

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงดัชนีความถี่ธรรมชาติที่สัมพันธ์กับคุณภาพของทุเรียน

Investigation of change in resonant frequency related index with respect
to durian quality

คณะผู้วิจัย

อนุพันธ์	เทอดวงศ์วรกุล
วิเชฐ	ศรีชลเพชร
เอนก	สุขเจริญ

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการผลิตและการบริการ

ตุลาคม 2540

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงดัชนีความถี่ธรรมชาติที่สัมพันธ์กับคุณภาพของทุเรียน

Investigation of change in resonant frequency related index with respect
to durian quality

คณะผู้วิจัย

อนุพันธ์	เทอดวงศ์วรกุล
วิเชฐ	ศรีชลเพชร
เอนก	สุขเจริญ

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการผลิตและการบริการ

ตุลาคม 2540

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณสำนักงานสนับสนุนกองทุนวิจัยที่ให้ทุนอุดหนุนวิจัยงานวิจัยนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ถ้าปราศจากความเอื้อเฟื้อสถานที่ ที่เรียน ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์จาก ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี (คุณสุชวัฒน์ จันทร์ปรรณิก) คุณเสริมสุข สลักเพชร, คุณอัมพิกา ปุณณจิต, คุณวัชรินทร์ นาคขำ จากศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร. จรุงแท้ ศิริพานิช สำหรับคำแนะนำและข้อมูลที่เอื้อประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอแสดงความขอบคุณหัวหน้าฝ่ายเครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ และบุคลากรฝ่ายๆ ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนทุก ๆ ด้าน เพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

บทคัดย่อ

เทคนิคการวัดความถี่ธรรมชาติ (Impulse response) ถูกนำมาใช้วัดดัชนีความถี่ธรรมชาติของกลุ่มทุเรียนขณะแก่บนต้น ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง 30 ผล ซึ่งมีดอกบานในวันเดียวกัน ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ ทุเรียนแต่ละผลถูกเจาะเพื่อหาความถี่ธรรมชาติ (f) และวัดปริมาตรเพื่อคำนวณหาน้ำหนัก (m) โดยคุณ ปริมาตรด้วยความหนาแน่นของทุเรียนที่ตัดลงมา ทุเรียนดังกล่าวมีอายุหลังดอกบานเท่ากับตัวอย่าง ทุเรียนถูกปล่อยให้แก่และถูกเก็บข้อมูลทุกอาทิตย์เป็นเวลา 6 อาทิตย์ก่อนแก่เต็มที่ ผลการทดสอบพบว่าดัชนีความถี่ธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงตามอายุ ความแก่ทุเรียนคือ $f^2 \ln(m^{2/3})$ ซึ่งมีค่าลดลงต่อเนื่องตามความแก่ การลดลงของ $f^2 \ln(m^{2/3})$ คล้ายคลึงกับข้อมูลงานวิจัยในปี 2539 โดยข้อมูลทั้งสองฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อทุเรียนเริ่มแก่เต็มที่ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งเพิ่มขึ้นขณะทุเรียนแก่ ดัชนีความถี่ธรรมชาติและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งเป็นผลให้ทุเรียนมีดัชนีความถี่ธรรมชาติลดลง อย่างไรก็ตามดัชนีความถี่ธรรมชาติไม่สามารถนำมาใช้แยกทุเรียนตามเปอร์เซ็นต์ความแก่ได้อย่างชัดเจน ควรจะมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับดัชนีความถี่ธรรมชาติของทุเรียนหลังเก็บเกี่ยวเพื่อกำหนดค่าที่สามารถคัดแยกทุเรียนอ่อนออกจากทุเรียนดี

Abstract

The impulse response technique for determining the resonant frequency in fruits was adopted for detecting resonant frequencies of durians being mature on trees. Thirty durians of "Montong" cultivar, the trees of which blossomed on the same day, were tested. Each individual fruit was tapped and resonant frequency (f) was read out from the corresponding sound signal. The volume of each fruit was also measured by means of water replacement. The volume was later converted to weight (m) when multiplied by the density of harvested durians of the same maturity. All test fruits were allowed to be progressively mature on the trees and the measurement was repeated every week until the fruits were properly mature. It was found that the stage of maturity could be followed by a frequency index $f^2 \ln(m^{2/3})$. The index monotonously reduced with maturity. This trend was similar to that of data obtained in previous research conducted in 1996 and the frequency indices of both seasons converged on durians approaching maximum maturity. The percentage of dried flesh weight or dry matter was shown to increase as durians were more mature. *It was relatively apparent that there was a close relation between $f^2 \ln(m^{2/3})$ and the percentage of dry matter.* Nevertheless the index $f^2 \ln(m^{2/3})$ could not be implemented to detect the percentage of maturity accurately. Further investigation should be carried out on comparative determination of frequency index of durians harvested intervally at a range of maturity stage including just immature and properly mature durians.

สารบัญเรื่อง

บทคัดย่อ

Abstract

สารบัญเรื่อง

สารบัญรูป

บทนำ.....	1
เทคนิคการวัดความถี่ธรรมชาติของผลไม้.....	3
ดัชนีความถี่ธรรมชาติ.....	3
ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความถี่ธรรมชาติกับดัชนีมาตรฐาน.....	4
ความสัมพันธ์กับ Magness Taylor test.....	4
ความสัมพันธ์กับอายุเก็บเกี่ยว (Harvesting date).....	5
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการวัดความถี่ธรรมชาติ.....	5
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
วิธีดำเนินการวิจัย.....	7
เครื่องมือวัดความถี่ธรรมชาติ.....	7
วิธีการวัดหาความถี่ธรรมชาติ.....	8
วิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล.....	11
ผลการทดลอง.....	13
ดัชนีความถี่ธรรมชาติ.....	13
การเปลี่ยนแปลงดัชนีความถี่ธรรมชาติขณะทุเรียนแก่.....	15
ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความถี่ธรรมชาติกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง.....	16
พารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับอายุทุเรียน.....	18
ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ธรรมชาติกับเปอร์เซ็นต์ความแก่ของทุเรียน.....	20
สรุปผลการทดลอง.....	22
เอกสารอ้างอิง.....	24
ภาคผนวก.....	26

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ $1/m$ ของกลุ่มแอ๊ปเปิ้ลที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลาต่าง ๆ กัน (11)4	
รูปที่ 2 การลดลงของ $f^2 m^{2/3}$ ในขณะที่แอ๊ปเปิ้ลสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น ขณะที่บ่มที่ความชื้นสัมพันธ์ต่างกัน (16).....	6
รูปที่ 3 เครื่องมือสำหรับวัดหาความถี่ธรรมชาติของทุเรียน	7
รูปที่ 4 สัญญาณที่สัมพันธ์กับเวลาและความถี่ของ (ก) ทุเรียนที่วางผลบนพื้น และ (ข) ทุเรียนที่จับชั่วคราวขณะเคาะ	9
รูปที่ 5 สัญญาณเสียงเคาะของทุเรียนที่เคาะหลังจากตัดภายในวันเดียวกัน	9
รูปที่ 6 สัญญาณการเคาะแสดงค่าความถี่ที่เท่ากันเมื่อ (ก) เคาะบนต้น และ (ข) เคาะผลทุเรียนที่ตัดลงมา	10
รูปที่ 7 การหาปริมาตรทุเรียนบนต้นด้วยการแทนที่น้ำ	11
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง f_2 กับ $1/\ln(m^{2/3})$ ที่เปลี่ยนแปลงตามความแก่ทุเรียน (จำนวนวันหลังดอกบาน)	14
รูปที่ 9 การลดลงของดัชนีความถี่ธรรมชาติตามความแก่ทุเรียน	15
รูปที่ 10 เปรียบเทียบการลดลงของ $f^2 \ln(m^{2/3})$ และ $f^2 m^{2/3}$ จากสองฤดูกาล	16
รูปที่ 11 เปอร์เซ็นตน้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียนที่เพิ่มขึ้นตามอายุ	17
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นตน้ำหนักเนื้อแห้ง และ $f^2 \ln(m^{2/3})$, $f^2 m^{2/3}$	17
รูปที่ 13 แสดงข้อมูลเพิ่มเติมจากรูปที่ 8	18
รูปที่ 14 ตัวอย่างสัญญาณเสียง ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	19
รูปที่ 15 พารามิเตอร์กับความแก่ทุเรียน	19
รูปที่ 16 ดัชนีความถี่ธรรมชาติ $f^2 \ln(m^{2/3})$ และน้ำหนัก (m) ของกลุ่มทุเรียนที่ตัดที่ระดับความแก่ต่างกัน	20

บทนำ

ผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทยยังคงเป็น ทุเรียน ซึ่งนำรายได้เข้าสู่ประเทศแต่ละปีเป็นเงินประมาณ 1 พันล้านบาท โดยมีผู้นำเข้าคือ ไต้หวัน จีน สิงคโปร์ และ มาเลเซีย (1) ผลผลิตทุเรียนเพิ่มขึ้นทุกปี แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนั้นคุณภาพของทุเรียนก็ลดลงเนื่องจากการตัดผลทุเรียนอ่อนปะปนกับทุเรียนดี การใช้สารเคมีเร่งให้สุก ความแห้งแล้งในช่วงเก็บเกี่ยวจะทำให้ทุเรียนร่วงก่อนกำหนด ซึ่งบังคับให้ชาวสวนจำเป็นต้องตัดทุเรียนขณะที่ยังอ่อน ในบางฤดูอาจเจอสถานการณ์ทางธรรมชาติ เช่น พายุ ก็จะทำให้ผลผลิตลดลงได้ ปัญหาที่ดูเหมือนจะส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมส่งออกทุเรียนมากขึ้นเรื่อย ๆ คือ การส่งออกทุเรียนอ่อนคละเคล้าไปกับทุเรียนดี จากการสอบถามกับผู้ส่งออก (2) ทราบว่าในปัจจุบันพ่อค้าผู้นำเข้าทุเรียนจะไม่จ่ายค่าทุเรียนจนกระทั่งมั่นใจว่าจะไม่เจอปัญหาทุเรียนอ่อน ถ้ามีปัญหาดูเหมือนทุเรียนอ่อนก็จะยกเลิกการจ่ายเงินทันที ซึ่งสร้างปัญหาให้ผู้ส่งออกเป็นอย่างมาก การศึกษาเพื่อหาดัชนีความแก่ที่สามารถตรวจสอบได้ โดยไม่ทำให้ผลไม้เสียหาย (Non-destructive evaluation) จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

ทุเรียนเป็นผลไม้ประเภทไคลแมกเทอริก (Climacteric) ซึ่งมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นก่อนที่จะสุกและนำมารับประทานได้ (3) โดยปกติชาวสวนที่ชำนาญและมีประสบการณ์จะสามารถตรวจสอบวัยของทุเรียนได้ค่อนข้างแม่นยำ แต่ปัญหาคือชาวสวนยอมตัดทุเรียนอ่อนเพื่อขายได้ราคา โดยทั่วไปชาวสวนสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหลาย ๆ อย่าง เพื่อนำมาใช้เป็นดัชนีเก็บเกี่ยวทุเรียน ซึ่งมีการรวบรวมไว้ดังนี้ (3)

1. นับจำนวนวันตั้งแต่ดอกบานจนกระทั่งผลแก่เก็บเกี่ยวได้ (115-130 วัน สำหรับทุเรียนพันธุ์หมอนทอง)
2. สีหนาม โดยผลที่แก่จะมีปลายหนามสีน้ำตาลไหม้
3. ร่องหนาม ผลแก่มีร่องหนามห่างขยายออก
4. ก้านผล ผลแก่มีก้านขนาดใหญ่ เมื่อตัดแล้วปล่อยจะติดกลับ เมื่อลูบดูจะรู้สึกผิวของก้านสาก
5. ปากปลิง (รอยต่อระหว่างปลายกิ่งกับปลายก้านผล) ขยายโตขึ้นเมื่อทุเรียนแก่
6. ความยืดหยุ่นของปลายแหลม เมื่อทุเรียนแก่ปลายหนามจะมีความยืดหยุ่น เมื่อบีบเข้าหากันจะสามารถติดกลับคล้ายสปริง
7. ร่องพู รอยต่อระหว่างพูห่างมากขึ้นแสดงว่าผลแก่
8. เสียงตีดพู เมื่อตีดพูของผลทุเรียนบริเวณโคนหนาม ถ้ามีเสียงโพรงไม่ทึบแสดงว่ามี การหลวมของพู หรือเกิดช่องว่างระหว่างเนื้อกับเปลือกของผลทุเรียน
9. น้ำที่ก้านผล ทุเรียนแก่น้ำก้านผลใส มีรสหวาน ทุเรียนอ่อนน้ำขุ่นเหนียวติดมือ

วิธีการวัดวัยของทุเรียนข้างต้น เป็นการวัดแบบจิตวิสัย (Subjective) โอกาสผิดพลาดมีสูง และผันแปรตามตัวบุคคล นอกจากนั้นแต่ละวิธียังมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น การดูสีหนามอาจเกิดความคลาดเคลื่อน ถ้าผลได้รับแสงแดดไม่เท่ากัน ผลที่ได้รับแสงแดดจะมีสีก้านแดด การนับจำนวนวันหลังดอกบาน จะกระทำได้อยู่ยากถ้าต้องการความแม่นยำ จะต้องกระทำทุก ๆ ผล หรือการเคาะผลจะให้ข้อสรุปที่คลาดเคลื่อนได้ถ้าเคาะในช่วงเช้าหรือช่วงที่มีความชื้นมาก วิธีที่ดีที่สุดคือการใช้หลาย ๆ วิธีร่วมกันในการตรวจสอบ

การศึกษาเพื่อหาวิธีการตรวจสอบวัยทุเรียนแบบวัตถุวิสัย (Objective) จะเป็นในลักษณะใช้เครื่องมือหรือวิธีการทางวิทยาศาสตร์และหลักวิศวกรรมเพื่อเลียนแบบการวัดในวิธีจิตวิสัยดังกล่าว ในปี 2530 มีการศึกษาเพื่อหาสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) หรือความเป็นสปริงของก้านผลทุเรียน (4) ระยะที่ก้านเปื่อยเบนไปจากแนวระดับเมื่อถ่วงปลายก้านด้วยน้ำหนัก เป็นตัวแปรที่วัดซึ่งพบว่าทุเรียนผลแก่จะมีความเป็นสปริงสูง หรือมีค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นสูง ความแข็งของก้านผลต่อมามีการศึกษาในอีกลักษณะหนึ่ง โดยใช้เครื่องมือวัดความแน่นเนื้อผลไม้ (Effegi) กดลงบนก้าน แล้วบันทึกค่าแรงที่ใช้ (5) ได้ข้อสรุปว่าการใช้เครื่องมือที่ดัดแปลงจากเครื่องวัดความแน่นเนื้อยังไม่สามารถนำไปใช้ตรวจสอบวัยของผลทุเรียนได้อย่างเที่ยงตรง

วิธีตรวจสอบคุณภาพจากเสียงเคาะ มีการพัฒนาให้เป็นลักษณะการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัยเช่นเดียวกัน เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ การวัดเสียงใช้ไมโครโฟนเพื่อแปลงการสั่นทางกลให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ความถี่ของเสียงสัมพันธ์กับคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งสามารถหาได้จากสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับการสั่นจากเสียงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลานำมาผ่านเทคนิค Fast Fourier Transform จะได้ขนาดการสั่นสัมพันธ์กับความถี่ การตรวจสอบวิธีนี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจเนื่องจากได้มีการพัฒนาใช้กับแตงโมจนเป็นผลสำเร็จ (6) จนได้เครื่องมือคัดคุณภาพแตงโมใช้เทคนิคการเคาะวัดเสียง นอกจากนั้นเทคนิควัดความถี่เสียงของผลไม้ยังมีการพัฒนาต่อมาอีกเป็นลำดับเพื่อให้ได้เทคนิคที่มีตัวแปรที่มีผลต่อการวัดน้อยลง (7)

ชูศักดิ์และคณะ (8) นำเทคนิคดังกล่าวมาใช้กับทุเรียน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุทุเรียนกับความถี่ของเสียงเคาะ และพบว่า ความถี่มีค่าลดลงเป็นลำดับขณะที่อายุทุเรียนมากขึ้น ต่อมา อนุพันธ์และคณะ (9) ก็พบความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกันคือ ดัชนีความถี่ธรรมชาติ $\frac{2}{3}f^2 \ln(m)$ (f คือ ความถี่ธรรมชาติ m คือ น้ำหนักทุเรียน) จะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อทุเรียนแก่มากขึ้น

เทคนิคการวัดความถี่ธรรมชาติของผลไม้

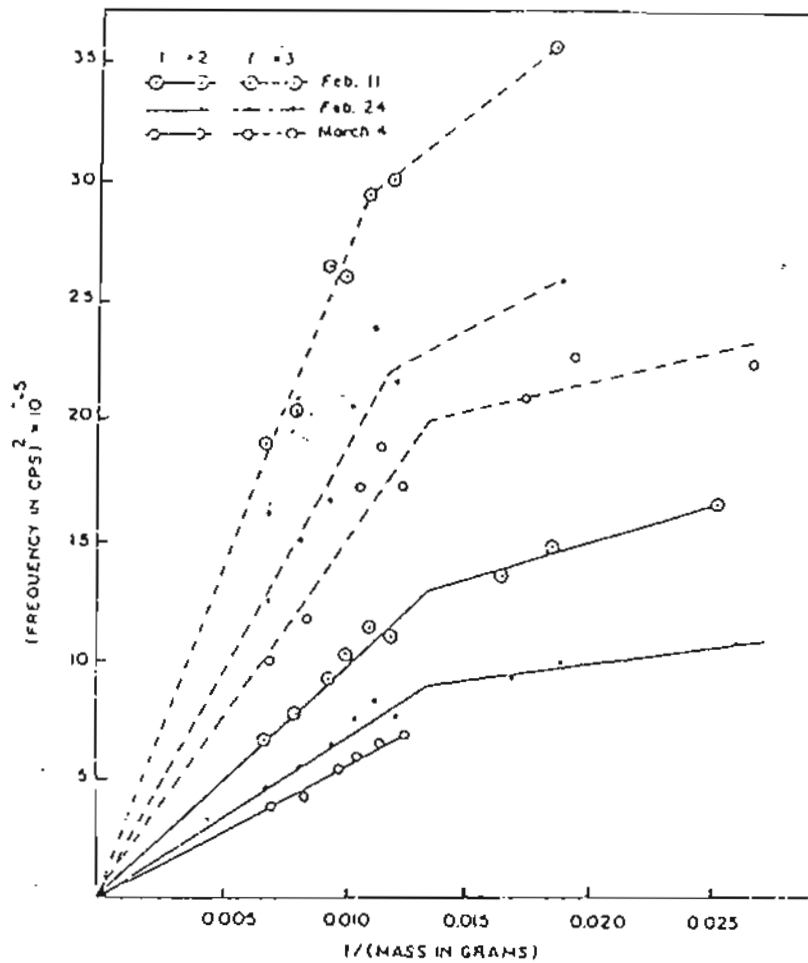
การวัดเพื่อหาความถี่ธรรมชาติของผลไม้ทั้งผล สามารถกระทำได้ 2 วิธี

1. นำผลไม้มาเขย่า หรือทำให้สั่นที่มีความถี่ต่างๆ กัน ครอบคลุมช่วงความถี่ของผลไม้ นั้นๆ ที่ขนาดการสั่น(Amplitude)คงที่ วัดขนาดการสั่นที่ผลไม้ส่งผ่าน (transmission) ที่แต่ละความถี่ โดยความถี่ธรรมชาติคือ ความถี่ที่ผลไม้สามารถส่งผ่าน หรือ ตอบสนองด้วยขนาดการสั่นสูงสุด วิธีนี้ เรียกว่า Forced vibration (10)
2. กระตุ้นด้วยการเคาะให้ผลไม้สั่นอิสระ ซึ่งผลไม้จะสั่นตามความถี่ธรรมชาติโดย ตอบสนองด้วยเสียงที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติ วิธีนี้เรียกว่า Free vibration

ดัชนีความถี่ธรรมชาติ

การวัดความถี่ธรรมชาติในผลไม้ เริ่มแรกเป็นการวัดจากส่วนที่ตัดหรือเตรียมมาจากผลไม้ทั้งผล (specimen) คุณภาพของ Specimen จะสัมพันธ์กับความถี่ธรรมชาติของ Specimen และความสัมพันธ์จะมีนัยสำคัญค่อนข้างสูงเนื่องจากต้องเตรียมชิ้นผลไม้ให้อยู่ในรูปทรงมาตรฐาน และเนื้อผลไม้สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous)

ส่วนผลไม้ทั้งผลเนื้อภายในจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งผล ขนาดก็ไม่เท่ากัน สูตรการคำนวณที่ใช้กับชิ้นผลไม้จึงไม่สามารถนำมาใช้กับผลไม้ทั้งผลได้ จึงมีการวิจัยเพื่อหาสูตรที่สามารถนำมาใช้กับผลไม้ทั้งผลได้ (11) ในงานวิจัยดังกล่าวเป็นการวัดการตอบสนองต่อความถี่ของผลแอปเปิ้ลเมื่อกระตุ้นด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ต่าง ๆ ในช่วงที่ต้องการ โดยใช้เข็มเหล็กปักที่กลางผลแอปเปิ้ลซึ่งผูกเชือกแขวนที่หัว สัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ต่าง ๆ ถูกป้อนที่เข็มนี้โดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้ากระตุ้น ผลตอบสนองของแอปเปิ้ลวัดจากเข็มเหล็กที่เสียบไว้บนไหล่ของแอปเปิ้ล ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าที่แม่เหล็กไฟฟ้าอีกอันหนึ่ง คณะวิจัยพบว่าความถี่ธรรมชาติที่น่าสนใจสำหรับแอปเปิ้ลมี 2 ค่า โดยความถี่ค่าที่สองจะค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นกับตัวแปรในการวัด เช่น ตำแหน่งการวัด ชนิดของหัววัด เป็นต้น อย่างไรก็ตามแอปเปิ้ลที่มีความสูงเหมือนกันแต่ถ้าขนาดต่างกันจะให้ความถี่ธรรมชาติค่าที่สองนี้ต่างกัน โดยความถี่นี้จะแปรผกผันกับขนาดหรือน้ำหนักของแอปเปิ้ลเป็นแบบเส้นตรง จากการวัดความถี่ธรรมชาติและน้ำหนักในผลแอปเปิ้ล 9 ผล ที่เก็บมาจากต้นแล้วเก็บรักษาไว้ เมื่อนำมาวัดที่เวลาต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ได้ผลว่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) และน้ำหนัก (m) จะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ $1/m$ ของกลุ่มแอ็ปเปิ้ลที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลาต่าง ๆ กัน (11)

ความชันของความสัมพันธ์ในรูปที่ 1 คือ $f^2 m$ ซึ่งเป็นตัวแทนของคุณภาพในการเก็บรักษา แอปเปิ้ลที่เก็บรักษาไว้นานจะมีค่า $f^2 m$ ลดลง (มีความชันของเส้นตรงน้อยกว่า) ต่อมาสูตร $f^2 m$ ถูกปรับแก้เป็น $f^2 m^{2/3}$ เพื่อความเหมาะสมเกี่ยวกับหน่วยวัด

สำหรับทุเรียนความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ m ไม่เป็นแบบเส้นตรงเหมือนในแอปเปิ้ลแต่จะเป็นแบบ exponential และได้ความสัมพันธ์คือ $f^2 \ln(m)$ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงตามอายุของทุเรียนบนต้น (9)

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความถี่ธรรมชาติกับดัชนีมาตรฐาน

ความสัมพันธ์กับ Magness Taylor test

เทคนิคการหาความแน่นเนื้อของผลไม้ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Magness Taylor เป็นการวัดแรงที่ใช้ในการกดหัวกดลงไปเนื้อผลไม้เป็นระยะความลึกที่ต้องการ Armstrong และ

Brown (12) พบว่าค่าแรงดังกกล่าวมีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำกับค่าดัชนีความถี่ธรรมชาติในแอปเปิ้ล 4 พันธุ์ ส่วน Abbott และ Massie (13) สรุปว่าค่า $f^2 m^{2/3}$ สามารถนำมาใช้กำหนดความแน่น (Firmness) ที่วัดจากค่าแรงสูงสุดในแอปเปิ้ลพันธุ์ Golden delicious อย่างไรก็ตามค่าความชันของกราฟระหว่างแรงกดและระยะยุบตัว (Deformation) จะสัมพันธ์กับความถี่ของแอปเปิ้ลมากกว่า

ความสัมพันธ์กับอายุเก็บเกี่ยว (Harvesting date)

แอปเปิ้ลที่เก็บเกี่ยวที่เวลาต่าง ๆ กัน จะมีค่า $f^2 m$ แตกต่างกัน โดยกลุ่มที่เก็บเกี่ยวก่อนดูเหมือนว่าจะมีค่าสูงกว่า(11) แต่ถ้าเก็บเกี่ยวแอปเปิ้ลแล้วนำมาเก็บไว้ในห้องเก็บรักษาจะพบว่าค่า $f^2 m$ จะลดลงขณะที่ เก็บเป็นเวลานานขึ้น นอกจากนั้นแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีอัตราการลดลงของค่า $f^2 m$ สูงกว่า (14)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $f^2 m$ กับอายุการเก็บรักษาได้รับการยืนยันต่อมา (15) คือ $f^2 m$ จะลดลงตามเวลาในการเก็บรักษา จากการศึกษาสภาพภายนอกของแอปเปิ้ลพบว่า ผลที่เหี่ยวแห้งจะให้ $f^2 m^{2/3}$ ต่ำกว่าผลที่ยังดูดีหรือยังสดอยู่ ค่าดัชนี $f^2 m^{2/3}$ หรือ $f^2 m$ จึงเป็นดัชนีที่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบคุณภาพการเก็บรักษาของแอปเปิ้ล

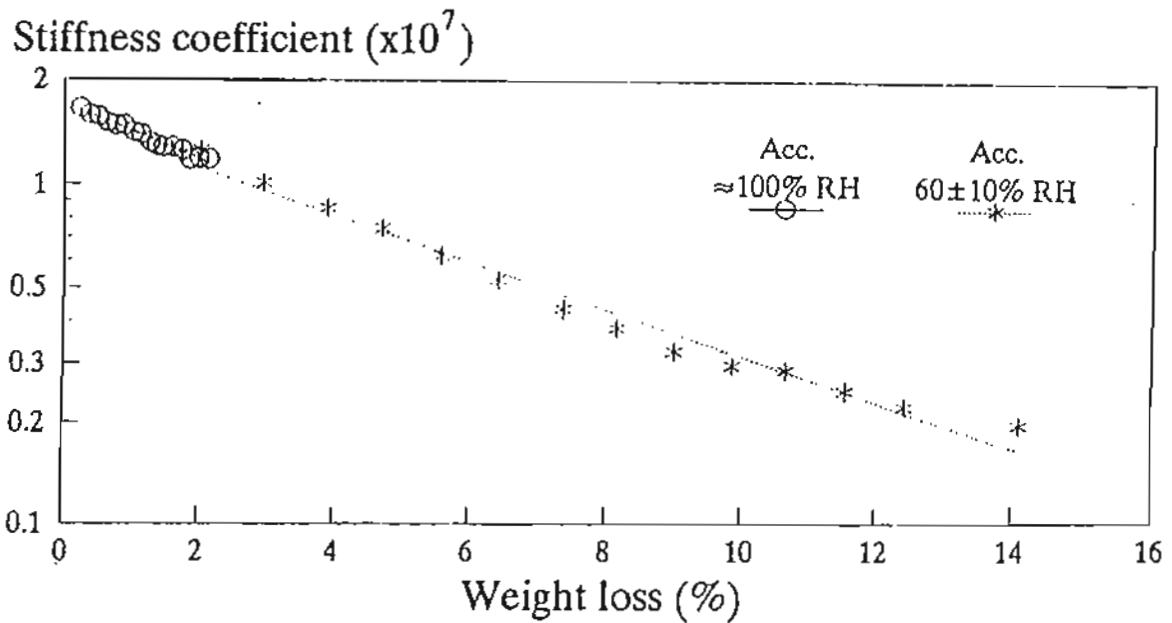
งานวิจัยอีกชิ้นหนึ่งนอกจากจะพบว่าค่า $f^2 m^{2/3}$ ของแอปเปิ้ลลดลงในลักษณะ exponential ขณะเก็บรักษาแล้วยังพบด้วยว่าค่า $f^2 m^{2/3}$ เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักขณะเก็บรักษาของแอปเปิ้ล (16) กล่าวคือ ระหว่างเก็บรักษาขณะที่แอปเปิ้ลสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น ค่า $f^2 m^{2/3}$ ของแอปเปิ้ลจะลดลง โดยความสัมพันธ์เป็นแบบ exponential ดังแสดงในรูปที่ 2

ในทุเรียนก็พบว่าค่า $f^2 m^{2/3}$ มีแนวโน้มลดลงขณะทุเรียนแก่มากขึ้นบนต้น ส่วนค่า $\frac{2}{3} f^2 \ln(m)$ ของทุเรียนจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อแก่มากขึ้น (9)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการวัดความถี่ธรรมชาติ

การวัดหาความถี่ธรรมชาติของแอปเปิ้ลแบบ Forced vibration พบว่า ตำแหน่งการวัดบนผลแอปเปิ้ลจะมีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติน้อย ถ้าแอปเปิ้ลนั้นมีรูปร่างใกล้เคียงทรงกลม (17) ดังนั้นในการวัดหาความถี่ในผลแอปเปิ้ลที่มีรูปร่างแตกต่างจากทรงกลม จึงควรวัดหลาย ๆ ตำแหน่งแล้วนำค่าเฉลี่ยมาใช้ ส่วนการวัดหาความถี่ธรรมชาติของทุเรียนแบบ Free vibration พบว่า ตำแหน่งเกาะบนผลทุเรียนให้ความถี่ธรรมชาติที่แตกต่างกันเล็กน้อย (10-40 Hz จากค่าความถี่

ในช่วง 300-1000 Hz) หรือ การเคาะบนไม้ และร่องระหว่างพูของผลทุเรียนก็ได้รับความนิยมใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2 การลดลงของ $f^2 m^{2/3}$ ในขณะที่ยับเปิดสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น ขณะที่บ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน (16)

ดังนั้นเทคนิคการวัดหาความถี่ธรรมชาติ ด้วยการเคาะ หรือแบบ Free vibration เป็นเทคนิคที่มีศักยภาพที่น่าจะนำมาใช้ตรวจวัดคุณภาพของทุเรียนเมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อนำเทคนิคการวัดหาความถี่ธรรมชาติแบบสั่นอิสระมาใช้กับทุเรียน เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความถี่ธรรมชาติกับความแก่ทุเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือวัดความถี่ธรรมชาติ

เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความถี่ธรรมชาติของทุเรียนประกอบด้วย

1. เครื่องวัดระดับความเข้มเสียง (Sound level meter, NA-60 RION) ตั้งไว้ที่ค่า

Range : 90-110 dB

Mode : A

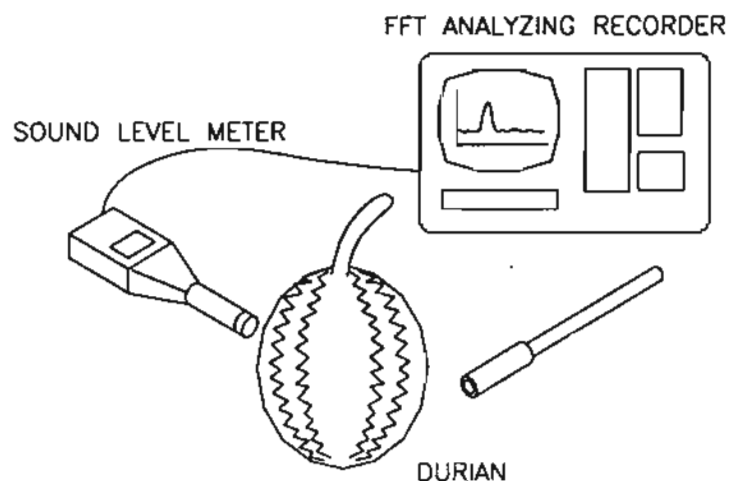
2. เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (3655 E Analysing recorder, YOKOKAWA)

ตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

Mode	:	Option
Frequency range	:	0-2.5 kHz
Time span	:	0-100 ms
Window weighting	:	Hanning
Sampling rate	:	0.2 ms
start mode	:	Single
Trigger level	:	6%

(เมื่อสัญญาณสูงกว่าค่า Trigger ที่ตั้งไว้จึงจะเริ่มเก็บข้อมูล)

การติดตั้งเครื่องมือแสดงในรูปที่ 3

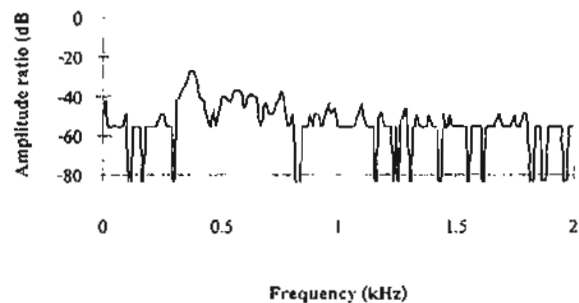
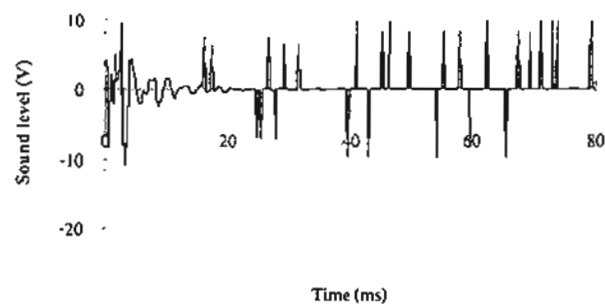


รูปที่ 3 เครื่องมือสำหรับวัดหาความถี่ธรรมชาติของทุเรียน

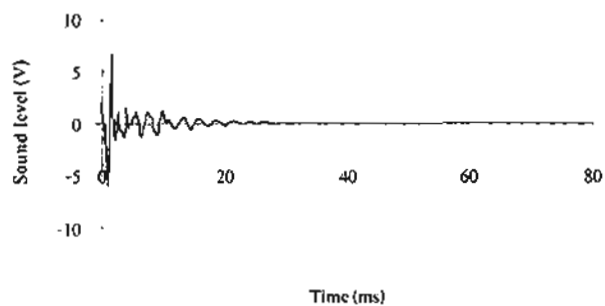
วิธีการวัดหาความถี่ธรรมชาติ

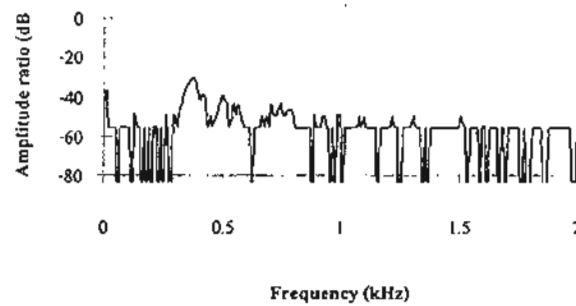
อนุพันธ์และคณะ (9) แนะนำเกี่ยวกับการวัดความถี่ธรรมชาติโดยกล่าวไว้ว่า การวัดเสียงควรจะวัดในด้านตรงข้ามกับตำแหน่งเคาะ ทุเรียนผลแห้งและเปียกไม่มีผลต่อความถี่ที่วัดจากเสียงเคาะ ตำแหน่งเคาะบนพู หรือระหว่างพูให้ค่าความถี่ของเสียงใกล้เคียงกัน จากการทดสอบปัจจัยดังกล่าวอีกครั้งหนึ่งได้ข้อมูลยืนยันข้อแนะนำดังกล่าว

นอกจากนี้ได้ทดสอบปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม โดยทดสอบใน 2 ลักษณะคือ วัดความถี่ธรรมชาติเมื่อวางผลทุเรียนให้ขั้วตั้งขึ้นแล้วเคาะ และจับขั้วทุเรียนสูงจากพื้นแล้วเคาะ ซึ่งได้ผลว่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากทั้ง 2 แบบ เท่ากัน คือ 380 Hz ดังแสดงในรูปที่ 4



ก)

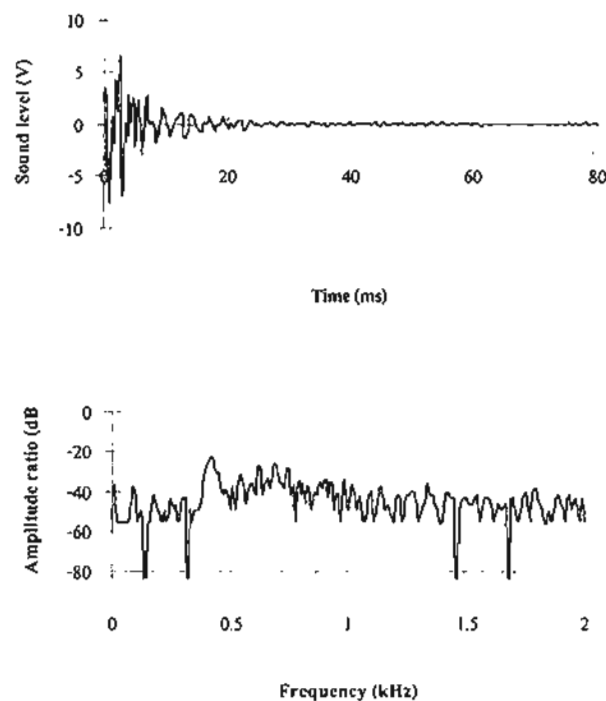




ข)

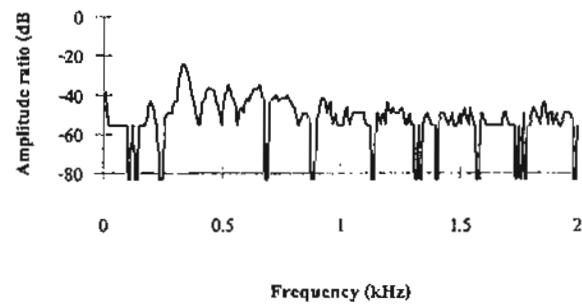
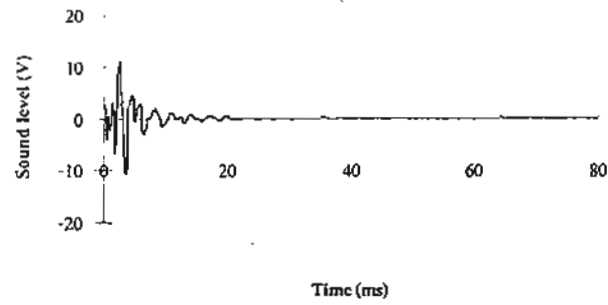
รูปที่ 4 สัญญาณที่สัมพันธ์กับเวลาและความถี่ของ (ก) ทูเรียนที่วางผลบนพื้น และ (ข) ทูเรียนที่จับชั่วคราวขณะเคาะ

ทูเรียนเมื่อตัดลงมาแล้วทิ้งไว้เกินกว่า 1 วัน เมื่อนำมาเคาะจะได้สัญญาณที่อ่านค่าความถี่ได้ยาก ตรงกับงานวิจัยในปีที่แล้ว (9) ถ้าเคาะทูเรียนที่ตัดภายในวันเดียวกัน สัญญาณที่วัดจะอ่านค่าความถี่ได้ เช่น ในรูปที่ 5 ซึ่งอ่านความถี่ได้ 420 Hz

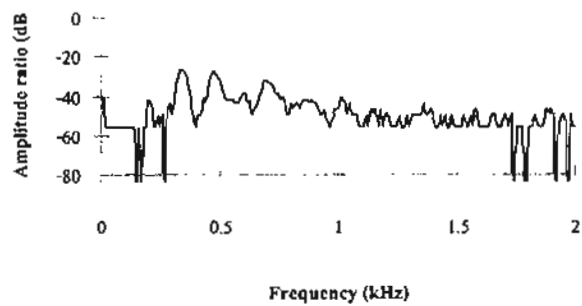
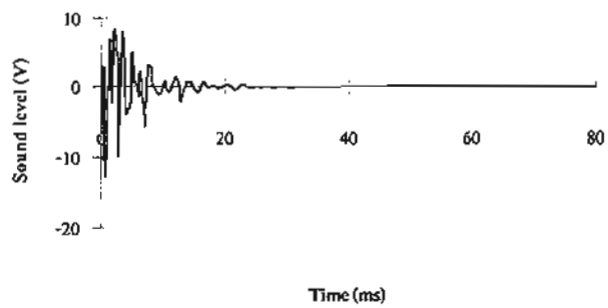


รูปที่ 5 สัญญาณเสียงเคาะของทูเรียนที่เคาะหลังจากตัดภายในวันเดียวกัน

เมื่อเคาะทูเรียนบนต้น แล้วจึงตัดลงมาเคาะอีกครั้ง จะได้ค่าความถี่เท่ากันตามรูปที่ 6 ได้ความถี่เท่ากับ 340 Hz



ก)



ข)

รูปที่ 6 สัญญาณการเคาะแสดงค่าความถี่ที่เท่ากันเมื่อ ก) เคาะบนต้น และ ข) เคาะผลทุเรียนที่
ตัดลงมา

วิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นงานที่ทำเพื่อยืนยันผลที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ (9) โดยเป็นการศึกษาผลกระทบของฤดูเก็บเกี่ยวที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความถี่ธรรมชาติ ($\frac{2}{3}f^2 \ln(m)$) กับความแก่ทุเรียน ตัวแทนของความแก่ทุเรียนในการศึกษานี้ยังคงใช้อายุของทุเรียนหลังดอกบาน กลุ่มทุเรียนในช่วงเริ่มต้นที่ติดเครื่องหมายเมื่อดอกบานมีประมาณ 50 ผล (พันธุ์หมอนทอง ดอกบานวันที่ 29 มกราคม 2540) แต่ปรากฏว่าการติดเครื่องหมายไปรบกวนดอกทุเรียนทำให้ดอกร่วง จึงเลือกกลุ่มทุเรียนที่สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 30 ผล ขั้นตอนการเก็บข้อมูลมีดังนี้

1. เคาะทุเรียนแต่ละผล 3 ครั้งรอบผล วัดความถี่ธรรมชาติของเสียงเคาะโดยใช้เครื่องวัดระดับเสียง (Sound level meter NA-60RION) แล้วป้อนสัญญาณเสียงเข้าเครื่องวิเคราะห์ (Recording analyser, 3655E YOKOKAWA) เพื่อแปลงสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ให้เป็นสัญญาณที่สัมพันธ์กับความถี่ โดยความถี่ธรรมชาติ (m) คือ ความถี่ที่ขนาดการสั่นสูงสุด ค่าเฉลี่ยของความถี่ธรรมชาตินำไปใช้ในการคำนวณต่อไป

2. หาน้ำหนัก (m) ของทุเรียนทุกผล การหาน้ำหนักใช้วิธีอ้อม เนื่องจากในการวิจัยจะปล่อยให้ทุเรียนแก่บนต้นขณะเก็บข้อมูลเพื่อลดความผันแปรทางสถิติ การวัดน้ำหนักทุเรียนบนต้นไม่สามารถกระทำได้ จึงใช้การวัดหาปริมาตรแทนด้วยวิธีการแทนที่น้ำดังแสดงในรูปที่ 7 แล้วนำปริมาตรที่วัดได้มาแปลงเป็นน้ำหนัก โดยคูณปริมาตรด้วยความหนาแน่น ความแน่นหามาจากผลทุเรียนผลอื่นที่ตัดลงมาและเป็นทุเรียนที่มีอายุหลังดอกบานเท่ากับทุเรียนที่เก็บข้อมูล (ทุเรียนที่ตัดแต่ละครั้งมีจำนวน 14 ผล นำค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นมาใช้)



รูปที่ 7 การหาปริมาตรทุเรียนบนต้นด้วยการแทนที่น้ำ

3. นำข้อมูล f และ m (ของทุเรียนตัวอย่างจำนวน 30 ผล) มาหาความสัมพันธ์ โดยการพลอตกราฟระหว่าง f และ $1/m$ หรือระหว่าง f กับ m ในรูปอื่นๆ โดยใช้วิธี Regression analysis (11)

4. นำเนื้อของทุเรียนแต่ละผลที่ตัดมาหาความหนาแน่นมาอบแห้ง โดยเตรียมเนื้อทุเรียนให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว หนาประมาณ 1 ซม. แต่ละผลใช้เนื้อ 3 ชิ้น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

5. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดย เก็บข้อมูลครั้งแรกเมื่อมีอายุผลหลังดอกบานได้ 84 วัน จากนั้นเก็บข้อมูลอาทิตย์ละครั้ง จนกระทั่งทุเรียนแก่เต็มที่ (จะได้ข้อมูลประมาณ 6 ชุด)

6. ความสัมพันธ์ระหว่าง f และ m ที่เปลี่ยนแปลงตามอายุทุเรียนชัดเจนที่สุดในข้อ 3 คือ ดัชนีความถี่ธรรมชาติที่สามารถนำมาเปรียบเทียบอายุของทุเรียนขณะแก่ นำดัชนีความถี่ธรรมชาติมาพลอตกับจำนวนวันหลังดอกบานหรือความแก่ของทุเรียนอ้างอิง เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนี

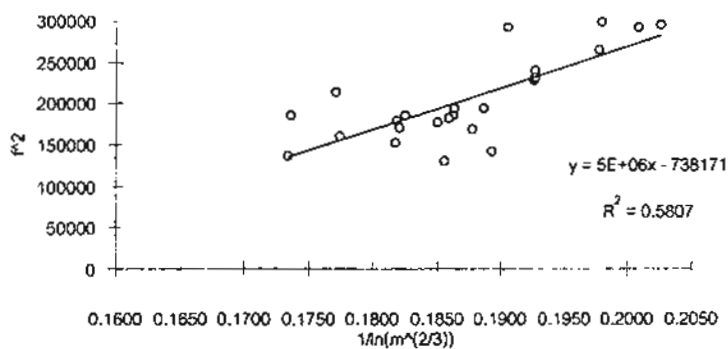
7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนที่อบในแต่ละกลุ่มอายุของทุเรียน โดยนำน้ำหนักหลังจากอบแห้งหารด้วยน้ำหนักก่อนอบแล้วคูณด้วยร้อย

8. พล็อตเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งกับอายุของทุเรียน เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง

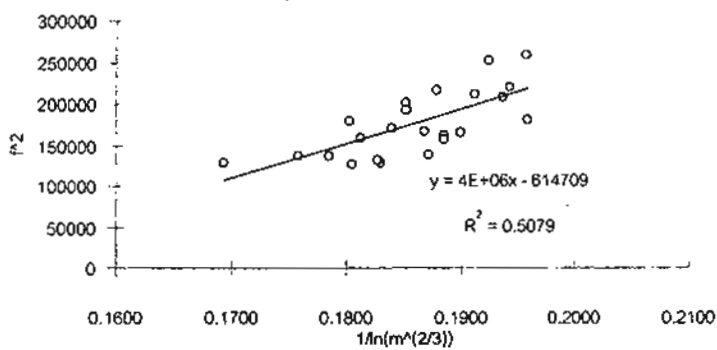
ผลการทดลอง

ดัชนีความถี่ธรรมชาติ

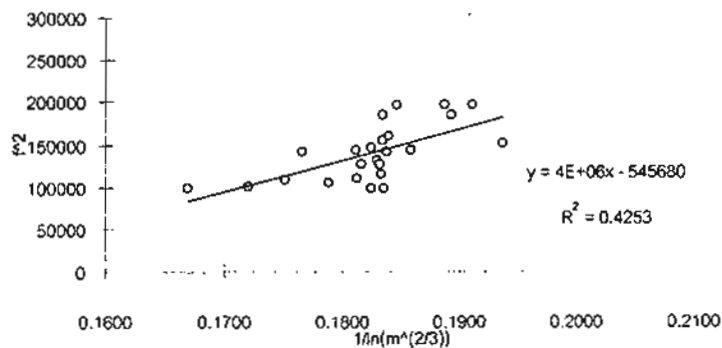
ข้อมูลทั้งหมดที่เก็บได้แสดงอยู่ในภาคผนวก นำข้อมูลความถี่ธรรมชาติ (f) และน้ำหนัก (m) ของทุเรียนทั้ง 30 ผล มาเขียนกราฟของแต่ละอายุหรือความแก่ (11) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ m เปลี่ยนแปลงตามความแก่ของทุเรียนอย่างไร เมื่อลองเขียนกราฟหลาย ๆ แบบพบว่ากราฟระหว่าง f^2 กับ $1/\ln(m^{2/3})$ มีความสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงตามความแก่ของทุเรียนชัดเจนที่สุดดังแสดงในรูปที่ 8



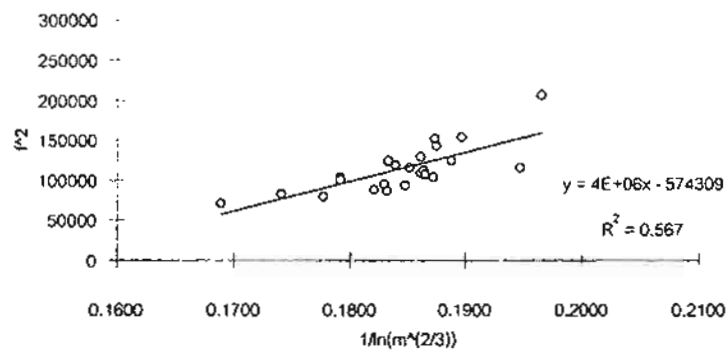
22 April 1997



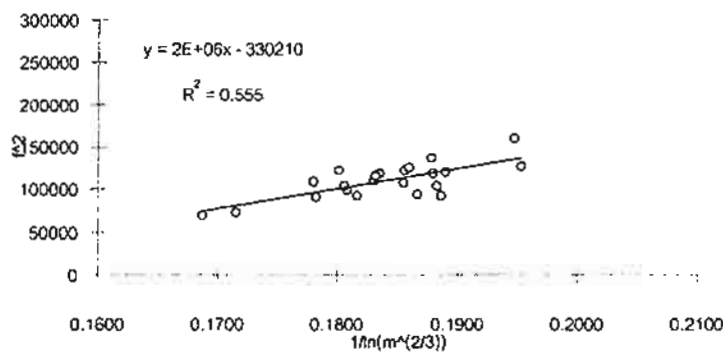
29 April 1997



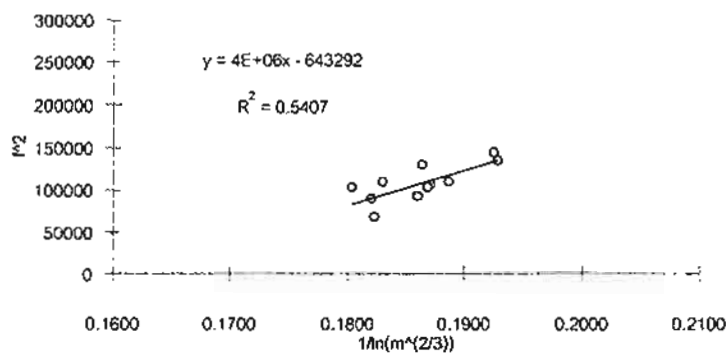
7 May 1997



15 May 1997



20 May 1997



30 May 1997

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง f_2 กับ $1/\ln(m^{2/3})$ ที่เปลี่ยนแปลงตามความแก่ทุเรียน (จำนวนวันหลังดอกบาน)

กราฟดังกล่าวให้ข้อมูล 3 ข้อ คือ

1. ในทุเรียนที่ความแก่ใกล้เคียงกันความถี่ธรรมชาติของทุเรียนผลใหญ่จะน้อยกว่าทุเรียนผลเล็ก สังเกตได้จากเมื่อ $1/\ln(m^{2/3})$ มากหรือ m มีค่าน้อย f จะมาก
2. ความถี่ธรรมชาติของทุเรียนลดลงตามความแก่ ในกลุ่มทุเรียนที่แก่ค่าความถี่โดยรวมจะต่ำกว่ากลุ่มทุเรียนที่อ่อน

3. ความชันของกราฟมีแนวโน้มลดลงจากค่า 5×10^6 ของวันที่ 22 เมษายน 2540 ลงมาเป็น 4×10^6 ในวันที่ 15 พฤษภาคม 2540 และเป็น 2×10^6 ในวันที่ 20 พฤษภาคม 2540

ข้อมูลในวันที่ 30 พฤษภาคม 2540 อาจเป็นข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากว่าตัวอย่างที่ทำการทดลองถูกตัดไปโดยบังเอิญ ทำให้ข้อมูลกว่าครึ่งหนึ่งไม่สามารถเก็บได้ ความชันของกราฟข้อมูลของวันที่ 30 พฤษภาคม 2540 คือ 4×10^6 ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองที่กล่าวในข้อที่ 3

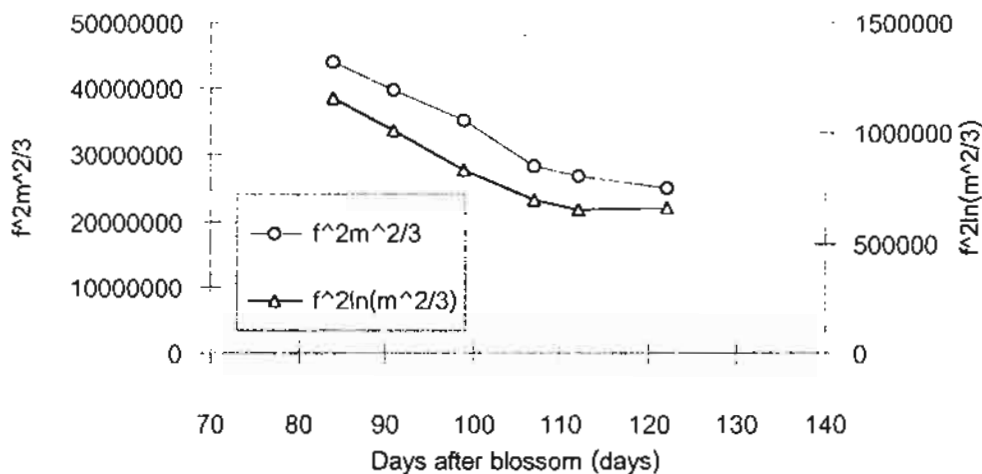
จะเห็นว่าความชันของกราฟในรูปที่ 4 สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีความถี่ธรรมชาติ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงความแก่ของทุเรียนโดยความชันดังกล่าวคือ

$$\text{ดัชนีความถี่ธรรมชาติ} = f^2 \ln(m^{2/3})$$

ค่าดัชนีนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (9)

การเปลี่ยนแปลงดัชนีความถี่ธรรมชาติขณะทุเรียนแก่

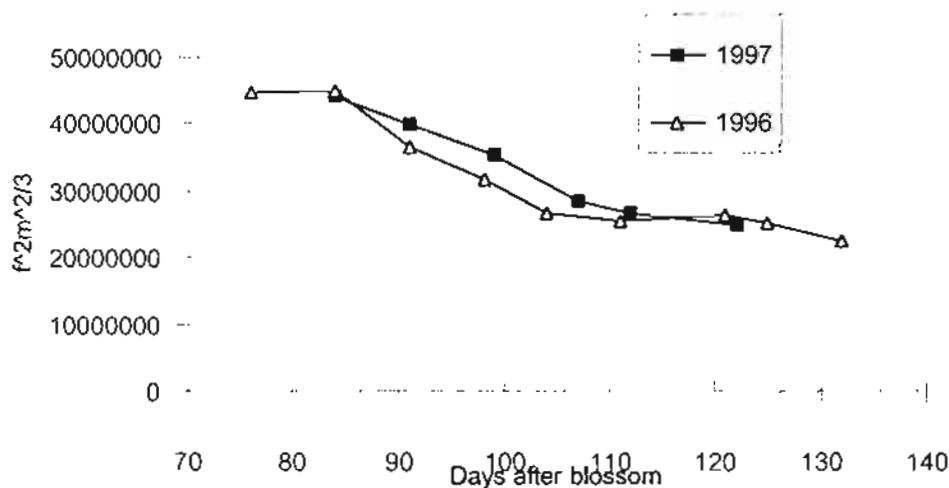
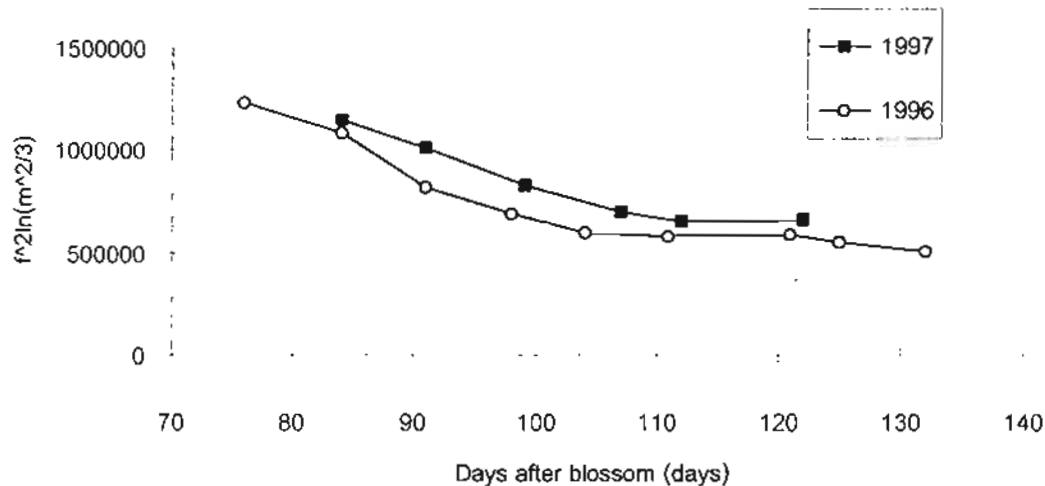
รูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าค่า $f^2 \ln(m^{2/3})$ ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อทุเรียนแก่มากขึ้น



รูปที่ 9 การลดลงของดัชนีความถี่ธรรมชาติตามความแก่ทุเรียน

ค่า $f^2 m^{2/3}$ ซึ่งเป็นดัชนีใช้กับผลไม้ เช่น แอปเปิ้ลก็ลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกันเมื่อนำมาใช้กับทุเรียน เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของ $f^2 \ln(m^{2/3})$ และ $f^2 m^{2/3}$ กับข้อมูลงานวิจัยในปีที่ผ่านมา (9) ดังแสดงในรูปที่ 10 จะเห็นว่าแนวโน้มการลดลงเป็นไปในลักษณะเดียวกัน แต่จะมีความแตกต่าง โดยค่าของปี 1997 จะสูงกว่า เป็นที่สังเกตว่าค่า $f^2 \ln(m^{2/3})$ และ $f^2 m^{2/3}$ ของ

ทั้งสองปี จะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่ออายุทุเรียนยังน้อย (น้อยกว่า 80 วัน หลังดอกบาน) และจะแตกต่างกันต่อมาหลังจากนั้น แล้วจึงมีค่าเข้าใกล้กันอีกครั้งเมื่อทุเรียนเข้าสู่ช่วงที่แก่เต็มที่ (มากกว่า 110 วัน) จากข้อมูลนี้อาจสรุปในเบื้องต้นได้ว่าฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีผลต่อดัชนีความถี่ในช่วงที่ทุเรียนแก่ปานกลาง และจะมีผลน้อยลงขณะทุเรียนยังอ่อน และทุเรียนเริ่มแก่เต็มที่ (ต้นทุเรียนที่ทดสอบทั้ง 2 ฤดู อยู่ในบริเวณสวนเดียวกันแต่ไม่ใช่ต้นเดียวกัน

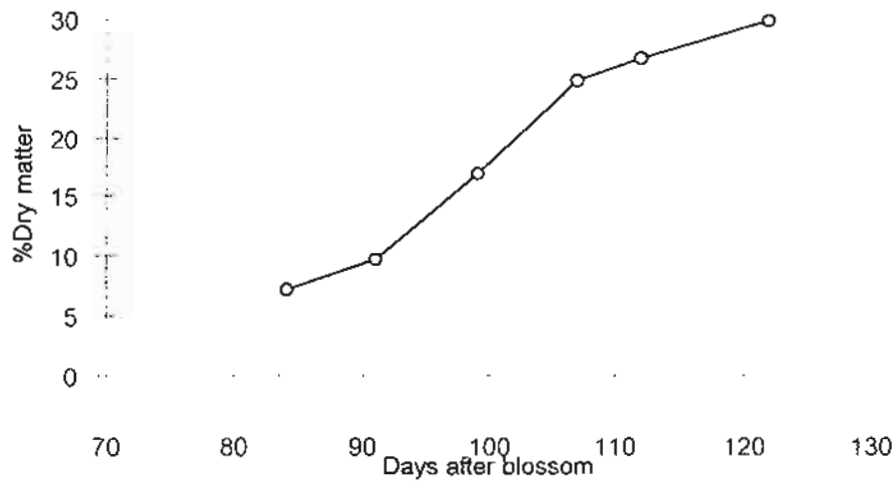


รูปที่ 10 เปรียบเทียบการลดลงของ $f^2 \ln(m^{2/3})$ และ $f^2 m^{2/3}$ จากสองฤดูกาล

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความถี่ธรรมชาติกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง

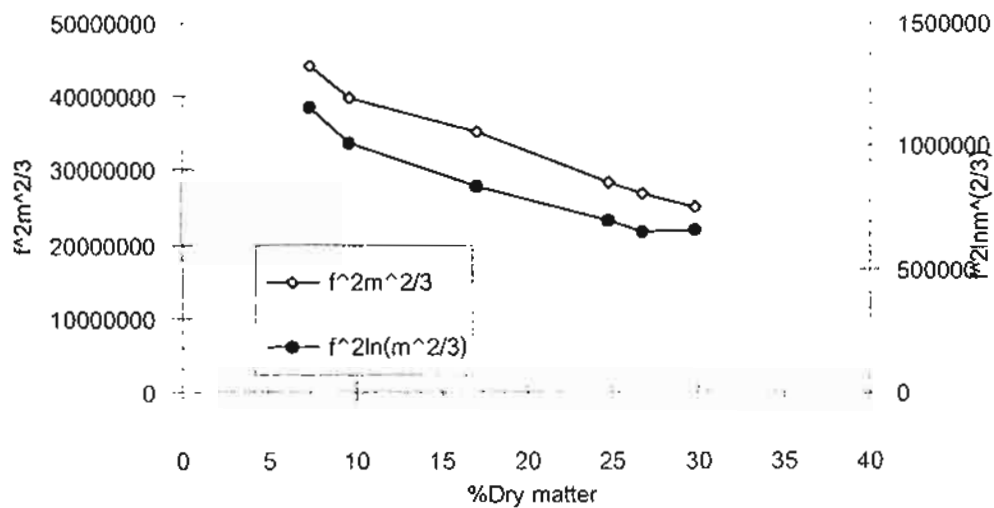
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนถูกพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุความแก่ของทุเรียน (18) ซึ่งได้รับการยืนยันจากผลการทดลองในรูปที่ 11 โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของทุเรียน ช่วงแรกจะเพิ่มช้า ต่อมาเพิ่มเร็วขึ้นและเริ่มชะลอตัวอีกครั้งที่อายุประมาณ 110 วัน หลังดอก

บาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยที่ผ่านมา (18) ถึงแม้ว่าน้ำหนักเนื้อแห้งโดยรวมในงานวิจัยนี้จะน้อยกว่าก็ตาม



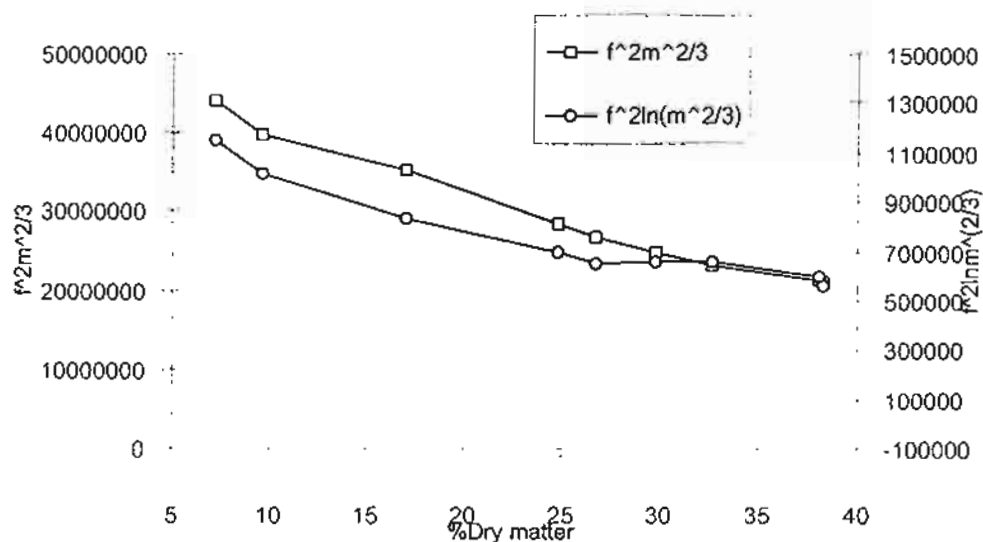
รูปที่ 11 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียนที่เพิ่มขึ้นตามอายุ

เมื่อนำเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งมาพลอตกับดัชนีความถี่ (รูปที่ 12) พบว่าตัวแปรทั้งสองเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์ต่อกัน โดยเมื่อดัชนีความถี่ธรรมชาติในทุเรียนลดลง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง และ $f^2 \ln(m^{2/3})$, $f^2 m^{2/3}$

เนื่องจากทุเรียน ถูกตัดโดยบังเอิญ เมื่อ อายุได้ 122 วัน หลังจากดอกบาน ซึ่งอยู่ในช่วง เริ่มเก็บเกี่ยวพอดี (อายุ 115-130 วัน สำหรับพันธุ์หมอนทอง) จึงเก็บข้อมูลเพิ่มเติม แต่ไม่สามารถ เลือกอายุทุเรียนได้ ดังนั้นจึงเลือกเก็บทุเรียนตามเปอร์เซ็นต์ความแก่ ซึ่งเป็นวิธีแบบจิตวิสัย (Subjective) โดยเก็บทุเรียน 3 กลุ่ม ๆ ละ 30 ผล แบ่งเป็นทุเรียนสุก 50-60%, 65-75% และ 80-90% นำมาหาค่า f , m และ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง แล้วนำค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มมาพลอตเพิ่มลงในรูปที่ 12 ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงข้อมูลเพิ่มเติมจากรูปที่ 8

จุดสามจุดที่เพิ่มลงไปบนแต่ละเส้น จะเห็นอยู่ทางด้านซ้ายของเส้นในรูปที่ 13 อยู่ในช่วง ที่มีค่า $f^2 \ln(m^{2/3})$ หรือ $f^2m^{2/3}$ น้อย และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งสูง ตำแหน่งของจุดเพิ่มเติม ทั้งสามสามารถต่อตรงกับจุดเดิมของทุเรียนที่นำมาเก็บข้อมูลเพิ่มเติม นอกจากนั้นจุดทั้งสามยังต่อเนื่องตามแนวโน้มการลดลงของข้อมูลที่มีอยู่เดิม ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีความถี่ธรรมชาติสะท้อนการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง เหตุผลของความสัมพันธ์ดังกล่าว อาจจะมาจากการที่น้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียนที่อ่อนมีค่าต่ำ เพราะว่ามีแป้งและน้ำตาลรวมอยู่มาก ทำให้เนื้อแข็ง และมีความเป็นสปริงหรือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ซึ่งทำให้ความถี่ธรรมชาติสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามน่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเพื่อหาสาเหตุที่น้ำหนักเนื้อแห้งมีผลต่อคุณสมบัติด้านความถี่ธรรมชาติของทุเรียน

พารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับอายุทุเรียน

สัญญาณเสียงเคาะที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เป็นอีกจุดหนึ่งที่น่าสนใจ ตามที่ทราบแล้ว จากข้อสรุปในหัวข้อดัชนีความถี่ธรรมชาติว่า ความถี่จะน้อยลงเมื่อทุเรียนแก่ หมายความว่า