานมันและไม่มีกลิ่นหอมตามสายพันธุ์ที่ควรจะเป็น จึงจำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญสูงในการเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของกระบวนการเทคโนโลยีวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวที่จะให้ได้ผลผลิตที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน การศึกษาดัชนีการวัดความอ่อน-แก่ทุเรียนจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะรองรับปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีทำลายน้อยที่สุด การศึกษาที่ใช้ดัชนีร่วมกันได้แก่ การศึกษาการสูญเสียน้ำของเซลล์ชั้นเปลือกและก้านขั้วผลโดยการวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้า การศึกษาตอบสนองของความถี่ธรรมชาติแบบสั่นอิสระจากการเคาะ รวมถึงค่าคุณสมบัติทางกลได้แก่ การวัดความแข็งแรงระหว่างปลายหนามของผลและก้านทุเรียน เพื่อหาความสัมพันธ์กับช่วงความอ่อน-แก่ของผลทุเรียน ซึ่งยังไม่ได้มีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจัง จึงนับว่าเป็นวิธีที่มีความน่าสนใจในการนำไปตรวจสอบความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนโดยทำให้ผลเกิดความเสียหายของผลทุเรียนน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกลของเปลือกและก้านกับช่วงการเจริญเติบโต

2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางไฟฟ้าเชิงความถี่ของเปลือกและก้านกับช่วงการเจริญเติบโต

3. พัฒนาโมเดลจากตัวแปรพหุคูณสำหรับทำนายน้ำหนักเนื้อแห้ง และจำแนกกลุ่มทุเรียนตามช่วงการเจริญเติบโต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ทุเรียน

ทุเรียน (Durio zibetheus Murr.) เป็นผลไม้เขตร้อน อยู่ในวงศ์ Bombacaceae (Nakasone and Paull, 1998) เป็นที่รู้จักกันในนาม “ราชาแห่งผลไม้” พบได้ในกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Ketsa, 1997) โดยเฉพาะในประเทศไทยมาเลเซีย อินโนีเซีย บรูไน ฟิลิปปินส์ (Nanthachai, 1994) ประเทศไทยนับเป็นผู้ผลิตทุเรียนรายใหญ่ของโลก (ปี 2554-2556) เฉลี่ยปีละ 330,043 ตัน โดยในปี 2556 มีการผลิต 367,057 ตัน แหล่งที่สำคัญจะเป็นภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี ระยอง และตราด (เดือนมีนาคม-กรกฎาคมโดยช่วงพฤษภาคมออกสู่ตลาดมาก) และภาคใต้ ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี (เดือนมิถุนายน-ตุลาคม ช่วงสิงหาคมออกสู่ตลาดมาก) ในปี 2556 (ม.ค.-ธ.ค.) ไทยส่งออกทุเรียนสูงถึง 381,413 ตัน มูลค่า 8,528,989,110 ล้านบาท มีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันที่ผ่านมา ตลาดส่งออกที่มีมูลค่ามากได้แก่ จีน ฮ่องกง และอินโดนีเซีย การส่งออกทุเรียนสดแช่แข็งเฉลี่ยปีละ 1,3960 ตัน คิเป็นมูลค่าเฉลี่ยปีละ 725,580,476 ล้านบาท มีปริมาณ และมูลค่าการส่งออกลดลงร้อยละ 1.6 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันที่ผ่านมา ตลาดส่งออกที่มีมูลค่ามากได้แก่ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย แคนนาดา และจีน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

1.1 การเจริญเติบโตของผลทุเรียน

การเติบโตของผลไม้ทั่วไปเกิดจากกระบวนการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ในผล ส่วนใหญ่รังไข่จะมีการแบ่งเซลล์จำนวนมากและหยุดแบ่งเซลล์ก่อนหรือหลังการถ่ายละอองเกสรหรือหลังการปฏิสนธิเพียงเล็กน้อย ฉะนั้นการเจริญเติบโตของผลจึงขึ้นอยู่กับการขยายขนาดของเซลล์ที่มีอยู่แล้ว ขณะที่ผลแตงพันธุ์ Flexuosus Naud มีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการพัฒนาของผล (Ueda *et al*., 1986) แต่พบความแตกต่างของระยะเวลาการแบ่งเซลล์ในผลแอปเปิล (Wareing and Phillips, 1978) อโวกาโด (Schroeder, 1953) และมะกอก olive (Manrique *et al*., 1999) โดยพบว่าผลไม้ทั้ง 3 ชนิด มีการแบ่งเซลล์อย่างต่อเนื่องตลอดระยะการเจริญเติบโตของผลจนกระทั่งผลมีความบริบูรณ์ สามารถแบ่งการเจริญเติบโตของผล ได้เป็น 3 ระยะ (Dennis, 1984)

ระยะที่ 1 (lag phase) มีการเจริญและขยายขนาดของผลเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการแบ่งเซลล์ โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์ภายในผลมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักผลโดยตรง

ระยะที่ 2 (log phase) มีการเจริญเติบโตของผลอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเพิ่มจำนวนเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะที่ 3 (stationary phase) มีการเจริญเติบโตของผลเพียงเล็กน้อยและมีการขยายขนาดของผลเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง ผลเริ่มเข้าสู่ระยะบริบูรณ์และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลและมีกระบวนการสุกเกิดขึ้น

การเจริญเติบโตของผลแบบ Double sigmoid curve ได้แก่ ผลไม้พวก stone fruit เช่น ท้อ พลัม เชอรี และองุ่นสามารถแบ่งการเจริญเติบโตของผลได้เป็น 3 ระยะ (Coombe, 1976)

ระยะที่ 1 มีการเจริญเติบโตของผลอย่างรวดเร็วพบว่ามีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนและมีการพัฒนาของเซลล์อย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 2 มีการเจริญเติบโตของผลช้าลงและมีการสร้างชั้น endocarp (endocarp hardening)

ระยะที่ 3 มีการเจริญเติบโตของผลอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเพิ่มจำนวนเซลล์และมีการขยายขนาดของเซลล์ทำให้ผลมีการขยายขนาดและมีการสะสมอาหารเพิ่มมากขึ้น

สำหรับทุเรียนจากรายงานของพีรพงษ์ (2541) ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองพบว่าผลทุเรียนมีการเจริญเติบโตแบบ simple sigmoid curve และสามารถแบ่ง

การเจริญเติบโตของผลได้เป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 ตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลอายุ 57 วันหลังดอกบานเป็นระยะที่ผลเจริญ เติบโตช้าผลมีขนาดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากน่าจะเป็นช่วงที่ผลมีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ การเจริญของผลส่วนใหญ่เป็นการเจริญของส่วนแกนและเปลือกมากกว่าส่วนเนื้อโดยที่เนื้อทุเรียนเริ่มมีการพัฒนาขึ้นเมื่อผลอายุ 50 วัน

ระยะที่ 2 เมื่อผลอายุ 57-92 วันหลังดอกบานเป็นช่วงที่ผลมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มจำนวนเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์และการเพิ่มช่องว่างระหว่างเซลล์ทำให้ปริมาตรหรือขนาดผลเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำหนักผล

ระยะที่ 3 เมื่อผลอายุมากกว่า 85 วันขึ้นไปเป็นระยะที่ผลมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงและคงที่ในที่สุด มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเยื่อสะสมอาหารสีเนื้อและสีผิวผลเริ่มเปลี่ยนเพื่อเข้าสู่กระบวนการสุก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของผลและขั้วทุเรียน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคระหว่างการพัฒนาของผลทุเรียนพันธุ์กระดุมและหมอนทอง (อรอนงค์, 2548) พบว่าระยะที่ 3 ผลอายุมากกว่า 70 วันขึ้นไปในพันธุ์กระดุมและมาก กว่า 84 วันขึ้นไปในพันธุ์หมอนทอง ผลมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงและคงที่ในที่สุด ทั้งในด้านขนาดและน้ำหนักผล เนื่องจากส่วนแกนเปลือกและเนื้อหยุดแบ่งเซลล์และหยุดขยายขนาดของเซลล์แล้วพบว่าส่วนแกนและเปลือกของทั้งสองพันธุ์มีความหนาค่อนข้างคงที่ เนื่องจากเซลล์ในส่วนแกนและเปลือกหยุดขยายขนาด เมื่อผลทุเรียนทั้งสองพันธุ์มีความบริบูรณ์พบว่ามีความหนาของแกนและเปลือกไม่แตกต่างกัน เนื่องจากส่วนแกนและเปลือกของทั้งสองพันธุ์มีจำนวนชั้นเซลล์และขนาดของเซลล์ไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าส่วนแกนและเปลือกของทุเรียนพันธุ์กระดุมจะหยุดแบ่งเซลล์และหยุดขยายขนาดของเซลล์ก่อนพันธุ์หมอนทองก็ตาม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในช่วงที่ผลทุเรียนพันธุ์กระดุมหยุดแบ่งเซลล์และหยุดขยายขนาดของเซลล์ ส่วนแกนและเปลือกของพันธุ์กระดุมมีจำนวนชั้นเซลล์และขนาดของเซลล์มากกว่าพันธุ์หมอนทอง ขณะที่ส่วนแกนและเปลือกของพันธุ์หมอนทองยังคงมีการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ต่อไปอีก 2 สัปดาห์ จนทำให้มีจำนวนชั้นเซลล์และขนาดของเซลล์ในส่วนแกนและเปลือกใกล้เคียงกับพันธุ์กระดุม

สำหรับการพัฒนาของส่วนเนื้อพบว่าหลังจากเซลล์ในส่วนเนื้อหยุดขยายขนาด เซลล์เริ่มมีการสะสมเม็ดแป้งซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของส่วนเนื้อพบว่าช่วงที่ผลทุเรียนพันธุ์กระดุมและหมอนทองอายุ 42-56 และ 42-70 วัน เป็นช่วงที่น้ำหนักแห้งของเนื้อไม่เพิ่มขึ้นแต่กลับลดลงเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เมล็ดยังคงมีการเจริญเติบโต ดังนั้นอาหารที่สร้างจากใบอาจถูกส่งไปยังส่วนของเมล็ดก่อนที่จะส่งไปยังส่วนเนื้อ อีกทั้งเซลล์ในส่วนแกนเปลือกและเนื้อยังคงมีการแบ่งเซลล์และขยายขนาดอยู่อาหารจึงส่งไปยังส่วนเนื้อในปริมาณน้อย หลังจากนั้นพันธุ์กระดุมเริ่มสะสมเม็ดแป้งระหว่างอายุ 56-70 วันขณะที่พันธุ์หมอนทองเริ่มมีการสะสมระหว่างอายุ 70-84 วัน เมื่อผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองอายุ 85 วัน ส่วนเนื้อเริ่มมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง น้ำหนักแห้งของส่วนเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงที่อยู่ในรูปของน้ำตาลถูกส่งไปยังส่วนเนื้อมากขึ้นและส่งไปยังส่วนของเมล็ดแกนและเปลือกลดลง เนื่องจากส่วนต่างๆ ดังกล่าวเริ่มหยุดการเจริญเติบโตและอาหารไม่ต้องถูกแบ่งออกไปเพื่อนำไปใช้ในการกระบวนการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์นอกจากแป้งแล้วยังพบการสะสมของน้ำตาล ไขมัน และสาร β-carotene ในส่วนเนื้อทำให้เนื้อเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง

โครงสร้างทางกายวิภาคของส่วนแกนและเปลือกของทุเรียนทั้งสองพันธุ์คล้ายคลึงกัน ส่วนแกนและเปลือกประกอบด้วยเซลล์ parenchyma ที่มีการสะสมสารแทนนินภายใน vacuole ซึ่งในสภาพธรรมชาติจะเห็นแทนนินเป็นสีเหลือง สีแดง หรือสีน้ำตาล (Fahn, 1982) แทรกอยู่กับเซลล์ที่ไม่มีการสะสมแทนนิน เซลล์ดังกล่าวอาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เมื่อผลมีอายุมากขึ้นเซลล์จะมีการสะสมแทนนินเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลไม้ทั่วไปที่มีการสะสมแทนนินในช่วงที่ผลยังอ่อนอยู่ (Esau, 1977) และมีรายงานว่าแทนนินช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์เนื่องจากการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำงานของเอนไซม์ (Coulson *et al*., 1960) หลังจากนั้นเมื่อผลทุเรียนพันธุ์กระดุมอายุ 56 วัน พบว่าแทนนินภายในเซลล์เริ่มลดลง ขณะที่พันธุ์หมอนทองยังคงมีการสะสมของสารอยู่จนกระทั่งผลอายุ 70 วัน สารแทนนินภายในเซลล์จึงเริ่มลดลง เช่นเดียวกับผลไม้หลายชนิด เช่น ละมุด (Selvaraj and Pal, 1984) ฝรั่ง (Yusof and Mohamed, 1987) และน้อยหน่า (Pal and Kumar, 1995) พบว่าปริมาณของสารแทนนินภายในผลเริ่มลดลงเมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ สำหรับส่วนเนื้อประกอบด้วยเซลล์ parenchyma ที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารเรียกว่า reserved parenchyma หรือ storage parenchyma อาหารที่เก็บสะสมไว้ภายในเซลล์มีหลายชนิดได้แก่ แป้ง น้ำตาล โปรตีน และน้ำมัน เป็นต้น (เทียมใจ, 2542) เซลล์บริเวณส่วนเนื้อด้านใน (ติดกับส่วนของเมล็ด) และด้านนอก (ติดกับส่วนเปลือก) มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และพบว่าเซลล์เหล่านี้เป็นเซลล์ที่พัฒนาหลังเซลล์ที่อยู่ตอนกลางของส่วนเนื้อ เนื้อแต่ละตำแหน่งมีขนาดของเซลล์และมีการสะสมเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเซลล์ที่อยู่บริเวณส่วนเนื้อด้านในส่วนเนื้อด้านนอกและเซลล์ที่อยู่รอบท่อลำเลียงมีขนาดเล็กมีการสะสมเม็ดแป้งช้ากว่าเซลล์บริเวณอื่นๆ เมื่อผลมีอายุมากขึ้นพบว่าเซลล์เริ่มมีการสะสมเม็ดแป้งภายใน amyloplast จนกระทั่งเมื่อผลทุเรียนพันธุ์กระดุมและหมอนทองอายุ 84 และ 98 วัน พบว่าเม็ดแป้งเริ่มมีการสลายตัวและมีปริมาณลดลงการสลายตัวของเม็ดแป้งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลและปริมาณ soluble solid (พีรพงษ์, 2541) ทำให้ส่วนเนื้อมีรสหวาน เมื่อเปรียบเทียบการสลายตัวของเม็ดแป้งบริเวณส่วนเนื้อด้านใน ตรงกลาง และด้านนอกพบว่าส่วนเนื้อตรงกลางมีการสลายตัวของเม็ดแป้งเร็วกว่าส่วนเนื้อด้านนอกและด้านในทำให้เวลารับประทานทุเรียนจึงรู้สึกว่ากรอบนอกนุ่มในโดยเฉพาะพันธุ์หมอนทอง สาเหตุที่ทำให้เนื้อทุเรียนมีการสุกไม่สม่ำเสมออาจเนื่องจากเซลล์ของส่วนเนื้อแต่ละเซลล์มีการสลายตัวของเม็ดแป้งในปริมาณที่แตกต่างกันและอาจเป็นเพราะพันธุ์หมอนทองมีเนื้อค่อนข้างหนาจึงยิ่งเห็นความแตกต่างของการสลายตัวเม็ดแป้งค่อนข้างชัดเจน นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้เนื้อสัมผัสของทั้งสองพันธุ์แตกต่างกันในพันธุ์กระดุมอาจเนื่องจากส่วนเนื้อมีการสลายตัวของเม็ดแป้งอย่างรวดเร็วและแต่ละเซลล์มีการสลายตัวของเม็ดแป้งค่อนข้างพร้อมกันจึงทำให้เนื้อของทุเรียนพันธุ์กระดุมค่อนข้างละเอียด ขณะที่เนื้อของพันธุ์หมอนทองหยาบกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากเซลล์ในส่วนเนื้อมีการสลายตัวของเม็ดแป้งค่อนข้างช้าและไม่พร้อมกัน

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับกายวิภาคของขั้วผลทุเรียนพบว่า ในส่วนเปลือก (bark) ของขั้วผลนั้นมี stone cell (brachysclereid) กระจายอยู่ทั่วไปและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุเก็บเกี่ยว (รัชฎา, 2531) ในผลไม้ชนิดอื่นๆ นั้นมีการศึกษากายวิภาคของขั้วผลเช่นเดียวกัน เช่น การศึกษาถึงสัณฐานวิทยา (morphology) และกายวิภาค (anatomy) ของผลพลัม (prunus domestica L. c.v. Stanley) เพื่อหาแนวทางลดการร่วงของผล (Simon and Chu, 1975) หรือศึกษาถึงอิทธิพลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อโครงสร้างของขั้วผลของแอปเปิ้ล 2 สัปดาห์ก่อนดอกบาน พบว่า paclobutrazol จะไปลดความยาวของ pedicel โดยมีผลลดอัตราการแบ่งเซลล์ในแนวระนาบ (longitudinal plane) ทำให้จำนวนเซลล์ใน pedicel ลดลง ในขณะที่ GA $_{4+7}$ จะให้ผลตรงกันข้ามคือ ไปส่งเสริมการเพิ่มจำนวนเซลล์ทำให้ pedicel ยาวขึ้น (Prive *et al*., 1989) ในสาลี่ (pyrus serotina c.v. Shinsheiki) ก็ได้มีผู้ที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการพัฒนาของท่อน้ำท่อ

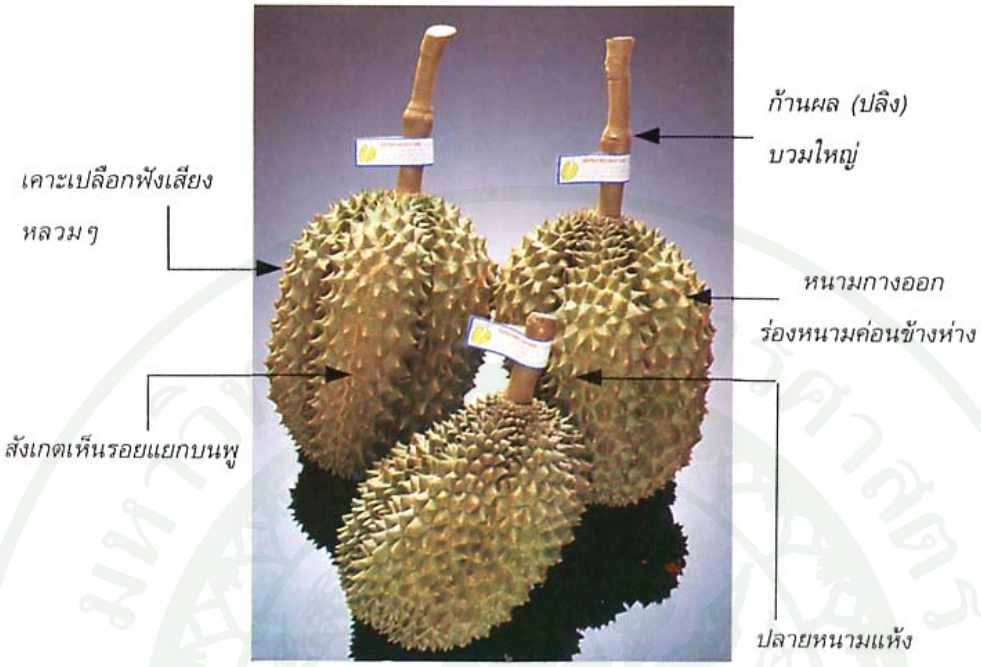
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาหารในขั้วผลกับการเจริญเติบโตของผล พบว่าแบบแผนการเจริญเติบโตของผลเป็นแบบ double sigmoid curve สามารถแบ่งช่วงการเจริญเติบโตได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ คือ ช่วงที่ 1 ตั้งแต่หลังดอกบานจนถึง 6 สัปดาห์หลังจากนั้น เป็นระยะที่มีเฉพาะการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนเซลล์ในผลระยะนี้ primary xylem ในขั้วผล (pedicel) จะเริ่มแตกต่างมากขึ้น vessel จะเพิ่มจำนวนขึ้นตั้งแต่ 10 วันก่อนดอกบาน หลังจากนั้น 3 สัปดาห์ secondary xylem จึงถูกสร้างขึ้นและพัฒนาต่อไป จนกระทั่งผลเข้าสู่ความบริบูรณ์ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) ส่วน phloem ในขั้วผลนั้น แตกต่างน้อยมาก โดยเฉพาะ sieve tube หลังจากดอกบาน 2 สัปดาห์ การพัฒนาของ phloem จึงเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตในช่วงที่ 2 ของการเจริญเติบโต ระยะนี้ อัตราการเจริญเติบโตของผลลดลง ในส่วนขั้วผลนั้น secondary xylem vessel จะเพิ่มขึ้นโดยตลอดในขณะที่การพัฒนาของ phloem ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับช่วงระยะเวลาลดการขยายขนาดของผล ในช่วงที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตของผลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เซลล์ขยายขนาดการสะสมน้ำและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว sieve tube จะพัฒนาเร็วมาก ทั้ง vessel และ phloem จะเพิ่มขึ้นเพื่อเคลื่อนย้ายอาหารจากใบไปสู่ผล ในส่วนของไม้ดอกนั้นมีการศึกษาถึงโครงสร้างของก้านดอกในแง่ความสามารถในการดูดน้ำและการโค้งงอของก้านดอก ดอกไม้ที่ตัดโคนก้านดอกใกล้ระดับพื้นดินมากๆ จะทำให้บริเวณโคนก้านดอกมีปริมาณเส้นใย (fiber) มากสารประกอบ lignin ใน fiber จะขัดขวางการเคลื่อนย้ายของน้ำขึ้นสู่ดอก ดอกไม้ที่โคนก้านดอกมีเส้นใยมากจะดูดน้ำได้น้อยกว่าดอกไม้ที่โคนก้านดอกมีเส้นใยน้อย (สายชล, 2531) ในดอกกุหลาบการขาดน้ำของดอกจะทำให้เกิดการโค้งงอของคอดอก (bent neck) สาเหตุประการหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดอาการดังกล่าวได้แก่ ปริมาณเส้นใยในบริเวณคอดอก เส้นใยจะช่วยทำให้เนื้อเยื่อบริเวณคอดอกมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและเกิดการโค้งงอน้อยลง (ลพ, 2529; Parups, 1976)

1.3 การเก็บเกี่ยว

วัยเหมาะสมที่จะเก็บเกี่ยวผลทุเรียนหรือดัชนีการเก็บเกี่ยวทุเรียนโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ผลที่มีความสุกแก่เหมาะสมตามความต้องการของผู้บริโภค ต้องสังเกตลักษณะหลายอย่างประกอบกัน (ภาพที่ 1) ดังต่อไปนี้ (Ketsa, 1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 การสังเกตลักษณะของผลทุเรียนก่อนการเก็บเกี่ยว

1. นับอายุผลตั้งแต่วันดอกบานจนถึงวันเก็บเกี่ยวพันธุ์กระดุมทองประมาณ 90-100 วัน พันธุ์ชะนีประมาณ 105-110 วัน และพันธุ์หมอนทองประมาณ 120-135 วัน ซึ่งชาวสวนควรจดบันทึกวันดอกบานของทุเรียนแต่ละต้น แต่ละรุ่น และควรทำเครื่องหมายแยกรุ่นไว้ที่กิ่งหรือต้นไว้อย่างชัดเจนเพื่อสะดวกต่อการเก็บเกี่ยว โดยวัสดุที่ใช้ทำเครื่องหมายนี้ต้องมีความทนทานและคงทนอยู่ได้ตลอดจนถึงวันเก็บเกี่ยวโดยระบุไว้ที่กลุ่มผลหรือกิ่ง แต่อย่างไรก็ตามการนับอายุผลนี้อาจคลาดเคลื่อนได้ขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ ปัจจัยภายในซึ่งเป็นเรื่องของพืช เช่น (1) ตำแหน่งของการไว้ผล ผลทุเรียนที่อยู่ส่วนบนของทรงพุ่มจะแก่เร็วกว่าด้านล่างเนื่องจากอยู่ใกล้กับใบซึ่งเป็นแหล่งสร้างอาหารจึงมีอาหารมาบำรุงผลได้มากกว่า (2) จำนวนผลต่อต้น ต้นที่ไว้ผลมากจะแก่ช้ากว่าต้นที่ไว้ผลน้อย (3) การแตกใบอ่อน ถ้าทุเรียนต้นใดมีการแตกใบอ่อนในระยะที่เนื้อกำลังเข้าสี เนื้อทุเรียนจะชะงักการพัฒนาจนกระทั่งใบอ่อนเปลี่ยนเป็นใบเพสลาด (ใบที่จวนแก่) ก่อนจึงเริ่มเข้าสี ทำให้ผลทุเรียนแก่ช้ากว่าปกติประมาณ 3 สัปดาห์ ถ้าไม่จัดการหยุดใบอ่อนหรือฉีดพ่นอาหารเสริมทางใบเสริม ปัจจัยภายนอก เช่น (1) แสงแดดจัดอากาศร้อนจะช่วยให้ทุเรียนแก่เร็วกว่าสภาพท้องฟ้ามืดครึ้มอากาศเย็นและมีฝนตก (2) มีการให้น้ำและปุ๋ยสม่ำเสมออย่างต่อเนื่อง ในระยะที่เริ่มแก่จะชะลอเวลาการแก่ของทุเรียนได้ต่อเมื่อหยุดให้น้ำและปุ๋ยทุเรียนจึงเริ่มแก่ตามปกติ

2. สังเกตก้านผลเมื่อผลทุเรียนเริ่มแก่ก้านผลจะแข็งและมีสีเข้มขึ้นเมื่อสัมผัสจะรู้สึกสากมือ บริเวณปากปลิงบวมโตเห็นรอยต่อชัดเจน (ปากปลิง คือ รอยต่อระหว่างก้านส่วนที่ติดกับผลและก้านส่วนที่ติดกับกิ่ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. สังเกตสีผิวผลและรอยหนามเมื่อทุเรียนเริ่มแก่ผิวจะแห้งกร้านปลายหนามจะแห้งร่องหนามจะห่างและกว้างขึ้นมีเม็ดตุ่มเล็กๆ คล้ายผดขึ้นที่บริเวณหนาม เมื่อบีบหนามเข้าหากันจะทำได้ง่ายส่วนการสังเกตสีผิวไม่แน่นอน แม้ว่าทุเรียนส่วนใหญ่จะมีสีเขียวอมน้ำตาลเมื่อแก่ แต่ถ้าเป็นผลทุเรียนที่อยู่ในร่มไม่โดนแสงแดดจะมีสีเขียวสดใสส่วนผลที่อยู่ชายพุ่มโดนแสงแดดจะมีสีน้ำตาล

4. สังเกตรอยแยกบนพูผลทุเรียนที่แก่จัดจะสังเกตเห็นรอยแยกสีน้ำตาลบนพูได้อย่างชัดเจน ยกเว้นพันธุ์ก้านยาวจะสังเกตเห็นรอยดังกล่าวไม่ชัดเจน แต่ถ้าดูที่ก้นผลจะเห็นรอยสีน้ำตาลคล้ายสาแหรกชัดเจนขึ้นเมื่อผลแก่

5. การเคาะเปลือกเมื่อเคาะผลทุเรียนที่แก่จัดจะมีเสียงก้องดังโปร่งๆไม่แน่นทึบเหมือนทุเรียนอ่อน เนื่องจากเนื้อทุเรียนเริ่มหดตัวทำให้มีโพรงอากาศระหว่างเนื้อและเปลือก

6. การชิมปลิงเมื่อปาดขั้วผลของทุเรียนที่แก่จัดจะพบว่ามีน้ำใสไม่ข้นเหนียวเหมือนในทุเรียนอ่อนและเมื่อชิมมีรสหวาน การปาดขั้วนี้ใช้สังเกตอาการไส้ซึมของผลทุเรียนได้อีกด้วยแต่ต้องใช้มีดที่สะอาด ถ้าพบว่าวงในก้านผลมีจุดแต้มเป็นสีน้ำตาลแสดงว่าเริ่มเป็นไส้ซึมแต่ถ้าพบว่าสีน้ำตาลเข้มทั้งวง แสดงว่าเป็นไส้ซึมแล้ว

7. สังเกตสีเนื้อและสีเมล็ดสีเนื้อทุเรียนจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองอ่อนและเข้มขึ้นตามลำดับความแก่ เมล็ดเปลี่ยนจากสีครีมเป็นสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นเช่นกันในกรณีที่มีการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบเพื่อเร่งให้ทุเรียนขึ้นสีเร็วขึ้น ถ้าทุเรียนผลยังไม่แก่ตามอายุเมื่อตัดผลลงมาทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที สีเนื้อจะเปลี่ยนกลับเป็นสีขาวตามเดิม

8. การปล่อยให้ผลทุเรียนร่วงปกติดอกทุเรียนแต่ละรุ่นในต้นเดียวกันจะบานไม่พร้อมกัน ดังนั้นเมื่อมีผลทุเรียนบนต้นเริ่มแก่-สุกและร่วงก็เป็นสัญญาณเตือนว่าทุเรียนที่เหลือบนต้นเริ่มแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้แล้ว

9. การบีบปลายหนามทุเรียนเข้าหากันแล้วปล่อย ถ้าทุเรียนแก่เมื่อบีบปลายหนามเข้าหากันจะมีลักษณะเหมือนมีสปริง แต่ถ้าทุเรียนอ่อนเมื่อบีบปลายหนามเข้าหากันจะไม่เหมือนมีสปริง

ทุเรียนเป็นผลไม้ประเภท climacteric คือ มีการสะสมอาหารอยู่ในรูปของแป้งแล้วจึงมีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลเมื่อผลสุก ผลไม้ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันนี้ได้แก่ กล้วย มะม่วง มะละกอ และน้อยหน่าเป็นต้น ผลไม้เหล่านี้ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่แต่ยังไม่สุกแล้วค่อยนำมาบ่มให้สุกในภายหลัง เพราะถ้าเก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกคุณภาพในการบริโภคจะไม่ดีเนื้อเละกลิ่นฉุนรสชาติผิดปกติไม่ทนทานต่อการขนส่งและมีอายุเก็บรักษาสั้น ในทางตรงกันข้ามผลไม้เหล่านี้ก็สามารถเก็บเกี่ยวก่อนผลแก่แล้วนำมาบ่มให้สุกได้เช่นกันแต่ผลสุกจะมีคุณภาพไม่ดีเท่าผลที่เก็บเกี่ยวในวัยที่แก่พอเหมาะ เช่น กรณีผลทุเรียนที่เก็บเกี่ยวอ่อนเกินไปเมื่อนำมาบ่มให้สุกต้องใช้เวลานานกว่าปกติเมื่อผลสุกแล้วจะมีคุณภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื้อไม่ดีรสชาติไม่กลมกล่อมหวานมันและไม่มีกลิ่นหอมตามสายพันธุ์ที่ควรจะเป็น โดยทั่วไปแล้ว ทุเรียนพันธุ์กระดุมและชะนีที่แก่ถึงแก่จัดเมื่อเก็บเกี่ยวลงมาแล้วควรจะสุกในสภาพธรรมชาติภายใน 3–5 วัน ส่วนพันธุ์หมอนทองหรือก้านยาวควรจะบ่มสุกได้ภายใน 5-7 วัน ถ้าเกินกว่านั้นมักเป็นทุเรียนอ่อน

การเปลี่ยนแปลงของผลทุเรียนขณะผลสุกเกิดขึ้นเร็วมากทำให้เก็บรักษาไว้ได้ไม่นานและมีช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการรับประทานสดค่อนข้างสั้น (จริงแท้ และคณะ, 2531) ทั้งนี้มีการแบ่งอุปนิสัยในการบริโภคทุเรียนออกเป็น 4 กลุ่มคือ 1) ชอบเนื้อห่าม (ผลเริ่มสุก) 2) ชอบเนื้อนิ่มพอดี (สุกพอดี) 3) ชอบเนื้อนิ่มมากจนเกือบเละ (เริ่มงอม) 4) ชอบเนื้อเละจะเป็น “ปลาร้า” (งอมมาก) โดยผู้บริโภคกลุ่มที่ 1-3 จะมีระยะเวลาสั้นในการเลือกรับประทานได้อย่างถูกใจ

การเก็บเกี่ยวจะใช้มีดคมๆ ตัดก้านผลส่วนที่อยู่เหนือปากปลิงเพื่อให้ผลหลุดจากต้นและส่งลงมาให้คนที่รออยู่ใต้ต้นใช้กระสอบป่านตวัดรับผลหรือใช้วิธีโรยเชือกลงมา เมื่อเก็บเกี่ยวลงมาแล้วให้วางผลลงในภาชนะที่เตรียมไว้ห้ามวางผลทุเรียนบนพื้นดินในสวนโดยตรงเพราะเชื้อราสาเหตุของโรคผลเน่าหลายชนิดที่พื้นดินและที่เศษพืชบริเวณใต้ต้นทุเรียนจะติดไปกับผลทุเรียนทำให้เกิดโรคผลเน่าหลังเก็บเกี่ยว ส่วนผลที่รับพลาดและตกลงบนพื้นให้แยกออกต่างหากทันทีเพราะเปลือกจะช้ำเชื้อราจากดินจะติดไปกับผลและเจริญเข้าทางรอยแผลช้ำทำให้เป็นโรคผลเน่าอย่างรวดเร็ว

1.4 สมบัติด้านต่างๆ ที่สัมพันธ์กับการเจริญของทุเรียน

ในการส่งออกทุเรียน การควบคุมคุณภาพเป็นเรื่องสำคัญและต้องตรวจสอบได้ง่ายทั้งบุคคลที่ผลิต ผู้ซื้อขายภายในประเทศ ผู้ส่งออก และผู้ซื้อในต่างประเทศ จึงได้มีความพยายามที่จะหาวิธีทางวัตถุวิสัย (objective method) ที่จะวัดความอ่อนแก่ของทุเรียนออกมาให้ได้ค่าแน่นอน นิรมล (2539) ได้ศึกษาถึงแนวทางในการกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวของ ผลทุเรียนและมาตรฐานของคุณภาพของทุเรียน โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเคมีและสวนศาสตร์ (สะ-วะ-นะ-สาด) จากการทดลองพบว่า เมื่อทุเรียนแก่คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ขนาดปริมาตรและค่าความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแป้งและค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียน รูปทรงของผลทุเรียนไม่มีความแตกต่างกันทั้งทุเรียนอ่อนและแก่ ในขณะที่จำนวนหนามต่อพื้นที่บนผิวเปลือกลดลงและความหนาแน่นลดลงเล็กน้อยเมื่อทุเรียนแก่ คุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำตาลซูโครสในเนื้อทุเรียนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทุเรียนแก่ ส่วนปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตสลดลงในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปของกรดซิตริก มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อทุเรียนแก่จนกระทั่งทุเรียนมีอายุ 100 วันหลังดอกบาน ซึ่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับปริมาณแป้งและลดลงเล็กน้อยเมื่อทุเรียนมีอายุ 120 วันหลังดอกบาน ผลการศึกษาครั้งนี้สรุปว่า ค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียนสามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวและใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพความอ่อน-แก่ของทุเรียนโดยไม่ทำลายผลได้ โดยเมื่อหาค่าสหสัมพันธ์พบว่า ค่าความถี่เสียงจากการเคาะผลทุเรียนนี้สัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพคือ ค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแน่นเนื้อ และคุณสมบัติทางเคมีคือ ปริมาณแป้งซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความแก่ของผลทุเรียนได้ บัณฑิต และคณะ (2530) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของทุเรียนโดยพิจารณาการกระจายของความถ่วงจำเพาะกับระยะเวลาบ่ม ความหวาน รวมทั้งคุณสมบัติเชิงกลของก้านทุเรียนภายใต้การกระทำ Beam Test และ Radial Compression การทดสอบประกอบด้วยเงื่อนไขดังนี้คือ (1) พันธุ์ทุเรียน (Variety) ได้แก่ ชะนีหมอนทอง ก้านยาว (2) สภาวะความเจริญเติบโตของทุเรียนในขณะเก็บ (Maturity Stage) (แก่เต็มที่ 10 วันก่อนแก่ 20 วันก่อนแก่) (3) ระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวบนต้น (Ripening period) (4) ใช้ 10 ตัวอย่างตามเงื่อนไข (1), (2) และ (3) ความถ่วงจำเพาะของทุเรียนทั้ง 3 พันธุ์ ลดลงเป็นสัดส่วนกับระยะเวลาการบ่ม (Ripening time) โดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของสภาวะความเจริญเติบโตในขณะเก็บ (Maturity stage) นี้ก็สอดคล้องกับประสบการณ์ของผู้ปลูกทุเรียนที่ว่าทุเรียนแก่ขึ้นน้ำหนักยิ่งเบา ความถ่วงจำเพาะของทุเรียนที่แก่รับประทานได้ของพันธุ์ ชะนี หมอนทอง และก้านยาวเฉลี่ย 0.78 (Significance level = 1 %) ปริมาตรของทุเรียนลดลงเฉลี่ย 1.09 % ต่อวันก้านของทุเรียนแสดงลักษณะยืดหยุ่นได้ (Elastic property) โดยก้านทุเรียนแก่เต็มที่มีค่าความต้านทานเชิงกล (Mechanically resistance) สูงกว่าทุเรียนอ่อน (10 วันก่อนแก่, 20 วันก่อนแก่) โดยวิธี Radial Compression ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) อยู่ระหว่าง 10.9-11.4 MPa การทดสอบแบบ Beam Test ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นสูงกว่าอย่างเป็นสัดส่วนกัน ความหวานก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่บ่งบอกความอ่อนแก่ของทุเรียนได้แต่ไม่ค่อยเหมาะสมนักเพราะต้องทำให้ผลทุเรียนเสียหาย การสำรวจการจำหน่ายทุเรียนจากสวนเกษตรกรพบว่าผู้บริโภคในประเทศและต่างประเทศมีโอกาสที่จะได้รับบริโภคทุเรียนไม่แก่สูงถึงร้อยละ 35 และ 30 ตามลำดับ

เทียมใจ (2529) อธิบายเกี่ยวกับการเจริญของทุเรียนไว้ว่ามีการอุดตันของท่อน้ำท่ออาหาร ทำให้น้ำเคลื่อนย้ายจากต้นไปสู่ผลยากขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำในผลจะมีการสูญเสียออกไปอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ทุเรียนที่มีอายุมากขึ้นมีน้ำหนักเบากว่าทุเรียนอายุน้อยในปริมาตรที่เท่ากันหรือขนาดผลเท่ากัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าค่าความถ่วงจำเพาะสามารถใช้เป็นตัววัดอายุอ่อนแก่ของผลทุเรียนพันธุ์นี้ได้ สำหรับทุเรียนพันธุ์ชะนีและก้านยาวนั้นค่าความถ่วงจำเพาะกลับไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเหมือนในพันธุ์หมอนทอง ซึ่งอาจเนื่องจากลักษณะประจำพันธุ์ของทุเรียนเอง เช่น ในพันธุ์ชะนีซึ่งมักจะมีพูที่ฝ่อหรือไม่เต็มพูทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะผิดไปจากผลที่มีพูเต็มได้ หรืออาจเนื่องจากผลทุเรียนที่ใช้ไม่ได้อายุตามต้องการ แต่อย่างไรก็ตามค่าความถ่วงจำเพาะของทุเรียนนั้นมีค่าต่ำกว่า 1 เสมอ จึงจะไม่สะดวกที่จะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ เพราะทุเรียนจะลอยน้ำได้ในระดับที่ใกล้เคียงกัน จึงเป็นการยากที่จะบอกว่าผลทุเรียนผลไหนลอยน้ำได้มากกว่ากัน ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวกลางที่มีค่าความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่า 1 ซึ่งอาจมีปัญหาตามมาอีกคือ ค่าใช้จ่ายสูง สารที่ใช้อาจส่งผลต่อคุณลักษณะของผลทุเรียนได้ นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับสภาพความชื้นในบรรยากาศที่ส่งผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำของผลทุเรียนนอกเหนือจากอิทธิพลของอายุผลโดยตรง

ทุเรียนแต่ละผลของแต่ละต้นหรือแต่ละสวนจะสุกแก่ไม่พร้อมกันขึ้นกับพันธุ์ สภาพแหล่งปลูก อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝนในระหว่างติดผล ตำแหน่งของผลบนส่วนต่างๆ ของต้นทุเรียนรวมทั้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาที่ดอกบานและติดผลของแต่ละผลก็ยังแตกต่างกันด้วย ดังนั้นการเลือกเก็บเกี่ยวทุเรียนได้อย่างถูกต้องจึงต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญสูง กระนั้นแล้วก็ยังมีโอกาสเก็บเกี่ยวพลาด มีทุเรียนที่อ่อนเกินไปหรือแก่เกินไปปะปนมาได้เช่นกัน แต่ถ้าเป็นสวนทุเรียนที่มีการจัดการดี มีการตัดแต่งดอกและผลเป็นรุ่นเดียวกันในต้นเดียวกัน มีการจดบันทึกวันดอกบานรวมทั้งมีการดูแลอย่างเหมาะสมในช่วงติดผลโอกาสเก็บเกี่ยวพลาดเป็นทุเรียนอ่อนโดยไม่ตั้งใจจะมีน้อยมาก

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวัดความแข็งแรงก้านผล

ก้านทุเรียนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกษตรกรใช้พิจารณาอายุการเก็บเกี่ยวของผลทุเรียนโดยก้านทุเรียนเจริญมาจากก้านดอกย่อยของดอกทุเรียน (รัชฎา, 2531) ต่อมารัชฎา (2533) ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของก้านทุเรียนเพิ่มเติมและพบว่าส่วนเปลือกของก้านทุเรียนแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ Cortex และ Phloem ได้เสนอว่าความแข็งแรงของก้านทุเรียนที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุหลังวันดอกบานของผลทุเรียน เนื่องมาจากจำนวน Phloem Fiber ในส่วนที่เป็น Phloem ของก้านทุเรียนที่มีจำนวนมากขึ้นตามอายุซึ่งปกติแล้ว Fiber จะทำให้ส่วนของต้นไม้มีความแข็งแรงสามารถทนต่อแรงดึง แรงกดและการโค้งงอได้ซึ่งสอดคล้องกับการที่เกษตรกรใช้การดัดก้านเพื่อตรวจสอบความอ่อน-แก่ก่อนที่จะเก็บเกี่ยว โดยทุเรียนแก่จะมีแรงดีดกลับคล้ายสปริงเมื่อจับก้านและแกว่งผลทุเรียนจะมีแรงต้านกว่าทุเรียนอ่อน

บัณฑิต และคณะ (2530) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของก้านทุเรียนภายใต้แรงกระทำ Beam test และ Radial compression ได้ข้อสรุปว่าโมดูลลัสความยืดหยุ่นของก้านทุเรียนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผลทุเรียนมีอายุเพิ่มขึ้นทั้งในแนวรัศมีและตามความยาวก้าน โดยวิธีทดสอบทั้งสองวิธีให้ผลการทดสอบที่เป็นไปในแนวทางเดียวกันและเป็นสัดส่วนกัน ยังได้เสนอว่าคุณสมบัติเชิงกลของก้านทุเรียนมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำไปพัฒนาเครื่องมือสำหรับวัดความสุกแก่ของทุเรียน กรกฎ และคณะ (2545) ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของก้านทุเรียน โดยการวัดแรงดึงของก้านและปากปลิงซึ่งได้ข้อสรุปว่าค่าโมดูลลัสความยืดหยุ่นที่วัดได้จากแรงดึงของก้านผลทุเรียนมีค่าลดลงเมื่ออายุหลังวันดอกบานเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาก้านทุเรียนเป็นวัสดุประสมที่ประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นเปลือกและส่วนที่เป็นแกนของก้านผลพบว่าค่าโมดูลลัสความยืดหยุ่นที่วัดได้จากแรงดึงของส่วนที่เป็นเปลือกของก้านผลมีค่าลดลงเมื่ออายุหลังวันดอกบานเพิ่มมากขึ้น สำหรับส่วนที่เป็นแกนของก้านมีการเปลี่ยนแปลงของโมดูลลัสความยืดหยุ่นน้อยมากเนื่องจากค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของส่วนที่เป็นก้านได้แบ่งเป็นส่วนที่เป็นปากปลิงและแกน ส่วนที่นอกเหนือจากปากปลิงปรากฏว่าในขณะที่โมดูลลัสความยืดหยุ่นของส่วนที่เป็นปากปลิงมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุหลังวันดอกบานแต่ส่วนที่เป็นแกนกลับมีแนวโน้มของค่าโมดูลลัสความยืดหยุ่นลดลง นอกจากนั้นการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่าค่าการลดลงของโมดูลลัสความยืดหยุ่นในส่วนของเปลือกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าโมดูลลัสความยืดหยุ่นของก้านทุเรียนมากกว่าผลจากส่วนที่เป็นแกนของก้าน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รัชฎา (2533) ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บเกี่ยวกับความแข็งของก้านผลทุเรียนโดยใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Effegi) มาดัดแปลงหัวรับแรงกดแล้ววัดค่าแรงที่ใช้กดทะลุก้านทุเรียนเป็นตัวแทนของค่าความแข็งก้าน ผลปรากฏว่าค่าความแข็งของก้านทุเรียนมีความสัมพันธ์ค่อนข้างดีกับอายุการเก็บเกี่ยวของทุเรียนและปริมาณ soluble solid ของเนื้อทุเรียนทั้งพันธุ์ชะนีและหมอนทองโดยความแข็งของก้านทุเรียนจะเพิ่มตามอายุการเก็บเกี่ยวของก้านทุเรียน

ณัฐวุฒิ (2546) ศึกษาวิธีการวัดปัจจัยที่สัมพันธ์กับความแก่ทุเรียนแบบไม่ทำลาย โดยการวัดความแข็งแรงของก้านและความถี่ธรรมชาติ เพื่อนำไปประเมินค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งซึ่งเป็นดัชนีวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียนที่ได้จากวิธีการวัดแบบทำลาย ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง 130 ผล ในช่วงอายุหลังวันดอกบาน 7 ช่วงตั้งแต่ 105 วันถึง 136 วันถูกเก็บเกี่ยวและนำมาหาพารามิเตอร์ด้วยวิธีการวัดแบบไม่ทำลายสองวิธี ได้แก่การวัดความแข็งแรงก้านผลด้วยอุปกรณ์วัดแรงกดที่สัมพันธ์กับระยะกด เมื่อบีบก้านผลและการวัดความถี่ธรรมชาติด้วยเครื่องมือเคาะและเก็บสัญญาณเสียง หลังจากนั้นนำเนื้อทุเรียนมาอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ความแข็งแรงก้านพบว่าพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งมากที่สุดคือ พื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกดและระยะยุบตัว (A) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) = 0.808 ส่วนค่าความถี่ธรรมชาติ (f) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง (R) = 0.448 และเมื่อวิเคราะห์หาสมการถดถอย สำหรับประเมินเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งโดยวิธีการถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression) พบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับประเมินค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งประกอบด้วยค่าตัวแปรพื้นที่ใต้กราฟ (A) และตัวแปรความถี่ธรรมชาติ (f) ซึ่งสมการประเมินคือ % Dm = 20.663 + 0.182A - 0.056f โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (R) = 0.844 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 0.709

2.2 การวัดความแน่นเนื้อ

Timm *et al*. (1993) สร้างเครื่องมือสำหรับตรวจวัดความแน่นเนื้อของผลเชอรี่และผลเบอรี่ โดยค่าความแน่นเนื้อที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อจำแนกผลที่มีตำหนิและเป็นดัชนีวัดสภาพ การเก็บรักษารวมทั้งความสุกแก่ของผลเชอรี่และเบอรี่ โดยเครื่องมือนี้จะวัดค่าความแน่นเนื้อโดยวัดค่าแรงกดบนผลเชอรี่และเบอรี่ที่กระทำผ่านหน้าสัมผัสสองแผ่นที่วางขนานกัน ซึ่งค่าแรงจะถูกบันทึกที่ระยะต่างๆ โดยอัตโนมัติผ่านพอร์ต RS-232 ควบคุมการทำงานและเก็บข้อมูลโดยคอมพิวเตอร์ผ่าน A/D Converter และ Micro-Processor จากการทดสอบพบว่าค่าความชันของกราฟแรง-ระยะยุบตัวมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับค่าความแน่นเนื้อของผลเชอรี่และสภาพการเก็บเกี่ยว (ความช้ำ, ความสุกแก่)

Sirisomboon *et al*. (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผล Japanese pear ระหว่างการเจริญเติบโต ซึ่งจากการทดสอบแบบ Plate compression โดย Universal testing machine พบว่าเนื้อสัมผัสของผล Japanese pear จะสามารถประเมินได้จากค่า Deformation

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ratio (ระยะยุบตัว/ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล) Modulus of elasticity และค่า Relaxation (อัตราส่วนของค่าแรงที่เวลา 30 วินาที) โดยค่าที่วัดได้จากการทดสอบแบบ Plate compression เหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ที่ดีกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและน้ำหนักผล ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและน้ำหนักผลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุหลังติดผลของ Japanese pear มากขึ้น

2.3 การวัดความถี่ธรรมชาติ

การวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจสอบคุณภาพภายในของผลิตผลเกษตรซึ่งไม่สามารถเห็นได้จากภายนอกและเป็นวิธีที่ถูกค้นพบและใช้มานานในต่างประเทศ การหาค่าความถี่ธรรมชาติสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. Forced vibration เป็นวิธีที่กระตุ้นให้วัตถุสั่นด้วยวิธีทางกลที่ความถี่ต่างๆกันครอบคลุมช่วงความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้นๆที่ Amplitude คงที่ วัดขนาดการสั่นที่ผลไม้ส่งผ่านแต่ละความถี่ โดยความถี่ธรรมชาติคือ ความถี่ที่ผลไม้สามารถตอบสนองด้วยขนาดการสั่นสูงสุด

2. Free vibration เป็นวิธีที่จะกระตุ้นให้วัตถุสั่นที่ความถี่ธรรมชาติโดยตรงอาจใช้วิธีการเคาะ ผลไม้จะสั่นตามความถี่ธรรมชาติแล้ววัดขนาดการสั่นของเสียงด้วยไมโครโฟน ความถี่ธรรมชาติของวัตถุคือ ความถี่ของเสียงที่วัดได้

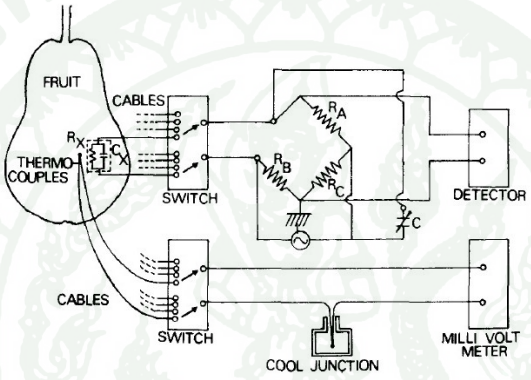
ค่าความถี่ธรรมชาติที่หาได้จากผลไม้ทั้งผลจะต้องคำนึงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของผลไม้ซึ่งจะทำให้ผลไม้ที่มีคุณภาพภายในเหมือนกันอาจได้ค่าความถี่ธรรมชาติต่างกัน Abbott *et al.* (1968) วิจัยการตอบสนองของผลแอปเปิลเมื่อถูกกระตุ้นด้วยค่าความถี่ที่แตกต่างกันพบว่าความถี่ธรรมชาติค่าที่สอง (f) ของผลแอปเปิลที่มีความสุกเหมือนกันแต่ขนาดต่างกันจะให้ความถี่ธรรมชาติค่าที่สองแตกต่างกันโดยจะแปรผกผันกับน้ำหนักของผลแอปเปิล (m) และค่า $f^2 m$ ซึ่งเป็นความชันของกราฟ 1/m และ f^2 คือ ค่าดัชนีความถี่ธรรมชาติ โดยค่าดัชนีความถี่ธรรมชาติของแอปเปิลจะลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น

2.4 การวัดสมบัติทางไฟฟ้า

สเปกโทรสโกปีอิมพีแดนซ์ทางไฟฟ้า (EIS) เป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจนำมาประเมินส่วนประกอบต่างๆภายในเนื้อเยื่อของสัตว์และพืช ซึ่งโครงสร้างเซลล์ของพืชนั้นสามารถจำลองเป็นแผนภาพวงจรไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายและรวดเร็วในการทำการทดสอบ การวัดด้วยเทคนิค EIS นี้จะตีความจากสเปกตราของความต้านทานไฟฟ้า โดยได้มาจากค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งจะบ่งบอกถึงโครงสร้างของเซลล์ได้ (Zhang *et al.,* 1990)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Takanori (1984) ได้ใช้หลักการวัดความต้านทานทางไฟฟ้าของเนื้อเยื้อลูกแพร์ เมื่อมีความ ชื้นมากขึ้นกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านได้ดี (คือ ความต้านทานไฟฟ้าลดลง) ไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่สูงถูกใช้ในวงจร Wheatstone bridge (ภาพที่ 2) เพื่อป้องกันกระแสไหลไปในทิศทางเดียวกันของนื้อเยื้อซึ้งเกิดขึ้นในกระแสตรง ต่อคอนเดนเซอร์ปรับค่าได้ลงในวงจรเพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าสมดุล เนื่องจากเนื้อเยื้อของผลไม้มีผลได้ทั้ง Electrical resistance และ Electrical capacity มีโอกาสที่จะเกิดช่องว่างในผนังเซลล์ (Intercellular spaces) การทำให้ Electrical capacity ของเนื้อเยื้อ (C_X) และ Capacity of the variable condenser (C) สมดุลโดยใช้สมการ $C_X = R_C C / R_B$ และ $R_X = R_A R_B / R_C$



ภาพที่ 2 วงจรการวัดค่าความต่างศักดิ์ทางไฟฟ้าของผลไม้

เทคนิค EIS ได้เคยถูกนำมาประเมินความสุกของผลไม้ โดย Harker and Dunlop (1994) ได้ใช้เทคนิค EIS ในการประเมินความสุกของผล Nectarine (อยู่ในวงศ์พรุน) ใช้ความถี่ช่วง 50 Hz ถึง 0.1 MHz พบว่าเมื่อผลสุกมากขึ้นค่าความต้านทานจะลดลง อีกทั้งยังพบว่าความต้านทานไฟฟ้าของ apoplast ลดลงถึง 60 % ทันทีหลังจากถูกเก็บเกี่ยว

Bauchot *et al.* (2000) ได้ศึกษาถึงลักษณะทางสรีรวิทยาของผลกีวี่ โดยแบ่งออกเป็นสามส่วนได้แก่ Outer pericarp, inner pericarp และ core โดยใช้ช่วงความถี่ 50 Hz ถึง 1 MHz พบว่า ทั้ง 3 ส่วน มีความแตกต่างกันของ Firmness และปริมาณของเหลวภายในเซลล์ แต่พบว่าระหว่างที่ผลกีวี่สุกไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งต่างกันกับพืชชนิดอื่น เช่น แนกทารีน และมะเขือเทศ ที่เมื่อผลสุก ค่าความต้านทานจะลดลง

Jackson and Harker (2000) ได้ใช้เทคนิค EIS ในการตรวจสอบรอยช้ำและขอบเขตความเสียหายของเนื้อเยื่อในผลแอปเปิ้ล การศึกษาได้พบว่าความแตกต่างของความต้านทานของไฟฟ้าที่ 50 Hz มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติความเสียหายจากรอยช้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hoehn *et al.* (2003) ได้มีการวัดค่าความหวานและค่าความเป็นกรดของแอปเปิ้ลสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้ความถี่ในช่วง 1 Hz and 1 MHz ได้แก่ Granny Smith, Fuji, Pink Lady และ Red Delicious พบว่ามีค่า R^2 ดังนี้ตามลำดับ 0.83, 0.71, 0.99 และ 0.89

Long *et al.* (2008) ได้ใช้ EIS ศึกษาเนื้อเยื่อของมะเขือยาวเมื่อผ่านการอบแห้งและแช่แข็งแล้วละลาย ใช้ความถี่ช่วง 42 Hz ถึง 5 MHz พบว่า เมื่อผ่านการอบแห้ง ค่าความต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น เพราะเซลล์ได้สูญเสียความชื้นไป และเมื่อผ่านการแช่แข็งแล้วละลาย เนื้อเยื่อจะสูญเสียความต้านทานไปจากเดิม เพราะเมื่อถูกแช่แข็งแล้วละลายนั้นเซลล์จะเกิดการแตกตัว ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าเหมือนเป็นฉนวนของเซลล์เนื้อเยื่อได้ถูกทำลาย

2.5 การวัดคุณภาพผลไม้โดยใช้ดัชนีรวมพารามิเตอร์

ในระยะไม่กี่ปีที่ผ่านมาเริ่มมีการศึกษาการใช้พารามิเตอร์หลายค่าประกอบกันเพื่อประเมินคุณภาพผลไม้ (Steinmetz *et al*., 1996 และ Steinmetz *et al*., 1999) ในการประเมิน Firmness ของผล Peach ออกเป็นเกรดต่าง ๆ Steinmetz *et al*. (1996) พบว่าการใช้ค่าจากการวัดหลายๆ วิธี เช่น วิธี Sound Impact และ Micro deformation ประกอบกันกับวิธีทางสถิติจะสามารถคัดผล Peach ออกเป็นเกรดต่างๆ เช่น Soft Half firm และ Firm ด้วยความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าการคัดโดยใช้ค่าจากการวัดแต่ละวิธี และพบว่าการประเมินค่า $^{\circ}$ Brix ในแอปเปิลโดยการใช้ค่าที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟาเรด ประกอบกับค่าการวัดสีด้วยกล้องด้วยวิธี Neural network analysis ให้ค่าที่ใกล้เคียงกว่าการประเมินด้วยแต่ละค่าแยกกัน การวัดแบบไม่ทำลายของสถานะน้ำในผลไม้อาจจะเป็นการศึกษาหาข้อมูลความสัมพันธ์ของน้ำในผลไม้มากกว่าการวัดแบบทำลาย (water content, water deficits และ water potentials) ค่าที่ได้เป็น Bata ray (Mederski, 1961) ไม่เหมาะสำหรับผลไม้ เพราะรูปทรงมีลักษณะหลากหลายและเต็มไปด้วยเนื้อเยื่อ การวัดโดยค่าความจุทางไฟฟ้าของใบ (Takechi and Tomari, 1968) หรือลำต้น Hashimoto (1978) ได้ประสบความสำเร็จเนื่องจากความแบนของใบและรูปทรงกระบอกของลำต้น การวัดแบบต่อเนื่องของเส้นผ่าศูนย์กลางผล (Furr and Taylor, 1939) เป็นการให้ข้อมูลทางอ้อมที่เกี่ยวข้องกับสถานะน้ำในผลไม้ เครื่องมือที่ใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับวัดค่าความจุทางไฟฟ้าของความสัมพันธ์ dry substances (ยาง เมล็ด ผลไม้แห้ง) มีการใช้ได้สำเร็จ (Barfs, 1968)

Armstrong *et al*. (1990) ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ของความถี่ธรรมชาติกับความแน่นเนื้อที่วัดโดย Magness Tayler test ในแอปเปิล 4 พันธุ์ ผลที่ได้สรุปว่าค่าแรงกดที่วัดโดย Magness Tayler test มีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำกับดัชนีความถี่ธรรมชาติ ในขณะที่ Galili *et al*. (1998) ได้ใช้วิธีทดสอบเสียงสะท้อนเพื่อประเมินค่าความสุกของผลอาโวคาโด โดยมีกลไกการเคาะผล ประกอบด้วย ตุ้มยางทรงครึ่งทรงกลมติดบนก้านโลหะทำงานร่วมกับ Solenoid ผลอาโวคาโดจะวางอยู่บนแผ่น Piezoelectric sensor ซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณเสียงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งแผ่น Piezoelectric sensor นี้จะวางอยู่บนแผ่นโฟมนุ่ม Polyethylene เพื่อทำให้ค่าความถี่ที่ได้ใกล้เคียง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กับวิธี Free vibration ผลการศึกษาที่ได้พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติมีความสัมพันธ์ที่ไม่ดีนักกับค่าแรงที่ใช้กดทะลุผลอาโวคาโด แต่ค่าดัชนีความถี่ธรรมชาติมีความสัมพันธ์ที่เด่นชัดกับอายุทางชีววิทยาของผลอาโวคาโด

Armstrong and Brunsewitz (1997) ใช้วิธี Multiple linear regression ในการรวมค่าที่ได้จากการวัด Acoustic resonance จากเครื่องมือวัดแบบไม่ทำลายสองแบบ งานวิจัยพบว่าสามารถคัดแยก Peach ที่มี Firmness ไม่ตรงตามที่ต้องการออกจาก Peach ที่ต้องการได้ดี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Menesatti *et al*. (1999) ซึ่งใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Multiple linear regression เพื่อสร้างสมการสำหรับประเมินความเสียหายของผล Peach ที่เกิดจากการกระแทกระหว่างการขนส่งจากการรวมค่าทางกายภาพต่างๆ ที่สามารถวัดได้ของผล Peach ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นนี้สามารถประเมินความเสียหายของผลพีชโดยพิจารณาจากตัวแปรความสูงที่ผลตก ความหนาแน่นของผล ระยะของผลจากจุดกระแทกถึงขั้วผล และ pulp thickness ที่จุดที่เกิดความเสียหาย

Mizrach *et al*. (1991) ได้หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบเสียงสะท้อน การทดสอบทางกล และคุณภาพภายในของผล Winter-growm melon โดยทดสอบกับชิ้นตัวอย่างของผลไม้ที่ตำแหน่งต่างๆ กัน จากการวิเคราะห์ทางสถิติทำให้สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of elasticity ที่ได้จาก Compression test โดย INSTRON Universal testing machine กับค่าดัชนีการลดลงของเสียงสะท้อนที่คำนวณได้จากค่าการส่งผ่านของคลื่นอัลตร้าโซนิคในชิ้นตัวอย่าง อีกทั้งสามารถสรุปได้ว่าค่าคุณภาพภายในของผล Winter-growm melon ได้แก่ค่า % Dry weight และ tss มีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าดัชนีการลดลงของเสียงสะท้อน

อนุพันธ์ และคณะ (2541) นำหลักการวัดความถี่ธรรมชาติแบบ Free vibration มาศึกษาและประยุกต์ใช้กับทุเรียนเพื่อหาดัชนีความถี่ธรรมชาติของทุเรียนและนำดัชนีความถี่ธรรมชาติ (ซึ่งคำนวณจากความถี่ธรรมชาติ (f) และน้ำหนัก (m) ของผลไม้) มาวัดความแก่ (maturity) หรืออายุของทุเรียนขณะเจริญเติบโตบนต้น นำทุเรียนมาเคาะและวัดเสียงรวมทั้งวัดปริมาตเพื่อหาน้ำหนักทุกๆ 1 อาทิตย์ เริ่มตั้งแต่ทุเรียนมีอายุหลังดอกบานประมาณ 55 วันจนถึง 132 วัน (ซึ่งเป็นเวลาที่ทุเรียนแก่เต็มที่) นำค่า f และ m มาศึกษาเพื่อหาดัชนีความถี่ธรรมชาติที่เหมาะสมและนำค่าดัชนีนี้มาหาความสัมพันธ์กับดัชนีที่นิยมใช้กำหนดการเก็บทุเรียนผล ที่แก่เต็มที่ จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าค่า f ยกกำลัง 2 ของกลุ่มทุเรียนที่มีอายุหลังดอกบานเท่ากันจะแปรผกผันกับ m ยกกำลัง 2 ส่วน 3 ในลักษณะ exponential นั่นคือ ทุเรียนผลใหญ่จะมี f น้อยกว่า และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์นี้ในทุเรียนกลุ่มอื่นๆ ที่อายุบนต้นต่างๆ กัน สรุปได้ว่า ความสัมพันธ์แบบ exponential ระหว่าง f ยกกำลัง 2 กับ m ยกกำลัง 2 ส่วน 3 ปรากฏอยู่ในทุเรียนทุกกลุ่ม แต่อัตราการลดลงแบบ exponential จะสูงขึ้นในทุเรียนกลุ่มที่อายุมากกว่า ดังนั้นค่าดัชนีความถี่ธรรมชาติที่เหมาะสมและเป็นตัวแทนของอัตราการลดลงดังกล่าวคือ 2 ส่วน 3 หาร f ยกกำลัง 2 ln(m) ซึ่งเมื่อนำมาเขียนกราฟกับอายุหลัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดอกบานพบว่าเมื่ออายุหลังดอกบานมากขึ้นหรือเมื่อทุเรียนแก่มากขึ้น ดัชนีความถี่ธรรมชาติ 2 ส่วน 3 หาร f ยกกำลัง 2 ln(m) ของทุเรียนมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญและจะมีค่าเข้าหาค่าค่าหนึ่งเมื่อทุเรียนแก่เต็มที่

อลงกรณ์ และกรกฎ (2550) ได้วิเคราะห์ความแก่ของผลทุเรียนโดยการหาความแตกต่างระหว่างความกว้างของปากปลิงและก้านผลด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งเป็นการตรวจวัดแบบไม่สัมผัส (non-contact) และไม่ทำลายผล (nondestructive) ทุเรียนที่ใช้ในการทดลองมี 6 ช่วงอายุคือ 92, 99, 106, 113, 120 และ 127 วัน ช่วงอายุละ 25-30 ผล จากการประมวลผลภาพใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 0.15 วินาที/ภาพ ผลการทดลองปรากฏว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความแตกต่างของความกว้างของปากปลิงและก้านผลกับอายุ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง แต่ละช่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเชิงเส้นโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.98 และ 0.38 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของน้ำหนักแห้ง (Percentage of Dry-weight) กับอายุสามารถแบ่งความสัมพันธ์เป็น 2 ช่วง แต่ละช่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะแบบเชิงเส้น มีค่า R^2 เท่ากับ 0.95 และ 0.59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ

การศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดคุณสมบัติเชิงกลผลทุเรียนที่ประกอบด้วยค่าแรงต้านระหว่างปลายหนามและค่าโมเมนต์ดัดของก้านทุเรียน ร่วมกับค่าพารา มิเตอร์ความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียน เพื่อนำไปประเมินค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งซึ่งเป็นดัชนีวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียน โดยใช้ทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากสวนใน จ. จันทบุรีมาทำการศึกษาในระหว่างเดือน มีนาคม-พฤษภาคม 2552 โดยใช้ต้นทุเรียนที่กำลังติดผลอ่อนจำนวน 10 ต้น ที่มีความบริบรูณ์ใกล้เคียงกัน (พิจารณาความสูงของต้น, ขนาดทรงพุ่มและความหนาแน่นของใบ) อยู่ในแปลงเดียวกัน ต้นทุเรียนที่ปลูกในสวนมีอายุประมาณ 12 ปี มีการปฏิบัติดูแลรักษาตามวิธีของชาวสวน โดยทำเครื่องหมาย (Tag) ระบุวันที่ดอกบานด้วยการทำเครื่องหมายที่บริเวณก้านดอก หรือกิ่งทุเรียนบริเวณที่ดอกบานเพื่อใช้ในการนับอายุหลังวันดอกบาน (Day after blossom) ทุกต้นๆละ 3 ผลรวม 30 ผล เมื่อผลทุเรียนมีอายุหลังวันดอกบานครบตามกำหนดคือ มีอายุ 92, 99, 106, 113, 120 และ 127 วัน

1.1 การวัดคุณสมบัติทางกลจากการบีบหนาม

การศึกษาหาความสัมพันธ์ของสมบัติทางกลจากการบีบปลายหนามของเปลือกทุเรียนกับช่วงการเจริญเติบโตของผลทุเรียน เป็นการศึกษาของค่าแรงที่บีบปลายหนามระหว่างสาแหรก 2 ปลายหนามเข้าหากันของทุเรียน โดยพิจารณาระยะแรงบีบสูงสุดของปลายหนามที่บอกถึงค่าความแข็งปลายหนาม ค่าความชันของกราฟระหว่างแกน X คือ แรง (N) และแกน Y คือ ระยะทาง (mm) บอกถึงค่าความยืดหยุ่นมีหน่วยเป็น N/mm และค่าพื้นที่ใต้กราฟบอกถึงค่าความเหนียวมีหน่วยเป็น N.mm

อุปกรณ์

1. เครื่อง UTM (Universal testing machine) ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5596 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 3)

2. อุปกรณ์จับปลายหนามของเปลือกทุเรียน (ภาพที่ 4)

3. ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. ติดตั้งอุปกรณ์จับปลายหนามเข้ากับเครื่อง UTM

2. เตรียมตัวอย่างและกำหนดจุดที่จะทำการบีบหนามเข้าหากันจำนวน 9 จุดต่อผลโดยเริ่มจากพูเอกของแต่ละจุด ส่วนบน (A) ส่วนกลาง (B) และส่วนล่าง (C) ของแต่ละพูที่เรียงจากขั้วผลและเลือกขนาดหลามที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 3 พูต่อผล (ภาพที่ 5)

3. วัดระยะห่างปลายหนามของแต่ละจุด ส่วนบน (A) ส่วนกลาง (B) และส่วนล่าง (C)

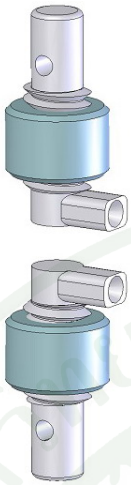
4. จับผลทุเรียนให้ปลายหนามรองรับอุปกรณ์จับปลายหนามขณะทำการวัด

5. วัดแรงบีบระหว่างปลายหนามของเปลือกโดยเริ่มจากพูเอกจุด A บีบเข้าหากัน 2 ม.ม. บันทึกแรงบีบสูงสุด แล้วทำซ้ำจุด B และ C ทำเหมือนกันกับพูรองจนครบ 3 พูต่อผล

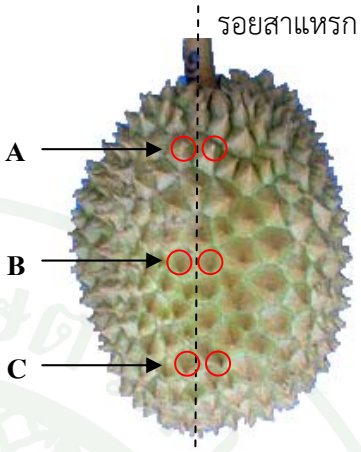
6. ทำซ้ำจบครบ 180 ผล

ภาพที่ 3 เครื่อง UTM

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 อุปกรณ์จับปลายหนาม



ภาพที่ 5 ตำแหน่งการวัดค่า

1.2 การวัดแรงกดทะลุเปลือก

เป็นการศึกษาคุณสมบัติของแรงกดทะลุเปลือกทุเรียน (Exocarp rupture force) ที่ความชันที่ 50 % ของแรงกดทะลุเปลือกของกราฟแรงกับการเปลี่ยนรูปของเปลือกทุเรียน ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโต เพื่อนำค่าที่ได้ไปประเมินกับช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 92, 99, 106, 113, 120 และ 127 วัน

อุปกรณ์

1. เครื่อง UTM ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5596 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. หัวกด Plunge กลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

3. กระบะทราย

4. ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

วิธีการ

1. เตรียมตัวอย่าง กำหนดจุดที่จะทำการกด 9 จุดต่อผล การกดทะลุเปลือกทุเรียนจะกดตรงกึ่งกลางของแต่ละจุด A, B และ C ของพูเอกและพูรองรวมทั้งหมด 3 พูในแต่ละผล (ภาพที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. วางตัวอย่างบนกระบะทรายชื้น และกดด้วย หัวกด Plunger จนถึงจุดแตก (Rupture) ที่อัตราเร็ว 25 มิลลิเมตรต่อนาที (ASAE Standard, 1998) โดยใช้เครื่อง UTM

3. คำนวณความชันที่ 50 % ของเส้นกราฟที่พล็อตระหว่างแรงกดทะลุเปลือกกับการเปลี่ยนรูปของเปลือกทุเรียนจากสมการที่ 1

$$\text{ความชัน} = \frac{\text{ความแตกต่างตัวแปรในแนวแกนตั้ง } (\Delta Y), \text{ นิวตัน}}{\text{ความแตกต่างตัวแปรในแนวแกนนอน } (\Delta X), \text{ มิลลิเมตร}} \quad (1)$$

4. ทำซ้ำจนครบ 300 ผล

1.3 ศึกษาความเค้นดัดของก้านทุเรียน

เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของก้านทุเรียนอีกวิธีหนึ่งในลักษณะการหาความเค้นดัดของก้านทุเรียน (Bending stress property) ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต เพื่อหาความเค้นดัดสูงสุดของระยะการยุบตัวที่เท่ากันของก้านทุเรียน (สมการที่ 2) นำค่าที่ได้ไปประเมินกับช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 92, 99, 106, 113, 120 และ 127 วัน ด้วยการคำนวณความเค้นดัดสูงสุด ($\sigma_{\max}$) จากสมการ

$$\sigma_{\max} = \frac{MC}{I} \quad (2)$$

โดยที่ M คือ โมเมนต์ดัด (นิวตันเมตร)
C คือ ระยะจากแกนสะเทิน (เมตร)
I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดก้านทุเรียน (ตารางเมตร)

อุปกรณ์

1. เครื่อง UTM ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5596 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. หัวกดแบบ Flexure Fixture ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 2810 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

3. กระบะทรายชุ่มน้ำ

4. ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

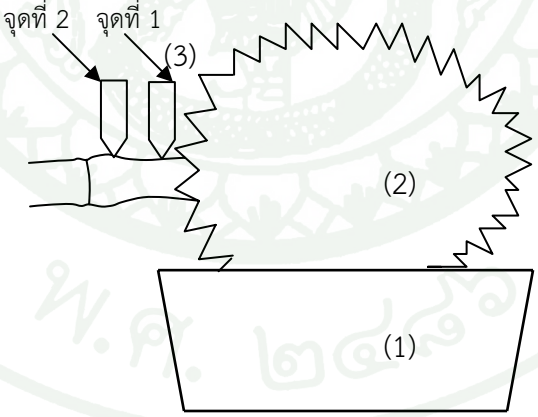
1. เตรียมตัวอย่างกำหนดจุดบนก้านทุเรียน (ภาพที่ 6) ที่จะทำการดัด 2 จุดต่อหนึ่งผล โดยจุดที่ 1 กำหนดระยะห่างจากขั้วที่ติดกับผลออกไปยังปลิง 25.4 ม.ม. หรือ 1 นิ้ว และจุดที่ 2 กำหนดระยะห่างจากปลิงเข้ามายังขั้วที่ติดกับผล 12.7 ม.ม. หรือ ½ นิ้วและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านจากขั้วผลถึงจุดที่ 2 ที่เล็กสุด (Dmin)

2. วางผลทุเรียนตามแนวนอนลงในกระบะทรายที่ชุ่มน้ำเพื่อป้องกันการให้ตัวของผลทุเรียนแล้ววางกระบะทรายลงบนแท่นทดสอบของเครื่อง UTM

3. ติดตั้งหัวกด UTM ลงบนเครื่องแล้วปรับตั้งตำแหน่งหัวกดให้สัมผัสกับตำแหน่งโดยเริ่มจากจุดที่ 1 แล้วตามด้วยจุดที่ 2

4. ตั้งค่าให้ UTM กดลงบนก้านด้วยระยะยุบตัว 5 ม.ม. ซึ่งเป็นระยะที่ไม่ทำให้ผลทุเรียนเกิดการกระดกขึ้น แล้วบันทึกค่าแรงกดสูงสุด

5. ทำซ้ำจนครบ 180 ผล



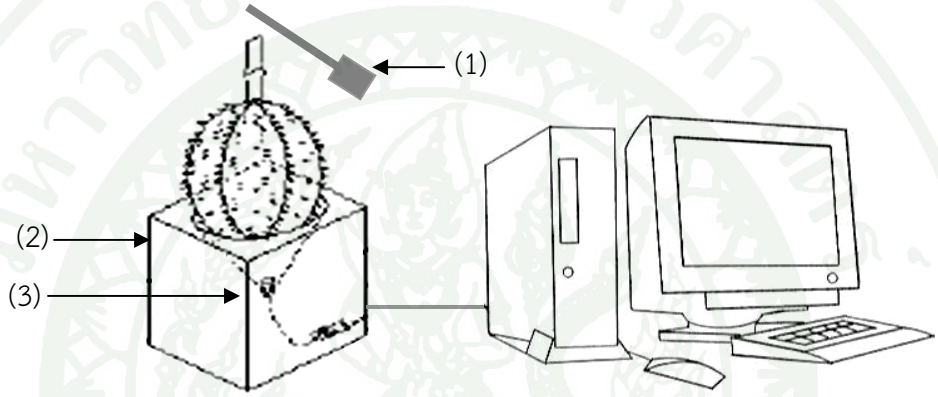
ภาพที่ 6 การติดตั้งผลทุเรียนลงในกระบะและตำแหน่งของการกดก้านผล (1) กระบะทราย (2) การวางผลทุเรียน (3) ตำแหน่งหัวกด

1.4 การวัดความถี่ธรรมชาติในผลทุเรียน

สมบัติเสียงเคาะทุเรียนมีความสัมพันธ์กับความแก่ทุเรียน หรือน้ำหนักเนื้อแห้ง ที่ใช้เป็นมาตรฐานในทุเรียนไทย (TACFS 3-2003) ดังนั้นในงานวิจัยจึงวัดและบันทึกเสียงเคาะทุเรียนเพื่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นำมาหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง โดยเคาะทุเรียนที่เก็บมาในข้อ 2.1 ด้วยเครื่องมือเคาะและเก็บสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยของ Terdwongworakul *et al.* (2009) (ภาพที่ 3) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์และไมโครโฟน โดยกำหนด Sampling rate เท่ากับ 8000 จุด/วินาที จำนวนข้อมูล 12096 จุด เมื่อได้ข้อมูลเสียงที่สัมพันธ์กับเวลาแล้วนำไปแปลงด้วย Fast Fourier transform เป็นสัญญาณที่สัมพันธ์กับความถี่ และวิเคราะห์บันทึกค่าความถี่ธรรมชาติซึ่งความถี่ที่ให้ค่าขนาดเสียงสูงสุด พารามิเตอร์ของสมบัติทางเสียงที่นำไปวิเคราะห์ทางสถิติในที่นี้คือ $f^2m^{2/3}$ โดยที่ f คือ ความถี่ธรรมชาติและ m คือ ค่าน้ำหนักของผลทุเรียน



ภาพที่ 7 เครื่องมือเคาะและเก็บสัญญาณ (1) ไม้เคาะ (2) กล่องเก็บเสียง (3) ไมโครโฟน

ที่มา: Terdwongworakul *et al.* (2009)

1.5 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของทุเรียน

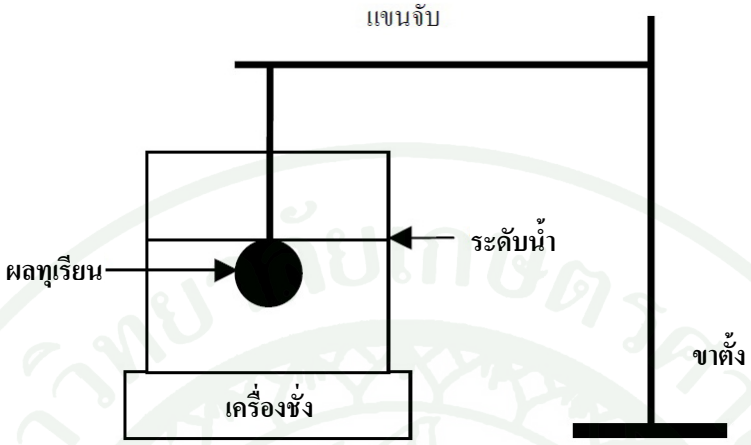
การหาค่าความถ่วงจำเพาะของทุเรียนเป็นวิธีหนึ่งของการหาปริมาตรของผลไม้ สามารถหาจากวิธีแบบเปียก (Platform scale) ด้วยการจุ่มผลไม้ลงในถังที่บรรจุของเหลวได้แก่น้ำ แล้วชั่งน้ำหนักวัตถุในของเหลว น้ำหนักวัตถุที่ชั่งในของเหลวคือ น้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุนั่นคือ แรงพยุงลอยของของเหลว (Mohsenin, 1986)

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุ (S_f) คำนวณได้จาก

$$S_f = \frac{W_f}{W_d} \tag{3}$$

W_f = น้ำหนักของผลไม้ที่ชั่งในอากาศ (กรัม)
W_d = น้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ (กรัม)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 การค่าความถ่วงจำเพาะของผลทุเรียน

ที่มา: บัณฑิต (2545)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งดิจิตอลขนาด Maximum load 150 kg ยี่ห้อ Ohaus รุ่น CD 11 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. ถังนบรรจุน้ำขนาด 10 ลิตร

3. อุปรกรณ์จับผลทุเรียน

4. ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

วิธีการ

1. นำผลทุเรียนขึ้นชั่งบนเครื่องชั่งแล้วจดบันทึก

2. นำถังน้ำที่บรรจุน้ำวางลงบนเครื่องชั่งแล้วตั้งค่าที่เครื่องวัดให้เป็น 0 Kg

3. นำผลทุเรียนลงไปจุ่มในถังน้ำแล้วใช้อุปกรณ์จับผล จับให้ผลทุเรียนจมลงในน้ำระดับขั้วผลรอจนกว่าค่าที่อ่านได้จะนิ่งแล้วจดบันทึก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ทำซ้ำจนครบ 180 ผล

5. นำค่าที่ได้ไปคำนวณด้วยสมการความถ่วงจำเพาะของวัตถุสมการที่ 3

1.6 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของผลทุเรียน

การหาค่าน้ำหนักเนื้อแห้ง โดยผ่าเอาเนื้อส่วนกลางพูสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ถ้วยอบโดยมีน้ำหนักเนื้อ 20 กรัมจำนวนตัวอย่าง 3 พูต่อหนึ่งผล อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมงจนกว่าน้ำหนักแห้งคงที่แล้วนำไปหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (% DW) (Siriphanich *et al.,* 2005) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งเป็นค่าร้อยละของอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อทุเรียนสดต่อน้ำหนักเนื้อทุเรียนแห้งเพื่อหาความสัมพันธ์กับช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 92, 99, 106, 113, 120 และ 127 วัน

อุปกรณ์

1. เครื่องอบลมร้อนยี่ห้อ Binder รุ่น ED/FD ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลยี่ห้อ Citizen รุ่น CY 204 ผลิตจากประเทศอินเดีย

3. ถ้วยอบอลูมิเนียม

4. เนื้อทุเรียนและเปลือกส่วนบน กลาง และล่างของแต่ละพู จำนวน 30 ผล

วิธีการ

1. นำเนื้อทุเรียนมาหั่นให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน 1x1x1 ตารางมิลลิเมตร

2. นำเปลือกทุเรียนมาหั่นให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน 1x1x1 ตารางมิลลิเมตร

3. ใส่ในถ้วยอบโดยทำเครื่องหมายตามลำดับผลละพู แล้วชั่งน้ำหนัก 20 กรัม

4. เข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จนน้ำหนักแห้งคงที่ (มาตรฐาน ASAE 1994)

5. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจากสมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\text{น้ำหนักแห้ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \quad (4)$$

2. การศึกษาคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของทุเรียนและความถี่ธรรมชาติ

การศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดด้วยวิธี Electrical impedance spectroscopy (EIS) ร่วมกับความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียนตามวิธีการ 1.4 เพื่อนำไปประเมินค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งซึ่งเป็นดัชนีวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียนตามวิธีการ 1.6 การทดลองใช้ทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากสวนใน จ. จันทบุรีมาทำการศึกษาในระหว่างเดือน มีนาคม-พฤษภาคม 2553 โดยใช้ต้นทุเรียนที่กำลังติดผลอ่อนจำนวน 10 ต้น ที่มีความบริบรูณ์ใกล้เคียงกัน (พิจารณาความสูงของต้น ขนาดทรงพุ่ม และความหนาแน่นของใบ) อยู่ในแปลงเดียวกัน ต้นทุเรียนที่ปลูกในสวนมีอายุประมาณ 12 ปี มีการปฏิบัติดูแลรักษาตามวิธีของชาวสวนโดยทำเครื่องหมาย (Tag) ระบุวันที่ดอกบานด้วยการทำเครื่องหมายที่บริเวณก้านดอกหรือกิ่งทุเรียนบริเวณที่ดอกบาน เพื่อใช้ในการนับอายุหลังวันดอกบาน (Day after blossom) ทุกต้นๆละ 3 ผล รวม 30 ผล เมื่อผลทุเรียนมีอายุหลังวันดอกบานครบตามกำหนดคือ มีอายุ 117, 124, 131, และ 138 วัน

การวัด EIS เป็นการวัดที่ส่วนก้านผลที่ติดกับต้นและที่ตำแหน่งพื้นที่หน้าตัดที่เป็นรอยต่อของก้านทุเรียน (ปลิง) ของส่วนที่ติดกับต้น เนื่องจากส่วนก้านผลของทุเรียนจะมีส่วนประกอบของน้ำมากกว่าส่วนอื่นในผล เมื่อปาดขั้วผลของทุเรียนที่แก่จัดจะพบว่ามีน้ำใสไม่ข้นเหนียวเหมือนในทุเรียนอ่อน และเมื่อชิมมีรสหวาน (หิรัญ และคณะ, 2546) นำมาทดลองในห้องปฏิบัติการควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75-85 % นอกจากนั้นยังวัด EIS ของเปลือกด้วย

อุปกรณ์

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดคือ LCR Metter ยี่ห้อ HIOKI รุ่น 2532-50 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น ช่วงความถี่ 45 Hz-5 MHz

2.หัว Probe แบบ Pincher probe ยี่ห้อ HIOKI รุ่น 9143 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น

3. ไฮโกรมิเตอร์ยีห้อ DIGICON รุ่น TH-02 ผลิตจากประเทศจีน

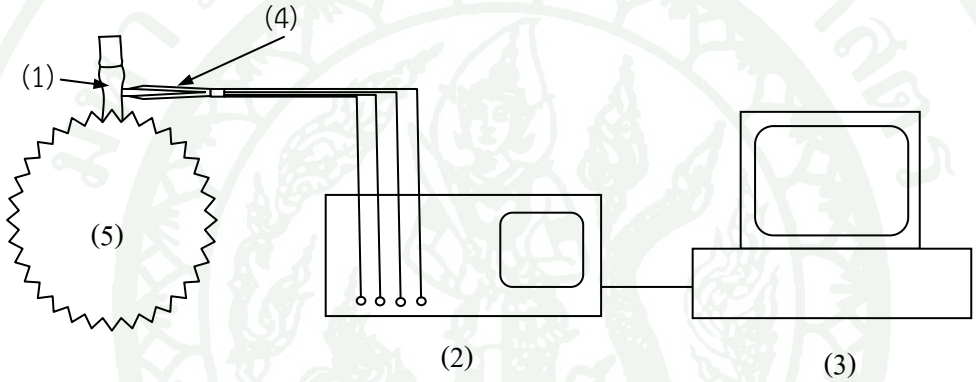
วิธีการ

1. นำทุเรียนที่ตัดก้านส่วนเหนือปลิงออกแล้วมากำหนดจุดในการวัดบนพื้นที่หน้าตัดของก้าน 3 ตำแหน่งห่างกัน 120 องศา บนเส้นรอบวงของวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ม.ม.

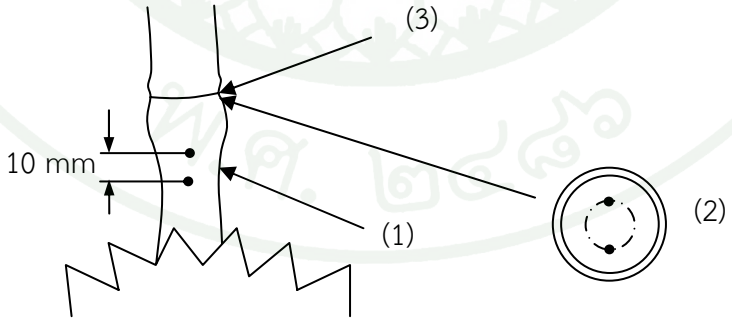
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. วัดด้วยวิธี EIS ที่ส่วนก้านผล (ส่วนล่างที่ติดกับผล) ด้วยเครื่อง LCR กับหัว Probe ที่มีลักษณะปลายทั้งสองข้างมีความแหลมและมีระยะห่างกัน 10 มิลลิเมตร ใช้วัดคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของส่วนก้านทุเรียนด้วยวิธีแทงลงไปตรงก้านระหว่างปลิงกับขั้วที่ติดกับผลตามความยาวของก้านด้วยความลึก 3 ม.ม. (ภาพที่ 10) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางก้านผลส่วนล่าง จำนวนการวัด 3 จุดรอบก้านแต่ละจุดทำมุม 120 องศา ความถี่ที่ใช้ 1000 Hz-201 KHz ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 Volt

3. เก็บบันทึกข้อมูลประกอบด้วยค่า R (Resistance) X (Reactance) C (Capacitance) และ Z (impedance) จำนวน 101 ค่า นำค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 จุดเป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ทางสถิติ



ภาพที่ 9 Schematic diagram ของการวัดด้วยวิธี EIS (1) ตำแหน่งการวัดก้านทุเรียน (2) LCR METTER (3) Computer 4 หัว Probe 5 ผลทุเรียน



ภาพที่ 10 ตำแหน่งของการวัดก้านทุเรียน 1 ตำแหน่งก้าน 2 ภาพตัดขวาง 3 ตำแหน่งปลิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การสร้างสมการทำนายเชิงปริมาณ

การสร้างสมการทำนายเชิงปริมาณจากตัวแปรอิสระหลายตัวซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ คุณสมบัติทางกล ความถี่ธรรมชาติ และทางไฟฟ้า (วิธี EIS) ของผลทุเรียน ที่นิยมมี 2 วิธี คือ Principle Component Regression (PCR) และ Partial Least Square Regression (PLSR) ทั้งสองวิธีนี้ต้องใช้การสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า แฟกเตอร์หรือองค์ประกอบ PCA เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนของตัวแปรอิสระ ในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีจำนวนมากยกตัวอย่าง เช่น การวิเคราะห์ในการใช้เทคนิค NIRS ของการวัดค่าสเปกตรัมที่ 700 ความยาวคลื่น จำนวนค่าสเปกตรัมที่แต่ละความยาวคลื่นดังกล่าวก็คือ จำนวนของตัวแปรอิสระนั่นเอง การลดจำนวนของตัวแปรมีวิธีการคือ แบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่า แฟกเตอร์ หรือ องค์ประกอบแฟกเตอร์ที่สร้างขึ้น อีกนัยหนึ่งก็คือ ผลรวมของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่น้ำหนักแตกต่างกัน แฟกเตอร์จะมีได้หลายแฟกเตอร์โดยแต่ละแฟกเตอร์จะแตกต่างกันที่น้ำหนักของแต่ละค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นแฟกเตอร์นั้นๆ แฟกเตอร์แรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้อธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด แฟกเตอร์ที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือ ซึ่งจะทำให้แฟกเตอร์แต่ละแฟกเตอร์ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน (Non-Collinearity)

PLSR เป็นวิธีการที่คล้ายกับ PCR ต่างกันตรงที่วิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการถดถอยของสมการทำนาย ซึ่งใน PLSR ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกันโดยมีการนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาคิดในกระบวนการหาแฟกเตอร์ด้วย ซึ่ง Kasemsamran (2005) ได้อธิบายถึง PLSR ว่าเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร โดยการสร้างแฟกเตอร์แบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้นและนำแฟกเตอร์ที่ได้ไปใช้ในการสร้างสมการถดถอย โดยแฟกเตอร์ที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธีสถิติ PLSR ต้องสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีในเวลาเดียวกันวัตถุประสงค์ของ PLSR เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัมให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับการทำนายค่าทางเคมีที่สนใจเท่านั้น เพื่อให้สามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

ข้อได้เปรียบของ PLSR คือ

1. ในการหาแฟกเตอร์จะใช้ค่าขององค์ประกอบที่สนใจมาคำนวณด้วย และสามารถใช้ทุกความยาวคลื่นมาหาแฟกเตอร์ในสมการ Calibration

2. การหาสมการ Calibration จะซับซ้อนมากกว่า แต่จะทำให้สมการที่ได้พยากรณ์ได้แม่นยำขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. สามารถใช้ได้กับตัวอย่างที่มีองค์ประกอบที่ซับซ้อนมากๆหลังจากทราบค่าขององค์ประกอบที่สนใจนั้นแล้ว

4. บางครั้งสามารถใช้ทำนายตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนได้

ข้อเสียเปรียบของ PLSR คือ

1. การคำนวณจะช้ากว่าวิธีอื่นๆ

2. Model ที่อธิบายนั้นยากแก่การเข้าใจและยากแก่การตีความหมาย

3. ต้องใช้ตัวอย่างจำนวนมากเพื่อที่จะทำให้สมการ Calibration แม่นยำ

4. การเก็บตัวอย่างให้มีจำนวนมากและการวัดค่าอ้างอิงในขั้นแรกทำได้ยากและเสียเวลาในการรวบรวมข้อมูล

3.2 การสร้างสมการจำแนกกลุ่ม

การวิเคราะห์สร้างสมการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Discriminant Analysis เป็นวิธีการทางสถิติ ที่ใช้วิเคราะห์จำแนกกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ด้วยการวิเคราะห์จากตัวแปรตาม 1 ตัวและตัวแปรอิสระตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้นอกจากจะสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้แล้ว ยังสามารถบอกธรรมชาติบางอย่างของการจำแนกกลุ่มได้ด้วย เช่น บอกได้ว่าตัวแปรใดจำแนกได้ดีมากน้อยกว่ากัน นั่นคือ สามารถบอกประสิทธิภาพ หรือน้ำหนักในการจำแนกของตัวแปรเหล่านั้น การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเป็นการใช้ตัวแปรพยากรณ์หรือตัวแปรอิสระที่ร่วมกันพยากรณ์ตัวแปรตาม

3.3 การทำ Validation เพื่อประเมินสมการทำนายเชิงปริมาณ

เมื่อได้สมการ Calibration แล้วจะต้องนำสมการที่ได้มาทวนสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของ สมการว่าสามารถใช้ประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใด วิธีที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

1. Full Cross Validation

วิธีนี้ตัวอย่างที่นำมาประเมินเป็นตัวอย่างชุดเดียวกับกลุ่ม Calibration มีวิธีการคือ ขั้นแรก_ตัดตัวอย่างที่หนึ่งออกไปจากกลุ่ม Calibration แล้วนำตัวอย่างที่เหลือมาสร้างสมการ Calibrationเมื่อได้สมการ Calibration แล้วนำมาประเมินค่าตัวอย่างที่ 1 ที่ตัดไปก่อนหน้า ขั้นที่สอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัดตัวอย่างที่ 2 ออกไป นำตัวอย่างที่ 1 กลับเข้ามาในกลุ่ม Calibration รวมกับตัวอย่างอื่นๆ ที่เหลือ เพื่อสร้างสมการ Calibration เมื่อได้สมการ Calibration นำมาประเมินค่าของตัวอย่างที่ 2 ทำซ้ำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งประเมินค่าของตัวอย่างครบทุกตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างแต่ละตัวจะถูกตัดออก 1 ครั้งเท่ากัน การทดสอบในลักษณะนี้เป็นการทดสอบภายใน (Internal Validation) ซึ่งวัดผลโดยการดูค่า RMSECV (Root Mean Square Error of Cross Validation) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่าง ค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้สมการ Calibration กับค่าที่วิเคราะห์ได้ (Measured Value or True Value) ถ้ามีค่าแตกต่างน้อยแสดงว่าสมการ Calibration ใช้ทำการประเมินนั้นมีประสิทธิภาพให้ ค่าที่สามารถยอมรับได้ ค่า RMSECV คำนวณได้จาก (ศุมาพร, 2545)

$$RMSEC = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^{n} Y_{cv,i} - Y_i)}{n-1}} \quad (5)$$

การใช้วิธี Full Cross Validation มักใช้กับวิธีการวิเคราะห์โดยวิธี PLSR ไม่นิยมใช้กับวิธีการวิเคราะห์โดยวิธี MLR การใช้วิธีนี้ใช้ในกรณีที่มีตัวอย่างจำนวนน้อยๆ แต่ถ้าในกรณีที่มีตัวอย่างจำนวนมากๆ วิธีนี้จะไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้การทดสอบเพราะผลที่ได้อาจจะไม่ถูกต้อง

2. Prediction testing (การทดสอบผลการประเมิน)

เป็นการทดสอบโดยนำกลุ่มตัวอย่างชุดใหม่ (Testing set) มาประเมินค่าจากสมการ Calibration ที่ได้ โดยตัวอย่างชุดใหม่ที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง การวัดสเปกตรัม สภาวะในการทดลอง รวมไปถึงการแปลงข้อมูลสเปกตรัมต้องเหมือนกับกลุ่ม Calibration ข้อควรระวังก็คือ ตัวอย่างในกลุ่มใหม่จะต้องมีค่าที่ต้องการประเมินอยู่ในช่วงของกลุ่ม Calibration การทดสอบลักษณะนี้เรียกว่า การทดสอบแบบภายนอก (External Validation) ซึ่งมีวิธีการคือ นำค่าสถิติเหล่านี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการ Calibration ถ้าค่าเหล่านี้มี ค่าน้อยๆ แสดงว่าค่าที่ประเมินได้จากสมการ Calibration ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จาก Reference methods สามารถนำไปใช้ประเมินค่าได้ โดยที่ตัวแปรอิสระ (X) ตัวแปรตาม (Y) และจำนวนตัวอย่าง (n)

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (X-Y)^2 - \frac{\left(\sum (X-Y)\right)^2}{n}}{n-1}} \quad (6)$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum (X-Y)^2}{n}} \quad (7)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Bias = \frac{\sum(X - Y)}{n} \quad (8)$$

นอกจากนี้ยังมีการวัดระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) โดยวัดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ Correlation coefficient (R, r) โดยมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้ามีค่า R สูงหมายถึง ถ้าตัวแปรอิสระ (X) เปลี่ยนแปลงจะมีอิทธิพลมากกับตัวแปรตาม ถ้าค่า R = 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน ค่า R คำนวณได้จาก

$$R = \frac{\sum XY - n\overline{XY}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - n\overline{X}^2\right)\left(\sum Y^2 - n\overline{Y}^2\right)}} \quad (9)$$

ดังนั้นข้อมูลที่ได้มาสร้างโมเดลประเมินความแก่ทุเรียนหรือน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLSR) ด้วยโปรแกรม Unscrambler version 9.8 (Camo, Oslo, Norway) จึงใช้เป็นวิธีการทางสถิติแบบตัวแปรชิงพหุเป็นการสร้างแฟคเตอร์ โดยใช้ข้อมูลสมบัติทางไฟฟ้า (วิธี EIS) ความถ่วงจำเพาะและสมบัติเชิงเสียง เป็นตัวแปรอิสระในโมเดล โดยแฟคเตอร์ที่สร้างขึ้นจะเป็นอิสระต่อกันแต่มีข้อมูลของตัวแปรอิสระเดิมเพื่อทำนายตัวแปรตามซึ่งเป็นตัวแปรอ้างอิงความแก่ในที่นี้คือ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง

ในการสร้างสมการแบ่งตัวอย่างออกเป็น Calibration set และ Prediction set อย่างละเท่าๆ กันโดยกำหนดให้ทั้งสองเซ็ตมีการกระจายตัวของค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งในรูปแบบเดียวกัน นำข้อมูลใน calibration set มาสร้างโมเดลเพื่อหาจำนวนเฟคเตอร์ที่เหมาะสมด้วยเทคนิค full cross validation และนำโมเดลมาทดสอบความแม่นยำด้วยการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อหาของข้อมูลใน prediction

ประสิทธิภาพการทำนายของโมเดลจะถูกตรวจสอบด้วยการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าจากการทำนาย การประเมินผลทางสถิติจะกำหนดด้วย Rp (Correlation coefficient of prediction) ค่า SEP (standard error of prediction) และค่า Bias โมเดลที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากค่า Rp ที่สูงที่สุด ค่า SEP และค่า Bias ที่ต่ำที่สุด

3.4 การประเมินสมการจำแนกกลุ่ม

เป็นการศึกษาการจำแนกความอ่อน-แก่ของทุเรียน โดยคำนึงถึงความแปรปรวนของช่วงความเจริญเติบโตของผลทุเรียน เพื่อใช้สร้างสมการจำแนกกลุ่มความอ่อน-แก่ โดยสร้างสมการจำแนกที่มีตัวแปรต้น คือ ค่าการวัดความต้านทานไฟฟ้าและค่าความถ่วงจำเพาะของทุเรียน ส่วนสมการจำแนกใช้ตัวแปรที่ทำลายคือ ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง % DW โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 ส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้แก่กลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนาย (Calibration set) และ กลุ่มทดสอบสมการทำนาย (Validation set) โดยใช้วิธี Discriminant Analysis (DA) ด้วยโปรแกรม SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago. IL) ในการวิเคราะห์จะเรียงลำดับ % DW ของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มช่วงความเจริญเติบโตของผลทุเรียนจากน้อยไปมาก และแบ่งตัวอย่างสลับกันออกเป็นกลุ่ม Calibration set และ กลุ่ม Validation set ทั้งนี้เพื่อให้ตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีการกระจายตัวของค่า % DW ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำข้อมูลกลุ่ม Calibration set มาวิเคราะห์สร้างโมเดลทำนายแล้วนำโมเดลที่ได้มาทำนายจำแนกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลกลุ่ม Validation set เพื่อทดสอบความแม่นยำของโมเดลในการทำนายการจำแนกกลุ่ม ด้วยการนับจำนวนตัวอย่างที่ถูกทำนายผิดกลุ่มเทียบกับจำนวนทั้งหมดคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่ม

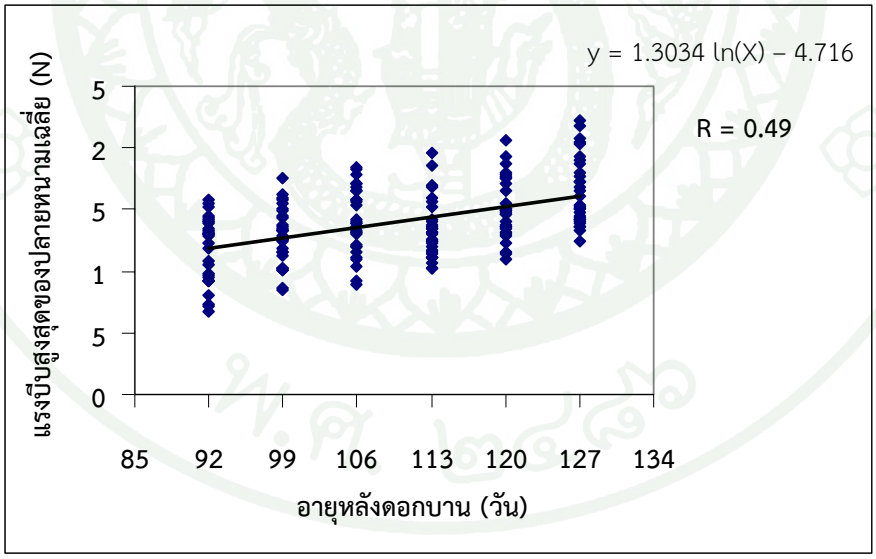
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ

1.1 ค่าคุณสมบัติทางกลจากการบีบหนาม

ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของความแข็งระหว่างปลายหนาม ระยะแรงบีบสูงสุดของปลายหนาม ค่าความชันของกราฟ และค่าพื้นที่ใต้กราฟ กับช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 92, 99, 106, 113, 120 และ 127 วัน เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของการวัดที่ได้จากพูเอกมีความสัมพันธ์สูงที่สุด และแต่ละจุด (ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของผล) พบว่าตำแหน่งของการวัดค่าว่าแข็งของปลายหนามส่วน กลางผลให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดเช่นกัน ยกเว้นค่าความชันของกราฟ เมื่อผลทุเรียนมีอายุเพิ่มขึ้นหนามของทุเรียนจะมีแรงบีบของปลายหนามเพิ่มขึ้น โดยมีค่า R (ได้จากเส้นแนวโน้มเชิงเส้นที่ดีที่สุด) เท่ากับ 0.49 (ภาพที่ 11) เมื่อนำมาหาค่าพื้นที่ใต้กราฟพบว่าเพิ่มขึ้นตามช่วงการเจริญเติบโตเช่นเดียวกัน มีค่า R เท่ากับ 0.48 (ภาพที่ 13) ส่วนค่าความความสัมพันธ์ระหว่างความชันของกราฟกับช่วงการเจริญ เติบโตของผลทุเรียนนั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน (ภาพที่ 12)

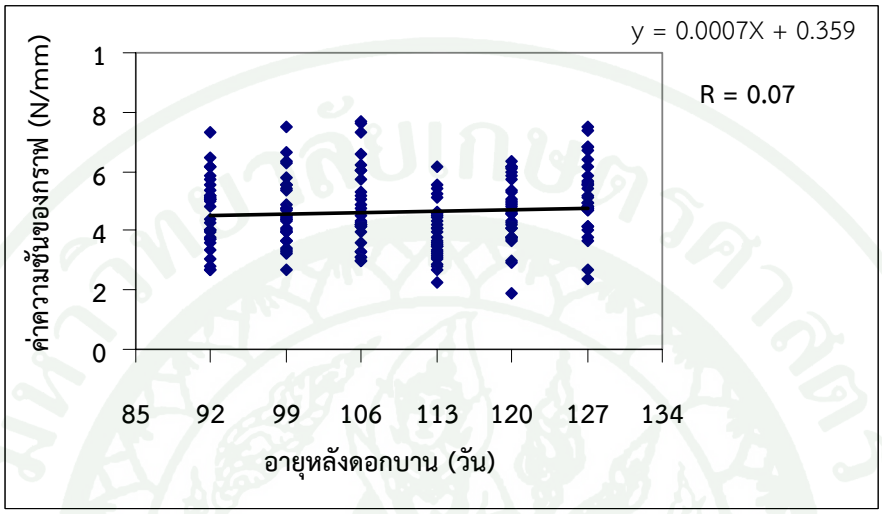


ภาพที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับระยะแรงบีบสูงสุดของปลายหนามตำแหน่งกลางผล

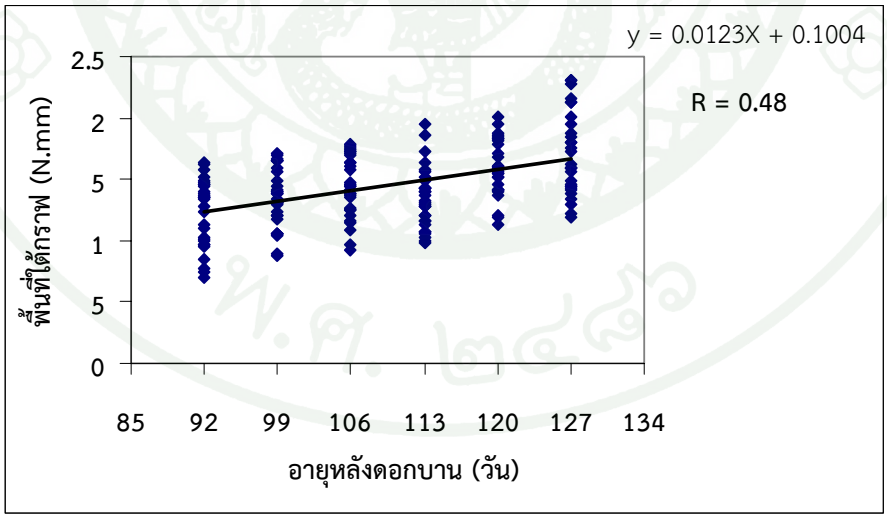
ค่าความสัมพันธ์ของแรงบีบระหว่างปลายหนามอาจจะสันนิษฐานได้จาก การศึกษาของอรอนงค์ (2548) การพัฒนาจำนวนชั้นเซลล์ของเปลือกทุเรียนหมอนทองที่มีจำนวนชั้นเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งผลอายุ 70 วัน จำนวนชั้นเซลล์ของเปลือกจึงเริ่มคงที่ เมื่อผลทุเรียนมีความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บริบูรณ์ และพบว่าจำนวนชั้นเซลล์ของแกนและเปลือกที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของขนาดผล แต่จำนวนชั้นเซลล์ของแกนและเปลือกเริ่มคงที่ก่อนที่ขนาดของผลจะเริ่มคงที่ประมาณ 2 สัปดาห์



ภาพที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าความชันของกราฟตำแหน่งกลางผล



ภาพที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าพื้นที่ใต้กราฟตำแหน่งกลางผล

ดังนั้นค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชันของกราฟกับช่วงการเจริญเติบโตของผลทุเรียน ที่ช่วงอายุ 92-106 วัน ความชันของกราฟไม่มีความแตกต่างกัน จนกระทั่ง 113 วัน ความชันของกราฟลดลงอาจจะเนื่องมาจากการผลิตเอทิลีนภายในผลซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวของ Pectin บริเวณ

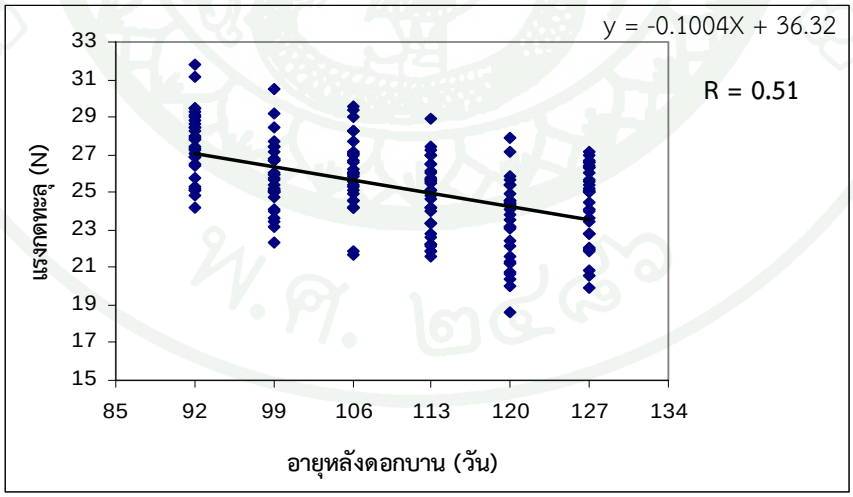
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

middle lamella ส่งผลให้เปลือกนิ่มลง แต่ปลายหนามจะเริ่มแข็งขึ้นเนื่องจากบริเวณส่วนเปลือกด้านนอกมี lenticel ซึ่งเป็นช่องเปิดอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ส่วนเปลือกด้านนอกสูญเสียน้ำมากกว่าด้านในที่ช่วงอายุ 120-127 วัน ความชันของกราฟจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

1.2 ผลการศึกษาแรงกดทะลุเปลือก

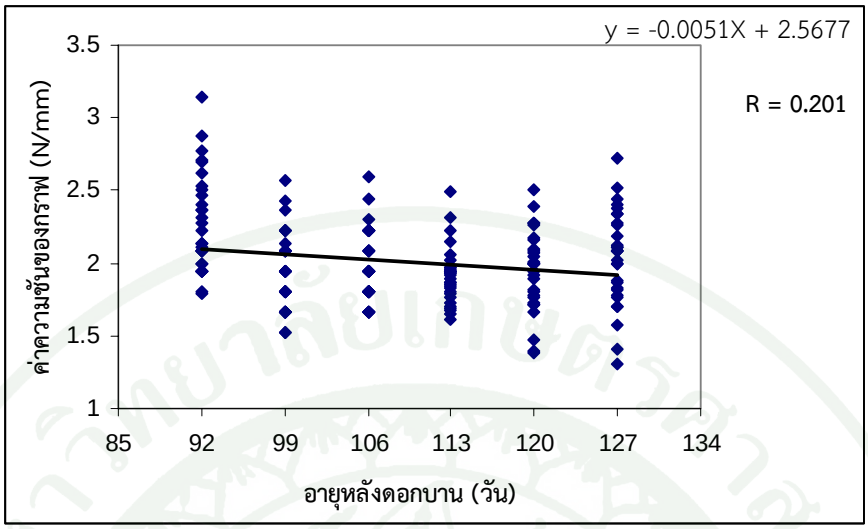
ผลการศึกษาคุณสมบัติของแรงกดทะลุเปลือกทุเรียน (Exocarp rupture force) ตำแหน่งแต่ละจุด ส่วนบน (A) ส่วนกลาง (B) และส่วนล่าง (C) ของแต่ละพูที่เรียงจากขั้วผลที่ความชันที่ 50 % ของแรงกดทะลุเปลือกของกราฟแรง-การเปลี่ยนรูปของเปลือกทุเรียน ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโต เพื่อนำค่าที่ได้ไปประเมินกับช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 92, 99, 106, 113, 120 และ 127 วัน

เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของการวัดที่ได้จากพูเอกมีค่าความสัมพันธ์สูงที่สุด และแต่ละจุด (ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของผล) พบว่าตำแหน่งของการวัดที่ได้ส่วนกลางผลให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดเช่นกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับแรงกดทะลุสูงสุดเฉลี่ยตำแหน่งกลางผลทุเรียนมีค่า R (ได้จากเส้นแนวโน้มที่ดีที่สุด) เท่ากับ 0.51 (ภาพที่ 14) ที่ความชันของกราฟเฉลี่ยตำแหน่งกลางผลทุเรียนมีค่า R เท่ากับ 0.201 (ภาพที่ 15) และพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยตำแหน่งกลางผลทุเรียนมีค่า R เท่ากับ 0.20 (ภาพที่ 16)

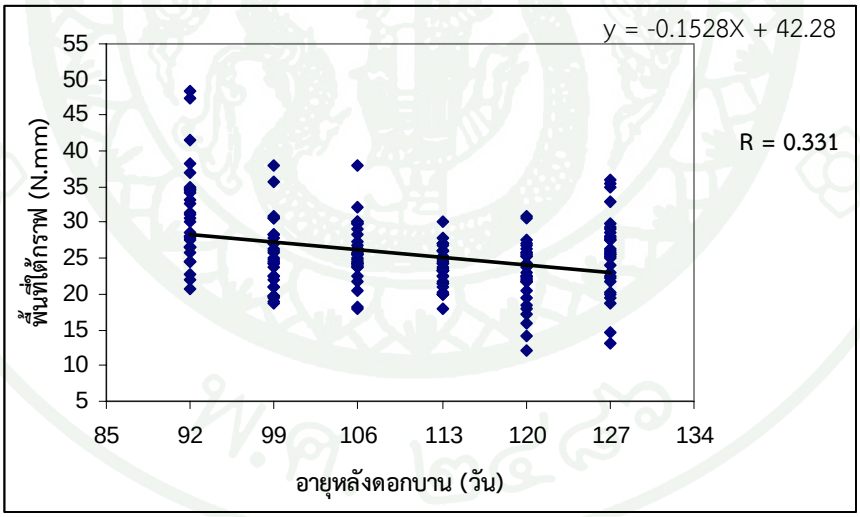


ภาพที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับแรงกดทะลุสูงสุดเฉลี่ยตำแหน่งกลางผลทุเรียน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับแรงกดทะลุสูงสุดเฉลี่ยตำแหน่งกลางผลทุเรียน



ภาพที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของแรงกดทะลุเปลือกตำแหน่งกลางผล

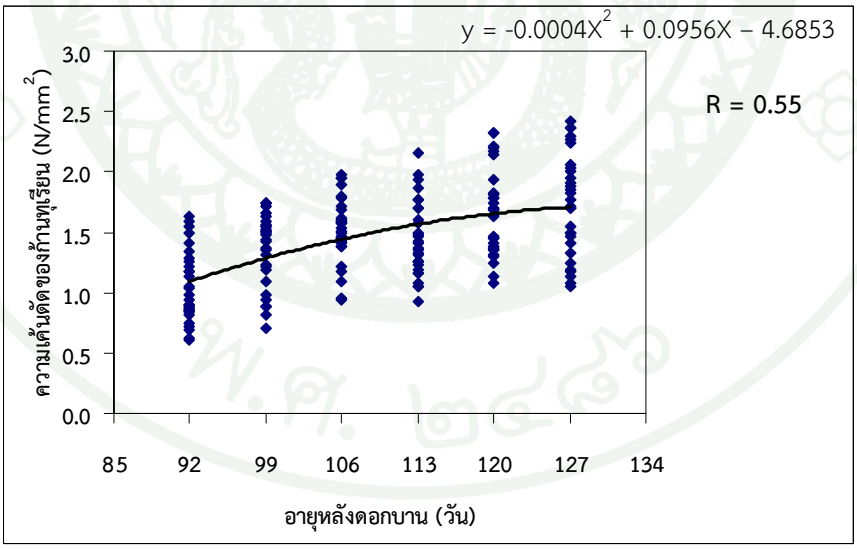
จากการศึกษาของ อรอนงค์ (2548) นั้นได้ชี้ให้เห็นว่าคุณสมบัติของแรงกดทะลุสูงสุดของเปลือกทุเรียนมีความสัมพันธ์กับแต่ละช่วงการเจริญเติบโต เนื่องจากเซลล์ในแนวสาแหรกที่ประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมาเป็นเซลล์ที่อยู่บริเวณสาแหรกด้านในและเรียงตัวกันเป็นแถวจะเริ่มแตกตัวเมื่อสีผิวผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง จะเกิดการแตกบริเวณสาแหรกด้านในและมีการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ย่อยสลายของผนังเซลล์บริเวณสาแหรก จึงพบได้ว่าแรงกดทะลุสูงสุดของเปลือกจะลดลงเมื่อผลทุเรียนมีอายุของผลแก่เพิ่มขึ้น

1.3 ผลการศึกษาความเค้นดัดของก้านทุเรียน

ผลของการหาความเค้นดัดของก้านทุเรียน (Bending stress property) ของก้านทุเรียนในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต โดยนำค่าความเค้นดัดสูงสุดของระยะการยุบตัวที่เท่ากันของก้านทุเรียนไปคำนวณหาความเค้นดัดสูงสุด (σ_{max}) เพื่อนำหาความสัมพันธ์กับช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 92, 99, 109, 113, 120 และ 127 วัน พบว่าความเค้นดัดของก้านทุเรียนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผลทุเรียนมีช่วงการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น มีค่า R (ได้จากเส้นแนวโน้มโพลิโนเมียลที่ดีที่สุด) เท่ากับ 0.55 (ภาพที่ 17) และจะมีแนวโน้มคงที่เมื่อทุเรียนอายุ 120 วัน ซึ่งคล้ายกันกับการศึกษาของ รัชฎา (2533) ลักษณะทางกายวิภาคของก้านทุเรียนส่วนเปลือกของก้านทุเรียนแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ Cortex และ Phloem และได้เสนอว่าความแข็งแรงของก้านทุเรียนที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุหลังวันดอกบานของผลทุเรียนเนื่องมาจากจำนวน Phloem Fiber ในส่วนที่เป็น Phloem ของก้านทุเรียนที่มีจำนวนมากขึ้นตามอายุ ซึ่งปกติแล้ว Fiber จะทำ ให้ส่วนของต้นไม้มีความแข็งแรงสามารถทนต่อแรงดึง แรงกด และการโค้งงอได้



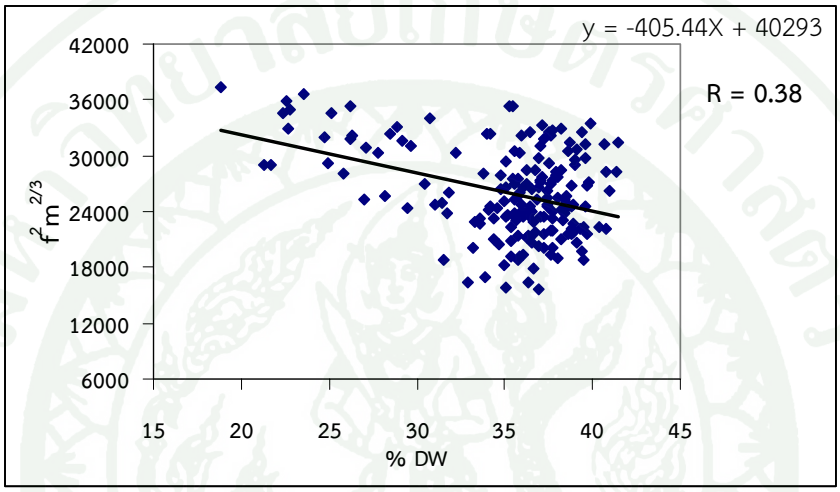
ภาพที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับความเค้นดัดของก้านทุเรียน

1.4 ผลการศึกษาความถี่ธรรมชาติในผลทุเรียน

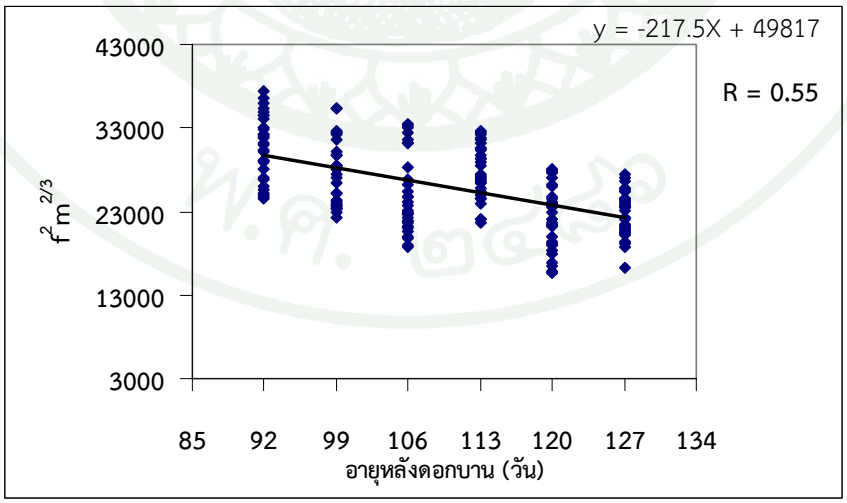
ผลจากการหาคุณสมบัติของเสียงที่ได้จากการเคาะผลทุเรียนเพื่อหาความสัมพันธ์กับความอ่อน-แก่ทุเรียนกับน้ำหนักเนื้อแห้ง ด้วยเครื่องมือเคาะและเก็บสัญญาณ โดยกำหนด Sampling

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

rate เท่ากับ 8000 จุด/วินาที จำนวนข้อมูล 12096 จุด โดยนำข้อมูลเสียงที่สัมพันธ์กับเวลาที่ได้ไปแปลงด้วย Fast Fourier transform เป็นสัญญาณที่สัมพันธ์กับความถี่ พบว่าขนาดเสียงสูงสุดที่เป็นพารามิเตอร์ของสมบัติทางเสียงที่ได้จากสมการ $f^2m^{2/3}$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของผลและช่วงการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น มีค่า R (ได้จากเส้นแนวโน้มเชิงเส้นที่ดีที่สุด) เท่ากับ 0.38 และ 0.55 ตามลำดับ (ภาพที่ 18, 19)



ภาพที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % DW กับค่าดัชนีความถี่ ($f^2m^{2/3}$)



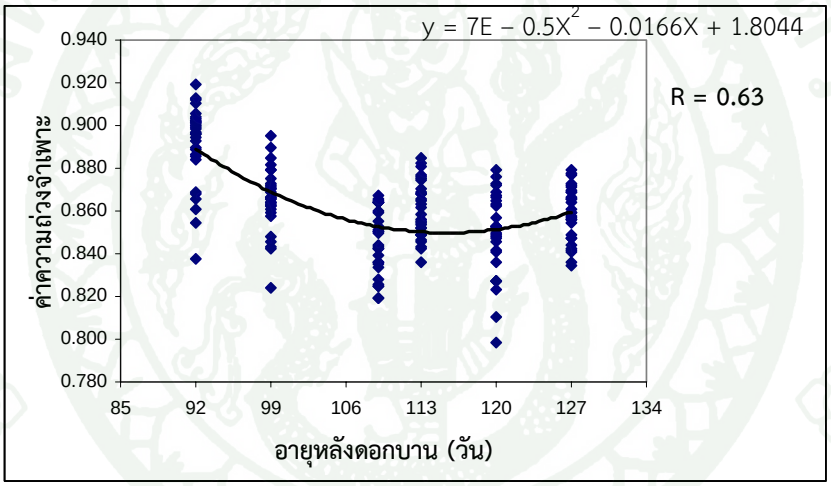
ภาพที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าดัชนีความถี่ ($f^2m^{2/3}$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของผลและช่วงการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นนั้น จะเห็นว่าผลทุเรียนที่มีอายุน้อยจะมีความถี่ธรรมชาติสูงกว่าผลทุเรียนที่มีอายุมาก นั่นคือการตอบสนองของความถี่ธรรมชาติ ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองของ อนุพันธ์ และคณะ (2540)

1.5 ผลการหาค่าความถ่วงจำเพาะของทุเรียน

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของผลทุเรียนจากวิธีแบบเปียก (Wet Method) พบว่าเมื่ออายุของผลทุเรียนมีอายุเพิ่มขึ้นค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลงจนถึงอายุ 113 วันและหลังจากนั้นค่าความถ่วงจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่า R (ได้จากเส้นแนวโน้มโพลิโนเมียลที่ดีที่สุด) เท่ากับ 0.63 (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าความถ่วงจำเพาะ

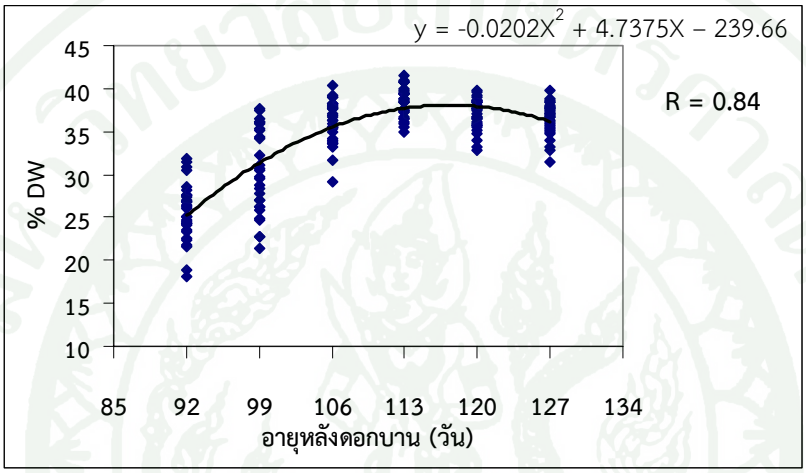
ผลจากการลดลงของค่าความถ่วงจำเพาะเมื่ออายุของผลทุเรียนมีอายุเพิ่มขึ้นนั้น สอดคล้องกับการศึกษาของ เทียมใจ (2529) คือ การเจริญของผลทุเรียนมีการอุดตันของท่อน้ำท่ออาหาร ทำให้น้ำเคลื่อนย้ายจากต้นไปสู่ผลยากขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำในผลจะมีการสูญเสียออกไปอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ทุเรียนที่มีอายุมากขึ้นมีน้ำหนักเบากว่าทุเรียนอายุน้อยในปริมาตรที่เท่ากันหรือขนาดผลเท่ากัน

1.6 ผลการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของผลทุเรียน

จากการหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งเป็นค่าร้อยละของอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อทุเรียนสดต่อน้ำหนักเนื้อทุเรียนแห้งเพื่อหาความสัมพันธ์กับช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 92, 99, 106, 113, 120 และ 127 วัน พบว่า เมื่อทุเรียนมีช่วงการเจริญเติบโตของผลเพิ่มขึ้นค่าเปอร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งจะเพิ่มขึ้นด้วยจนกระทั่งทุเรียนมีอายุ 113 วัน ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งจะมีแนวโน้มลดลงโดยมีค่า R (ได้จากเส้นแนวโน้มโพลิโนเมียลที่ดีที่สุด) เท่ากับ 0.84 (ภาพที่ 21) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พีรพงษ์ (2541) ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่เร็วมากเมื่อเข้าสู่ระยะที่ 3 ของการเจริญเติบโต จนกระทั่งผลอายุ 113 วัน การพัฒนาของส่วนเนื้อที่ดูจากค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งจะเริ่มชลอตัว



ภาพที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่า % DW

1.7 ผลการวิเคราะห์ PLSR ของคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียนเพื่อทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งของผลทุเรียนได้สร้างตัวแปรเพิ่มแล้ว จึงใช้การเลือกตัวแปรที่เหมาะสมด้วยวิธี Stepwise โดยกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้

1. A ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง
2. B ค่าความถ่วงจำเพาะ
3. C ค่าความถี่ธรรมชาติ
4. D ค่าความเค้นดัดของก้านทุเรียน
5. E ค่าความแข็งระหว่างปลายหนามสูงสุดตำแหน่งกลางผล
6. F ค่าความแข็งระหว่างปลายหนามของพื้นที่ใต้กราฟตำแหน่งกลางผล
7. G ค่าแรงกดทะลุสูงสุดเฉลี่ยตำแหน่งกลางผล
8. H ค่าความชันกราฟเฉลี่ยของแรงกดทะลุเปลือกตำแหน่งกลางผล
9. I พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของแรงกดทะลุเปลือกตำแหน่งกลางผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับการเพิ่มจำนวนตัวแปรนั้นได้ใช้วิธีของ Yadav *et al*. (2008) ประกอบด้วย ผลคูณ ยกกำลังสอง และส่วนกลับ โดยใช้กับทุกตัวแปรซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถทำให้ได้ตัวแปรใหม่เพิ่มขึ้นที่มีความสัมพันธ์ช่วงการเจริญเติบโตของผลทุเรียน

ตารางที่ 1 Model การทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งของผลทุเรียนโดยวิธี Stepwise จากตัวแปรคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.838	0.703	0.690	2.173

* Predictors: (Constant) BCGH, CGH, BCDEI, 1/B, B^2, 1/E, BCEGH

ผลที่ได้จากการใช้วิธี Stepwise (ตารางที่ 1) ค่าที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ BCGH, CGH, BCDEI, 1/B, B^2, 1/E และ BCEGH พบว่ามีผลที่ดีโดยมีค่า Correlation coefficient (R) เท่ากับ 0.838 ต่อจากนั้น สร้างสมการทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งด้วย PLSR เพื่อลดปัญหาเรื่อง Collinearity สำหรับตัวแปรในแต่ละ Model ประกอบด้วย

Model 1 ประกอบด้วย BCDEFGHI (ไม่ตัดตัวแปรออก)
Model 2 ประกอบด้วย BDEFGHI (ตัดความถี่ธรรมชาติออก)
Model 3 ประกอบด้วย BCEFGHI (ตัดความเค้นดัดก้านทุเรียนออก)
Model 4 ประกอบด้วย CDEFGHI (ตัดค่าความถ่วงจำเพาะออก)

ตารางที่ 2 PLSR Model ของการทำนายเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของผลทุเรียนจากตัวแปรคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ

Model	จำนวนตัวแปรแฝง (PC)	Validation (n= 90) R_P	RMSEP (%)	Bias
1	1	0.65	3.97	-0.39
2	1	0.62	4.07	-0.44
3	1	0.61	4.12	-0.46
4	1	0.60	4.14	-0.40

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR พบว่ากลุ่มตัวแปรมีความสัมพันธ์กับความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนด้วยการประเมินจากค่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง Model 1 มีค่า R_p สูงสุดคือ 0.65 โดย

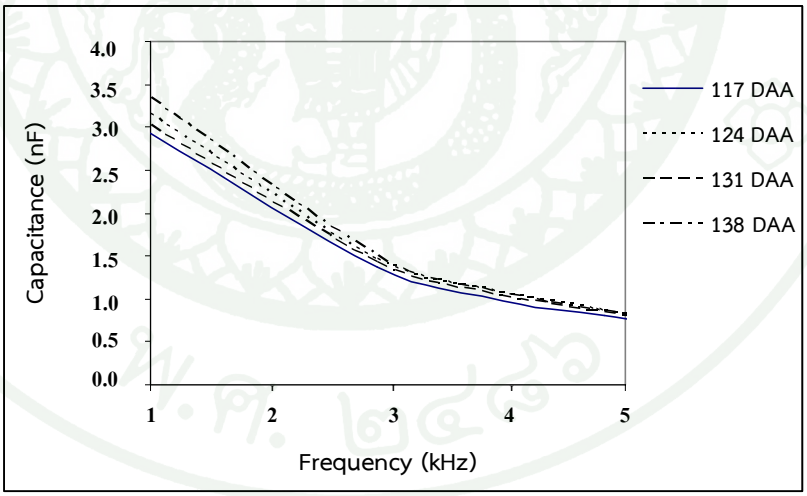
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีค่า RMSEP เท่ากับ 3.97 % และค่า Bias เท่ากับ -0.39 ส่วน Model 2-4 ให้ค่า R_p ลดลงตามลำดับ แต่ทุก Model ยังต้องการตัวแปรแฝง (PC) แค่ 1 ตัว (ตารางที่ 2)

2. การศึกษาคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของทุเรียนและความถี่ธรรมชาติ

2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า Capacitance

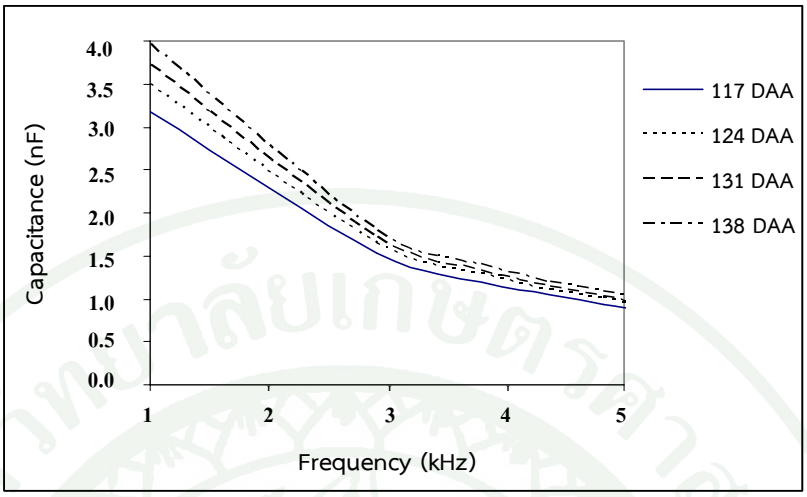
การวัดค่า Capacitance (C) จะถูกอธิบายในลักษณะการลดลงในช่วงค่าความถี่ 5 kHz และหลังจากนั้นอัตราการลดลงจะมีค่าที่ต่ำและเริ่มถึงระดับคงที่ในความถี่ที่สูงขึ้น รูปแบบการลดลงของค่า C สอดคล้องกับการศึกษาของ Rehman *et al.* (2011) ซึ่งศึกษาการวัดค่าทางไฟฟ้ากับผลมะม่วงเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของค่า C ดังนั้นจึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่า C มีการเปลี่ยนแปลงที่ความถี่ตั้งแต่ 1-5 kHz แสดงได้จาก (ภาพที่ 22-24) การเพิ่มขึ้นของค่า C เป็นการบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ที่เป็นไปตามช่วงการเจริญเติบโตของผลทุเรียน ในกรณีที่วัดจากก้านติดกับผล sclereid มีสภาพใกล้เคียงกับไม้และมีผนังเซลล์ที่หนาจึงทำให้ ผลทุเรียนที่แก่จะส่งผลค่า C เพิ่มขึ้นตามจำนวนของ sclereid (รัชฎา, 2531) ค่า C ของก้านติดกับผลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทุเรียนอยู่ในช่วงอายุ 117-124 DAA และจะลดลงเมื่อช่วงอายุ 138 DAA (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่วัดได้จากส่วนก้าน

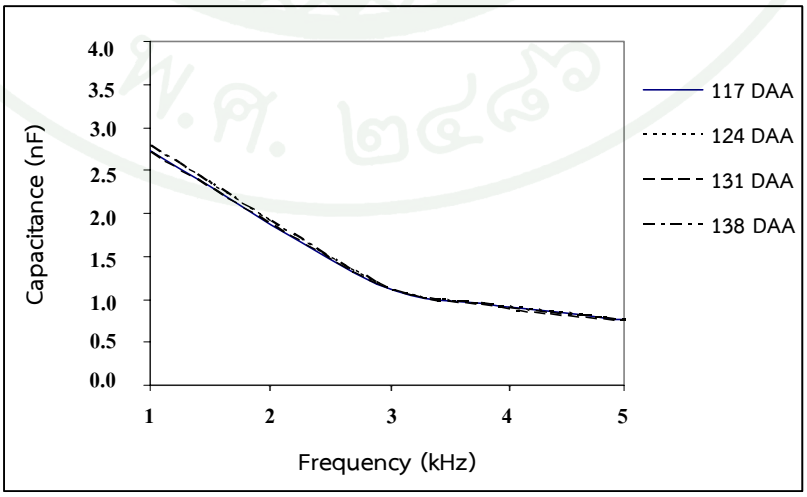
การเพิ่มขึ้นอาจจะเกิดจากช่วงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของผลทุเรียน (% DW) ในช่วงอายุ 124 DAA มีความคาบเกี่ยวกับช่วง 131 DAA จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่า C ที่วัดได้จากการติดกับผลมีค่าลดลงตามอายุของผลทุเรียน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับส่วนที่วัดได้จากปลิง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าค่า C ของช่วงอายุ 124-131 DAA มีค่าที่คล้ายกันและไม่มีแนวโน้มทางสถิติค่า C ของส่วนที่วัดได้จากปลิงมีลักษณะที่เพิ่มขึ้นกับช่วงอายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียน (ภาพที่ 23)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่วัดได้จากส่วนปลิง

การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย C ที่วัดได้จากส่วนปลิงมีค่าที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับส่วนก้านติดกับผล (ภาพที่ 22) และเปลือก (ภาพที่ 24) ดังนั้นสามารถอธิบายได้ว่าในส่วนปลิงเป็นการวัดตามเส้นรอบวงที่มีความแตกต่างกับรูปแบบของเซลล์ที่มีลักษณะแตกต่างกันเนื่องจากเป็นการวางตามแนวเส้นรอบวง (รัชฎา และคณะ, 1987) รูปแบบที่แตกต่างกันของเซลล์เป็นการจำกัดของเส้นทาง electrolytes ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่า C มีค่าสูง สำหรับการวัดค่าในส่วนเปลือก C ไม่มีความแตกต่างกันตามช่วงอายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียนแสดงได้จาก (ภาพที่ 24) ซึ่งสามารถอธิบายจากการ ศึกษาขนาดของเซลล์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียนเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2548) ดังนั้นค่า C เฉลี่ยจึงมีความแตกต่างกันมากที่ความถี่ 1 kHz



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่วัดได้จากส่วนเปลือก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

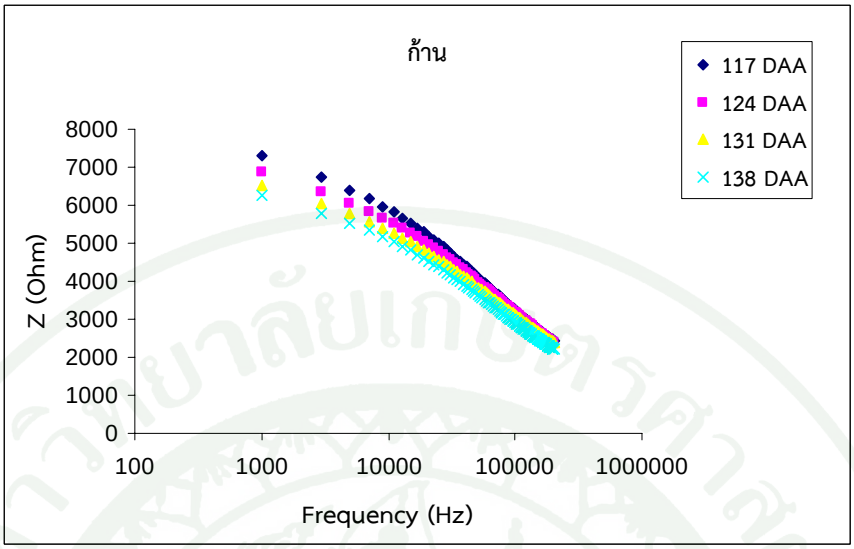
2.2 การเปลี่ยนแปลงค่า Impedance

จากกราฟค่า Impedance (Z) กับค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่โดยใช้ logarithm สำหรับกระบวนการทางชีวภาพของเซลล์พืช (Cell membrane) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากวงจรทางไฟฟ้าที่ประกอบด้วยการต่อขนานกันระหว่าง Capacitor กับ Resistor คุณลักษณะของ cell membrane เปรียบเสมือนกับ capacitor ส่วนสารละลาย intercellular และ extracellular จะถูกเพิ่มเข้าไปในวงจรเปรียบเสมือนกับ resistor ในวงจรอนุกรม (Bach *et al.,* 1999) โดยทั่วไปค่า Z จะลดลงเมื่อค่าความถี่เพิ่มขึ้นเพราะคุณสมบัติความจุของ cell membrane ดังนั้นค่า Z ของการวัดที่ก้านและเปลือกจึงมีค่าลดลงซึ่งแสดงได้จาก (ภาพที่ 25) ซึ่งคล้ายกันกับการลดลงของค่า Z ที่ได้จากการศึกษาใน kiwi fruits (Sugiyama *et al.,* 1987)

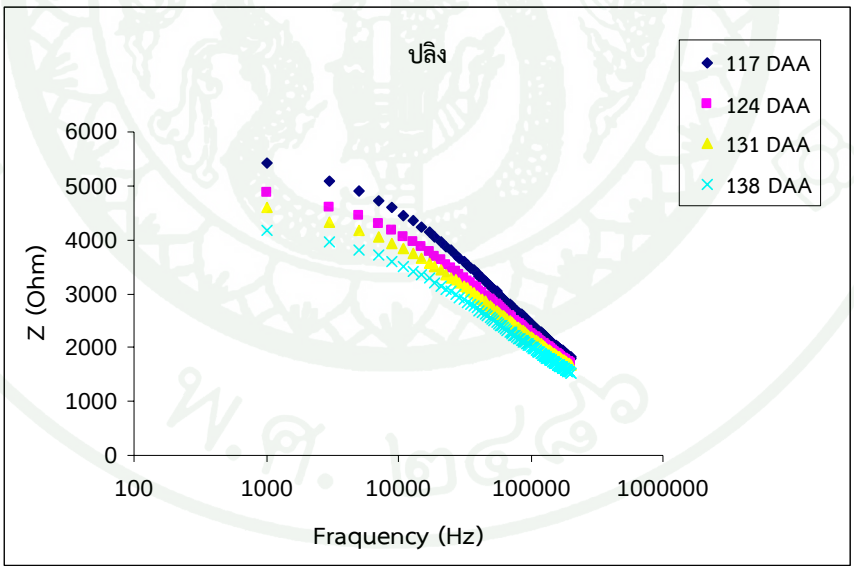
สำหรับการวัดที่ก้านค่า Z ที่มีค่าต่ำสุดคือผลทุเรียนที่อยู่ในช่วงอายุน้อยสุด และค่า Z จะเพิ่มขึ้นเมื่อผลทุเรียนอายุเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาทางกายวิภาคของก้านทุเรียนที่อายุเก็บเกี่ยวต่างๆ กันโดย รัชฎา และคณะ, (1987) พบว่าทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่แก่จะมี sclereid ในบริเวณ cortex ที่เป็นสาเหตุทำให้ก้านทุเรียนแข็งขึ้นหรือมีการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เกิดขึ้นในส่วนของ phloem จึงทำให้ความสารถในการซึมผ่านของน้ำลดลง มันจึงกล่าวได้ว่าเมื่อผลทุเรียนที่แก่ sclereid จะปลดปล่อย electrolytes ในสารละลาย extracellular เพิ่มขึ้น และทำให้ค่า Z ที่ได้จากการวัดที่ก้านลดลง จากการวัดในส่วนของก้านที่ติดกับผลพบว่ามีค่า Z สูงกว่าส่วนของปลิงและเปลือก ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดที่ปลิงมีค่า Z ต่ำสุดอาจจะมาจากไฟเบอร์ใน xylem ที่วางตัวในแนวเส้นรอบวง (รัชฎา และคณะ, 1987) ดังนั้นรูปแบบขององค์ประกอบไฟเบอร์จึงเหมาะสำหรับการผ่านของ extracellular ที่ค่า Impedance ต่ำต่อที่สามารถประยุกต์ใช้ทางไฟฟ้า ในการทางกลับกันขั้วทุเรียนที่ติดกับผล และส่วนของเปลือกให้ค่า Z ที่ไม่ค่อยจะแตกต่างกันโดยเฉพาะในส่วนเปลือก อย่างไรก็ตามค่า Z ของ 117 DAA และ 122 DAA มีค่าใกล้เคียงกัน และค่าที่ต่ำสุดคือ 131 DAA และ 122 DAA นี้แสดงได้ว่าค่า Z เฉลี่ยที่วัดได้จากเปลือกมีแนงโน้มที่สูง

จากการศึกษาของ อรอนงค์ และคณะ, (2005) พบว่าเมื่อทุเรียนอยู่ระหว่างช่วงการเจริญเติบโตขนาดของเซลล์ในเปลือกจะยังคงที่ อย่างไรก็ตาม Tannin ในเซลล์จะลดลงอย่างต่อเนื่องนั่นเป็นสาเหตุที่ทำให้ tannin ในของแหลว extracellular มีความเข้มข้นสูง จากการศึกษาของ Peres *et al.* (2012) tannin ถูกใช้ยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็ก จึงกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของ tannin ที่สูงทำให้สารละลาย electrolytes ส่งผลให้ค่า Z สูงขึ้น ดังนั้นทุเรียนที่มีช่วงอายุเพิ่มขึ้นจะมีค่า Z ในส่วนของเปลือกมากกว่าผลทุเรียนที่มีช่วงอายุที่ต่ำ ค่าความแตกต่างของค่า Z ตามอายุหลังดอกบานมีค่าสูงสุดที่ความถี่ต่ำคือ 1 kHz

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

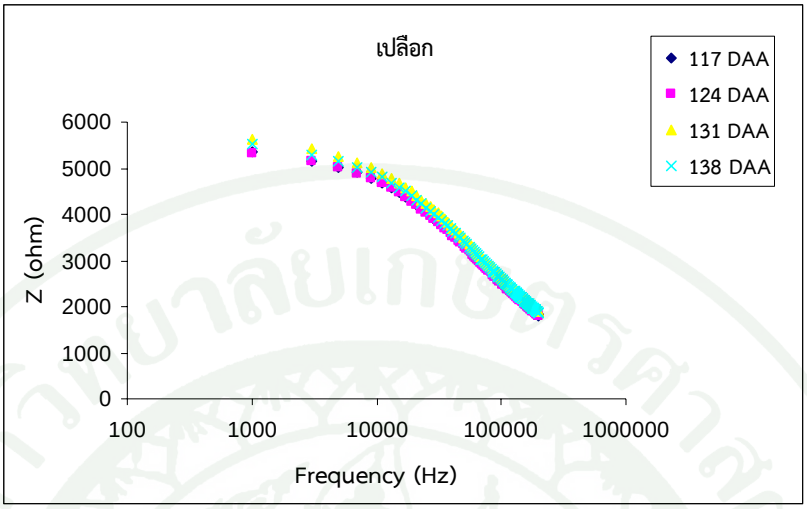


ภาพที่ 25 กราฟ Logarithmic ระหว่างค่า Impedance (Z) กับความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131 และ 138 วัน วัดจากส่วนก้าน



ภาพที่ 26 กราฟ Logarithmic ระหว่างค่า Impedance (Z) กับความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131 และ 138 วัน วัดจากส่วนปลิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 27 กราฟ Logarithmic ระหว่างค่า Impedance (Z) กับความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131 และ 138 วัน วัดจากส่วนเปลือก

ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองค่า Impedance (Z) กับความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131, และ 138 วัน (ภาพที่ 25) พบว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นค่า Impedance (Z) จะลงลง ดังนั้นการวัดจากปลิงของผลทุเรียนช่วงอายุ 117 วัน มีค่าความลาดชันของกราฟ และมีค่า Z สูงกว่าที่แปรผันตามช่วงการเจริญเติบโต 124, 131, และ 138 วันตามลำดับ กราฟจากการวัดส่วนปลิง (ภาพที่ 26) มีลักษณะคล้ายกันกับก้านแต่มีระยะห่างของกราฟในแต่ละเส้นมีระยะห่างกันมากกว่า ซึ่งแสดงความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Impedance กับ ช่วงการเจริญเติบโตของแต่ละช่วงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนกราฟจากการวัดส่วนเปลือก (ภาพที่ 27) มีลักษณะที่แตกต่างกันน้อยมากของระยะห่างกราฟในแต่ละเส้น ผลที่ได้สามารถนำค่าที่ได้จากการวัดในแต่ละส่วนซึ่งเป็นค่า Maximum ของ Impedance (Z) มาเป็นกลุ่มตัวแปรอิสระ (Variable set) ใช้ในการวิเคราะห์ PLSR ในลำดับต่อไป

จากกราฟทั้งสามค่าความถี่ 1 kHz ให้ความแตกต่างระหว่างค่า Z สูงสุด ซึ่งค่าความถี่ 1 kHz นี้จะนำไปใช้เลือกตัวแปรทางไฟฟ้าตัวอื่นในการวิเคราะห์ต่อไป

2.3 การเปลี่ยนแปลงค่า Resistance และค่า Reactance

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance และค่า Reactance จะใช้ในการเลือกความถี่ที่ดีที่สุดที่ได้จากกราฟระหว่างค่า Resistance (R) และ Reactance (X) เพื่อลดจำนวนตัวแปรของค่าทางไฟฟ้าและนำตัวแปรที่สำคัญไปวิเคราะห์หาค่าความถี่ที่ดีที่สุด จากการพล็อตค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า R กับค่า X พบว่ามีความสัมพันธ์กับช่วงอายุของผลทุเรียน จึงกล่าวได้ว่าช่วงของค่าความถี่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

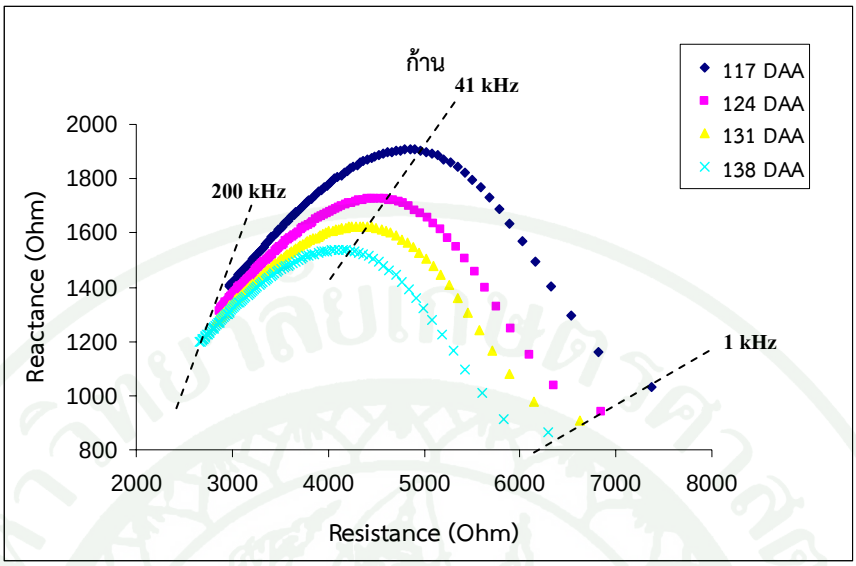
ที่ดีที่สุดได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า R กับค่า X สามารถนำไปใช้เป็นตัวแปรในการทำนายช่วงอายุของผลทุเรียนได้ดีที่สุด

ค่า Impedance ประกอบด้วยค่า R และค่า X (Stout, 1988) ค่า R สำหรับกระบวนการทางชีวภาพโดยทั่วไปเป็นจำนวน Capacitance ของเซลล์ membranes (Harker, 1994) การเปลี่ยนแปลงค่า Impedance สามารถแสดงในรูปแบบของการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และค่า X (ภาพที่ 28) ของแต่ละช่วงความถี่เริ่มจาก 1-200 kHz ตามช่วงอายุของผลทุเรียน การลดลงอย่างต่อเนื่องของค่า R เมื่อค่าความถี่เพิ่มขึ้นจากขวามือไปซ้ายมือ ค่า X ของช่วงอายุผลทุเรียนมีค่าสูงสุดที่ช่วงความถี่ 41 kHz และจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อค่าความถี่เพิ่มขึ้น จากผลที่ได้กล่าวมาที่ค่าความถี่ 41 kHz เป็นค่าความถี่สูงสุดที่อ่านได้จากค่า X ที่ค่าความถี่สูงสุดจะมีลักษณะคล้ายกันของค่าทั้งสอง (R และX) กับอายุผลทุเรียน อย่างไรก็ตามที่ความถี่ต่ำค่าทั้งสองก็จะลดลงซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนจากค่าที่วัดได้จากส่วนปลิง

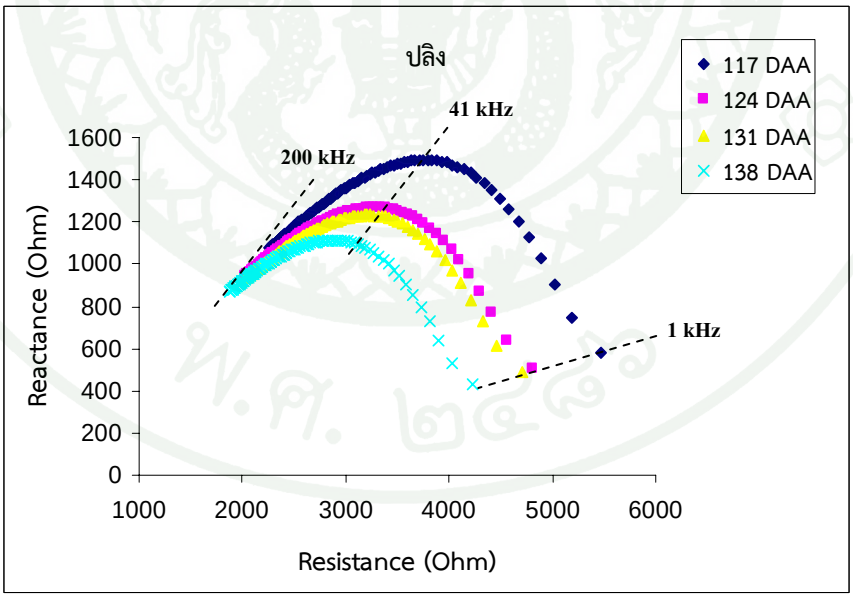
โดยทั่วไปการประเมินความสัมพันธ์จากการพล็อตกราฟในรูปแบบของ Semicircular ของช่วงอายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียน เมื่อเส้นโค้งอยู่บนสุดจะแสดงถึงช่วงอายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียนที่น้อย ส่วนเมื่อเส้นโค้งอยู่ล่างสุดจะแสดงถึงช่วงอายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียนที่มากขึ้น เป็นลักษณะที่คล้ายกันกับการศึกษาความสุกของผลท้อ (Harker, 1994) และคล้ายกันกับการสูญเสียความชื้นในแตงกวา (Liu, 2006) การติดกันของเส้นโค้งในส่วนของปลิงเมื่อช่วงอายุผลทุเรียนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 30) จากการติดกันของเส้นโค้งที่ได้จากการวัดในส่วนของก้านติดกับผลนั้นไม่พบถึงแม้ช่วงอายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียนเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 28) จากการหาความสัมพันธ์ของความแตกต่างเส้นโค้งกับช่วงอายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียนพบว่าขนาดของเส้นโค้งสามารถแสดงถึงระดับอายุการเจริญเติบโตของผลทุเรียนได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นผลจากการทดลองกับช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 117, 124, 131, และ 138 วัน เมื่อนำค่าที่ได้จากวิธี EIS โดยวัดจากก้านมาสร้างกราฟระหว่างค่าเฉลี่ย Reactance กับค่าเฉลี่ย Resistance ที่ความถี่ 1 KHz-200 KHz (ภาพที่ 28) พบว่า ก้านทุเรียนช่วงอายุ 117 วัน มีการเปลี่ยนแปลงค่า Resistance มากที่สุด และมีค่าเฉลี่ย Reactance ที่สูงที่สุด 1907.07 โอห์ม ความแตกต่างของค่า Resistance และค่าเฉลี่ย Reactance แปรผันกับช่วงการเจริญเติบโตของอายุทุเรียน 124, 131, และ 138 วัน ซึ่งความแตกต่างของค่า Resistance จะลดลงตามลำดับ สำหรับปลิงมีลักษณะกราฟที่คล้ายกันกับก้านแต่ในช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 124, 131 วัน มีความแตกต่างของค่า Resistance ที่ใกล้เคียงกันมาก (ภาพที่ 29) ตัวแปรที่ได้มีดังนี้ Rmaximum (Rmx) ที่ความถี่ 200 kHz Rminimum (Rmm) ที่ความถี่ 1 kHz Xminimum (Xmm) และ Xpeak (Xpk) ที่ความถี่ 41 kHz ดังนั้นความถี่ที่ดีที่สุดในการวัดคือ 1, 41 และ 200 kHz ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

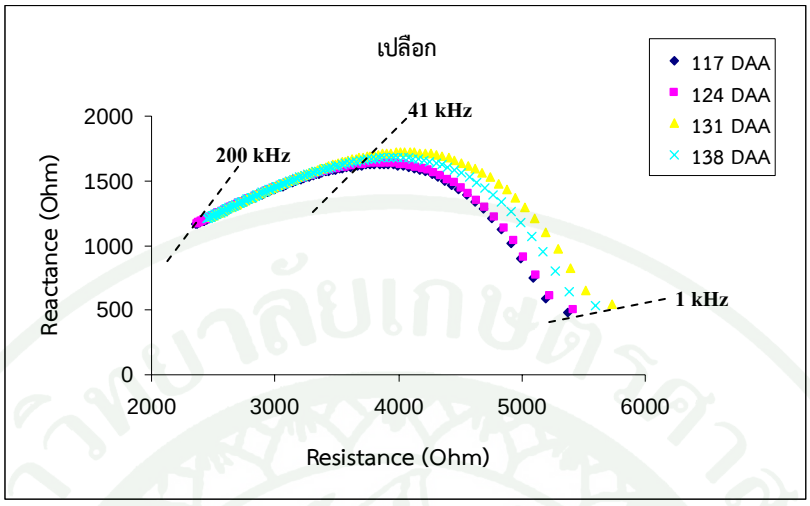


ภาพที่ 28 กราฟระหว่างค่าเฉลี่ย Reactance กับค่าเฉลี่ย Resistance ที่ความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131, และ 138 วัน ที่วัดจากส่วนก้าน



ภาพที่ 29 กราฟระหว่างค่าเฉลี่ย Reactance กับค่าเฉลี่ย Resistance ที่ความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131, และ 138 วัน วัดจากส่วนปลิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 กราฟระหว่างค่าเฉลี่ย Reactance กับค่าเฉลี่ย Resistance ที่ความถี่ 1 kHz-200 kHz ของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตหลังจากดอกบานที่ 117, 124, 131, และ 138 วัน วัดจากส่วนเปลือก

3. ผลการวิเคราะห์ PLSR ของคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของทุเรียน

3.1 ผลการวิเคราะห์ PLSR

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของการเปลี่ยนแปลงค่า Impedance และ Capacitance ที่ความถี่ต่างๆ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance กับค่า Reactance ตัวแปรที่ได้คือ X, R, Z และ C สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับค่าตัวแปรทั้งหมดคือ

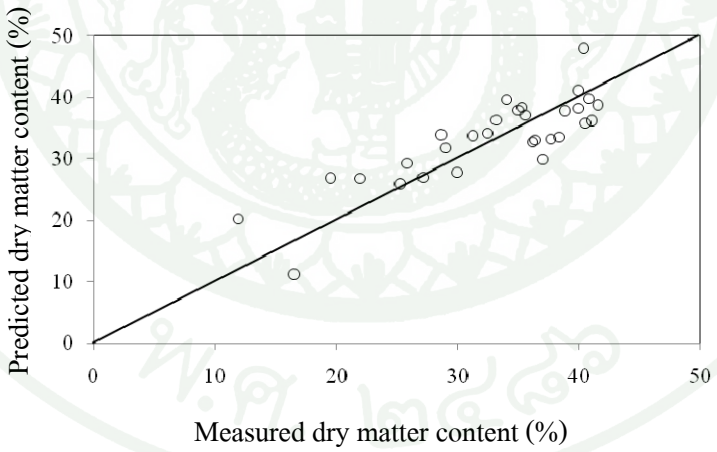
X Reactance
R Resistance
Z Impedance
C Capacitance
mx ค่าสูงสุด
mm ค่าต่ำสุด
pk peak สูงสุด
LP ตำแหน่งก้านที่ติดกับผล
RI ตำแหน่งเปลือก
CS ตำแหน่งปลิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 PLSR Model ของการทำนายความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนจากตัวแปรคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของทุเรียน

Model	จำนวน	Validation (n= 60)		
	ตัวแปรแฝง (PC)	R_P	RMSEP (%)	Bias
1	3	0.798	4.63	0.69

นำค่า X, R, และ C ของเปลือก (RI) หน้าตัดขั้วตำแหน่งปลิง (CS) และ ขั้วส่วนล่างที่ติดกับผล (LP) ที่ความถี่ 1, 41 และ 200 kHz มาสร้างสมการทำนายน้ำหนักเนื้อแห้งด้วย PLSR และลดจำนวนตัวแปรอิสระด้วยเทคนิค Stepwise regression โมเดลที่ได้มีค่าที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญได้แก่ ZmxLP, XpkCS, CmmRI, CmxRI, RpkRI และ XmxRI โดยพบว่ามีค่า Correlation coefficient (R) เท่ากับ 0.798 ดังตารางที่ 3 ความสัมพันธ์อยู่ในระดับพอใช้ และมีค่า RMSEP เท่ากับ 4.63 % (ตารางที่ 3) ต้องการตัวแปรแฝง (PC) 3 ตัว เพื่อใช้อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลที่ 69 % ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง ของตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS ถึงแม้ว่าความแม่นยำในการทำนายอยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่เมื่อพิจารณาตัวแปรในการทำนายที่ต้องการจากการวัดโดยตรงประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม



ภาพที่ 31 กราฟ Scatter plot แสดงความสัมพันธ์ของค่าเปอร์น้ำหนักเนื้อแห้งกับที่ค่าที่ได้จากการทำนาย

ตัวแปรส่วนที่สองได้แก่ CmnRI ในระบบทางชีววิทยาถือว่าค่า Reactance กับ Capacitance มีความสัมพันธ์กันสูง (Jackson *et al.,* 2000) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความแตกต่างในเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของผลผลทุเรียนในช่วงการเจริญเติบโตของผลมีความสัมพันธ์กับตัวแปรของเซลล์ membrane ในส่วนที่วัดจากก้าน ปลิง และเปลือก ซึ่งในเซลล์ membrane มีความสัมพันธ์ร่วมกันของเซลล์ Plasma membrane และ Tonoplast (Bauchot *et al.,* 2000)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แสดงได้จากการแสดงกราฟ Scatter plot (ภาพที่ 31) ของค่าเปอร์น้ำหนักเนื้อแห้งกับที่ค่าที่ได้จากการทำนาย

3.2 การจำแนกช่วงความอ่อน-แก่ของผลทุเรียน

จากการทดลองด้วยวิธีการหาตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS สำหรับการจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนด้วยวิธี Discriminant Analysis ด้วยตัวแปรของการวัด EIS จำนวน 6 ตัวแปรที่ได้จากการเลือกด้วยวิธี Stepwise สำหรับ Model ที่ใช้ในการจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียน พบว่า 6 ตัวแปรนั้นมีค่าในการทำนายได้อย่างแม่นยำที่ 86.7 % (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม Model การจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนถูกจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้ เนื่องจากตำแหน่งของการวัดที่ส่วนของปลิง (XpkCS) ถ้าจะวัดค่าในส่วนนี้จำเป็นต้องตัดผลทุเรียนออกจากลำต้นเสียก่อนถึงจะวัดตำแหน่งนี้ได้ ซึ่งทำให้วิธีนี้ไม่เหมาะกับการตรวจสอบความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนบนต้น ดังนั้น Model การจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนเป็นการสร้างเพื่อใช้ในการศึกษาจากการวัด EIS เท่านั้น ค่าส่วนของปลิง (XpkCS) สำหรับการวิเคราะห์ตัวแปรเมื่อตัดตัวแปรของส่วนของปลิง (XpkCS) ออกประกอบด้วยตัวแปร 5 ตัวแปรได้แก่ ZmxLP, CmmRI, CmxRI, RpkRI และ XmxRI พบว่ามีประสิทธิภาพในการจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนลดลง มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 83.3% แต่เมื่อนำมาพิจารณาแล้วยังอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และสามารถนำ Model นี้ใช้กับการวัด EIS ในตำแหน่งของก้านที่ติดกับผลและเปลือกเพื่อจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนขณะที่อยู่บนต้นได้

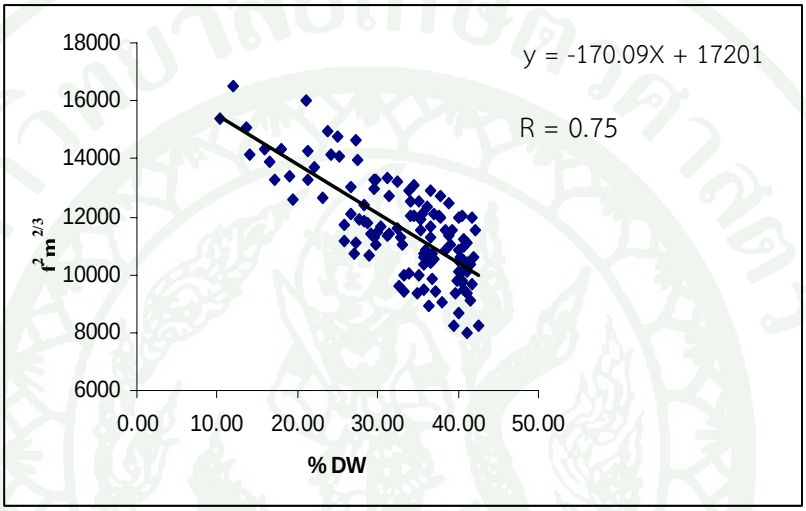
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ด้วย Discriminant analysis ของการจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนด้วยตัวแปรของการวัด EIS จำนวน 5 และ 6 ตัวแปร

ตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS	ความอ่อน-แก่	% ความถูกต้องของการจำแนก	ตัวแปรการทำนาย		
			ทุเรียนอ่อน	ทุเรียนแก่	รวม
ZmxLP, XpkCS	ทุเรียนอ่อน	91.7	11	1	12
CmnRI, CmxRI	ทุเรียนแก่	83.3	3	15	18
RpkRI, XmxRI	รวม	86.7	14	16	30
ZmxLP, CmnRI	ทุเรียนอ่อน	83.3	10	2	12
CmxRI, RpkRI	ทุเรียนแก่	83.3	3	15	18
XmxRI	รวม	83.3	13	17	30

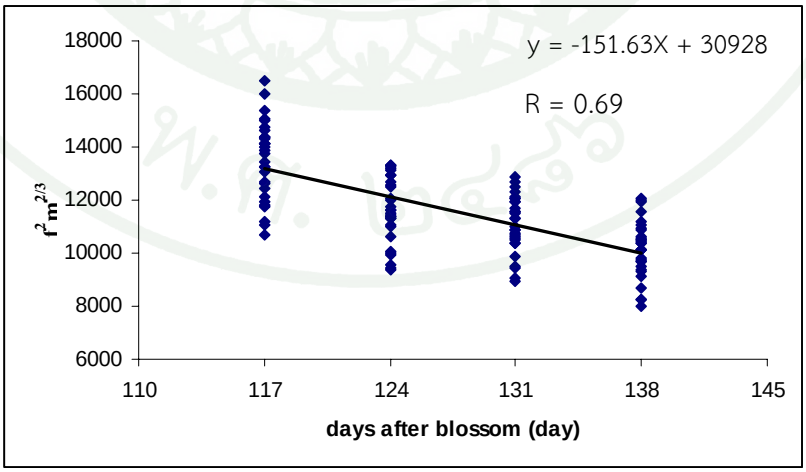
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การเปลี่ยนแปลงดัชนีความถี่ธรรมชาติ

จากการหาดัชนีความถี่ธรรมชาติด้วยสมการ $f^2m^{2/3}$ พบว่าความถี่ธรรมชาติของทุเรียนลดลงตามเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียน และอายุหลังดอกบานที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 32, 33) โดยมีค่า R (ได้จากเส้นแนวโน้มเชิงเส้นที่ดีที่สุด) คือ 0.75 และ 0.69 ตามลำดับ



ภาพที่ 32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % DW กับค่าดัชนีความถี่ ($f^2m^{2/3}$)



ภาพที่ 33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุหลังดอกบานกับค่าดัชนีความถี่ ($f^2m^{2/3}$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4 ผลการวิเคราะห์ PLSR ของคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าและความถี่ธรรมชาติ

จากการสร้างสมการด้วย PLSR และนำมาประเมินค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งในกลุ่ม Prediction พบว่า Model ที่ใช้กลุ่มตัวแปร (Variable set) ในแต่ละ Model ประกอบด้วย Model 1 ตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS ตำแหน่งการวัดของก้าน (Zmx, Cmm, Cmx, Rpk, Xmx) และค่าความถี่จากการเคาะผลทุเรียน Model 2 ตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS ตำแหน่งการวัดของปลิง (Zmx, Cmm, Cmx, Rpk, Xmx) และค่าความถี่จากการเคาะผลทุเรียน Model 3 ตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS ตำแหน่งการวัดของปลิง (Zmx, Cmm, Cmx, Rpk, Xmx) ค่าความถี่จากการเคาะ และค่า ถ.พ. ของผลทุเรียน Model 4 ตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS ตำแหน่งการวัดของก้าน ปลิง เปลือก (Zmx, Cmm, Cmx, Rpk, Xmx) ค่าความถี่จากการเคาะ และค่า ถ.พ. ของผลทุเรียน เพื่อหาความสัมพันธ์กับความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนด้วยการประเมินจากค่า % DW ของเนื้อทุเรียน

ตารางที่ 5 PLSR Model ของการทำนายความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนของตัวแปรคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าของทุเรียนและความถี่ธรรมชาติ

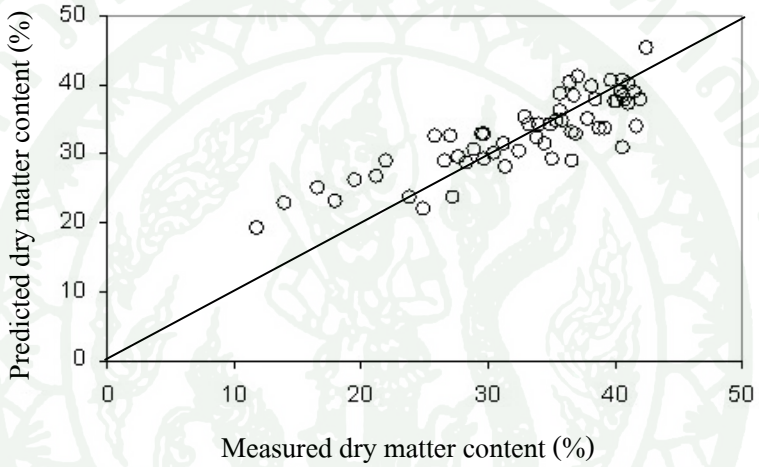
Model	จำนวน	Validation (n= 60)		
	ตัวแปรแฝง (PC)	R_p	RMSEP (%)	Bias
1	2	0.810	4.414	0.327
2	2	0.821	4.283	0.230
3	2	0.837	4.105	-0.029
4	2	0.840	4.085	-0.046

จากการวิเคราะห์ด้วย PLSR พบว่า Model 3 และ Model 4 เป็นการเปรียบเทียบตัวแปรของตำแหน่งการวัดที่ได้จาก EIS ระหว่างก้านและปลิงของผลทุเรียน Model 4 มีค่า R_p สูงสุดคือ 0.84 โดยมีค่า RMSEP เท่ากับ 4.085 % และค่า Bias เท่ากับ -0.046 และ ส่วน Model 1 และ Model 2 เป็นการตัดตัวแปรคือค่า ถ.พ. ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นค่าที่ยากต่อการปฏิบัติขณะทุเรียนอยู่บนต้น ยกเว้นต้องตัดผลทุเรียนลงมาวัด แต่เมื่อตัดค่า ถ.พ. ออกก็ยังพบว่าอยู่ในเกณฑ์พอใช้คือ Model 1 มีค่า R_p เท่ากับ 0.810 ค่า RMSEP เท่ากับ 4.414 % และค่า Bias เท่ากับ 0.327 ส่วน Model 2 มีค่า R_p เท่ากับ 0.821 ค่า RMSEP เท่ากับ 4.283 % และค่า Bias เท่ากับ 0.230 ลดลงตามลำดับ แต่ทุก Model ยังใช้ PC แค่ 2 ตัว (ตารางที่ 5)

ผลที่ได้จากการใช้วิธี EIS วัดที่ส่วนก้านผลเหนือปลิงที่ติดกับต้นและที่ตำแหน่งรอยต่อของก้านทุเรียน (ปลิง) ของส่วนที่ติดกับต้นของผลทุเรียนนั้น ที่ค่าความถี่ 1000Hz-200KHz มีผลตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงค่า Resistance Reactance และ Capacitance ได้ดี ซึ่งสามารถจะอธิบายได้ว่าหัว Probe แบบ Pincher Probe ที่ใช้กับเครื่อง LCR Metter สามารถใช้กับก้านของผลทุเรียนได้ดี ความต้านทานของ Probe มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ปรากฏในผลไม้ ซึ่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของชั้นเซลล์ในเนื้อเยื่อระหว่างผลสุก (Harker *et al.,* 1994) และจากการวัดค่าดัชนีความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียนพบว่า ดัชนีความถี่ธรรมชาติมีความสัมพันธ์กับอายุหลังดอกบาน 117, 124, 131 และ 138 ซึ่งเป็นการลดลงของค่า Stiffness coefficient ($f^2m^{2/3}$) ในขณะที่ทุเรียนแก่หรือมีอายุหลังดอกบานมากขึ้น (Terdwongworakul *et al.,* 1998) เมื่อนำค่าที่ทำนายได้มาสร้างด้วย Scatter plots จาก Model (ภาพที่ 34) สามารถทำนายความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนตามช่วงการเจริญเติบโตของแต่ละช่วงได้อย่างเป็นดี



ภาพที่ 34 กราฟ Scatter plot แสดงความสัมพันธ์ของค่าเปอร์น้ำหนักเนื้อแห้งกับที่ค่าที่ได้จากการทำนาย

ดังนั้นผลที่ได้จากการทำนายทั้ง 4 Model ซึ่งประกอบด้วยค่า EIS ของก้าน ปลิง และค่าความถี่จากการเคาะกับค่า ถ.พ. ของผลทุเรียนพบว่า Model 4 มีค่า R_P และค่า Bias ของโมเดลที่สูงที่สุดจึงสามารถประเมินได้ว่าเป็นโมเดลที่ใช้ในการทำนายความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนตามช่วงการเจริญเติบโตของแต่ละช่วงเป็นโมเดลดีที่สุด อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ Model 1 และ Model 2 จะมีความเหมาะสมเนื่องจากไม่ต้องวัดค่าความถ่วงจำเพาะซึ่งมีความยุ่งยากในการวัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติทางกลของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง เพื่อหาความสัมพันธ์กับช่วงการเจริญเติบโตประกอบด้วยตัวดังต่อไปนี้ค่าความแข็งระหว่างปลายหนาม ค่าแรงกดทะลุเปลือกทุเรียน ค่าความเค้นดัดของก้านทุเรียน ค่าคุณสมบัติของเสียงที่ได้จากการเคาะผลทุเรียน และค่าความถ่วงจำเพาะของผลทุเรียนจากวิธีแบบเปียก ด้วยการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการทำนายช่วงการเจริญเติบโตของผลทุเรียนกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง โดยวิธีการลดตัวแปรด้วยสมการถดถอย Stepwise พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญได้แก่ BCGH, CGH, BCDEI, 1/B, B^2, 1/E และ BCEGH โดยมีค่า Correlation coefficient (R) เท่ากับ 0.838 (ตารางที่ 1) เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง พบว่าตัวแปรใน Model ที่ประกอบ ด้วยตัวแปร ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความถี่ธรรมชาติ ค่าความเค้นดัดของก้านทุเรียน ค่าความแข็งระหว่างปลายหนามสูงสุดตำแหน่งกลางผล ค่าความแข็งระหว่างปลายหนามของพื้นที่ใต้กราฟตำแหน่งกลางผล ค่าแรงกดทะลุสูงสุดเฉลี่ยตำแหน่งกลางผล ค่าความชันกราฟเฉลี่ยของแรงกดทะลุเปลือกตำแหน่งกลางผล และพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของแรงกดทะลุเปลือกตำแหน่งกลางผล มีค่า R_p สูงสุดคือ 0.65 โดยมีค่า RMSEP เท่ากับ 3.97 และค่า Bias เท่ากับ -0.39 (ตารางที่ 2) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยังไม่พึงพอใจ เนื่องจากการแบ่งช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียนอายุ 92, 99, 109, 113, 120 และ 127 วัน นั้นเป็นช่วงที่แคบเกินไปสำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลทุเรียน

ผลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติของการวัดค่าทางไฟฟ้า EIS ของก้านและเปลือกของผลทุเรียนเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการทำนายความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนหรือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง โดยวิธีการลดตัวแปรด้วยสมการถดถอย Stepwise แล้วนำตัวแปรเหมาะสมที่สุดไปทำนายความแม่นยำด้วยวิธี Partial Least Square Regression (PLSR) ของผลทุเรียน ผลที่ได้จากการใช้วิธี Stepwise ค่าที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญได้แก่ ZmxLP, XpkCS, CmmRI, CmxRI, RpkRI และ XmxRI นำตัวแปรที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง พบว่า Model 4 ก้านที่ติดกับผล (LP) ปลิงหรือหน้าตัดขั้ว (CS) และ เปลือก (RI) มีค่า R_p สูงสุด เท่ากับ 0.798 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 4.63 % (ตารางที่ 3) ต้องการตัวแปรแฝง (PC) 3 ตัว เพื่อใช้อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลที่ 69 % ตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS ถึงแม้ว่าความแม่นยำในการทำนายอยู่ในเกณฑ์พอใช้

เมื่อพิจารณาตัวแปรในการทำนายที่ต้องการจากการวัดโดยตรงประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม เมื่อนำตัวแปรมาจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียน Model จากการทำนายจะขึ้นอยู่กับ 5 ตัวแปร ได้แก่ ZmxLP, CmmRI, CmxRI, RpkRI และ XmxRI ซึ่งได้ผลอยู่ในเกณฑ์ดีมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 83.3 % ซึ่งเป็นไปได้กับการใช้ 5 ตัวแปรสำหรับการวัดเพื่อจำแนกความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนขณะที่อยู่บนต้นได้โดยเป็นการทำลายน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามความแม่นยำในการทำนายก็

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้และเป็นวิธีที่ง่ายต่อการวัดด้วยการใช้ความถี่เพียง 3 ความถี่กับตำแหน่งก้านที่ติดกับผลและตำแหน่งเปลือกของผลทุเรียน นอกจากนั้นการวัดตำแหน่งก้านที่ติดกับผลและตำแหน่งเปลือกเป็นการวัดเพื่อหาคุณภาพของเนื้อทุเรียนทางอ้อมอีกด้วย ค่าที่จำเป็นในการวัดได้แก่ ค่า Reactance (X) ซึ่งเป็นตัวแปรของค่า Capacitance (C) เพียงแค่ 1 ตัวแปร (X หรือ C)

โครงสร้างทางกายวิภาคของส่วนแกนและเปลือกของทุเรียนที่ประกอบด้วยเซลล์ parenchyma จะมีการสะสมสารแทนนินภายใน vacuole เมื่อผลมีอายุมากขึ้นเซลล์ และจะมีการสะสมแทนนินเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งผลทุเรียนมีอายุ 70 วัน สารแทนนินภายในเซลล์จึงเริ่มลดลง เมื่อผลทุเรียนเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ (อรอนงค์, 2548) ความเข้มข้นของแทนนินที่เป็นรูปแบบของ Extracellular liquid จะสามารถนำไปใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะ (Peres *et al.,* 2012) พบว่าความเข้มข้นของสารแทนนินที่สูงทำให้ความต้านทานทางไฟฟ้าที่สูงขึ้น ดังนั้นความต้านทานทางไฟฟ้าที่สูงจะพบในผลไม้ที่มีแทนนินก่อนถึงวัยบริบูรณ์ และหลังจากเลยวัยบริบรูณ์ความต้านทานก็จะลดลง

สำหรับระบบชีวภาพเยื่อหุ้มเซลล์สามารถแสดงได้จากวงจรทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ Capacitor และตัวต้านทาน Resistor ด้วยการเชื่อมต่อกันแบบขนาน ซึ่งปันการแก้ปัญหาของค่าความต้านทานในเซลล์ทั้งสองแบบคือ เซลล์ Intercellular และ ภายนอกเซลล์ Extracellular (Angersbach *et al.,* 1999) ความต้านทานไฟฟ้าของเนื้อเยื่อจะลดลงตามความถี่ที่เพิ่มขึ้นเพราะเป็นคุณสมบัติการเก็บประจุของเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นก้านและเปลือกของผลทุเรียนจึงมีค่า Z ลดลงเมื่อมีความถี่เพิ่มขึ้น

เมื่อนำคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าและความถี่ธรรมชาติของทุเรียนมาเป็นตัวแปรร่วมในการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง พบว่า Model 4 ที่ประกอบด้วยตัวแปรที่ได้จากการวัด EIS ตำแหน่งการวัดของก้าน ปลิง เปลือก (Zmx, Cmm, Cmx, Rpk, Xmx) ค่าความถี่จากการเคาะ และค่า ถ.พ. ของผลทุเรียน มีความสัมพันธ์กับช่วงการเจริญเติบโตของผลทุเรียนด้วยการประเมินจากค่า % DW ของเนื้อทุเรียน โดยมีค่า R_p สูงสุดคือ 0.84 ค่า RMSEP เท่ากับ 4.085 และค่า Bias เท่ากับ -0.046 จึงสามารถประเมินได้ว่าเป็นโมเดลที่ใช้ในการทำนายความอ่อน-แก่ของผลทุเรียนตามช่วงการเจริญเติบโตของแต่ละช่วงเป็นโมเดลดีที่สุด อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ Model 1 และ Model 2 (ตารางที่ 5) จะมีความเหมาะสมเนื่องจากไม่ต้องวัดค่าความถ่วงจำเพาะซึ่งมีความยุ่งยากในการวัด เมื่อผลทุเรียนอยู่บนต้น ดังนั้นโมเดลที่จะนำไปใช้ในการคัดแยกทุเรียนจึงเป็นโมเดลที่ใช้กับผลทุเรียนที่ตัดมาจากต้นแล้วเท่านั้น และเป็นเทคนิคที่ทำลายน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ด้วยวิธีหาความสัมพันธ์ของความอ่อน-แก่กับค่าความแข็งระหว่างปลายหนามของทุเรียนอาจจะต้องคำนึงถึงขนาดฐานของหนามทุเรียนในแต่ละผล เนื่องจากหนามมีขนาดที่ไม่เท่ากันจึงมีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูลได้ และการหาความสัมพันธ์ของความอ่อน-แก่กับความเค้นดัดของก้านทุเรียนนั้นก็เช่นกัน ต้องคำนึงถึงขนาดความโตของก้านในแต่ละผลที่มีลักษณะของก้านไม่เป็นทรงกระบอก จึงอาจส่งผลต่อการคำนวณค่าโมเมนต์ดัดได้ ส่วนการวัดค่าทางไฟฟ้า EIS ใช้ Probe แบบ two-terminal ในช่วงความถี่ 1-200 kHz เพื่อลดปัญหา Polarization Impedance เนื่องจากค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสเป็นสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัด ความต้านทานของหน้าสัมผัสสามารถลดได้เพียงบางส่วนจากการเลือกใช้วัสดุของหัว Probe ในการศึกษาขั้นต่อไปในอนาคตจะปรับปรุงวิธีการเพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้นโดยจะใช้ Probe แบบ four-terminal (HIOKI four-terminal probe 9140-10) ที่จะเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพกับผลกระทบของ Polarization Impedance นอกจากนั้นอุณหภูมิของแต่ละตัวอย่างในการทดลองอาจจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรต่างๆ จึงควรใช้อุณหภูมิของแต่ละตัวอย่างนำเข้ามาวิเคราะห์ร่วมด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรกฎ วัฒนวิเชียร และ กฤษดาเสียงแจ้ว. 2545. **การศึกษาการวัดความสุกแก่ของผลทุเรียนด้วยการวัดแรงดึงปากปลิงและก้านผล.** รายงานวิจัยโครงการวิจัยเพื่อการพัฒนาการผลิตและการตลาดทุเรียนเพื่อการส่งออกสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 198 น.

จริงแท้ ศิริพานิช, สิริพันธ์ ศรียุกต์ และ สมบูรณ์ ศิริอธิวัฒน์. 2531. **ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการแตกและสุกของผลทุเรียน.** รายงานผลการวิจัยประจำปี 2531. 40 น.

ณัฐวุฒิ เนียมสอน. 2546. **การหาดัชนีความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยใช้ความถี่ธรรมชาติและความแข็งแรงก้าน.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมการอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมการอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 79 น.

เทียมใจ ตุลยาทร. 2529. **กายวิภาคของพฤกษ์ศาสตร์.** ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์, กรุงเทพฯ.

เทียมใจ คมกฤส. 2542. **กายวิภาคของพฤกษ์ศาสตร์.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรมล ปัญญ์บุศยกุล. 2539. **วิทยานิพนธ์ปริญญาโทภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร.** คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 108 น.

บัณฑิต จริโมภาส, สุทธิพร เนียมหอม, สิริชัย โง้วกาญจนนาค และ เจษรินทร์ ตรีสิงหวงศ์. 2530. **รายงานการวิจัยโครงการการควบคุมคุณภาพทุเรียนตัดอ่อน.** สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

บัณฑิต จริโมภาส. 2545. **สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร ภาค 1: ทฤษฎี ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, 160 น.

พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล. 2541. **การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง และอิทธิพลของเอทีฟอนในระยะก่อนเก็บเกี่ยว.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, 116 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รัชฎา เศษฐวงศ์สิน. 2531. **ลักษณะกายวิภาคของก้านทุเรียนพันธ์ชะนี หมอนทอง และ ก้านยาว.** ปัญหาพิเศษปริญญาโท. ภาควิชาพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์, กรุงเทพฯ.

รัชฎา เศษฐวงศ์สิน. 2533. **ความสัมพันธ์ระหว่างอายุเก็บเกี่ยวกับความแข็งของขั้วผลทุเรียน**. วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 77 น.

ลพ ภวภูตานนท์. 2529. **ลักษณะการใช้น้ำที่มีต่อการโค้งงอของก้านดอกและอายุการปักแจกันของกุหลาบ.** ปัญหาพิเศษปริญญาโท. ภาควิชาพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์, กรุงเทพฯ.

ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโคปีย่านใกล้อินฟาเรด, น. 131-151. **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก.** 27-28 พฤษจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สายชล เกตุษา. 2531. **เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของดอกไม้.** โรงพิมพ์สารมวลชน, กรุงเทพฯ. 291 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. **สถิตินำเข้าส่งออก.** สำนักงานสถิติการเกษตร. แหล่งที่มา: http://www.baanjomyut.com/library_2/extension-2/vegetables/33.html, 1 พฤษจิกายน 2557.

หิรัญ หิรัญประดิษฐ์, สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก และ เสริมสุข สลักเพ็ชร์. 2546. **เทคโนโลยีการผลิตทุเรียน.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 206 น.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วิเชฐ ศรีชลเพชร, กิติเดช โพธิ์นิยม และ อเนก สุขเจริญ. 2541. **การเปลี่ยนแปลงดัชนีความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองระหว่างการพัฒนาบนต้น.** วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 30(1/2): 26-38.

อรอนงค์ โคกสูงเนิน. 2548. **การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคระหว่างการพัฒนาของผลทุเรียนพันธุ์กระดุมและหมอนทองวิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต**. สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 117 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อลงกรณ์ ธรรมบุตร และ กรกฎ วัฒนวิเชียร. 2550. **การวิเคราะห์ความแก่ของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพที่ก้านผล.** การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ, 476 น.

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

Angersbach, A., Heinz, V., Knorr, D. 1999. Electrophysiological model of intact and processed plant tissues: cell disintegration criteria. **Biotechnology Progress.** 15: 753-762.

ASAE Standard 1998. Moisture measurement-forages. ASAE S358.2 December 93, 471 pp. **American Society of Agricultural Engineers.** Michigan, USA.

Armstrong, H., Zapp, R. and Brown, G.K. 1990. Impulse excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination. **Trans of the ASAE.** 33(4): 1353-1359.

Armstrong, P.R. and Brunsewitz, G.H. 1997. Peach firmness determination using two different nondestructive vibrational sensing instruments. **Trans of the ASAE.** 40(30): 699-703.

Bach, P.B., Cramer. L.D., Warren, J.L. and Begg, C.B. 1999. Racial Differences in the Treatment of Early-State Lung Cancer. **New England Journal of Medicine.** 341 (16): 1198-1200.

Barfs, H.D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. In: T.T. Kozlowski (Editor), Water Deficits and Plant Growth, Vol. 1. **Academic Press.** New York and London, pp. 235-368.

Bauchot, A.D., Harker, F.R., Arnold, W.M. 2000. The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit. **Postharvest Technology and Biology.** 18: 9-18.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Coombe, B.G. 1976. The development of fleshy fruits. Annu. Rev. **Plant Physiology.** 27: 207-228.

Coulson, C.B. Davies, R.I. and Lewis, D.A. 1960. Polyphenols in plant, humus and soil. Polyphenols of leaves, little and superficial humus from Mull and Mor sites. **European Journal of Soil Science.** 11: 20-29.

Dennis, F.G. 1984. Fruit development, pp. 265-289. In M.B. Tesar, ed. Physiological Basic of Crop Growth and Development. **American Society of Agronomy and the Crop Science Society of America.** Wisconsin, USA.

Esau, K. 1977. **Anatomy of Seed Plants.** 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.

Fahn, A. 1982. 3rd ed. **Plant Anatomy.** Pergamon Press, Oxford.

Furr, J.R. and Taylor, C.A. 1939. Growth of lemon fruits in relation to moisture content of the soil. **U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin.** 640.

Galili, N., Shmulevich, I. and Benichou, N. 1998. Acoustic testing of avoado for fruit ripeness evaluation. **Trans of the ASAE.** 41(1): 399-407.

Harker, F.R. and Dunlop, J. 1994. Electrical impedance studies of nectarines during cool storage and fruit ripening. **Postharvest Technology and Biology.** 4(1-2): 125-134.

Hashimoto, Y. 1978. What is electric measurement of information from living crop. **Agriculture Horticulture.** 53: 483-488 (in Japanese).

Hoehn, E., Gasser, F., Guggenbuhl, B., Kunsch, U. 2003. Efficacy of Instrumental Measurements for Determination of Minimum Requirements of Firmness, Soluble Solids, and Acidity of Several Apple Varieties in Comparison to Consumer Expectations. **Postharvest Biology and Technology.** 27: 27-37.

Jackson, P.J. and Harker, F.R. 2000. Apple bruise detection by electrical impedance measurement. **Horticulture Science.** 35(1): 104-107.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kasemsamran, S. 2005. Nondestructive Quantitative Analysis of biomedical Samples by Near- Infrared Spectroscopy with Chemometrics and Development of novel Chemometric Methods for quantitative Analysis. **Ph.D. Thesis.** Kwansei-Gakuin University. Japan.

Ketsa, S. 1997. Durian, pp. 323-334. In S. K. Mitra, ed. **Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits.** CABI. Wallingford.

Liu, X. 2006. Electrical impedance spectroscopy applied in plant physiology studies. **Thesis for Master of Engineering.** School of Electrical and Computer Engineering Science. Royal Melbourne Institute of Technology University, Australia.

Long, W., Yukiharu, O. and Akio, T. 2008. Electrical impedance spectroscopy analysis of eggplant pulp and effects of drying and freezing-thawing treatments on its impedance characteristics. **Journal of Food Engineering.** 87: 274-280

Manrique, T., Rapoport, H.F., Castro, J. and Pastor, M. 1999. Mesocarp cell division and expansion in the growth of olive fruits. **Acta Hortculture.** 474: 301-304.

Mederski, H.J. 1961. Determination of internal water status of plant by beta ray gauging. **Soil Science.** 92: 143-146.

Menesatti, P., Beni, C., Paglia, G., Marcelli, S. and Andrea, S.D. 1999. Predictive statistical model for the analysis of drop impact damage on peach. **Journal Agriculture Engineering Research.** 73: 275-282.

Mizrach, A., Galili, N., Rosenhouse, G. and Teitel, D.C. 1991. Acoustic, mechanical, and quality parameter of Winter-Grown melon tissue. **Trans of the ASAE.** 34(5): 2135-2138.

Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials, p. 891, **Gordon and Breach Science Publishers.** New York, NY.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nakasone, H.Y. and Paull, R.E. 1998. Tropical Fruits. **CAB International.** Oxon, UK, 443 pp.

Nanthachai, S. 1994. Durian: fruit development, postharvest physiology, handling, and marketing in ASEAN. **Australian International Development Assistance Bureau.** 139-153 pp.

Pal, D.K. and Kumar, P.S. 1995. Changes in the physico-chemical and biochemical composition of custard apple (*Annona squamosa* L.) during growth, development and ripening. J. **Hortic. Science.** 70(4): 569-572.

Parups, E.V. 1976. Effects of flower care floral preservative on the vase life and bloom size of rosa hybrida cv. Forever Yours roses. **Canadian journal of horticultural science.** 55: 775-81

Peres, R.S., Cassel, E., Azambuja, D.S. 2012. Black wattle tannin as steel corrosion inhibitor. **International Scholarly Research.** Network ISRN Corrosion Volume 2012, ID 937920.

Prive, J.P., Elfving, D.C. and Proctor, J.T. 1989. Paclobutrazol, Gibberellin, and Cytokinin effects on growth, development and histology of apple pedicels and fruits. **Journal of the America Society for Horticulture Science.** 114(2): 273-278.

Rehman, M., Izneid, B.A., Abdullah, J.A., Arshad, M.Z. 2011. Assessment of quality of fruits using impedance spectroscopy. **International Journal of Food Science and Technology.** 46: 1303-1309.

Schroeder, C.A. 1953. Growth and development of the Fuerte avocado fruit. Proc. **Journal of the America Society for Horticulture Science.** 68: 253-258.

Selvaraj, Y. and Pal, D.K. 1984. Changes in the chemical composition and enzyme activity of two sapodilla (*Manilkara zapota*) cultivars during development and ripening. **Journal of the America Society for Horticulture Science**. 59(2): 275-281.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Simon, R.K. and Chu, M.C. 1975. Spur/pedicel abscission in plum (Prunus domestica L. CV. Stanley) morphology and anatomy of persisting and drop fruits. **Journal of the America Society for Horticulture Science.** 100(6): 656-666.

Sirisomboon, P., Tanaka, M., Akinaga, T., Kojima, T. 2000. Evaluation of the textural properties of Japanese pear. **Journal of Texture Studies.** 31: 665-677.

Siriphanich, J., Jerapat, S. 2005. Use of dry matter as maturity index in Kradum durians (Durio Zibethinus Murr) In: **Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production FRUTIC 05.** September 12-16. 2005. Montpellier France.

Steinmetz, V., Roger, J.M., Molto, E. and Blasca, J. 1999. On-line fusion of colors camera and spectrophotometer for sugar content prediction of apples. **Journal of Agricultural Engineering Research.** 73(2): 207-216.

Steinmetz, V., Crochon, J. M., Bellon-Maural, V., Garcia Fernandez, J. L., Barreiro Elorza P. and Veen, L. 1996. Sensors for fruit firmness assessment: comparison and fusion. **Journal of Agricultural Engineering Research.** 64(1): 15-28.

Stout, D.G. 1988. Effect of cold acclimation on bulk tissue electrical impedance. Measurements with birds foot trefoil at subfreezing temperatures. **Plant Physiology.** 86: 275-282.

Sugiyama, J., Hayashi, T., Horiuchi, H. 1987. **Electrical impedance of kiwifruit.** Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 33: 725-730.

Takanori, Y. 1984. **Non-destructive in situ measurements of pear fruit moisture during growth Faculty of Agriculture.** Yamagata University. Tsuruoka Yamagata 997 Japan, 22(1-2): 97-103.

Takechi, O. and Tomari, I. 1968. Water content and dielectric constant of citrus leaves. **Journal of Agricultural Meteorology Tokyo.** 24: 109-113 (in Japanese with English summary).

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Terdwongworakul, A., Puangsombat, A. and Pathaveerat, S. 2009. Qualitatative and quantitative evaluation of pomelo maturity using multivariate combination of chemical and physical properties. **Journal of Texture Studies.** 40(5): 584-605.

Timm, E.J., Armstrong, P.R., Brown, G.K. and Beandry, R.M. 1993. A portable instrument for measuring firmness of cherries and berries. **An ASAE Meeting presentation.** 1993 winter meeting. 17 pp.

Ueda, S., Oiki, S. and Okada, Y. 1986. Oscillations of Cytoplasmic concentration of Ca2+, K+ in fused L cells. **Journal of Membrane Biology.** 91: 65-72.

Wareing, P.F., Phillips, I.D. 1978. The control of growth and differentiation in plants. **Pergamon Press.** Oxford.

Yadav, B.K. and Jindal, V.K. 2008. Changes in head rice yield and whiteness during milling of rough rice (Oryzasativa L.) **Journal of Food Engineering.** 86: 113-121.

Yusof, S. and Mohamed, S. 1987. Physico-chemical changes in guava (Psidium guajava L.) during development and maturation. **Journal of the Science of Food and Agricultural.** 38: 31-39.

Zhang, M.I.N., Stout, D.G. and Willison, J.H.M. 1990. Electrical Impedance Analysis in Plant Tissue: Symplastic Resistance and Membrane Capacitance In the Hayden Model. **The Journal of Experimental Botany publishes primary research papers in the plant sciences.** 41: 371-380.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณสมบัติทางกลและความถี่ธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 แรงบีบหนามสูงสุดของแต่ละพู (N)

ผลที่	พู 1			พู 2			พู 3		
	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
1	9.24	10.20	11.95	13.31	6.78	8.04	8.35	11.30	16.21
2	7.97	10.08	11.01	8.30	11.80	-4.37	5.91	15.22	9.31
3	15.03	15.37	14.43	19.18	17.11	10.81	13.74	15.13	13.26
4	14.40	13.14	11.44	7.45	15.51	11.87	0.00	17.84	16.65
5	13.09	10.18	10.25	8.09	11.48	14.63	11.30	13.16	12.78
6	11.78	9.32	8.59	13.41	8.51	10.36	7.33	10.55	8.04
7	8.90	9.15	8.52	11.35	9.91	9.18	9.67	8.84	10.31
8	9.11	9.97	11.91	7.37	10.22	13.45	4.79	6.09	13.54
9	8.66	14.92	-0.04	13.72	13.89	14.34	8.71	13.01	15.16
10	14.14	17.20	10.42	17.09	9.42	6.57	15.47	11.27	13.13
11	9.76	9.01	12.63	12.36	10.11	11.01	13.70	15.26	13.08
12	13.55	12.68	12.28	10.49	11.32	10.59	9.59	12.00	15.32
13	14.43	15.90	11.87	12.37	-1.15	16.34	9.50	8.87	10.50
14	6.98	7.12	8.32	12.84	15.62	12.54	10.53	12.73	9.77
15	9.02	10.83	10.98	9.77	7.77	11.74	12.33	1.88	12.45
16	9.59	11.05	11.59	9.53	7.46	12.34	11.77	8.74	11.99
17	10.11	1.39	15.37	9.79	14.86	14.82	10.14	8.34	16.41
18	13.79	12.71	14.15	10.73	11.08	9.73	10.13	12.40	11.59
19	14.99	14.76	18.41	16.57	4.73	15.22	15.51	15.59	12.39
20	11.82	12.81	10.17	10.07	11.51	12.54	14.33	13.14	11.21
21	12.60	19.01	13.29	6.97	8.61	12.45	6.56	20.00	-4.99
22	13.10	8.74	14.33	12.83	9.07	11.35	12.73	6.60	11.99
23	5.94	7.31	6.79	13.12	11.52	12.27	4.76	9.49	11.36
24	16.80	13.14	14.78	11.43	15.53	9.82	16.03	12.96	5.88
25	12.55	13.64	10.29	9.45	6.17	16.97	9.38	13.87	9.65
26	10.66	-1.50	9.24	16.12	11.28	10.74	14.43	13.02	13.34
27	9.42	13.41	11.80	11.68	10.55	6.36	13.63	10.72	2.38
28	4.41	7.23	17.51	5.74	13.80	13.00	8.16	16.58	15.97
29	11.79	11.93	13.22	15.85	8.25	12.33	18.78	4.21	9.32
30	-0.38	14.10	3.60	14.67	15.70	11.94	18.68	18.59	16.68
31	5.98	12.20	6.68	10.17	9.33	10.80	5.44	4.62	-1.16
32	6.64	13.28	12.67	13.41	7.66	10.20	13.69	9.02	12.6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ผลที่	พู 1			พู 2			พู 3		
	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
33	9.99	9.91	8.08	9.33	7.85	9.57	10.25	12.93	8.25
34	15.16	8.02	11.69	17.32	9.01	11.89	10.96	13.22	20.93
35	12.71	11.51	8.30	8.33	7.71	5.78	8.84	5.84	7.07
36	12.98	13.10	0.99	11.96	10.34	15.29	15.79	13.56	11.84
37	9.33	10.25	10.68	12.24	11.18	9.15	11.56	11.94	9.26
38	12.35	9.42	12.12	8.99	10.74	9.17	12.85	11.27	7.63
39	11.52	8.62	7.97	8.19	6.90	6.28	17.23	7.55	7.45
40	13.75	8.55	6.00	10.90	11.32	15.08	14.66	11.67	16.53
41	13.38	5.34	11.33	10.80	7.08	12.00	6.80	9.40	7.82
42	6.36	4.45	6.80	7.96	7.81	6.87	7.40	8.67	9.29
43	15.95	14.88	-7.57	12.16	15.59	11.45	17.52	7.09	11.24
44	8.02	7.20	5.52	12.37	7.72	9.92	12.94	10.11	6.40
45	11.44	9.36	9.30	8.18	8.47	8.38	9.34	8.14	9.03
46	10.57	12.41	10.68	13.73	9.42	7.15	10.77	8.77	14.38
47	9.77	9.09	9.89	7.10	11.50	-0.11	15.01	7.71	12.67
48	17.71	13.37	15.25	11.77	11.14	9.81	15.42	9.93	8.39
49	15.51	10.93	13.04	19.45	14.54	12.06	11.64	11.24	13.57
50	12.54	8.43	6.22	13.36	14.42	5.54	3.97	-9.82	12.23
51	18.35	19.73	11.38	16.20	14.12	14.11	18.98	13.95	13.69
52	12.16	9.99	11.22	11.43	12.16	6.97	12.81	11.28	13.00
53	19.56	12.75	17.18	17.70	17.55	16.59	18.29	20.36	20.18
54	9.89	9.19	8.05	4.12	7.89	8.61	6.48	8.83	6.79
55	12.78	13.49	15.88	14.54	10.84	11.47	13.63	8.01	9.28
56	15.79	14.07	12.21	13.01	10.25	20.70	10.39	14.53	8.96
57	16.62	8.85	8.29	15.89	9.96	8.01	12.03	7.90	11.10
58	9.52	0.38	12.75	11.21	12.32	15.62	6.47	16.49	15.60
59	9.28	12.14	12.38	12.79	8.99	13.10	9.81	11.09	9.38
60	11.31	10.63	11.42	9.29	11.42	2.13	11.15	13.77	10.60
61	13.98	13.37	14.95	12.34	12.40	16.42	13.24	3.64	10.44
62	8.02	9.39	5.34	7.93	7.47	5.71	4.80	7.46	6.32
63	9.22	10.96	1.97	12.22	11.95	16.17	4.39	6.10	7.78
64	7.83	11.77	17.92	11.21	10.98	10.30	13.25	7.72	18.27

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ผลที่	พู 1			พู 2			พู 3		
	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
65	8.04	10.59	6.43	8.84	5.26	8.93	4.66	7.06	8.67
66	8.58	8.91	15.34	10.74	0.83	5.97	10.30	8.00	11.41
67	15.37	15.63	14.58	16.55	5.18	10.64	15.03	14.84	12.75
68	9.13	12.62	11.87	9.68	4.17	7.10	6.18	8.23	10.34
69	12.22	7.80	7.08	6.37	14.62	12.89	12.73	11.04	7.34
70	12.98	10.50	13.61	7.38	12.19	10.91	6.46	6.95	8.67
71	4.15	9.19	11.06	10.12	5.14	5.32	11.98	9.12	10.37
72	2.12	8.96	18.10	10.96	10.85	11.40	8.47	11.03	8.43
73	12.54	8.91	10.91	12.40	10.97	10.09	18.27	10.08	10.85
74	12.58	14.09	11.96	12.03	9.08	8.61	6.48	6.64	11.72
75	18.03	4.39	10.67	14.18	8.29	15.94	15.40	13.72	9.05
76	9.53	11.02	7.44	12.90	12.09	10.74	9.35	7.87	10.21
77	11.68	9.11	11.21	14.25	13.69	9.49	6.46	4.90	11.25
78	14.34	13.94	8.94	10.19	7.12	10.24	6.28	13.85	15.06
79	11.40	7.15	6.87	13.27	8.20	13.79	12.44	9.77	8.19
80	7.47	10.52	7.92	6.54	12.57	11.35	13.79	11.24	11.66
81	11.59	13.09	14.42	10.75	12.72	11.78	12.39	9.27	9.71
82	16.79	13.06	7.71	15.73	15.88	15.51	14.97	9.27	12.16
83	11.35	10.71	7.66	9.16	9.79	12.45	10.65	6.76	9.74
84	7.85	-1.74	9.62	11.08	15.30	5.37	12.49	8.78	9.93
85	13.82	3.83	16.33	14.61	10.77	14.24	15.82	12.81	8.87
86	11.51	11.02	10.09	12.23	9.39	9.58	9.65	3.38	4.39
87	10.50	8.15	11.05	14.57	6.09	9.46	10.66	10.24	6.33
88	3.57	7.68	8.07	8.54	7.66	6.81	7.37	8.07	7.00
89	12.23	14.88	3.28	11.46	5.73	9.01	16.22	12.48	10.52
90	15.42	12.95	1.82	13.60	13.24	12.04	7.38	17.96	16.48
91	3.65	-1.44	8.26	4.63	9.44	9.93	11.09	8.65	11.42
92	9.71	10.72	9.79	9.26	11.03	8.79	11.78	6.08	7.14
93	9.49	7.04	5.32	9.55	10.67	6.23	8.44	4.16	5.26
94	4.42	17.75	16.84	11.58	7.80	9.88	6.90	6.80	10.54
95	8.32	10.12	8.53	7.10	10.45	13.00	8.95	11.12	3.29
96	15.45	10.19	11.46	8.37	5.66	6.47	12.33	3.49	11.89

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ผลที่	พู 1			พู 2			พู 3		
	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
97	10.55	7.87	11.94	10.84	9.30	13.87	14.18	5.28	7.88
98	9.16	5.74	7.17	5.35	9.91	10.52	9.05	3.00	10.46
99	9.72	9.97	10.39	11.33	8.14	7.73	7.31	7.90	13.50
100	14.69	9.65	11.00	12.68	12.42	12.42	11.52	10.54	9.54
101	6.25	9.20	8.09	9.29	6.61	14.63	6.92	6.92	2.65
102	9.80	5.74	8.15	10.62	10.63	10.22	6.62	5.99	6.94
103	18.80	11.78	13.16	5.18	14.91	7.45	11.15	10.13	3.85
104	13.68	12.92	16.94	3.06	9.03	3.70	9.41	3.42	9.79
105	10.86	10.85	11.03	8.21	8.80	9.41	7.91	6.55	10.06
106	6.77	12.68	9.48	14.04	7.82	8.80	10.56	6.40	17.79
107	12.39	9.67	11.11	13.69	12.23	9.95	9.95	11.36	5.71
108	3.27	10.77	9.99	13.64	13.03	12.65	11.35	5.45	3.98
109	9.08	11.27	10.51	10.30	5.15	8.59	16.19	10.56	8.37
110	12.77	8.20	0.02	11.44	9.81	10.31	18.08	6.36	8.50
111	14.33	11.23	13.90	10.86	7.05	6.80	15.18	10.83	14.87
112	10.22	8.73	11.67	8.13	11.19	14.03	11.71	8.30	11.43
113	10.39	12.12	13.83	12.91	13.23	8.26	9.82	18.16	8.48
114	6.95	6.85	6.39	5.83	10.47	10.29	8.00	4.98	8.18
115	12.09	11.17	7.34	9.56	7.57	12.05	12.06	8.87	11.66
116	8.63	9.92	7.27	2.94	2.61	6.94	10.05	13.34	6.86
117	12.58	8.02	12.01	14.70	9.11	11.96	11.41	8.98	7.06
118	11.05	13.66	13.76	11.01	7.99	7.28	9.91	12.12	8.38
119	6.34	7.16	10.16	10.38	10.65	11.30	12.40	12.67	7.14
120	12.91	13.05	15.02	7.84	9.65	7.64	7.97	8.59	6.59
121	9.24	10.51	11.84	11.56	-9.38	12.19	12.89	6.52	7.09
122	8.92	6.83	8.16	8.12	7.69	6.08	8.61	7.70	3.66
123	12.37	10.14	11.34	13.13	5.97	10.63	14.63	12.49	13.73
124	2.39	9.86	13.62	8.31	8.64	6.72	3.53	7.47	11.01
125	4.83	6.88	8.35	12.00	11.40	11.03	12.89	8.91	11.96
126	15.44	8.95	13.04	12.21	6.74	11.66	-1.11	13.38	16.62
127	13.02	8.79	12.58	8.94	11.62	13.90	18.32	16.64	9.01
128	16.23	8.07	7.53	14.04	9.01	8.06	13.92	7.35	19.02

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ผลที่	พู 1			พู 2			พู 3		
	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
129	9.76	13.13	11.13	6.34	6.32	8.31	9.17	8.53	9.67
130	8.94	13.50	11.45	8.23	7.35	8.64	9.82	6.57	9.41
131	13.30	15.55	12.98	13.01	5.89	12.11	13.62	13.70	14.02
132	9.71	7.88	8.50	11.57	9.93	9.29	12.82	10.58	10.17
133	8.94	8.38	9.93	6.89	6.95	6.30	7.93	8.51	8.53
134	11.74	10.73	11.91	12.92	7.13	12.23	10.12	7.64	8.78
135	10.15	10.91	9.64	11.64	7.41	6.70	9.34	10.74	7.92
136	12.40	10.19	8.49	16.45	5.58	8.72	15.42	13.80	13.69
137	15.34	13.08	15.68	11.62	7.39	12.91	11.51	13.08	13.36
138	8.70	9.22	12.71	9.09	7.28	7.28	10.41	7.33	7.43
139	9.14	6.19	7.89	9.28	7.98	10.22	8.14	7.36	9.01
140	10.08	12.80	6.87	8.92	7.55	8.00	13.95	9.96	7.37
141	13.64	5.45	9.52	12.60	9.54	13.42	11.76	12.80	13.41
142	7.18	5.09	15.53	10.28	14.11	14.11	9.18	6.98	7.52
143	15.41	9.87	10.74	11.33	6.02	18.21	17.37	7.33	7.51
144	14.69	9.59	14.88	10.39	11.60	11.09	11.09	11.66	5.87
145	10.82	10.82	8.05	10.37	6.69	8.94	9.09	10.66	7.37
146	9.28	11.23	12.96	8.92	8.98	4.30	9.79	11.36	6.65
147	8.96	11.08	8.06	12.13	7.80	11.16	10.56	12.87	10.24
148	10.93	10.04	7.82	13.63	6.59	9.34	8.81	7.41	4.47
149	11.28	10.35	11.51	9.62	6.78	8.79	13.27	4.85	10.93
150	8.10	13.64	15.32	9.76	8.43	6.80	7.35	13.01	10.31
151	13.66	9.34	6.28	14.55	9.49	13.96	6.27	9.71	10.50
152	12.14	9.62	9.72	10.70	11.85	12.02	10.94	7.21	10.25
153	13.43	7.88	11.37	9.35	9.96	13.31	14.42	13.63	9.45
154	8.01	9.71	13.56	9.23	13.58	9.22	8.73	8.63	12.93
155	11.82	9.51	8.69	10.14	11.25	13.25	15.52	11.16	7.48
156	11.70	8.13	12.65	8.53	2.04	7.50	13.64	12.58	13.07
157	9.47	13.21	13.18	8.47	8.49	12.06	12.78	8.01	10.18
158	13.32	15.53	12.28	14.52	13.87	15.78	17.52	15.43	14.08
159	14.99	11.47	9.42	9.17	8.38	16.65	12.31	7.60	9.79
160	7.16	5.57	5.91	6.35	6.63	9.78	6.59	6.93	9.67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ผลที่	พู 1			พู 2			พู 3		
	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
161	12.73	10.27	15.04	9.77	5.34	11.74	7.37	10.21	13.82
162	9.88	5.24	10.19	15.96	13.50	17.44	10.41	12.55	8.49
163	11.37	12.16	8.05	4.37	13.87	8.88	12.62	6.10	6.10
164	13.48	7.22	9.22	10.52	9.38	7.16	14.03	10.85	10.46
165	8.88	9.47	8.37	18.01	9.33	11.01	16.17	8.81	13.31
166	14.94	11.78	11.89	20.19	10.11	14.76	11.03	5.94	8.72
167	11.79	7.91	13.35	10.50	12.28	18.86	16.76	11.01	13.15
168	15.47	-0.16	17.09	18.05	6.75	9.99	11.22	12.40	10.54
169	12.53	10.88	14.20	7.35	2.74	5.95	10.84	15.73	12.25
170	9.08	9.55	8.79	13.08	7.95	12.53	10.11	7.98	2.82
171	4.60	2.49	8.65	4.15	5.99	9.58	6.96	12.40	14.26
172	8.80	6.73	7.49	9.92	7.04	6.43	8.06	9.54	5.47
173	13.26	6.55	7.43	8.34	9.34	10.89	11.53	10.29	12.97
174	7.32	6.64	9.21	10.34	8.96	11.45	8.23	12.11	14.83
175	18.88	6.25	19.42	14.27	12.13	13.02	13.02	15.06	6.63
176	13.30	11.64	9.01	9.59	8.28	8.59	12.65	11.26	14.39
177	13.06	16.69	8.09	13.49	7.90	11.63	9.29	14.31	15.83
178	10.35	7.73	9.77	10.14	10.30	9.59	14.45	10.27	13.93
179	10.49	12.29	13.24	13.50	12.31	12.03	15.65	12.00	9.88
180	6.22	5.65	6.95	6.81	10.23	8.02	11.00	10.75	8.84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 แรงกดทะลุเปลือก

ผลที่	อายุ	แรงกดทะลุ (N)			ความชัน (N/mm)			พื้นที่ใต้กราฟ (N.mm)		
	วัน	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
1	92	26.47	29.04	28.26	2.08	2.69	2.64	27.68	34.59	37.64
2	92	27.54	27.92	21.87	2.08	2.36	1.49	28.47	33.24	16.96
3	92	30.59	28.44	24.26	2.76	2.22	1.81	41.94	31.18	21.92
4	92	29.14	29.10	26.27	2.22	2.11	2.08	32.06	31.29	28.04
5	92	25.55	29.25	28.65	2.08	3.15	2.20	26.65	48.28	32.16
6	92	29.94	24.20	23.55	2.05	1.79	2.03	30.76	21.89	24.05
7	92	27.20	25.09	24.60	2.21	1.81	2.36	29.78	22.84	29.52
8	92	26.09	27.79	27.92	1.94	2.50	2.08	25.34	34.78	29.13
9	92	26.83	26.86	29.34	2.29	2.08	2.72	30.34	27.99	39.06
10	92	24.14	25.80	25.62	2.36	2.71	2.22	29.01	35.00	28.52
11	92	23.37	26.38	23.67	2.22	2.08	1.94	25.74	27.73	23.29
12	92	27.34	27.04	25.86	2.42	2.14	2.08	32.91	24.51	26.94
13	92	28.73	31.81	29.05	1.81	2.88	2.36	26.10	47.42	34.27
14	92	27.76	27.35	24.83	2.14	1.94	2.08	29.98	26.58	26.06
15	92	28.49	28.64	26.31	2.74	2.36	2.56	39.28	34.30	34.42
16	92	24.76	29.44	22.58	2.63	2.53	2.08	32.39	37.08	23.40
17	92	23.18	26.53	24.12	1.67	2.46	2.60	19.32	34.52	31.76
18	92	26.90	28.81	28.02	2.08	1.94	2.87	28.02	28.02	41.03
19	92	25.48	26.85	28.10	3.09	2.32	2.72	39.49	32.61	37.80
20	92	28.15	29.49	24.40	1.94	2.08	2.36	27.52	30.72	29.47
21	92	27.14	27.42	27.01	2.08	2.78	1.81	28.27	38.29	24.39
22	92	28.56	28.29	28.11	2.22	1.94	2.45	31.77	27.61	34.85
23	92	27.28	25.17	27.62	2.08	1.94	2.30	28.41	24.52	31.89
24	92	29.76	28.43	28.64	2.57	2.14	2.27	37.94	25.83	32.55
25	92	24.05	24.79	23.66	2.22	2.00	2.22	27.36	20.66	26.20
26	92	27.04	27.28	27.17	1.94	2.28	2.29	26.48	26.55	30.98
27	92	26.18	25.32	27.51	2.88	2.40	2.50	37.60	30.19	34.38
28	92	31.63	31.12	28.39	2.46	2.62	2.28	39.95	41.52	32.49
29	92	27.24	27.97	26.01	2.64	1.99	2.37	35.97	28.72	31.35
30	92	27.38	25.14	26.93	2.22	2.08	2.13	30.73	26.49	28.69
31	99	29.74	28.41	25.07	2.78	2.57	2.57	42.08	37.89	32.15
32	99	25.06	25.09	23.93	1.94	1.81	2.29	24.99	22.60	27.81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ผลที่	อายุ	แรงกดทะลุ (N)			ความชัน (N/mm)			พื้นที่ใต้กราฟ (N.mm)		
	วัน	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
33	99	26.94	25.01	24.60	2.22	2.08	2.69	29.89	26.05	33.18
34	99	24.48	23.44	23.52	1.67	1.67	1.94	20.40	19.53	24.12
35	99	23.02	26.74	20.15	1.81	1.81	1.81	20.95	24.19	18.11
36	99	20.17	23.20	22.29	1.94	1.67	1.25	19.66	19.62	13.93
37	99	23.74	24.05	21.71	2.57	2.22	2.22	30.00	26.42	24.06
38	99	27.89	27.47	21.87	2.40	2.22	1.67	33.34	30.63	18.41
39	99	27.19	26.68	23.68	1.94	1.94	1.67	26.58	25.89	19.44
40	99	20.85	27.67	21.82	2.22	1.94	1.67	23.29	27.06	18.18
41	99	24.40	24.04	23.32	1.67	1.94	1.67	20.33	23.80	19.43
42	99	21.89	25.77	24.25	1.94	1.94	1.81	21.35	25.15	21.88
43	99	26.35	25.97	22.48	1.67	1.53	1.67	21.96	19.79	18.77
44	99	23.24	27.39	26.63	1.53	2.08	1.94	17.84	28.37	26.17
45	99	23.86	27.16	23.09	2.12	1.81	2.22	25.60	24.52	25.42
46	99	21.51	25.66	21.02	1.67	2.43	1.94	17.93	30.92	20.89
47	99	22.62	22.31	21.73	1.67	1.67	1.25	18.84	18.59	13.58
48	99	24.21	24.78	22.33	1.67	1.53	1.81	20.18	19.07	20.33
49	99	25.21	26.72	25.47	1.67	1.67	2.22	21.32	22.02	27.98
50	99	25.47	26.02	24.35	1.67	2.14	1.94	21.36	27.88	23.83
51	99	22.60	26.82	23.79	1.94	1.81	1.94	21.77	24.30	23.06
52	99	25.76	25.37	23.82	1.67	1.94	1.67	21.47	24.85	19.85
53	99	22.50	25.03	28.17	2.29	2.22	1.81	25.20	28.47	25.66
54	99	29.14	30.52	27.80	2.36	2.36	2.08	34.14	35.78	29.00
55	99	24.30	29.19	23.13	1.81	2.08	1.94	21.95	30.57	22.63
56	99	23.57	23.59	23.23	1.67	1.67	1.81	19.64	19.66	21.13
57	99	22.64	25.14	22.95	1.94	1.67	1.81	22.13	20.95	20.90
58	99	23.04	25.92	22.79	2.08	2.08	1.81	23.46	27.00	20.51
59	99	21.54	25.05	25.74	1.53	1.67	1.39	16.14	20.87	17.94
60	99	23.36	25.18	23.44	1.53	1.81	2.01	17.73	22.62	22.58
61	106	26.33	25.90	24.46	1.81	2.44	2.08	23.95	32.12	25.15
62	106	25.70	24.21	21.42	2.22	2.22	1.94	28.62	27.24	20.87
63	106	23.00	21.82	21.32	1.67	1.67	1.67	19.14	18.18	17.95
64	106	29.15	27.73	25.54	2.22	1.94	1.81	32.55	26.85	22.84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ผลที่	อายุ	แรงกดทะลุ (N)			ความชัน (N/mm)			พื้นที่ใต้กราฟ (N.mm)		
	วัน	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
65	106	26.01	25.55	24.86	2.36	2.22	2.08	30.76	29.19	25.87
66	106	25.24	29.38	25.17	1.94	2.59	2.08	24.65	38.02	25.23
67	106	27.81	27.09	23.50	2.08	1.81	1.94	29.36	24.36	22.90
68	106	25.14	24.22	24.45	1.94	1.94	1.94	24.47	23.70	23.90
69	106	29.02	26.02	23.56	2.36	1.67	1.67	34.25	21.68	19.63
70	106	25.19	27.07	27.09	1.81	1.81	1.81	22.80	25.03	24.69
71	106	25.17	26.72	25.18	1.67	1.81	1.67	20.98	24.22	20.99
72	106	24.81	26.07	25.64	1.94	2.30	1.94	23.92	30.00	24.87
73	106	26.16	24.52	23.07	1.81	1.67	1.67	23.89	20.49	18.50
74	106	23.40	25.33	24.12	1.81	2.08	1.94	21.05	26.38	23.62
75	106	23.67	25.39	24.23	1.94	1.94	2.22	22.65	24.92	27.18
76	106	23.52	25.96	21.63	1.94	1.94	1.39	22.62	25.48	14.87
77	106	25.48	29.05	28.14	1.81	1.81	1.81	23.12	26.20	25.43
78	106	26.01	26.19	25.90	1.94	1.81	1.67	25.30	23.75	21.58
79	106	23.72	28.30	21.25	2.16	1.81	2.22	25.97	25.57	23.48
80	106	28.27	26.05	25.48	1.94	1.94	1.81	27.64	25.54	22.98
81	106	24.96	24.57	25.23	2.22	1.81	2.30	27.68	22.43	29.26
82	106	32.85	28.31	23.93	2.08	2.08	1.94	34.22	29.94	23.07
83	106	28.71	26.97	26.83	1.94	2.22	1.81	28.17	30.19	24.31
84	106	27.02	24.90	26.05	2.22	1.94	1.81	30.00	24.01	23.60
85	106	29.22	26.59	21.99	1.67	1.81	1.67	24.35	24.24	18.32
86	106	22.92	27.13	25.93	2.08	2.22	1.94	23.88	29.88	25.15
87	106	25.96	25.13	24.22	2.08	2.22	1.67	27.04	28.23	20.18
88	106	21.34	24.21	24.69	1.94	2.08	1.94	21.02	25.89	24.10
89	106	27.27	21.67	26.63	1.94	1.67	2.08	26.62	18.06	27.74
90	106	27.22	29.57	26.29	1.81	1.67	1.67	24.79	24.65	22.35
91	113	29.66	27.41	26.78	2.51	1.77	2.02	37.26	24.35	27.13
92	113	23.16	24.67	22.10	1.98	2.03	1.77	22.93	25.18	19.55
93	113	27.45	28.95	25.22	2.25	1.86	1.78	30.84	27.10	22.36
94	113	25.65	25.52	24.30	1.95	1.95	2.02	25.04	25.15	24.72
95	113	28.25	25.61	25.05	1.96	1.80	1.91	27.52	23.31	23.78
96	113	20.48	24.84	24.04	1.65	1.94	1.62	17.38	24.20	19.82

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ผลที่	อายุ	แรงกดทะลุ (N)			ความชัน (N/mm)			พื้นที่ใต้กราฟ (N.mm)		
	วัน	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
97	113	20.73	24.17	22.83	1.71	1.95	1.75	17.60	23.26	19.83
98	113	24.44	23.38	20.13	1.61	1.83	1.55	19.75	21.45	15.46
99	113	25.66	26.11	25.05	1.93	1.65	1.99	24.84	21.50	24.61
100	113	23.35	25.68	21.35	1.73	1.73	2.05	20.23	22.49	21.70
101	113	25.72	22.18	19.21	2.09	1.61	1.82	26.76	17.83	17.61
102	113	24.12	22.22	27.78	1.71	2.31	1.79	20.30	26.11	25.30
103	113	21.32	23.39	22.21	2.32	1.68	2.14	24.27	20.05	23.31
104	113	30.43	21.56	22.42	2.02	1.97	1.71	30.84	20.90	19.20
105	113	27.84	25.74	19.86	2.00	1.93	2.07	27.75	24.63	20.54
106	113	22.57	26.47	21.86	2.34	2.06	2.40	26.58	27.06	26.49
107	113	24.41	24.18	21.13	1.87	1.90	1.48	22.92	23.55	15.61
108	113	24.58	25.07	25.81	2.00	2.14	1.75	24.66	26.84	22.90
109	113	19.21	22.28	20.69	1.66	1.97	1.67	16.03	21.86	18.11
110	113	22.99	26.96	22.14	1.94	1.68	2.03	22.13	22.54	22.49
111	113	22.96	21.85	26.27	1.89	1.84	1.95	21.63	19.99	25.62
112	113	23.36	24.04	21.45	2.01	1.94	1.96	23.37	23.78	21.06
113	113	23.62	22.78	23.16	1.70	2.50	1.98	20.28	27.84	22.88
114	113	23.75	22.63	21.54	1.92	1.79	2.11	22.55	20.20	22.86
115	113	25.80	27.28	21.45	1.66	2.22	2.24	21.88	30.08	23.93
116	113	21.38	21.83	23.25	2.09	1.85	1.73	22.53	20.09	20.04
117	113	24.70	27.00	22.67	2.25	1.71	2.08	27.75	23.33	23.32
118	113	22.75	25.07	22.54	2.33	1.86	2.04	26.43	23.39	23.04
119	113	27.11	26.53	24.50	1.56	1.96	1.53	21.23	26.02	18.68
120	113	25.56	25.64	24.47	2.11	1.92	2.00	26.84	24.69	24.34
121	113	23.25	26.06	22.75	2.06	1.94	2.25	23.89	26.08	25.46
122	120	26.19	22.18	25.93	2.07	2.00	2.35	27.57	22.31	30.47
123	120	26.32	25.68	23.31	1.96	2.17	1.78	26.18	27.49	20.67
124	120	26.58	23.21	29.82	2.25	2.16	2.28	30.08	25.25	33.70
125	120	24.53	23.49	22.51	1.67	2.28	1.73	20.60	26.40	19.15
126	120	20.56	20.35	23.72	2.15	1.38	1.49	21.44	14.08	18.02
127	120	25.75	25.39	25.81	1.63	1.40	1.76	20.85	17.90	22.49
128	120	23.71	22.46	18.84	1.78	1.81	2.07	21.05	20.39	19.68

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ผลที่	อายุ	แรงกดทะลุ (N)			ความชัน (N/mm)			พื้นที่ใต้กราฟ (N.mm)		
	วัน	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
129	120	25.74	24.11	23.54	2.07	1.81	2.70	26.83	21.68	31.54
130	120	23.29	24.43	20.97	1.89	1.77	1.68	22.25	21.67	18.35
131	120	24.98	25.88	27.49	1.80	2.10	1.58	22.49	26.91	21.74
132	120	21.22	21.59	23.81	2.01	2.04	2.52	21.56	22.49	29.90
133	120	25.13	24.52	23.85	2.39	2.08	1.97	29.74	25.66	23.57
134	120	25.39	24.35	24.34	1.66	2.27	2.02	21.41	27.04	25.13
135	120	17.00	18.61	17.69	1.46	1.67	1.58	12.46	12.14	14.06
136	120	21.72	24.24	23.70	2.40	2.01	1.42	25.88	24.34	16.87
137	120	26.60	27.14	22.35	1.62	1.89	1.98	21.90	25.88	22.25
138	120	19.67	23.18	19.18	1.57	1.99	1.71	15.64	23.04	16.33
139	120	19.99	20.66	23.71	2.02	1.92	2.26	20.22	19.56	26.63
140	120	22.84	21.22	19.30	1.79	1.72	1.86	20.21	18.34	18.15
141	120	26.71	27.93	22.24	2.13	2.26	2.06	28.43	30.71	22.95
142	120	26.00	23.04	24.56	1.82	1.94	1.69	23.60	22.55	20.84
143	120	27.20	25.40	24.10	2.03	1.73	1.96	27.67	22.11	23.54
144	120	24.46	21.32	23.15	2.28	2.39	2.07	27.56	25.21	24.16
145	120	23.38	24.51	18.02	1.81	1.78	2.12	21.54	21.87	19.14
146	120	25.10	24.41	27.89	2.30	2.50	1.95	29.36	30.79	27.56
147	120	26.89	19.98	21.00	2.19	1.71	1.70	29.44	17.08	17.89
148	120	21.37	23.83	21.25	1.82	1.99	1.96	19.53	23.77	20.56
149	120	27.84	24.93	23.49	1.93	2.09	2.30	27.05	25.91	26.92
150	120	23.22	20.75	19.79	1.95	1.47	2.07	22.52	15.79	20.82
151	127	22.63	24.98	24.94	1.54	2.08	1.78	17.47	25.55	22.46
152	127	26.51	26.46	25.75	1.94	2.26	1.75	25.70	29.98	23.15
153	127	21.22	22.79	23.53	1.52	2.00	1.87	16.12	22.94	21.98
154	127	27.61	25.22	23.58	2.29	2.08	1.64	31.68	26.13	19.50
155	127	25.75	26.92	22.01	1.96	1.77	2.23	25.45	25.17	24.33
156	127	23.90	25.59	22.66	1.56	1.70	1.48	18.88	23.97	17.10
157	127	24.29	27.19	23.38	2.05	2.27	2.22	24.92	35.51	25.82
158	127	25.29	19.92	23.25	2.23	1.31	1.83	28.29	13.24	21.21
159	127	28.09	24.51	26.55	2.51	2.08	2.12	35.07	25.56	28.04
160	127	27.15	22.02	20.45	2.41	1.82	1.73	32.55	20.28	17.58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ผลที่	อายุ	แรงกดทะลุ (N)			ความชัน (N/mm)			พื้นที่ใต้กราฟ (N.mm)		
	วัน	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง	กลาง	บน	ล่าง
161	127	26.22	25.03	24.50	1.56	1.58	1.71	20.54	19.92	21.02
162	127	24.35	26.63	22.56	1.86	2.41	1.68	22.35	33.01	19.23
163	127	27.36	24.10	24.64	1.97	1.86	1.96	26.99	22.52	24.26
164	127	26.93	26.67	23.36	1.89	2.19	1.88	25.40	29.27	22.07
165	127	25.37	24.04	19.49	1.80	2.11	1.80	23.08	25.18	17.30
166	127	26.22	21.98	25.60	1.88	1.77	2.05	24.76	19.58	26.22
167	127	27.13	20.88	22.66	1.88	1.41	2.12	25.74	14.62	23.59
168	127	23.97	26.29	21.40	1.76	1.88	1.87	21.34	27.58	20.11
169	127	27.32	21.89	21.59	1.87	2.34	1.55	25.71	26.31	16.75
170	127	28.12	25.65	22.19	2.21	1.70	1.75	31.26	21.70	19.42
171	127	25.23	26.03	28.69	2.35	2.72	2.36	29.91	35.92	34.42
172	127	24.78	23.65	26.22	2.10	2.34	2.09	26.02	27.67	27.48
173	127	26.11	25.39	18.45	1.78	1.99	1.74	23.17	25.89	16.50
174	127	25.41	25.07	27.12	1.92	2.37	2.07	24.23	34.97	28.24
175	127	24.30	20.57	19.64	1.88	1.82	1.64	22.83	18.77	15.95
176	127	24.35	22.78	24.50	2.01	2.52	2.12	24.89	29.20	26.20
177	127	25.40	26.60	24.56	2.06	2.12	1.88	26.14	28.14	23.18
178	127	26.64	26.30	23.27	2.09	2.11	2.35	27.93	27.80	27.50
179	127	24.59	21.93	23.24	1.98	2.02	2.08	24.38	22.19	24.25
180	127	18.26	23.47	23.28	1.68	2.44	2.01	15.47	28.71	24.30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง, ความเค้นดัดของก้านทุเรียน, ความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียน

ผลที่	อายุ วัน	%DW	จุดที่ 1 N/mm^2	จุดที่ 2 N/mm^2	ดัชนีความถี่ $f^2 m^{2/3}$
1	92	31.38	1.14	0.33	24915.86
2	92	31.83	1.26	0.34	25989.22
3	92	22.58	0.94	0.28	35962.10
4	92	22.41	1.41	0.35	34602.56
5	92	23.57	0.62	0.20	36634.43
6	92	25.10	1.17	0.39	34592.83
7	92	18.87	0.60	0.30	37305.09
8	92	28.16	0.75	0.29	25675.21
9	92	26.32	1.05	0.25	32191.89
10	92	21.66	0.84	0.10	29017.73
11	92	28.45	0.81	0.39	32260.50
12	92	29.67	0.86	0.63	31087.91
13	92	25.82	1.29	0.46	28100.16
14	92	27.11	0.89	0.26	30903.71
15	92	30.73	0.84	0.37	34057.73
16	92	22.77	1.34	0.18	34903.45
17	92	21.33	0.69	0.24	28955.99
18	92	26.23	0.72	0.34	35347.19
19	92	30.41	0.85	0.23	26963.26
20	92	34.20	0.90	0.43	24479.96
21	92	31.05	1.50	0.25	24728.82
22	92	28.84	1.04	0.33	33071.60
23	92	27.01	1.21	0.26	25237.29
24	92	24.96	0.87	0.11	29113.74
25	92	27.76	1.55	0.26	30220.79
26	92	32.21	0.98	0.38	30286.94
27	92	38.77	1.63	0.37	26746.94
28	92	26.25	1.59	0.16	31757.30
29	92	24.76	1.17	0.20	31935.29
30	92	22.71	0.90	0.30	32905.20
31	99	38.24	0.82	0.30	28471.92

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ผลที่	อายุ	%DW	จุดที่ 1	จุดที่ 2	ดัชนีความถี่
	วัน		N/mm^2	N/mm^2	$f^2 m^{2/3}$
32	99	29.48	1.55	0.17	24386.44
33	99	37.54	0.70	0.11	32510.22
34	99	34.08	1.54	0.21	24206.71
35	99	36.00	1.49	0.12	32138.61
36	99	36.06	1.43	0.15	23436.22
37	99	37.71	0.94	0.21	32737.07
38	99	39.77	1.32	0.36	27075.78
39	99	35.19	1.44	0.28	23712.32
40	99	34.39	1.21	0.16	23341.63
41	99	36.04	1.52	0.16	23885.23
42	99	36.57	1.74	0.24	26391.78
43	99	41.32	1.51	0.17	28198.29
44	99	35.35	1.71	0.25	22265.18
45	99	36.96	1.18	0.19	29710.58
46	99	33.28	1.36	0.31	22955.02
47	99	35.86	0.88	0.15	30228.67
48	99	35.47	0.89	0.09	35289.94
49	99	33.77	1.23	0.15	27995.61
50	99	35.00	1.48	0.34	25182.05
51	99	35.29	1.57	0.16	35368.95
52	99	37.94	1.10	0.19	28178.89
53	99	35.51	0.98	0.16	27487.72
54	99	38.98	1.50	0.08	29658.50
55	99	34.14	1.59	0.27	32378.84
56	99	33.60	1.36	0.44	23260.64
57	99	29.14	1.66	0.15	31677.59
58	99	36.29	1.63	0.27	28441.18
59	99	35.55	1.74	0.25	25212.02
60	99	31.71	1.80	0.30	23753.30
61	106	39.14	1.95	0.08	20597.54
62	106	37.02	1.61	0.07	31089.83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	%DW	จุดที่ 1 N/mm^2	จุดที่ 2 N/mm^2	ดัชนีความถี่ $f^2m^{2/3}$
63	106	37.64	1.72	0.07	21887.57
64	106	38.20	1.44	0.14	24152.44
65	106	37.74	1.10	0.17	20090.54
66	106	33.95	1.57	0.21	32407.32
67	106	36.71	1.54	0.25	21742.83
68	106	33.58	1.60	0.40	22673.72
69	106	38.23	1.21	0.09	20984.35
70	106	37.75	1.59	0.12	23179.62
71	106	38.02	1.94	0.10	18928.10
72	106	38.92	1.78	0.16	21832.16
73	106	36.36	1.17	0.13	23636.20
74	106	40.37	1.97	0.31	22240.75
75	106	38.18	1.61	0.11	32988.80
76	106	37.46	1.46	0.24	24731.01
77	106	35.97	1.45	0.17	24823.16
78	106	36.48	1.42	0.12	21284.15
79	106	37.18	1.46	0.12	33343.06
80	106	40.81	0.95	0.10	28301.62
81	106	39.64	1.38	0.09	31262.36
82	106	41.44	1.39	0.28	31498.00
83	106	39.69	0.94	0.05	26815.21
84	106	39.48	1.58	0.12	18828.49
85	106	39.36	1.89	0.20	19758.54
86	106	38.34	1.69	0.11	22984.07
87	106	37.38	1.49	0.16	25477.53
88	106	39.93	1.41	0.19	33429.12
89	106	40.97	1.51	0.26	26209.08
90	106	38.86	1.32	0.24	22694.57
91	113	40.69	1.77	0.44	31179.75
92	113	39.30	1.16	0.13	22135.06
93	113	39.40	1.47	0.33	32489.65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	%DW	จุดที่ 1 N/mm^2	จุดที่ 2 N/mm^2	ดัชนีความถี่ $f^2 m^{2/3}$
94	113	38.50	1.42	0.33	24888.66
95	113	36.06	1.26	0.32	26667.36
96	113	36.49	1.86	0.39	32542.81
97	113	35.55	1.25	0.31	26962.19
98	113	35.03	1.47	0.32	29306.78
99	113	37.18	1.06	0.18	31769.06
100	113	38.48	1.93	0.60	25702.83
101	113	40.75	1.23	0.44	22125.19
102	113	38.62	1.61	0.27	21675.87
103	113	36.77	1.37	0.27	28410.15
104	113	38.79	1.71	0.44	24571.93
105	113	37.67	1.98	0.35	27321.22
106	113	37.64	1.41	0.26	32174.59
107	113	35.59	1.07	0.34	30542.31
108	113	39.62	1.16	0.27	29804.49
109	113	34.81	1.19	0.26	26383.61
110	113	38.43	1.25	0.17	25340.05
111	113	35.72	1.05	0.34	27485.45
112	113	37.48	1.77	0.32	29273.56
113	113	38.60	0.92	0.09	30434.95
114	113	37.61	1.32	0.27	26894.80
115	113	39.04	1.58	0.27	28999.88
116	113	35.10	1.50	0.21	26513.25
117	113	38.69	1.36	0.30	31507.01
118	113	36.53	2.16	0.39	23918.87
119	113	36.48	1.70	0.36	24501.78
120	113	39.14	1.31	0.17	30591.31
121	120	37.13	2.33	0.35	27653.55
122	120	38.43	1.09	0.13	23771.58
123	120	36.14	1.75	0.25	23763.95
124	120	35.87	2.14	0.18	26013.02

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	%DW	จุดที่ 1 N/mm^2	จุดที่ 2 N/mm^2	ดัชนีความถี่ $f^2 m^{2/3}$
125	120	35.71	2.32	0.35	21326.83
126	120	33.19	1.68	0.39	20086.48
127	120	37.91	1.82	0.17	27987.95
128	120	36.65	1.78	0.23	17879.14
129	120	38.01	1.46	0.16	27739.45
130	120	32.88	1.93	0.22	16460.46
131	120	39.69	1.82	0.26	21501.44
132	120	37.71	2.17	0.39	21971.61
133	120	36.64	1.78	0.39	22824.44
134	120	38.38	2.20	0.27	24113.28
135	120	33.93	2.21	0.27	16865.51
136	120	35.37	1.45	0.15	19090.94
137	120	37.64	1.68	0.27	19388.91
138	120	31.48	1.35	0.17	18870.60
139	120	38.88	1.25	0.16	24688.01
140	120	37.05	1.70	0.39	27138.26
141	120	34.97	1.41	0.17	18274.74
142	120	38.57	1.35	0.25	24472.04
143	120	37.24	1.14	0.22	21651.48
144	120	36.27	1.45	0.22	21263.19
145	120	36.93	1.63	0.21	15695.35
146	120	35.52	1.65	0.33	23530.49
147	120	35.05	1.38	0.16	15810.87
148	120	37.76	1.30	0.32	23953.92
149	120	37.46	1.37	0.14	26192.23
150	120	34.75	1.41	0.43	27815.27
151	127	35.76	1.70	0.26	25717.01
152	127	36.22	1.07	0.20	26991.19
153	127	35.89	1.49	0.24	23837.77
154	127	36.39	1.94	0.26	21331.63
155	127	34.54	2.37	0.19	24284.61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	%DW	จุดที่ 1 N/mm^2	จุดที่ 2 N/mm^2	ดัชนีความถี่ $f^2 m^{2/3}$
156	127	38.82	2.04	0.28	21524.55
157	127	37.21	1.86	0.28	20167.55
158	127	36.49	1.88	0.27	24238.65
159	127	35.89	1.47	0.22	19241.55
160	127	35.10	2.37	0.31	23499.56
161	127	36.04	2.06	0.29	19305.88
162	127	35.36	1.72	0.41	20778.12
163	127	34.34	2.00	0.28	21073.48
164	127	35.77	2.25	0.24	18850.92
165	127	34.65	1.49	0.31	20411.94
166	127	36.88	1.70	0.28	25336.82
167	127	38.05	1.14	0.31	25526.99
168	127	37.27	1.76	0.30	23504.39
169	127	36.93	2.26	0.21	20329.12
170	127	35.56	1.17	0.18	23751.24
171	127	39.60	1.83	0.19	24635.78
172	127	39.50	1.19	0.16	22312.50
173	127	37.08	1.05	0.18	27354.41
174	127	36.90	1.24	0.22	26630.57
175	127	35.67	1.90	0.17	23145.06
176	127	36.54	2.42	0.31	20665.98
177	127	38.78	1.33	0.25	22111.20
178	127	37.47	2.29	0.31	24529.53
179	127	37.07	1.55	0.23	23424.90
180	127	36.38	1.93	0.20	16302.90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 ค่าความถ่วงจำเพาะ (S_f), ขนาดของผลทุเรียน

ผลที่	อายุ	W_f (Kg)	W_d (Kg)	S_f	มิติผล (Cm)		
	วัน				H	Dmax	Dmin
1	92	3.88	4.54	0.85	29.30	21.30	18.20
2	92	4.30	4.78	0.90	28.60	20.60	20.20
3	92	3.64	4.06	0.90	27.30	19.10	18.80
4	92	3.78	4.20	0.90	26.20	19.70	19.30
5	92	4.38	4.80	0.91	30.10	21.70	20.30
6	92	3.78	4.18	0.90	28.40	20.30	17.50
7	92	2.72	2.96	0.92	24.10	18.90	17.60
8	92	3.54	4.08	0.87	27.80	20.30	19.30
9	92	3.70	4.10	0.90	24.80	22.20	21.10
10	92	3.48	3.86	0.90	23.20	23.10	17.50
11	92	3.06	3.38	0.91	25.30	19.60	18.80
12	92	3.06	3.44	0.89	27.60	19.90	17.80
13	92	4.90	5.48	0.89	29.10	21.30	21.10
14	92	3.80	4.24	0.90	28.50	20.60	19.90
15	92	3.16	3.54	0.89	25.50	20.80	16.30
16	92	3.72	4.08	0.91	26.80	20.70	19.90
17	92	4.08	4.54	0.90	28.80	21.70	20.20
18	92	3.04	3.34	0.91	24.20	19.50	19.10
19	92	4.02	4.54	0.89	25.50	21.10	20.40
20	92	3.50	4.18	0.84	26.80	20.40	18.10
21	92	4.64	5.36	0.87	27.50	23.10	19.70
22	92	3.58	4.04	0.89	29.50	20.30	17.60
23	92	3.34	3.88	0.86	25.80	20.10	19.70
24	92	3.44	3.84	0.90	25.50	20.30	20.30
25	92	4.36	4.84	0.90	27.50	25.60	21.30
26	92	2.56	2.88	0.89	24.80	19.10	18.90
27	92	3.96	5.02	0.79	28.30	22.30	21.00
28	92	3.56	3.94	0.90	27.80	19.90	18.70
29	92	4.02	4.46	0.90	25.50	21.60	20.90
30	92	4.12	4.66	0.88	28.20	21.00	18.60
31	99	3.52	4.04	0.87	27.30	21.90	17.70
32	99	4.10	4.72	0.87	29.10	21.40	21.10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	W_f (Kg)	W_d (Kg)	S_f	มิติผล (Cm)		
					H	Dmax	Dmin
33	99	2.74	3.24	0.85	25.40	18.80	18.40
34	99	4.06	4.64	0.88	27.70	22.30	17.90
35	99	2.76	3.20	0.86	23.50	20.50	19.10
36	99	5.78	6.64	0.87	29.70	24.60	23.80
37	99	2.88	3.30	0.87	23.60	19.60	18.20
38	99	3.70	4.30	0.86	26.10	20.70	19.70
39	99	4.30	5.10	0.84	29.40	22.10	21.30
40	99	3.98	4.60	0.87	24.10	22.10	21.90
41	99	5.06	5.90	0.86	31.20	22.90	21.90
42	99	3.64	4.32	0.84	28.40	20.60	18.70
43	99	5.32	6.16	0.86	31.80	24.10	23.70
44	99	4.34	5.12	0.85	28.90	22.30	21.60
45	99	3.04	3.52	0.86	25.10	19.90	20.40
46	99	3.98	4.60	0.87	25.80	21.20	20.60
47	99	3.40	3.90	0.87	27.80	20.50	20.30
48	99	3.22	3.62	0.89	26.60	21.20	18.80
49	99	4.36	4.96	0.88	29.20	22.40	21.10
50	99	4.92	5.70	0.86	31.80	22.10	21.30
51	99	3.92	4.46	0.88	28.80	21.20	21.10
52	99	3.52	4.08	0.86	27.30	22.00	20.50
53	99	4.42	5.08	0.87	28.70	21.80	20.60
54	99	3.38	4.10	0.82	27.60	20.20	19.10
55	99	3.72	4.22	0.88	27.50	21.70	19.30
56	99	4.14	4.78	0.87	27.80	21.90	20.40
57	99	3.42	3.82	0.90	24.30	21.70	20.10
58	99	3.38	3.82	0.88	24.40	21.50	19.40
59	99	5.14	5.98	0.86	29.10	24.60	19.30
60	99	4.54	5.24	0.87	28.70	22.30	21.40
61	106	4.06	4.76	0.85	28.70	22.10	18.70
62	106	2.64	3.20	0.83	27.70	18.30	17.90
63	106	5.44	6.46	0.84	32.30	23.10	22.40
64	106	3.54	4.16	0.85	29.70	21.10	20.80

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	W_f (Kg)	W_d (Kg)	S_f	มิติผล (Cm)		
					H	Dmax	Dmin
65	106	3.24	3.84	0.84	25.90	19.90	18.80
66	106	3.18	3.68	0.86	26.70	20.10	19.60
67	106	4.26	4.98	0.86	28.10	22.20	20.10
68	106	3.22	3.72	0.87	25.80	20.70	20.10
69	106	4.84	5.74	0.84	28.80	22.90	22.30
70	106	3.52	4.06	0.87	28.10	21.10	18.70
71	106	4.28	5.08	0.84	28.60	24.60	19.30
72	106	2.94	3.46	0.85	26.70	18.90	18.60
73	106	4.38	5.22	0.84	30.10	21.20	20.80
74	106	3.66	4.38	0.84	29.80	22.10	19.10
75	106	3.56	4.14	0.86	27.30	20.20	19.10
76	106	3.24	3.88	0.84	27.50	19.90	18.20
77	106	4.52	5.48	0.82	31.20	21.30	19.90
78	106	4.20	4.94	0.85	28.70	20.50	20.30
79	106	2.94	3.40	0.86	25.20	20.30	18.20
80	106	3.88	4.70	0.83	30.80	22.10	18.50
81	106	2.66	3.08	0.86	22.80	20.10	18.20
82	106	3.56	4.12	0.86	28.60	18.90	17.20
83	106	3.90	4.76	0.82	29.30	21.80	19.80
84	106	4.38	5.24	0.84	29.50	21.90	19.70
85	106	4.22	5.06	0.83	29.20	22.70	18.80
86	106	3.18	3.88	0.82	27.20	20.30	17.40
87	106	3.94	4.76	0.83	30.10	22.20	21.70
88	106	2.56	2.98	0.86	23.10	18.70	17.90
89	106	3.04	3.52	0.86	26.20	21.80	18.90
90	106	4.78	5.62	0.85	30.80	22.20	21.70
91	113	2.56	2.96	0.86	23.80	17.90	17.40
92	113	4.60	5.44	0.85	32.10	21.50	21.30
93	113	2.92	3.42	0.85	27.30	19.10	17.60
94	113	3.76	4.46	0.84	27.40	22.20	18.10
95	113	2.84	3.28	0.87	26.40	18.20	17.60
96	113	2.64	3.02	0.87	22.30	22.50	16.70

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	W_f (Kg)	W_d (Kg)	S_f	มิติผล (Cm)		
					H	Dmax	Dmin
97	113	3.08	3.54	0.87	25.40	22.10	17.40
98	113	3.22	3.64	0.88	24.30	20.90	19.80
99	113	2.36	2.74	0.86	23.20	18.90	16.90
100	113	2.92	3.36	0.87	24.20	20.90	19.10
101	113	3.80	4.44	0.86	27.80	20.60	20.20
102	113	3.16	3.64	0.87	28.40	19.30	18.20
103	113	3.16	3.68	0.86	25.10	21.70	18.90
104	113	2.76	3.18	0.87	24.10	19.90	18.60
105	113	2.40	2.72	0.88	23.80	18.90	16.70
106	113	3.18	3.72	0.85	27.80	19.60	19.50
107	113	2.96	3.38	0.88	24.60	21.20	20.10
108	113	2.92	3.44	0.85	27.20	18.90	17.60
109	113	2.88	3.38	0.85	27.10	20.10	16.60
110	113	2.84	3.24	0.88	24.20	20.80	17.90
111	113	3.08	3.52	0.88	25.30	19.70	19.40
112	113	3.16	3.70	0.85	26.10	19.90	17.20
113	113	3.84	4.36	0.88	27.10	19.50	19.30
114	113	3.22	3.78	0.85	28.60	19.60	17.60
115	113	2.88	3.42	0.84	25.30	20.10	18.30
116	113	3.16	3.66	0.86	24.60	20.60	20.20
117	113	3.08	3.64	0.85	27.80	21.60	17.10
118	113	3.26	3.84	0.85	24.40	22.70	22.50
119	113	3.70	4.36	0.85	26.30	20.90	19.90
120	113	3.16	3.78	0.84	28.10	19.90	18.40
121	120	3.16	3.62	0.87	23.90	21.90	18.20
122	120	4.18	5.00	0.84	30.20	21.10	20.40
123	120	3.52	4.06	0.87	27.10	21.50	19.40
124	120	3.36	3.82	0.88	28.10	20.30	18.60
125	120	5.56	6.52	0.85	31.20	23.50	22.50
126	120	3.96	4.54	0.87	27.40	21.40	19.50
127	120	5.16	5.94	0.87	27.40	24.20	22.60
128	120	4.52	5.30	0.85	28.70	23.10	20.20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	W_f (Kg)	W_d (Kg)	S_f	มิติผล (Cm)		
					H	Dmax	Dmin
129	120	2.76	3.22	0.86	23.50	20.80	19.50
130	120	3.58	4.14	0.86	27.50	20.10	17.70
131	120	4.38	5.14	0.85	28.30	21.50	21.30
132	120	3.16	3.66	0.86	26.40	20.40	19.30
133	120	3.62	4.30	0.84	27.80	20.70	18.80
134	120	3.36	4.08	0.82	26.50	21.10	20.60
135	120	3.56	4.46	0.80	27.90	22.70	18.90
136	120	4.56	5.38	0.85	30.20	22.20	21.10
137	120	3.94	4.86	0.81	28.10	21.60	19.80
138	120	3.64	4.40	0.83	27.20	20.50	17.90
139	120	2.44	2.86	0.85	20.70	20.40	18.80
140	120	3.20	3.60	0.89	22.80	21.40	20.90
141	120	4.84	5.85	0.83	29.80	22.30	20.10
142	120	3.14	3.64	0.86	26.30	19.60	19.40
143	120	3.38	3.90	0.87	27.20	20.60	19.20
144	120	3.64	4.40	0.83	27.20	19.90	18.90
145	120	2.70	3.04	0.89	24.10	20.40	17.20
146	120	2.96	3.38	0.88	27.30	18.90	18.50
147	120	2.98	3.50	0.85	26.20	19.90	19.20
148	120	2.52	2.98	0.85	23.90	19.80	19.10
149	120	2.68	2.98	0.90	24.50	19.90	19.80
150	120	2.36	2.68	0.88	22.80	21.70	17.30
151	127	3.28	3.66	0.90	25.70	18.80	17.90
152	127	3.46	4.04	0.86	25.10	20.70	19.50
153	127	4.54	5.18	0.88	29.80	20.90	20.20
154	127	3.78	4.46	0.85	28.90	21.80	18.60
155	127	3.64	4.14	0.88	26.30	20.50	20.10
156	127	4.26	4.80	0.89	28.10	22.10	18.40
157	127	4.26	5.02	0.85	28.40	20.50	20.40
158	127	4.08	4.74	0.86	26.30	21.10	21.00
159	127	4.54	5.44	0.83	29.80	20.90	20.00
160	127	3.84	4.56	0.84	26.90	20.90	19.30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ผลที่	อายุ วัน	W_f (Kg)	W_d (Kg)	S_f	มิติผล (Cm)		
					H	Dmax	Dmin
161	127	4.52	5.28	0.86	30.60	22.60	19.30
162	127	4.28	4.92	0.87	28.50	21.10	19.70
163	127	3.92	4.50	0.87	27.50	21.90	19.70
164	127	3.02	3.46	0.87	24.90	19.90	19.20
165	127	3.56	4.12	0.86	27.30	20.60	19.90
166	127	3.10	3.58	0.87	25.20	20.10	19.20
167	127	3.34	3.86	0.87	25.40	20.80	20.60
168	127	3.18	3.66	0.87	25.70	21.50	18.40
169	127	4.38	5.10	0.86	29.40	21.90	19.90
170	127	3.32	3.88	0.86	26.80	19.40	17.80
171	127	3.62	4.18	0.87	26.80	20.90	19.50
172	127	3.02	3.44	0.88	26.40	19.10	18.70
173	127	2.78	3.20	0.87	23.80	20.10	19.40
174	127	3.16	3.70	0.85	24.20	20.80	20.10
175	127	3.72	4.22	0.88	26.30	22.20	17.10
176	127	3.16	3.76	0.84	26.10	21.80	17.60
177	127	3.36	3.98	0.84	27.30	20.70	20.50
178	127	3.30	3.72	0.89	25.60	20.30	19.60
179	127	3.78	4.40	0.86	26.40	21.60	19.70
180	127	2.58	2.96	0.87	24.50	18.90	18.10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

ข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าและความถี่ธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่ตำแหน่งก้าน

ความถี่	ตำแหน่งก้าน			
Hz	117 วัน	124 วัน	131วัน	138 วัน
1000	2.93E-09	3.15E-09	3.03E-09	3.34E-09
3000	1.36E-09	1.47E-09	1.43E-09	1.50E-09
5000	1.04E-09	1.13E-09	1.10E-09	1.13E-09
7000	8.91E-10	9.70E-10	9.45E-10	9.58E-10
9000	8.01E-10	8.73E-10	8.51E-10	8.56E-10
11000	7.40E-10	8.07E-10	7.86E-10	7.85E-10
13000	6.94E-10	7.57E-10	7.38E-10	7.33E-10
15000	6.58E-10	7.18E-10	6.99E-10	6.93E-10
17000	6.29E-10	6.86E-10	6.68E-10	6.60E-10
19000	6.05E-10	6.59E-10	6.42E-10	6.33E-10
21000	5.84E-10	6.36E-10	6.20E-10	6.10E-10
23000	5.65E-10	6.16E-10	6.00E-10	5.89E-10
25000	5.49E-10	5.98E-10	5.82E-10	5.71E-10
27000	5.34E-10	5.82E-10	5.67E-10	5.56E-10
29000	5.21E-10	5.68E-10	5.53E-10	5.41E-10
31000	5.10E-10	5.55E-10	5.41E-10	5.29E-10
33000	4.99E-10	5.43E-10	5.29E-10	5.17E-10
35000	4.89E-10	5.32E-10	5.18E-10	5.06E-10
37000	4.79E-10	5.22E-10	5.08E-10	4.96E-10
39000	4.71E-10	5.12E-10	4.98E-10	4.86E-10
41000	4.62E-10	5.03E-10	4.89E-10	4.78E-10
43000	4.55E-10	4.95E-10	4.81E-10	4.69E-10
45000	4.47E-10	4.87E-10	4.73E-10	4.61E-10
47000	4.41E-10	4.79E-10	4.65E-10	4.54E-10
49000	4.34E-10	4.72E-10	4.58E-10	4.47E-10
51000	4.28E-10	4.66E-10	4.52E-10	4.40E-10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 1 kHz-5 kHz ที่ตำแหน่งปลิง

ความถี่	ตำแหน่งปลิง			
Hz	117 วัน	124 วัน	131วัน	138 วัน
1000	3.18E-09	3.50E-09	3.72E-09	3.96E-09
3000	1.54E-09	1.65E-09	1.72E-09	1.80E-09
5000	1.20E-09	1.28E-09	1.33E-09	1.39E-09
7000	1.04E-09	1.11E-09	1.14E-09	1.20E-09
9000	9.44E-10	1.00E-09	1.02E-09	1.09E-09
11000	8.72E-10	9.24E-10	9.42E-10	1.00E-09
13000	8.17E-10	8.65E-10	8.80E-10	9.39E-10
15000	7.73E-10	8.17E-10	8.29E-10	8.87E-10
17000	7.37E-10	7.77E-10	7.88E-10	8.45E-10
19000	7.06E-10	7.43E-10	7.53E-10	8.09E-10
21000	6.78E-10	7.14E-10	7.22E-10	7.77E-10
23000	6.55E-10	6.89E-10	6.96E-10	7.50E-10
25000	6.34E-10	6.66E-10	6.72E-10	7.25E-10
27000	6.14E-10	6.45E-10	6.51E-10	7.03E-10
29000	5.97E-10	6.27E-10	6.32E-10	6.83E-10
31000	5.83E-10	6.11E-10	6.15E-10	6.66E-10
33000	5.68E-10	5.95E-10	5.99E-10	6.49E-10
35000	5.55E-10	5.81E-10	5.85E-10	6.33E-10
37000	5.42E-10	5.67E-10	5.71E-10	6.19E-10
39000	5.31E-10	5.55E-10	5.58E-10	6.06E-10
41000	5.20E-10	5.44E-10	5.46E-10	5.93E-10
43000	5.10E-10	5.33E-10	5.35E-10	5.82E-10
45000	5.01E-10	5.23E-10	5.25E-10	5.71E-10
47000	4.92E-10	5.13E-10	5.15E-10	5.60E-10
49000	4.84E-10	5.04E-10	5.06E-10	5.51E-10
51000	4.76E-10	4.96E-10	4.97E-10	5.42E-10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าการเปลี่ยนแปลง Resistance และ Reactance ของก้าน

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
1000	7378.0	6852.2	6616.2	6296.8	1030.4	939.2	908.2	865.5
3000	6823.8	6356.0	6140.8	5837.3	1161.2	1034.1	978.1	915.3
5000	6530.9	6096.1	5892.5	5601.3	1293.8	1149.2	1080.0	1009.7
7000	6321.8	5910.3	5715.6	5433.3	1403.4	1247.3	1168.5	1093.9
9000	6157.1	5762.2	5575.2	5300.5	1494.5	1329.0	1243.4	1165.7
11000	6018.0	5638.6	5456.9	5187.9	1570.5	1399.0	1306.8	1227.2
13000	5895.3	5528.0	5352.0	5088.4	1633.4	1456.7	1360.0	1279.2
15000	5784.8	5428.7	5257.9	4998.9	1685.6	1505.4	1405.5	1323.5
17000	5684.2	5337.9	5171.9	4916.9	1729.5	1546.5	1444.0	1361.2
19000	5591.5	5253.9	5092.3	4840.8	1766.1	1580.9	1476.7	1393.1
21000	5504.9	5175.6	5018.3	4769.9	1796.3	1609.9	1504.3	1420.2
23000	5423.7	5102.0	4948.7	4703.2	1821.4	1634.2	1527.7	1443.1
25000	5347.2	5032.4	4882.8	4640.1	1841.9	1654.0	1547.4	1462.2
27000	5274.8	4966.5	4820.5	4580.4	1858.6	1670.6	1563.8	1478.2
29000	5205.9	4904.0	4761.3	4523.5	1871.9	1684.1	1577.3	1491.6
31000	5143.8	4847.5	4707.6	4471.8	1886.8	1699.2	1592.5	1506.0
33000	5080.8	4790.1	4653.5	4419.8	1894.6	1707.7	1601.6	1514.8
35000	5020.6	4735.3	4601.7	4369.9	1900.2	1714.2	1608.8	1521.8
37000	4962.7	4682.6	4552.0	4322.3	1904.1	1719.1	1614.5	1527.4
39000	4907.2	4632.0	4504.3	4276.3	1906.3	1722.5	1618.8	1531.5
41000	4853.6	4583.3	4458.3	4232.0	1907.1	1724.6	1621.9	1534.5
43000	4802.1	4536.3	4414.0	4189.4	1906.7	1725.6	1624.0	1536.4
45000	4752.3	4491.0	4371.2	4148.2	1905.2	1725.6	1625.1	1537.4
47000	4704.3	4447.3	4329.9	4108.3	1902.9	1724.9	1625.4	1537.6
49000	4657.8	4405.0	4289.9	4069.9	1899.8	1723.3	1625.0	1537.2
51000	4612.9	4364.1	4251.3	4032.6	1896.0	1721.1	1623.9	1536.1
53000	4569.4	4324.4	4213.8	3996.5	1891.6	1718.3	1622.3	1534.4
55000	4527.1	4285.9	4177.5	3961.5	1886.6	1715.0	1620.2	1532.3
57000	4486.3	4248.7	4142.3	3927.6	1881.4	1711.4	1617.7	1529.8
59000	4446.6	4212.6	4108.1	3894.6	1875.7	1707.3	1614.8	1526.8
61000	4408.2	4177.6	4075.0	3862.6	1869.7	1703.0	1611.7	1523.7
63000	4371.1	4143.8	4043.0	3831.8	1863.7	1698.6	1608.4	1520.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
65000	4335.0	4110.9	4011.9	3801.8	1857.7	1694.2	1605.1	1517.1
67000	4299.3	4078.4	3981.2	3772.2	1851.1	1689.3	1601.3	1513.4
69000	4264.0	4046.3	3950.8	3742.8	1843.9	1683.9	1596.9	1508.9
71000	4229.5	4015.2	3921.5	3714.3	1836.4	1678.1	1592.3	1504.4
73000	4196.2	3984.7	3892.8	3686.8	1828.8	1672.2	1587.6	1499.8
75000	4163.8	3955.3	3865.0	3659.9	1821.2	1666.3	1582.8	1495.1
77000	4132.2	3926.5	3837.9	3633.6	1813.6	1660.3	1578.0	1490.2
79000	4101.4	3898.5	3811.4	3608.1	1806.0	1654.3	1573.0	1485.4
81000	4071.3	3871.0	3785.5	3583.1	1798.3	1648.2	1568.0	1480.4
83000	4041.8	3844.3	3760.2	3558.7	1790.6	1642.1	1562.9	1475.4
85000	4013.0	3818.1	3735.4	3534.7	1782.8	1635.9	1557.7	1470.4
87000	3984.8	3792.4	3711.1	3511.3	1775.1	1629.6	1552.5	1465.3
89000	3957.2	3767.3	3687.4	3488.3	1767.2	1623.3	1547.2	1460.0
91000	3930.1	3742.6	3664.0	3465.8	1759.4	1617.0	1541.8	1454.8
93000	3903.5	3718.4	3641.2	3443.8	1751.6	1610.7	1536.5	1449.5
95000	3877.5	3694.8	3618.8	3422.2	1743.8	1604.3	1531.1	1444.2
97000	3852.0	3671.5	3596.9	3400.9	1736.0	1597.9	1525.6	1438.9
99000	3826.9	3648.7	3575.4	3380.2	1728.2	1591.5	1520.2	1433.6
101000	3802.6	3626.4	3554.7	3359.8	1720.7	1585.3	1514.8	1428.4
103000	3778.8	3605.0	3533.9	3340.1	1713.0	1579.2	1509.4	1423.1
105000	3755.4	3583.6	3514.0	3320.6	1705.4	1572.9	1504.2	1417.8
107000	3732.4	3562.6	3494.0	3301.5	1697.8	1566.8	1498.8	1412.6
109000	3709.8	3542.2	3474.6	3282.7	1690.3	1560.5	1493.4	1407.3
111000	3687.2	3521.9	3455.6	3264.2	1682.7	1554.1	1488.1	1402.1
113000	3665.9	3502.2	3437.0	3246.1	1675.3	1548.1	1482.9	1396.9
115000	3644.4	3482.7	3418.6	3228.4	1667.9	1541.9	1477.5	1391.8
117000	3622.9	3463.6	3400.3	3210.9	1660.3	1535.9	1472.0	1386.6
119000	3602.5	3444.5	3382.6	3193.5	1653.2	1529.7	1466.8	1381.3
121000	3582.1	3425.9	3365.0	3176.7	1645.9	1523.5	1461.5	1376.2
123000	3562.0	3407.5	3347.8	3160.0	1638.7	1517.4	1456.3	1371.2
125000	3542.4	3389.6	3330.7	3143.5	1631.6	1511.4	1450.9	1366.0
127000	3523.0	3372.0	3314.2	3127.4	1624.4	1505.5	1445.9	1361.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
129000	3504.1	3354.7	3297.7	3111.6	1617.5	1499.6	1440.7	1356.0
131000	3485.2	3337.5	3281.5	3095.8	1610.5	1493.7	1435.6	1351.0
133000	3466.7	3320.6	3265.7	3080.6	1603.6	1487.8	1430.5	1346.0
135000	3448.4	3304.1	3249.8	3065.4	1596.7	1482.2	1425.3	1341.0
137000	3430.6	3287.6	3234.4	3050.3	1590.0	1476.3	1420.3	1336.0
139000	3412.9	3271.6	3219.2	3035.7	1583.2	1470.6	1415.2	1331.2
141000	3395.6	3255.6	3204.5	3021.3	1576.4	1465.0	1410.2	1326.5
143000	3378.4	3240.0	3189.4	3006.9	1569.9	1459.2	1405.2	1321.6
145000	3361.5	3224.6	3174.9	2992.7	1563.3	1453.7	1400.3	1316.7
147000	3344.8	3209.4	3160.5	2978.8	1556.7	1448.1	1395.4	1311.9
149000	3328.3	3194.3	3146.3	2965.1	1550.2	1442.6	1390.6	1307.2
151000	3312.4	3179.4	3132.4	2951.7	1544.0	1437.0	1385.8	1302.6
153000	3296.2	3165.0	3118.6	2938.3	1537.5	1431.7	1380.9	1297.9
155000	3280.4	3150.6	3105.0	2925.1	1531.2	1426.3	1376.1	1293.3
157000	3264.8	3136.4	3091.5	2912.2	1525.0	1421.0	1371.3	1288.7
159000	3249.5	3122.4	3078.3	2899.3	1518.8	1415.7	1366.6	1284.1
161000	3234.3	3108.5	3065.2	2886.8	1512.6	1410.4	1362.0	1279.6
163000	3219.4	3094.9	3052.3	2874.2	1506.6	1405.2	1357.3	1275.1
165000	3204.7	3081.5	3039.6	2862.0	1500.5	1400.0	1352.7	1270.7
167000	3190.0	3068.1	3027.2	2849.6	1494.5	1394.8	1348.3	1266.2
169000	3175.8	3054.9	3014.7	2837.8	1488.6	1389.7	1343.6	1261.9
171000	3161.6	3042.0	3002.5	2825.9	1482.8	1384.7	1339.1	1257.5
173000	3147.6	3029.2	2990.2	2814.2	1476.9	1379.7	1334.6	1253.1
175000	3133.8	3016.3	2978.2	2802.7	1471.2	1374.6	1330.0	1248.9
177000	3120.1	3004.0	2966.5	2791.1	1465.5	1369.7	1325.8	1244.5
179000	3106.5	2991.6	2954.8	2779.8	1459.7	1364.8	1321.4	1240.3
181000	3093.2	2979.4	2943.2	2768.6	1454.1	1359.9	1317.0	1236.1
183000	3080.0	2967.3	2931.9	2757.6	1448.6	1355.1	1312.7	1231.9
185000	3067.0	2955.4	2920.4	2746.7	1443.1	1350.3	1308.3	1227.8
187000	3054.1	2943.6	2909.4	2735.9	1437.6	1345.6	1304.1	1223.6
189000	3041.4	2931.9	2898.4	2725.2	1432.2	1340.8	1299.9	1219.6
191000	3028.9	2920.4	2887.5	2714.6	1426.8	1336.2	1295.6	1215.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
193000	3016.5	2909.1	2876.7	2704.3	1421.5	1331.6	1291.5	1211.6
195000	3004.2	2897.8	2866.1	2694.0	1416.3	1327.0	1287.4	1207.5
197000	2992.0	2886.7	2855.5	2683.8	1411.0	1322.4	1283.2	1203.6
199000	2980.0	2875.7	2845.1	2673.7	1405.8	1317.9	1279.2	1199.6
201000	2968.0	2864.7	2834.8	2663.7	1400.6	1313.3	1275.1	1195.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 ค่าการเปลี่ยนแปลง Resistance และ Reactance ของปลิง

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
1000	7378.0	6852.2	6616.2	6296.8	1030.4	939.2	908.2	865.5
3000	6823.8	6356.0	6140.8	5837.3	1161.2	1034.1	978.1	915.3
5000	6530.9	6096.1	5892.5	5601.3	1293.8	1149.2	1080.0	1009.7
7000	6321.8	5910.3	5715.6	5433.3	1403.4	1247.3	1168.5	1093.9
9000	6157.1	5762.2	5575.2	5300.5	1494.5	1329.0	1243.4	1165.7
11000	6018.0	5638.6	5456.9	5187.9	1570.5	1399.0	1306.8	1227.2
13000	5895.3	5528.0	5352.0	5088.4	1633.4	1456.7	1360.0	1279.2
15000	5784.8	5428.7	5257.9	4998.9	1685.6	1505.4	1405.5	1323.5
17000	5684.2	5337.9	5171.9	4916.9	1729.5	1546.5	1444.0	1361.2
19000	5591.5	5253.9	5092.3	4840.8	1766.1	1580.9	1476.7	1393.1
21000	5504.9	5175.6	5018.3	4769.9	1796.3	1609.9	1504.3	1420.2
23000	5423.7	5102.0	4948.7	4703.2	1821.4	1634.2	1527.7	1443.1
25000	5347.2	5032.4	4882.8	4640.1	1841.9	1654.0	1547.4	1462.2
27000	5274.8	4966.5	4820.5	4580.4	1858.6	1670.6	1563.8	1478.2
29000	5205.9	4904.0	4761.3	4523.5	1871.9	1684.1	1577.3	1491.6
31000	5143.8	4847.5	4707.6	4471.8	1886.8	1699.2	1592.5	1506.0
33000	5080.8	4790.1	4653.5	4419.8	1894.6	1707.7	1601.6	1514.8
35000	5020.6	4735.3	4601.7	4369.9	1900.2	1714.2	1608.8	1521.8
37000	4962.7	4682.6	4552.0	4322.3	1904.1	1719.1	1614.5	1527.4
39000	4907.2	4632.0	4504.3	4276.3	1906.3	1722.5	1618.8	1531.5
41000	4853.6	4583.3	4458.3	4232.0	1907.1	1724.6	1621.9	1534.5
43000	4802.1	4536.3	4414.0	4189.4	1906.7	1725.6	1624.0	1536.4
45000	4752.3	4491.0	4371.2	4148.2	1905.2	1725.6	1625.1	1537.4
47000	4704.3	4447.3	4329.9	4108.3	1902.9	1724.9	1625.4	1537.6
49000	4657.8	4405.0	4289.9	4069.9	1899.8	1723.3	1625.0	1537.2
51000	4612.9	4364.1	4251.3	4032.6	1896.0	1721.1	1623.9	1536.1
53000	4569.4	4324.4	4213.8	3996.5	1891.6	1718.3	1622.3	1534.4
55000	4527.1	4285.9	4177.5	3961.5	1886.6	1715.0	1620.2	1532.3
57000	4486.3	4248.7	4142.3	3927.6	1881.4	1711.4	1617.7	1529.8
59000	4446.6	4212.6	4108.1	3894.6	1875.7	1707.3	1614.8	1526.8
61000	4408.2	4177.6	4075.0	3862.6	1869.7	1703.0	1611.7	1523.7
63000	4371.1	4143.8	4043.0	3831.8	1863.7	1698.6	1608.4	1520.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
65000	4335.0	4110.9	4011.9	3801.8	1857.7	1694.2	1605.1	1517.1
67000	4299.3	4078.4	3981.2	3772.2	1851.1	1689.3	1601.3	1513.4
69000	4264.0	4046.3	3950.8	3742.8	1843.9	1683.9	1596.9	1508.9
71000	4229.5	4015.2	3921.5	3714.3	1836.4	1678.1	1592.3	1504.4
73000	4196.2	3984.7	3892.8	3686.8	1828.8	1672.2	1587.6	1499.8
75000	4163.8	3955.3	3865.0	3659.9	1821.2	1666.3	1582.8	1495.1
77000	4132.2	3926.5	3837.9	3633.6	1813.6	1660.3	1578.0	1490.2
79000	4101.4	3898.5	3811.4	3608.1	1806.0	1654.3	1573.0	1485.4
81000	4071.3	3871.0	3785.5	3583.1	1798.3	1648.2	1568.0	1480.4
83000	4041.8	3844.3	3760.2	3558.7	1790.6	1642.1	1562.9	1475.4
85000	4013.0	3818.1	3735.4	3534.7	1782.8	1635.9	1557.7	1470.4
87000	3984.8	3792.4	3711.1	3511.3	1775.1	1629.6	1552.5	1465.3
89000	3957.2	3767.3	3687.4	3488.3	1767.2	1623.3	1547.2	1460.0
91000	3930.1	3742.6	3664.0	3465.8	1759.4	1617.0	1541.8	1454.8
93000	3903.5	3718.4	3641.2	3443.8	1751.6	1610.7	1536.5	1449.5
95000	3877.5	3694.8	3618.8	3422.2	1743.8	1604.3	1531.1	1444.2
97000	3852.0	3671.5	3596.9	3400.9	1736.0	1597.9	1525.6	1438.9
99000	3826.9	3648.7	3575.4	3380.2	1728.2	1591.5	1520.2	1433.6
101000	3802.6	3626.4	3554.7	3359.8	1720.7	1585.3	1514.8	1428.4
103000	3778.8	3605.0	3533.9	3340.1	1713.0	1579.2	1509.4	1423.1
105000	3755.4	3583.6	3514.0	3320.6	1705.4	1572.9	1504.2	1417.8
107000	3732.4	3562.6	3494.0	3301.5	1697.8	1566.8	1498.8	1412.6
109000	3709.8	3542.2	3474.6	3282.7	1690.3	1560.5	1493.4	1407.3
111000	3687.2	3521.9	3455.6	3264.2	1682.7	1554.1	1488.1	1402.1
113000	3665.9	3502.2	3437.0	3246.1	1675.3	1548.1	1482.9	1396.9
115000	3644.4	3482.7	3418.6	3228.4	1667.9	1541.9	1477.5	1391.8
117000	3622.9	3463.6	3400.3	3210.9	1660.3	1535.9	1472.0	1386.6
119000	3602.5	3444.5	3382.6	3193.5	1653.2	1529.7	1466.8	1381.3
121000	3582.1	3425.9	3365.0	3176.7	1645.9	1523.5	1461.5	1376.2
123000	3562.0	3407.5	3347.8	3160.0	1638.7	1517.4	1456.3	1371.2
125000	3542.4	3389.6	3330.7	3143.5	1631.6	1511.4	1450.9	1366.0
127000	3523.0	3372.0	3314.2	3127.4	1624.4	1505.5	1445.9	1361.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
129000	3504.1	3354.7	3297.7	3111.6	1617.5	1499.6	1440.7	1356.0
131000	3485.2	3337.5	3281.5	3095.8	1610.5	1493.7	1435.6	1351.0
133000	3466.7	3320.6	3265.7	3080.6	1603.6	1487.8	1430.5	1346.0
135000	3448.4	3304.1	3249.8	3065.4	1596.7	1482.2	1425.3	1341.0
137000	3430.6	3287.6	3234.4	3050.3	1590.0	1476.3	1420.3	1336.0
139000	3412.9	3271.6	3219.2	3035.7	1583.2	1470.6	1415.2	1331.2
141000	3395.6	3255.6	3204.5	3021.3	1576.4	1465.0	1410.2	1326.5
143000	3378.4	3240.0	3189.4	3006.9	1569.9	1459.2	1405.2	1321.6
145000	3361.5	3224.6	3174.9	2992.7	1563.3	1453.7	1400.3	1316.7
147000	3344.8	3209.4	3160.5	2978.8	1556.7	1448.1	1395.4	1311.9
149000	3328.3	3194.3	3146.3	2965.1	1550.2	1442.6	1390.6	1307.2
151000	3312.4	3179.4	3132.4	2951.7	1544.0	1437.0	1385.8	1302.6
153000	3296.2	3165.0	3118.6	2938.3	1537.5	1431.7	1380.9	1297.9
155000	3280.4	3150.6	3105.0	2925.1	1531.2	1426.3	1376.1	1293.3
157000	3264.8	3136.4	3091.5	2912.2	1525.0	1421.0	1371.3	1288.7
159000	3249.5	3122.4	3078.3	2899.3	1518.8	1415.7	1366.6	1284.1
161000	3234.3	3108.5	3065.2	2886.8	1512.6	1410.4	1362.0	1279.6
163000	3219.4	3094.9	3052.3	2874.2	1506.6	1405.2	1357.3	1275.1
165000	3204.7	3081.5	3039.6	2862.0	1500.5	1400.0	1352.7	1270.7
167000	3190.0	3068.1	3027.2	2849.6	1494.5	1394.8	1348.3	1266.2
169000	3175.8	3054.9	3014.7	2837.8	1488.6	1389.7	1343.6	1261.9
171000	3161.6	3042.0	3002.5	2825.9	1482.8	1384.7	1339.1	1257.5
173000	3147.6	3029.2	2990.2	2814.2	1476.9	1379.7	1334.6	1253.1
175000	3133.8	3016.3	2978.2	2802.7	1471.2	1374.6	1330.0	1248.9
177000	3120.1	3004.0	2966.5	2791.1	1465.5	1369.7	1325.8	1244.5
179000	3106.5	2991.6	2954.8	2779.8	1459.7	1364.8	1321.4	1240.3
181000	3093.2	2979.4	2943.2	2768.6	1454.1	1359.9	1317.0	1236.1
183000	3080.0	2967.3	2931.9	2757.6	1448.6	1355.1	1312.7	1231.9
185000	3067.0	2955.4	2920.4	2746.7	1443.1	1350.3	1308.3	1227.8
187000	3054.1	2943.6	2909.4	2735.9	1437.6	1345.6	1304.1	1223.6
189000	3041.4	2931.9	2898.4	2725.2	1432.2	1340.8	1299.9	1219.6
191000	3028.9	2920.4	2887.5	2714.6	1426.8	1336.2	1295.6	1215.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
193000	3016.5	2909.1	2876.7	2704.3	1421.5	1331.6	1291.5	1211.6
195000	3004.2	2897.8	2866.1	2694.0	1416.3	1327.0	1287.4	1207.5
197000	2992.0	2886.7	2855.5	2683.8	1411.0	1322.4	1283.2	1203.6
199000	2980.0	2875.7	2845.1	2673.7	1405.8	1317.9	1279.2	1199.6
201000	2968.0	2864.7	2834.8	2663.7	1400.6	1313.3	1275.1	1195.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 ค่าการเปลี่ยนแปลง Resistance และ Reactance ของเปลือก

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
1000	5367.6	5413.5	5726.0	5596.2	483.7	502.0	544.2	534.5
3000	5192.1	5225.2	5514.9	5387.6	588.1	606.5	654.8	640.0
5000	5087.2	5114.4	5392.2	5267.8	749.0	766.0	821.0	801.5
7000	4995.6	5019.6	5288.9	5167.2	894.3	910.2	970.9	947.6
9000	4911.0	4933.2	5195.2	5076.2	1017.1	1032.4	1097.2	1071.6
11000	4831.3	4851.9	5108.0	4990.9	1120.3	1134.8	1203.5	1175.3
13000	4755.8	4775.3	5026.0	4910.8	1206.1	1220.3	1291.8	1261.8
15000	4684.6	4703.2	4949.1	4835.8	1278.2	1292.1	1366.0	1334.4
17000	4616.9	4634.9	4876.3	4764.6	1338.7	1352.4	1428.2	1395.4
19000	4552.5	4569.9	4807.2	4697.0	1389.7	1403.2	1480.5	1446.6
21000	4491.1	4508.1	4741.5	4632.7	1432.7	1445.9	1524.6	1489.7
23000	4432.4	4449.1	4678.8	4571.4	1468.8	1482.0	1561.7	1526.0
25000	4376.2	4392.5	4618.9	4512.8	1499.3	1512.4	1592.9	1556.4
27000	4322.4	4338.3	4561.6	4456.6	1524.9	1537.8	1619.0	1581.8
29000	4270.6	4286.3	4506.5	4402.8	1546.3	1559.1	1640.8	1603.1
31000	4223.1	4238.5	4456.0	4353.3	1567.3	1579.9	1662.2	1623.9
33000	4175.2	4190.5	4405.2	4303.6	1581.9	1594.5	1677.1	1638.4
35000	4129.0	4144.1	4356.2	4255.8	1593.9	1606.4	1689.2	1650.2
37000	4084.4	4099.3	4308.8	4209.5	1603.5	1616.0	1698.8	1659.6
39000	4041.2	4056.0	4263.1	4164.8	1611.1	1623.5	1706.4	1666.9
41000	3999.3	4014.0	4218.7	4121.5	1616.8	1629.1	1712.0	1672.5
43000	3958.7	3973.3	4175.8	4079.6	1620.9	1633.2	1716.1	1676.4
45000	3919.3	3933.7	4134.1	4039.0	1623.6	1635.9	1718.7	1678.9
47000	3881.0	3895.3	4093.7	3999.5	1625.1	1637.3	1720.0	1680.2
49000	3843.7	3858.0	4054.4	3961.1	1625.6	1637.7	1720.3	1680.4
51000	3807.5	3821.7	4016.1	3923.8	1625.0	1637.0	1719.5	1679.6
53000	3772.2	3786.4	3978.9	3887.6	1623.6	1635.6	1717.8	1678.1
55000	3737.9	3752.0	3942.7	3852.2	1621.4	1633.3	1715.4	1675.7
57000	3704.4	3718.4	3907.4	3817.9	1618.6	1630.5	1712.3	1672.7
59000	3671.8	3685.8	3873.0	3784.3	1615.3	1627.0	1708.6	1669.1
61000	3640.2	3653.9	3839.6	3751.8	1611.5	1623.1	1704.5	1665.1
63000	3609.4	3623.0	3807.0	3720.1	1607.4	1618.8	1699.9	1660.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
65000	3579.5	3592.9	3775.4	3689.2	1603.1	1614.3	1695.2	1656.1
67000	3549.6	3563.1	3743.9	3658.6	1598.1	1609.3	1689.7	1650.9
69000	3519.9	3533.6	3712.9	3628.4	1592.4	1603.6	1683.8	1645.0
71000	3491.1	3504.6	3682.6	3599.0	1586.4	1597.6	1677.4	1638.9
73000	3463.0	3476.5	3653.2	3570.2	1580.2	1591.4	1671.0	1632.6
75000	3435.5	3449.0	3624.3	3542.2	1573.9	1585.0	1664.3	1626.1
77000	3408.7	3422.1	3596.1	3514.7	1567.4	1578.4	1657.4	1619.5
79000	3382.4	3395.8	3568.5	3487.8	1560.8	1571.7	1650.4	1612.7
81000	3356.6	3369.9	3541.4	3461.5	1554.0	1564.8	1643.3	1605.8
83000	3331.4	3344.6	3514.9	3435.7	1547.1	1557.9	1636.0	1598.7
85000	3306.6	3319.7	3488.9	3410.3	1540.2	1550.8	1628.6	1591.6
87000	3282.2	3295.3	3463.3	3385.5	1533.1	1543.6	1621.2	1584.4
89000	3258.3	3271.3	3438.2	3361.0	1525.9	1536.4	1613.6	1577.0
91000	3234.8	3247.8	3413.5	3337.0	1518.7	1529.1	1606.0	1569.6
93000	3211.7	3224.6	3389.2	3313.4	1511.4	1521.7	1598.3	1562.2
95000	3189.0	3201.9	3365.4	3290.2	1504.0	1514.3	1590.6	1554.7
97000	3166.6	3179.5	3341.9	3267.4	1496.6	1506.8	1582.8	1547.2
99000	3144.7	3157.5	3318.9	3245.1	1489.2	1499.3	1575.0	1539.6
101000	3123.2	3135.8	3296.2	3222.9	1481.8	1491.8	1567.1	1532.0
103000	3102.1	3114.7	3274.1	3201.4	1474.5	1484.3	1559.4	1524.5
105000	3081.4	3094.0	3252.4	3180.4	1467.1	1477.0	1551.7	1517.0
107000	3061.0	3073.5	3231.0	3159.6	1459.8	1469.5	1544.0	1509.5
109000	3041.0	3053.5	3210.0	3139.2	1452.5	1462.2	1536.2	1502.1
111000	3021.2	3033.7	3189.4	3119.0	1445.2	1454.7	1528.7	1494.7
113000	3001.8	3014.2	3169.0	3099.3	1437.9	1447.4	1520.9	1487.2
115000	2982.7	2995.1	3149.0	3079.7	1430.6	1440.1	1513.3	1479.8
117000	2963.9	2976.2	3129.2	3060.6	1423.4	1432.8	1505.7	1472.5
119000	2945.3	2957.5	3109.6	3041.5	1416.1	1425.5	1498.1	1465.1
121000	2927.1	2939.2	3090.6	3022.9	1409.0	1418.2	1490.6	1457.8
123000	2909.0	2921.2	3071.6	3004.7	1401.8	1411.1	1483.1	1450.6
125000	2891.3	2903.4	3053.1	2986.5	1394.7	1403.9	1475.7	1443.3
127000	2873.8	2885.9	3034.8	2968.7	1387.7	1396.8	1468.2	1436.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
129000	2856.6	2868.6	3016.7	2951.2	1380.7	1389.7	1460.9	1429.1
131000	2839.6	2851.5	2998.9	2933.9	1373.7	1382.7	1453.6	1421.9
133000	2822.9	2834.8	2981.4	2916.8	1366.8	1375.7	1446.3	1414.9
135000	2806.3	2818.2	2963.9	2900.0	1359.9	1368.8	1439.0	1407.9
137000	2790.0	2801.9	2946.9	2883.3	1353.1	1361.9	1431.9	1400.9
139000	2774.0	2785.8	2930.1	2867.0	1346.3	1355.1	1424.8	1394.1
141000	2758.0	2769.8	2913.6	2850.8	1339.6	1348.2	1417.8	1387.3
143000	2742.5	2754.2	2897.1	2834.9	1332.9	1341.6	1410.7	1380.4
145000	2727.0	2738.7	2880.9	2819.2	1326.3	1334.9	1403.8	1373.7
147000	2711.8	2723.4	2865.0	2803.7	1319.7	1328.2	1396.9	1367.0
149000	2696.8	2708.4	2839.2	2788.4	1313.2	1321.7	1385.2	1360.4
151000	2682.0	2693.4	2823.7	2773.4	1306.7	1315.1	1378.5	1353.9
153000	2667.3	2678.8	2808.4	2758.3	1300.3	1308.7	1371.8	1347.3
155000	2652.8	2664.3	2793.3	2743.6	1293.9	1302.3	1365.1	1340.8
157000	2638.5	2649.9	2778.4	2729.0	1287.6	1295.9	1358.5	1334.4
159000	2624.4	2635.8	2763.7	2714.7	1281.4	1289.6	1352.0	1328.0
161000	2610.6	2621.9	2749.2	2700.5	1275.2	1283.4	1345.5	1321.7
163000	2596.8	2608.0	2734.7	2686.5	1269.0	1277.2	1339.0	1315.5
165000	2583.2	2594.4	2720.5	2672.6	1262.9	1271.0	1332.7	1309.2
167000	2569.9	2581.1	2706.5	2659.1	1256.9	1265.0	1326.3	1303.1
169000	2556.6	2567.7	2692.7	2645.4	1250.9	1258.9	1320.1	1297.0
171000	2543.4	2554.5	2679.0	2632.1	1244.9	1252.9	1313.9	1290.9
173000	2530.5	2541.5	2665.5	2618.8	1239.1	1247.0	1307.7	1284.9
175000	2517.7	2528.7	2652.1	2605.8	1233.2	1241.1	1301.6	1278.9
177000	2505.1	2516.0	2639.0	2592.9	1227.4	1235.3	1295.6	1273.1
179000	2492.6	2503.5	2625.9	2580.2	1221.7	1229.5	1289.6	1267.2
181000	2480.2	2491.1	2602.8	2567.5	1216.0	1223.8	1278.7	1261.4
183000	2468.0	2478.8	2590.2	2555.1	1210.3	1218.1	1272.9	1255.7
185000	2455.9	2466.7	2577.6	2542.8	1204.8	1212.5	1267.0	1250.0
187000	2444.0	2454.8	2565.2	2530.6	1199.2	1206.9	1261.3	1244.4
189000	2432.2	2442.9	2553.0	2518.6	1193.8	1201.4	1255.6	1238.8
191000	2420.5	2431.2	2540.8	2506.7	1188.3	1195.9	1249.9	1233.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ความถี่	Resistance (Ohm)				Reactance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
193000	2409.0	2419.6	2528.8	2494.9	1183.0	1190.5	1244.3	1227.8
195000	2397.6	2408.2	2516.9	2483.3	1177.6	1185.2	1238.7	1222.3
197000	2386.3	2396.8	2505.1	2471.8	1172.3	1179.8	1233.2	1217.0
199000	2375.1	2385.6	2493.5	2460.3	1167.1	1174.5	1227.7	1211.6
201000	2364.1	2374.5	2482.0	2449.0	1161.8	1169.3	1222.3	1206.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าการเปลี่ยนแปลง Impedance (Z) ของตำแหน่งก้าน

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
1000	7299.06	6855.71	6526.67	6247.28
3000	6726.03	6339.10	6035.38	5778.81
5000	6405.66	6053.63	5766.74	5521.76
7000	6168.12	5842.11	5568.97	5331.64
9000	5974.11	5669.21	5408.41	5176.78
11000	5807.92	5520.92	5270.21	5043.72
13000	5658.69	5387.56	5146.64	4924.04
15000	5523.78	5266.19	5034.87	4815.21
17000	5399.84	5154.73	4931.97	4715.03
19000	5285.03	5051.25	4836.68	4621.87
21000	5178.02	4954.57	4747.69	4534.60
23000	5077.75	4864.04	4664.13	4452.59
25000	4983.39	4778.45	4585.47	4375.35
27000	4894.33	4697.70	4511.13	4302.32
29000	4810.14	4621.21	4440.61	4232.90
31000	4731.41	4549.83	4374.58	4168.08
33000	4655.15	4480.50	4310.66	4105.08
35000	4582.44	4414.37	4249.67	4044.89
37000	4513.15	4351.23	4191.44	3987.45
39000	4446.86	4290.78	4135.60	3932.41
41000	4383.48	4232.92	4082.26	3879.66
43000	4322.73	4177.45	4031.02	3829.07
45000	4264.41	4124.22	3981.77	3780.47
47000	4208.42	4073.03	3934.36	3733.72
49000	4154.62	4023.77	3888.79	3688.70
51000	4102.84	3976.38	3844.85	3645.36
53000	4052.92	3930.62	3802.43	3603.58
55000	4004.81	3886.55	3761.57	3563.24
57000	3958.40	3844.02	3722.04	3524.26
59000	3913.61	3802.92	3683.88	3486.61
61000	3870.46	3763.27	3647.03	3450.27
63000	3828.80	3724.99	3611.38	3415.20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
65000	3788.13	3687.80	3576.81	3381.05
67000	3748.35	3651.28	3542.75	3347.50
69000	3709.72	3615.69	3509.64	3314.92
71000	3672.33	3581.25	3477.62	3283.34
73000	3636.19	3547.95	3446.61	3252.86
75000	3601.17	3515.66	3416.57	3223.22
77000	3567.19	3484.28	3387.31	3194.45
79000	3534.15	3453.79	3358.87	3166.48
81000	3501.98	3424.10	3331.17	3139.20
83000	3470.71	3395.24	3304.16	3112.68
85000	3440.19	3367.02	3277.83	3086.77
87000	3410.42	3339.55	3252.14	3061.50
89000	3381.40	3312.74	3227.03	3036.82
91000	3353.09	3286.56	3202.59	3012.74
93000	3325.49	3260.99	3178.63	2989.23
95000	3298.49	3236.04	3155.25	2966.30
97000	3272.19	3211.67	3132.41	2943.87
99000	3246.47	3187.84	3110.10	2921.97
101000	3221.66	3164.82	3088.58	2900.85
103000	3197.13	3142.16	3067.16	2880.00
105000	3173.31	3120.07	3046.42	2859.70
107000	3150.03	3098.49	3026.23	2839.66
109000	3127.32	3077.27	3006.27	2820.22
111000	3104.88	3056.56	2986.80	2801.21
113000	3083.18	3036.38	2967.83	2782.46
115000	3061.66	3016.32	2948.98	2764.05
117000	3040.60	2997.04	2930.65	2746.05
119000	3020.19	2977.81	2912.82	2728.41
121000	3000.25	2959.02	2895.13	2711.04
123000	2980.35	2940.71	2877.81	2694.23
125000	2961.15	2922.63	2860.95	2677.64
127000	2942.26	2904.91	2844.27	2661.33

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
129000	2923.65	2887.59	2828.04	2645.32
131000	2905.19	2870.54	2811.95	2629.46
133000	2887.39	2853.92	2796.12	2614.14
135000	2869.94	2837.42	2780.69	2599.01
137000	2852.53	2821.32	2765.47	2584.14
139000	2835.62	2805.45	2750.56	2569.44
141000	2818.70	2748.62	2735.79	2555.15
143000	2802.56	2733.30	2721.38	2540.94
145000	2786.37	2718.33	2707.12	2527.03
147000	2770.52	2703.79	2693.15	2513.36
149000	2755.03	2689.43	2679.40	2499.89
151000	2739.71	2675.53	2666.17	2486.80
153000	2724.68	2661.38	2652.52	2473.57
155000	2709.92	2647.71	2639.44	2460.83
157000	2695.32	2634.26	2626.55	2448.19
159000	2680.99	2620.98	2613.91	2435.76
161000	2666.87	2608.00	2601.27	2423.46
163000	2653.06	2595.03	2588.98	2411.47
165000	2639.28	2582.40	2576.88	2399.62
167000	2625.86	2569.96	2564.89	2387.85
169000	2612.59	2557.59	2553.04	2376.31
171000	2599.58	2545.50	2541.44	2364.89
173000	2586.71	2533.50	2530.01	2353.76
175000	2574.26	2521.81	2518.64	2342.66
177000	2561.56	2510.18	2507.50	2331.81
179000	2549.32	2498.74	2496.61	2321.14
181000	2537.07	2487.51	2485.77	2310.48
183000	2525.14	2476.35	2475.06	2300.06
185000	2513.37	2465.38	2464.47	2289.77
187000	2501.69	2454.62	2454.13	2279.58
189000	2490.23	2443.90	2443.83	2269.54
191000	2478.95	2433.36	2433.74	2259.62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
193000	2467.73	2423.01	2423.74	2249.90
195000	2456.76	2412.75	2413.82	2240.25
197000	2445.90	2402.66	2404.10	2230.75
199000	2435.20	2392.60	2394.45	2221.33
201000	2424.62	2382.74	2384.94	2212.02

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 ค่าการเปลี่ยนแปลง Impedance (Z) ของตำแหน่งปลิง

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
1000	5407.10	4878.24	4588.61	4174.78
3000	5095.73	4610.08	4333.03	3956.26
5000	4896.17	4437.08	4171.79	3816.83
7000	4730.96	4292.66	4039.87	3701.21
9000	4587.20	4166.36	3925.35	3600.26
11000	4459.04	4053.79	3823.74	3509.28
13000	4341.13	3950.03	3731.14	3425.81
15000	4233.20	3854.91	3646.13	3349.03
17000	4133.70	3767.12	3567.66	3277.72
19000	4041.39	3685.42	3494.56	3211.36
21000	3955.36	3609.37	3426.47	3149.29
23000	3874.82	3538.31	3362.78	3091.20
25000	3799.50	3471.57	3302.59	3036.39
27000	3728.52	3408.79	3246.02	2984.78
29000	3661.63	3349.45	3192.77	2936.04
31000	3599.37	3294.43	3143.10	2890.46
33000	3539.11	3241.01	3094.78	2846.29
35000	3481.89	3190.24	3048.82	2804.24
37000	3427.39	3141.95	3005.05	2764.23
39000	3375.39	3095.86	2963.25	2725.95
41000	3325.81	3051.84	2923.30	2689.30
43000	3278.42	3009.71	2885.05	2654.17
45000	3233.07	2969.32	2848.34	2620.43
47000	3189.56	2930.64	2813.11	2587.98
49000	3147.69	2893.41	2779.21	2556.82
51000	3107.48	2857.61	2746.59	2526.80
53000	3068.78	2823.16	2715.16	2497.88
55000	3031.49	2789.98	2684.89	2469.99
57000	2995.53	2757.98	2655.62	2443.04
59000	2960.87	2727.10	2627.39	2417.02
61000	2927.50	2697.31	2600.14	2391.84
63000	2895.26	2668.53	2573.80	2367.52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
65000	2863.86	2640.68	2548.22	2343.93
67000	2833.10	2613.40	2523.17	2320.83
69000	2803.16	2586.79	2498.78	2298.29
71000	2774.36	2561.05	2475.24	2276.52
73000	2746.44	2536.23	2452.41	2255.42
75000	2719.40	2512.10	2430.24	2234.92
77000	2693.18	2488.66	2408.69	2214.99
79000	2682.22	2465.89	2387.72	2195.64
81000	2656.57	2443.73	2367.32	2176.75
83000	2631.61	2422.18	2347.45	2158.34
85000	2607.36	2401.15	2328.06	2140.39
87000	2583.69	2380.63	2309.14	2122.87
89000	2560.65	2360.64	2290.67	2105.79
91000	2538.15	2341.12	2272.66	2089.10
93000	2516.24	2322.10	2255.06	2072.80
95000	2494.88	2303.49	2237.86	2056.86
97000	2465.40	2285.36	2221.06	2041.32
99000	2445.54	2267.63	2204.64	2026.10
101000	2426.49	2250.27	2188.85	2011.47
103000	2407.50	2233.73	2173.22	1996.95
105000	2389.09	2217.31	2157.89	1982.77
107000	2371.09	2201.24	2143.08	1968.97
109000	2353.55	2185.59	2128.51	1955.44
111000	2336.48	2170.30	2114.22	1942.33
113000	2319.46	2155.16	2100.20	1929.14
115000	2302.90	2140.47	2086.49	1916.41
117000	2286.83	2125.88	2072.93	1903.84
119000	2270.75	2111.77	2059.85	1891.60
121000	2255.16	2097.95	2046.84	1879.62
123000	2240.02	2084.27	2034.14	1867.80
125000	2225.07	2070.95	2021.73	1856.35
127000	2210.39	2057.84	2009.50	1844.99

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
129000	2196.03	2044.99	1997.47	1833.89
131000	2181.83	2032.29	1985.82	1822.93
133000	2168.05	2020.00	1974.18	1812.16
135000	2154.34	2007.81	1962.83	1801.52
137000	2140.98	1995.87	1951.65	1791.16
139000	2127.91	1984.12	1940.66	1780.98
141000	2115.09	1972.51	1929.77	1770.83
143000	2102.36	1961.31	1919.32	1761.01
145000	2089.90	1950.18	1908.84	1751.33
147000	2077.67	1939.20	1898.68	1741.77
149000	2065.60	1928.47	1888.51	1732.38
151000	2053.77	1917.93	1878.54	1723.16
153000	2042.14	1907.52	1868.81	1714.04
155000	2030.68	1897.27	1859.24	1705.08
157000	2019.42	1887.31	1849.77	1696.24
159000	2008.37	1877.31	1840.49	1687.58
161000	1997.47	1867.58	1831.29	1679.04
163000	1986.72	1857.99	1822.25	1670.63
165000	1976.15	1848.57	1813.35	1662.34
167000	1965.75	1839.26	1804.59	1654.20
169000	1955.49	1830.04	1795.97	1646.13
171000	1945.35	1821.04	1787.45	1638.17
173000	1935.44	1812.17	1779.08	1630.38
175000	1925.67	1803.32	1770.75	1622.65
177000	1915.95	1794.74	1762.68	1615.08
179000	1906.46	1786.22	1754.64	1607.61
181000	1897.04	1777.82	1746.73	1600.20
183000	1887.80	1769.52	1738.95	1592.89
185000	1878.67	1761.39	1731.27	1585.67
187000	1869.71	1753.36	1723.69	1578.59
189000	1860.82	1745.39	1716.12	1571.59
191000	1852.16	1737.60	1708.77	1564.68

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
193000	1843.50	1729.92	1701.53	1557.90
195000	1835.01	1722.48	1694.40	1551.16
197000	1826.59	1714.99	1687.37	1544.52
199000	1818.31	1707.58	1680.35	1537.98
201000	1810.15	1700.25	1673.49	1531.53

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข8 ค่าการเปลี่ยนแปลง Impedance (Z) ของตำแหน่งเปลือก

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
1000	5348.31	5337.93	5633.86	5520.05
3000	5159.04	5139.09	5411.77	5300.16
5000	5029.25	5006.62	5265.99	5157.19
7000	4909.08	4886.26	5135.38	5029.61
9000	4794.92	4772.91	5013.31	4910.31
11000	4685.66	4664.52	4897.51	4797.01
13000	4581.48	4561.54	4787.65	4689.67
15000	4482.68	4463.81	4683.84	4588.18
17000	4388.72	4370.93	4585.33	4491.90
19000	4299.41	4282.65	4491.78	4400.46
21000	4214.37	4198.65	4402.90	4313.64
23000	4133.49	4118.57	4318.34	4231.05
25000	4056.31	4042.28	4237.70	4152.34
27000	3982.71	3969.44	4160.85	4077.35
29000	3912.41	3899.86	4087.46	4005.73
31000	3845.79	3833.93	4017.97	3937.90
33000	3781.45	3770.24	3950.88	3872.52
35000	3719.78	3709.13	3886.61	3809.90
37000	3660.61	3650.50	3824.89	3749.76
39000	3603.73	3594.15	3765.62	3692.15
41000	3549.08	3539.92	3708.65	3636.65
43000	3496.48	3487.73	3653.83	3583.23
45000	3445.84	3437.45	3601.01	3531.79
47000	3396.97	3388.93	3550.08	3482.20
49000	3349.85	3342.13	3500.97	3434.36
51000	3304.35	3296.92	3453.54	3388.18
53000	3260.42	3253.25	3407.72	3343.58
55000	3217.95	3211.02	3363.42	3300.45
57000	3176.91	3170.17	3320.61	3258.76
59000	3137.18	3130.64	3279.16	3218.42
61000	3098.80	3092.40	3239.07	3179.39
63000	3061.67	3055.40	3200.26	3141.64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
65000	3025.52	3019.44	3162.52	3104.92
67000	2990.02	2984.17	3125.56	3068.92
69000	2955.45	2949.77	3089.67	3033.89
71000	2921.96	2916.49	3054.90	3000.01
73000	2889.60	2884.24	3021.20	2967.19
75000	2858.19	2852.92	2988.45	2935.29
77000	2827.65	2822.48	2956.62	2904.27
79000	2797.96	2792.88	2925.66	2874.10
81000	2769.02	2764.02	2895.49	2844.68
83000	2740.84	2735.93	2866.11	2816.05
85000	2713.38	2708.51	2837.44	2788.12
87000	2686.58	2681.79	2809.49	2760.88
89000	2660.44	2655.70	2782.21	2734.29
91000	2634.96	2630.26	2755.62	2708.36
93000	2610.05	2605.39	2729.64	2683.03
95000	2585.75	2581.14	2704.27	2658.30
97000	2562.02	2557.45	2679.52	2634.14
99000	2538.83	2534.28	2655.32	2610.53
101000	2516.22	2511.53	2631.38	2587.57
103000	2494.22	2489.69	2608.71	2565.16
105000	2472.69	2468.21	2586.30	2543.19
107000	2451.73	2447.25	2564.29	2521.78
109000	2431.17	2426.65	2542.90	2500.83
111000	2410.95	2406.63	2522.16	2480.26
113000	2391.36	2386.90	2501.33	2460.24
115000	2372.10	2367.61	2481.16	2440.58
117000	2353.20	2348.64	2461.42	2421.36
119000	2334.71	2330.20	2442.13	2402.42
121000	2316.53	2311.98	2423.18	2383.92
123000	2298.85	2294.29	2404.64	2365.80
125000	2281.47	2276.90	2386.44	2348.05
127000	2264.43	2259.86	2368.63	2330.60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
129000	2247.75	2243.09	2351.14	2313.52
131000	2231.37	2226.75	2334.02	2296.71
133000	2215.28	2210.57	2317.19	2280.35
135000	2199.45	2194.75	2300.70	2264.20
137000	2184.01	2179.25	2284.51	2248.39
139000	2168.77	2164.02	2268.60	2232.76
141000	2153.88	2149.18	2252.98	2217.68
143000	2139.22	2134.39	2237.63	2202.53
145000	2124.78	2119.95	2222.57	2187.78
147000	2110.63	2105.78	2207.78	2173.34
149000	2096.77	2091.86	2193.26	2159.12
151000	2083.11	2078.19	2178.96	2145.21
153000	2069.69	2064.72	2164.91	2131.39
155000	2056.51	2051.50	2151.13	2117.86
157000	2043.54	2038.51	2137.54	2104.56
159000	2030.78	2025.70	2124.19	2091.49
161000	2018.25	2013.15	2111.06	2078.67
163000	2005.91	2000.75	2098.17	2065.99
165000	1993.78	1988.61	2085.47	2053.54
167000	1981.81	1976.63	2073.02	2041.29
169000	1970.09	1964.83	2060.69	2029.22
171000	1958.52	1953.23	2048.54	2017.35
173000	1947.16	1941.84	2036.64	2005.68
175000	1935.90	1930.59	2024.90	1994.14
177000	1924.90	1919.48	2013.32	1982.83
179000	1914.03	1908.62	2001.91	1971.68
181000	1903.30	1897.83	1990.73	1960.63
183000	1892.79	1887.25	1979.69	1949.81
185000	1882.39	1876.83	1968.78	1939.15
187000	1872.16	1866.56	1958.05	1928.62
189000	1862.08	1856.45	1947.48	1918.26
191000	1852.16	1846.44	1937.09	1908.02

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ความถี่	Impedance (Ohm)			
kHz	117 วัน	124 วัน	131 วัน	138 วัน
193000	1842.35	1836.65	1926.83	1897.95
195000	1832.72	1826.97	1916.73	1888.03
197000	1823.18	1817.40	1906.77	1878.26
199000	1813.80	1807.99	1896.90	1868.59
201000	1804.57	1798.71	1887.22	1859.07

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข9 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง, ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียน

ผลที่	% DW	ถ.พ.	ดัชนีความถี่ธรรมชาติ	
			Hz	$f^2 m^{2/3}$
1	10.33	0.92	127.60	15372.89
2	11.90	0.91	132.50	16514.03
3	13.59	0.90	126.99	15081.90
4	14.06	0.90	123.24	14125.76
5	15.81	0.91	123.52	14353.09
6	16.57	0.89	122.36	13893.44
7	17.05	0.87	120.81	13265.18
8	18.07	0.90	124.34	14362.55
9	19.00	0.90	119.94	13428.38
10	19.47	0.89	116.84	12616.96
11	21.05	0.90	131.18	16025.69
12	21.19	0.88	120.15	13271.55
13	21.31	0.89	124.34	14285.98
14	22.02	0.88	122.14	13738.65
15	23.10	0.90	116.84	12681.41
16	23.82	0.91	126.33	14970.77
17	24.20	0.90	123.24	14152.66
18	24.92	0.90	125.92	14774.33
19	25.30	0.88	124.13	14104.14
20	25.78	0.85	114.58	11744.87
21	25.88	0.91	109.18	11183.54
22	26.59	0.90	113.79	12101.89
23	26.63	0.88	119.05	13056.32
24	27.12	0.88	107.81	10704.15
25	27.20	0.85	111.12	11093.09
26	27.23	0.90	125.44	14631.23
27	27.51	0.88	123.24	13988.88
28	27.75	0.89	113.58	11920.35
29	28.27	0.88	113.55	11817.67
30	28.30	0.88	116.30	12430.24
31	28.70	0.89	112.88	11774.15

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข9 (ต่อ)

ผลที่	% DW	ถ.พ.	ดัชนีความถี่ธรรมชาติ	
			Hz	$f^2m^{2/3}$
32	28.99	0.88	107.83	10647.53
33	29.14	0.87	112.05	11428.85
34	29.59	0.89	110.62	11292.68
35	29.61	0.89	118.22	12949.63
36	29.63	0.89	119.71	13264.62
37	29.65	0.89	119.93	13296.98
38	29.75	0.88	109.57	11028.49
39	30.01	0.88	111.78	11491.67
40	30.39	0.89	112.22	11650.19
41	31.12	0.88	120.49	13314.20
42	31.24	0.89	110.90	11374.10
43	31.33	0.89	111.12	11395.41
44	31.40	0.89	117.28	12710.24
45	32.40	0.87	112.66	11599.03
46	32.48	0.87	120.16	13200.72
47	32.55	0.87	102.53	9583.67
48	32.92	0.87	111.19	11283.82
49	33.16	0.87	109.85	11034.76
50	33.23	0.89	103.88	9954.98
51	33.27	0.85	102.53	9446.97
52	33.88	0.89	104.06	10044.30
53	33.90	0.88	118.51	12911.76
54	34.04	0.88	114.42	12006.73
55	34.11	0.86	117.54	12538.20
56	34.42	0.85	115.79	12061.24
57	34.48	0.88	119.27	13108.54
58	34.98	0.90	100.31	9382.71
59	35.05	0.88	104.10	9975.35
60	35.07	0.89	116.20	12530.32
61	35.25	0.88	112.14	11560.51
62	35.40	0.86	114.86	11912.66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข9 (ต่อ)

ผลที่	% DW	ถ.พ.	ดัชนีความถี่ธรรมชาติ	
			Hz	$f^2m^{2/3}$
63	35.63	0.89	114.42	12092.85
64	35.64	0.86	108.76	10733.77
65	35.66	0.87	107.86	10617.49
66	35.67	0.86	102.33	9501.11
67	35.79	0.86	106.93	10351.99
68	35.89	0.88	108.79	10866.52
69	36.18	0.87	116.18	12318.94
70	36.39	0.86	99.43	8920.84
71	36.47	0.87	106.94	10389.39
72	36.58	0.87	113.36	11687.27
73	36.62	0.87	111.16	11289.39
74	36.64	0.89	117.96	12881.82
75	36.82	0.87	107.25	10505.92
76	36.83	0.86	108.82	10703.86
77	36.85	0.87	104.06	9867.75
78	37.00	0.87	115.53	12124.11
79	37.07	0.84	108.80	10532.58
80	37.10	0.83	103.18	9426.93
81	37.64	0.87	115.08	12051.10
82	37.81	0.86	114.86	11968.19
83	37.82	0.91	116.44	12692.21
84	38.11	0.85	100.55	9041.85
85	38.44	0.85	113.21	11539.47
86	38.46	0.86	109.57	10865.12
87	38.80	0.86	117.44	12482.82
88	38.83	0.86	111.88	11318.53
89	38.98	0.87	110.05	11013.44
90	39.24	0.86	112.78	11504.58
91	39.40	0.84	96.34	8236.15
92	39.68	0.85	101.87	9330.23
93	39.93	0.87	103.71	9791.78

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข9 (ต่อ)

ผลที่	% DW	ถ.พ.	ดัชนีความถี่ธรรมชาติ	
			Hz	$f^2m^{2/3}$
94	40.00	0.85	108.27	10501.26
95	40.02	0.87	114.65	11941.21
96	40.03	0.60	110.23	8670.99
97	40.13	0.85	106.38	10118.92
98	40.18	0.85	110.01	10867.36
99	40.38	0.84	108.92	10586.08
100	40.46	0.86	104.09	9767.21
101	40.50	0.83	104.94	9714.60
102	40.54	0.83	106.94	10113.86
103	40.59	0.87	115.10	12037.75
104	40.61	0.89	109.80	11193.94
105	40.61	0.85	102.75	9490.16
106	40.66	0.85	108.04	10484.63
107	40.67	0.85	110.45	10944.75
108	40.79	0.86	107.61	10454.14
109	41.04	0.86	105.86	10099.62
110	41.05	0.84	108.04	10393.19
111	41.05	0.83	103.18	9368.82
112	41.11	0.83	111.91	11091.39
113	41.14	0.76	97.67	7971.07
114	41.50	0.85	107.67	10371.48
115	41.56	0.82	102.01	9122.46
116	41.66	0.87	114.56	11987.82
117	41.67	0.84	104.28	9663.92
118	41.99	0.85	108.71	10624.42
119	42.22	0.83	114.22	11562.26
120	42.49	0.82	97.07	8225.54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายปราโมทย์ กุศล
เกิดวันที่	29 มิถุนายน 2520
สถานที่เกิด	อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน
ประวัติการศึกษา	คอ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์
สถานที่ทำงาน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตรอุดมศักดิ์
ทุนการศึกษา	โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) ที่สนับสนุนจากสำนักกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวไม้ผล (ADB) ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์