ภาคผนวก จ

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจานหมุนและเส้นผ่าศูนย์กลางของผลมังคุด กับระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแนวแผ่นกั้นคัดขนาดของเครื่อง Greefa sizer

ตีพิมพ์ลงในวารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร (AGRICULTURAL SCIENCE JOURNAL)
ปีที่ 34 ฉบับที่ 4-6 (พิเศษ) กรกฎาคม-ธันวาคม 2546
(Vol.34 No. 4-6 (Suppl) July-December 2003

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจานหมุนและเส้นผ่าศูนย์กลางของผลมังคุดกับระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแนวแผ่นกั้นคัดขนาดของเครื่อง Greefa sizer

บัณฑิต จริโมภาส[1], สาริกา สารการ[2] และวันวิสาข์ ศรีขำ[2]

[1]รองศาสตราจารย์, [2]นิสิตปริญญาโท
คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจานหมุน และเส้นผ่าศูนย์กลางของผลมังคุดกับระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นคัดขนาดของเครื่องคัดขนาดแบบจานหมุน (Greefa sizer) วิธีการทดลองประกอบด้วยการปล่อยให้ผลมังคุด 4 ขนาด คือ เล็ก, กลาง, ใหญ่ และใหญ่พิเศษ เคลื่อนที่ไปบนจานหมุนเหมือนการคัดขนาดที่ความเร็วจานหมุน 3 ค่า คือ 14, 21 และ 25 รอบต่อนาที ของเครื่องคัดขนาดผลมังคุดแบบ Greefa sizer และวัดระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแนวแผ่นกั้นจนตกออกจากช่องคัดขนาดและวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดลองปรากฏว่าผลรวมระยะทางที่ผลมังคุดทุกขนาดน่าจะเคลื่อนที่ได้ก่อนตกออกจากช่องคัดขนาด $\Sigma\ell$ แปรผันเป็นสัดส่วนตรงกับความเร็วของจานหมุน ($R^2 \geq 0.99$) ยิ่งระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเพิ่มขึ้นจาก 90% ไปสู่เป็น 99% $\Sigma\ell$ ยิ่งเพิ่มขึ้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ที่ความเร็วจานหมุน 14, 21 และ 25 รอบต่อนาที $\Sigma\ell$ เป็น 20.8, 53.0 และ 70.5 เซนติเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ : มังคุด, การคัดขนาด

Abstract : This research was to study the relationship between rotary disk speed (ω) and mangosteen diameter against distance (ℓ) mangosteen fruit traveling along sizing board of a rotary disk sizing machine. Methodology comprised feeding mangosteen of four different sizer rolling along sizing board of three different rotating disk speeds (i.e. 14, 21 and 25 rpm) of the sizing machine measuring ℓ and doing statistical analysis

Results showed sum of ℓ mangosteen of all sizes ($\Sigma\ell$) varied proportionally as ω ($R^2 \geq 0.99$). The more level of confidence increased from 90% to 99%, The longer $\Sigma\ell$ became. At the level of confidence of 90%, $\Sigma\ell$ amounted to 20.8, 50.3 and 70.5 cm. At the speed of 14, 21 and 25 rpm, respectively

Key words : Mangosteen, Sizing

บทนำ

มังคุดเป็นไม้ผลเมืองร้อนที่เจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในประเทศไทย เป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อย เป็นที่นิยมชมชอบของผู้บริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศจนได้รับนามว่าได้รับสมญานามว่า “ราชินีแห่งไม้ผลเมืองร้อน” (Queen of the fruits) (web.ku.ac.th, n.d.) โดยมีแหล่งปลูกในประเทศไทย 3 แหล่งใหญ่ คือ พื้นที่ในเขตภาคตะวันออก ได้แก่จังหวัดระยอง, จันทบุรีและตราด ภาคใต้ ได้แก่จังหวัดระนอง, ชุมพร, นครศรีธรรมราช และนราธิวาส ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดนนทบุรี (www.doae.go.th, n.d.) เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ พื้นที่ปลูกมีแนวโน้มจะขยายเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโรคแมลงรบกวนมีน้อย (www.rayong.go.th, n.d.) พื้นที่ปลูกโดยรวม 252,276 ไร่ ผลผลิตรวม 160,671 ตัน เฉลี่ย 952 กิโลกรัม/ไร่ (oae.go.th, n.d.) ปัจจุบันมังคุดจัดว่าเป็นผลไม้ที่ตลาด มีความต้องการสูง เพราะนอกจากตลาดภายในประเทศแล้วยังมีการส่งออกทั้งในรูปของผลสด และแช่แข็ง ทำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละหลายสิบล้านบาทเพื่อให้การส่งออกผลมังคุดเป็นที่ยอมรับทั้งในและต่างประเทศมากยิ่งขึ้น จึงได้มีการพัฒนาเครื่องคัดขนาดมังคุดเพื่อทดแทนแรงงานที่ขาดแคลน เช่น เครื่องคัดขนาดมังคุดแบบจานหมุน แต่ยังไม่เป็นที่นิยมในการนำมาคัดขนาดมังคุดของเกษตรกร เนื่องจากเครื่องคัดขนาดมังคุดนี้มีขนาดใหญ่และราคาค่อนข้างแพง อัตราการคัดขนาดผิดสูงและความสามารถในการผลิตยังไม่มาก ในการปรับปรุงเครื่องคัดขนาดผลมังคุดแบบจานหมุนจำเป็นจะต้องศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจาน

หมุนและเส้นผ่าศูนย์กลางของผลมังคุดกับระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นคัดขนาดของเครื่องคัดขนาดแบบจานหมุน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบเครื่องคัดขนาดแบบจานหมุนใหม่ให้มีขนาดที่เหมาะสมและประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจานหมุนและเส้นผ่าศูนย์กลางของผลมังคุดกับระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นคัดขนาด

ตรวจเอกสาร

มังคุดเป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งของไทย ที่มีลักษณะรูปทรงและสีสันสวยงามอีกทั้งเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคทั้งในและนอกประเทศ จนได้รับการขนานนามว่า “ราชินีแห่งผลไม้” มังคุดเริ่มมีความสำคัญทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยรัฐบาลกำหนดให้เป็นสินค้าชนิดหนึ่งในกลุ่มของผลไม้เพื่อการส่งออก ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติ (อาภรณ์, 2533)

มังคุด (Garcinia mangostana L.) เป็นไม้ผลเมืองร้อนที่เริ่มได้รับความสนใจจากเกษตรกรทั่วโลก (Downton และคณะ, 1990) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียอาคเนย์ โดยเฉพาะแหลมมลายู คาดว่าเป็นที่รู้จักและมีการปลูกกันมานานกว่า 1,000 ปี แล้วแพร่กระจายไปตามเขตร้อนอื่นๆ (Almeyda and Martin, 1976; Dowling, 1987) เชื่อกันว่ามังคุดที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่เป็นพันธุ์เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากผลมังคุดมีการพัฒนาโดยไม่ต้องผ่านการผสมเกสร (parthenocarpy) และมีเมล็ดเป็น apomictic การขยายพันธุ์ส่วนใหญ่ใช้วิธีการเพาะเมล็ด ต้นใหม่ที่ได้จึงมีลักษณะเหมือนเดิมทุกประการ (Alexander, 1984)

การคัดเลือก (sorting) มังคุดที่เก็บเกี่ยวมาแล้วมีมากมายหลายลักษณะ ทั้งที่ยังอ่อนและที่บริบูรณ์ ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ มีตำหนิและปราศจากตำหนิ หากขายคละกันไปราคาที่ได้จะไม่ดีเหมือนมังคุดที่คัดขนาดแล้ว เพราะได้รับการดึงดูดใจจากผู้ซื้อมากกว่า วัตถุประสงค์ของการคัดเลือกผลผลิตจึงอยู่ที่การเพิ่มคุณภาพของผลผลิตต่อสายตาของผู้บริโภคและเพิ่มผลตอบแทน ในประเทศไทยปัจจุบันมักมีการคัดทั้งการคัดขนาดและคัดคุณภาพ โดยชาวสวนมักคัดมังคุดออกเป็นกลุ่ม ๆ เช่น ผลใหญ่หรือเล็ก ผลผิวมัน ผิวลายหรือผิวมีตำหนิ ผลยังมีสีเขียว ผลแดง หรือผลดำ การคัดพร้อม ๆ กันหลายลักษณะนี้ จะทำการคัดจากผู้ที่ชำนาญ การใช้แรงงานในปัจจุบันจึงใช้งาน

พนักงานเฉพาะอย่าง การคัดเลือกผลไม้ก็เลือกเฉพาะลักษณะคุณภาพ เช่น เลือกสี เลือกขนาด เลือกตำหนิ โดยเฉพาะคุณภาพที่มองเห็นด้วยสายตา การคัดเลือกด้วยคนยังทำงานได้ดีกว่าหรือเท่าๆ กับเครื่องกล (จริงแท้, 2538)

การคัดขนาด (Sizing) การคัดขนาดทำได้ด้วยการใช้สายตา ผู้ชำนาญการสามารถทำได้ดีกว่าเครื่องคัดขนาด เพราะการคัดขนาดเป็นเพียงการสร้างภาพของผลิตผลให้ผู้บริโภคมองเห็นว่ามีขนาดเท่า ๆ กัน ผู้บริโภคเองก็ตัดสินคุณภาพด้วยสายตาเช่นกัน การใช้คนสามารถพิจารณาทั้งความกว้าง ความยาว ความสูง และเฉลี่ยรวมแบ่งเป็นขนาดต่าง ๆ จึงสามารถทำได้ดีกว่าเครื่องมือกล แต่คนทำงานได้ช้าและมีความผันผวนขึ้นได้เมื่อเกิดอาการเมื่อยล้าหรืออารมณ์เปลี่ยนแปลง การใช้เครื่องมือจึงเข้ามาแทนที่มากขึ้น คนจะทำการคัดขนาดได้ดีกว่าเครื่องถึง 90% หรือมีความผิดพลาดประมาณ 10%

นอกจากนี้การคัดขนาดยังต้องคำนึงถึงการบรรจุลงภาชนะอีกด้วย ทั้งนี้เพราะภาชนะบรรจุผลิตผลแต่ละชนิดมักมีขนาดเดียวกัน ไม่ว่าจะใช้บรรจุผลิตผลชนิดนั้นๆ กี่ขนาดก็ตาม การบรรจุลงภาชนะต้องทำให้ความแปรปรวนของน้ำหนักผลิตผลรวมในแต่ละภาชนะมีน้อยที่สุด เพราะการค้าขายผลิตผลระหว่างประเทศ ค้าขายโดยน้ำหนักและจำนวนภาชนะบรรจุ โดยเหมาว่าทุกภาชนะบรรจุมีผลิตผลเท่ากันไม่ว่าจะเป็นขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ น้ำหนักผลิตผลจะต่ำกว่าน้ำหนักมาตราฐานไม่ได้แต่เกินได้ ดังนั้นหากบรรจุผลิตผลลงภาชนะแต่ละขนาดแล้ว น้ำหนักสุทธิ แปรปรวนมาก ผู้ขายย่อมได้กำไรน้อย เพราะขายได้ตามน้ำหนักมาตราฐานเท่านั้น ส่วนที่เกินเป็นประโยชน์ของผู้ซื้อในขณะที่ผู้ซื้อสามารถแบ่งขายปลีกได้ตามน้ำหนักที่ถูกต้อง (จริงแท้, 2538)

บัณฑิต และคณะ (2544) ได้ออกแบบเครื่องคัดขนาดมังคุดแบบจานหมุนโดยมีช่องคัดขนาดเป็นรูป slope ที่คัดลูกเล็กออกไปก่อน แล้วช่องคัดขนาดค่อยๆ ขยายออกเพื่อให้ลูกโตขึ้นสามารถคัดขนาดออกไปได้ ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบปรากฏว่าช่วงขนาด และความเร็วจานหมุนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคัดขนาด สมรรถนะ และอัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ย ที่ระดับนัยสำคัญ 5% การเพิ่มช่วงคัดขนาดและลดความเร็วรอบจานคัด ทำให้ประสิทธิภาพการคัดขนาดสูงขึ้น ประสิทธิภาพการคัดขนาดที่สูงที่สุดเท่ากับ 79.9% โดยที่เปอร์เซ็นต์การคัดผิดพลาดยังสูงและความสามารถในการคัดต่ำ

สยาม (2546) ได้ปรับปรุงเครื่องคัดขนาดผลมังคุดแบบจานหมุนเป็นเครื่องต้นแบบเชิงการค้า โดยปรับปรุงเป็นแบบ Step max-2 คือใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุดของผลมังคุดช่วงขนาดนั้นๆ ลบออก 2 มิลลิเมตร ตั้งเป็นค่าความกว้างของช่องคัดขนาด การทดสอบปรากฏว่าเมื่อคัดผลมังคุด 3 ขนาด ประสิทธิภาพการคัดขนาด C_R = 33.7% ความสามารถในการคัดขนาดเท่ากับ 153.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การตกผิดของผลมังคุดพบว่าน่าจะมาจากสาเหตุการกำหนดระยะทางที่ผลมังคุดกลิ้งสอบเทียบไปกับแผ่นกั้นคัดขนาดจนหล่นจากจานหมุนสู่ที่รองรับ, (ℓ) ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงเพราะระยะ ℓ ถูกจำกัดตามการออกแบบช่องคัดรูป slope

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาการกระจายของระยะ ℓ กับผลมังคุดแต่ละขนาดและความเร็วของจานหมุน เพื่อนำไปปรับปรุงการออกแบบเครื่องคัดขนาดผลมังคุดต่อไป โดยกำหนดให้ระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ตามแนวแผ่นกั้นของเครื่องคัดขนาดแบบจานหมุนมีระยะทางสูงสุดเท่ากับ 148 เซนติเมตร

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

เครื่อง Greefa sizer (ภาพที่ 1), ผลมังคุด 320 ผล, ชุดเครื่องมือปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ยี่ห้อ VEM VEB Elektromoterenwerk 7.5 PS 5.5 กิโลวัตต์ 220/380 V 21.5/12.5 A 1440 rpm 50 Hz, เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ยี่ห้อ MITUTOYO วัดความละเอียดได้ 0.05 มิลลิเมตร, เครื่องมือวัดความเร็วรอบ ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น TM-300, ตาชั่งอิเล็คทรอนิกส์ ยี่ห้อ OHAUS รุ่น G4100 PRECISION ADVANCED วัดน้ำหนักสูงสุดได้ 4,100 กรัม

วิธีการ

1. สุ่มเก็บผลมังคุดจำนวน 320 ผล จากสวนมังคุดอำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร โดยการคัดขนาดของชาวสวน แบ่งขนาดเป็น ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และขนาดใหญ่พิเศษ ขนาดละ 80 ผล

2. ติดเบอร์ที่ผลมังคุดทุกผลและวัดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ที่สุด, (D_{max}) ตามแต่ละขนาด

3. ติดตั้งเครื่อง Greefa sizer กับชุดเครื่องมือปรับความเร็วรอบ (ภาพที่ 2) พร้อมกับตั้งระยะ Metering gap (ภาพที่ 3) เป็นระยะ 51, 56, 62 และ 68 มิลลิเมตร ตามลำดับ เพื่อสอดคล้องกับมิติเฉลี่ยของผลมังคุด

4. เดินเครื่อง เริ่มต้นด้วยความเร็วรอบ 14, 21 และ 25 rpm ตามลำดับ

5. ปล่อยผลมังคุดทีละผล เริ่มต้นที่ขนาดเล็ก กำหนดความเร็วรอบเป็น 14 rpm ตั้งค่า Metering gap เท่ากับ 51มิลลิเมตร แล้ววัดค่าระยะทางที่ผลมังคุดก่อนตกออกจากแผ่นกั้นคัดขนาด ทำซ้ำผลละ 5 ซ้ำ

6. ทำซ้ำข้อ 5 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 21 และ 25 rpm ตามลำดับ

7. ทำซ้ำ ข้อ 5 และข้อ 6 แต่เปลี่ยนผลมังคุดจากขนาดเล็กเป็นขนาดกลาง พร้อมทั้งตั้งค่า Metering gap ใหม่เป็น 56 มิลลิเมตร

8. ทำเหมือนข้อ 7 แต่เปลี่ยนผลมังคุดจากขนาดกลางเป็นขนาดใหญ่ พร้อมทั้งตั้งค่า Metering gap ใหม่เป็น 62มิลลิเมตร

9. ทำเหมือนข้อ 8 แต่เปลี่ยนผลมังคุดจากขนาดใหญ่เป็นขนาดใหญ่พิเศษ พร้อมทั้งตั้งค่า Metering gap ใหม่เป็น 68 มิลลิเมตร

10. วิเคราะห์ข้อมูล

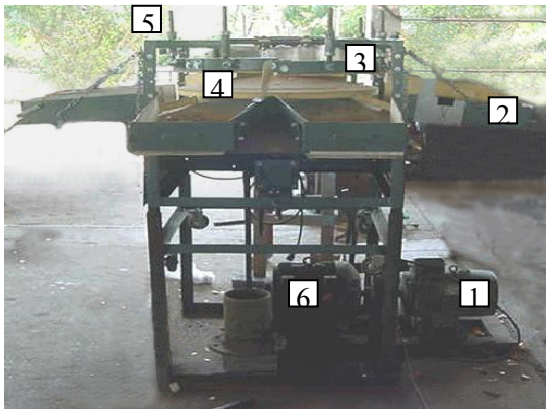
<u>การวิเคราะห์ข้อมูล</u>

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel 97, การแจกแจงความน่าจะเป็นต่อเนื่องแบบการแจกแจงปกติมาตรฐาน

$$n\left(x;\mu,\sigma^2\right)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \qquad (1)$$

เมื่อ $-\infty < X < \infty$, $\pi = 3.14159\ldots$ และ $e = 2.71828\ldots$ โดยที่ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ X เหล่านี้ คือ μ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ σ^2 ฟังก์ชันการแจกแจงของ X เขียนแทนด้วย $n(x ; \mu , \sigma^2)$ ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ (นิรนาม, 2544)

หมายเหตุ : ในการทดลองการคัดขนาดผลมังคุดนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการแจกแจงปกติ เพราะ ผลมังคุดที่สุ่มมาทำการทดลองนี้เป็นการสุ่มแบบบริสุทธิ์ คือไม่มีผลมังคุดผลใดที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการและเนื่องจากผลมังคุดเป็นผลิตผลจากธรรมชาติจึงไม่สามารถทำการทดลองซ้ำแบบเดิมได้



1. มอเตอร์ไฟฟ้า
2. กระบะรับผลมังคุด
3. แผ่นกั้นคัดขนาด
4. ถาดหมุน
5. สกรูปรับระดับ
6. ชุดเครื่องมือปรับความเร็วรอบ

ภาพผนวกที่ จ1 เครื่อง Greefa sizer

ภาพผนวกที่ จ2 การติดตั้งเครื่อง Greefa sizer กับชุดเครื่องมือ

<u>ภาพผนวกที่ จ3</u> ตั้งระยะ Metering gap ปรับความเร็วรอบ

<u>ผลและวิจารณ์</u>

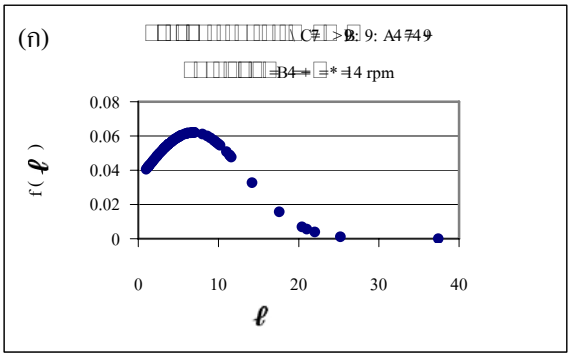
ตารางที่ 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของผลมังคุดขนาดต่างๆ จำแนกตามขนาดดังนี้ ผลมังคุดขนาดเล็ก, กลาง, ใหญ่ และใหญ่พิเศษ มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 48.3, 53.8, 58.1 และ 62.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และระยะจากปลายขั้วจนถึงก้นผลมังคุดขนาดเล็ก, กลาง, ใหญ่ และใหญ่พิเศษ เป็นระยะ 55.5, 59.1, 63.1 และ 66.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ

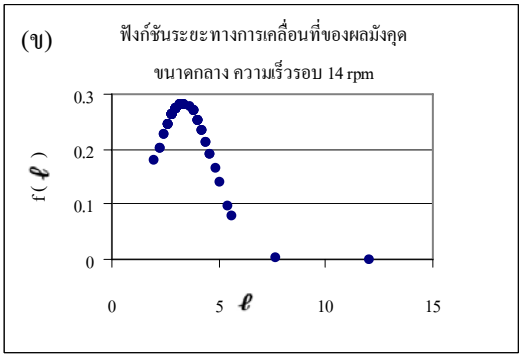
<u>ตารางผนวกที่ จ1</u> ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของผลมังคุด

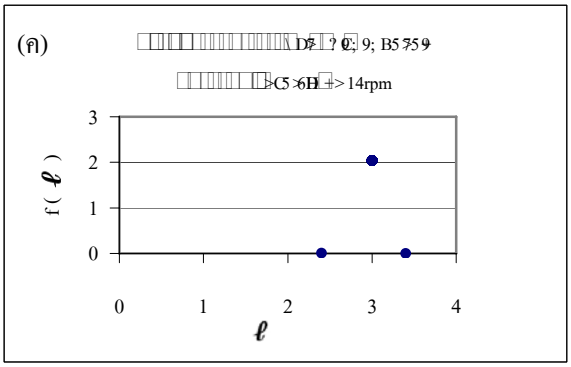
ขนาดผลมังคุด	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย, D_{max} (มิลลิเมตร)	ระยะจากปลายขั้วจนถึงก้นผลมังคุด, H (มิลลิเมตร)
เล็ก	48.3	55.5
กลาง	53.8	59.1
ใหญ่	58.1	63.1
ใหญ่พิเศษ	62.5	66.7

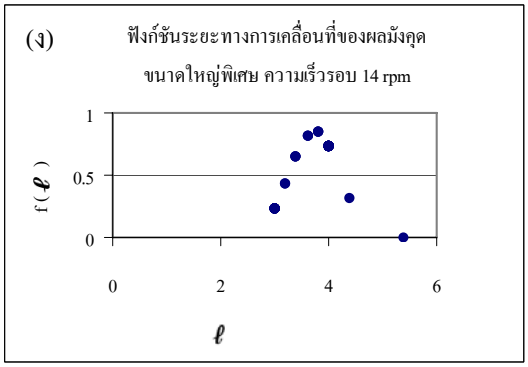
กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของการแจกแจงระหว่างระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นคัดขนาดก่อนตกออกจากช่องคัดขนาด, (ℓ) กับฟังก์ชันการแจกแจงของระยะทาง, $f(\ell)$ หรือความน่าจะเป็น, $Prob(\ell)$ สำหรับในภาพรวมของผลมังคุดขนาดหนึ่ง ความเร็วจานหมุน, (ω) ความเร็วหนึ่ง ℓ มีการแจกแจงปกติ [ยกเว้นกรณีกราฟที่ 1 (ค) สำหรับผลมังคุดขนาดใหญ่ที่ความเร็ว 14 รอบต่อนาที มี ℓ ค่อนข้างที่จะแน่นอนอยู่ 3 ค่าระหว่าง 2.4-3.4 เซนติเมตร] สำหรับ

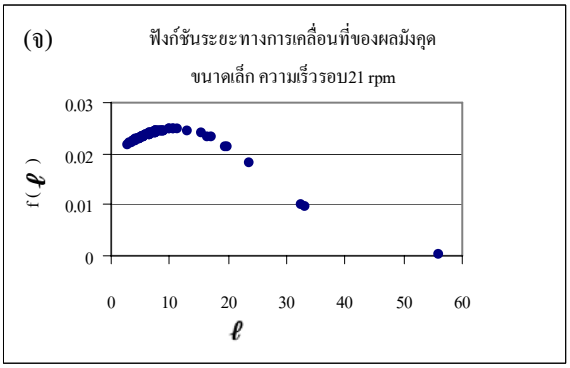
ตัวอย่าง 80 ตัวอย่างต่อมังคุดหนึ่งขนาดๆ ละ 5 ซ้ำ อย่างไรก็ตามถ้าเรามองว่าตำแหน่งในกราฟได้มีการฟอร์มตัวเป็นส่วนหนึ่งของกราฟการแจกแจงปกติแล้ว จากนั้นใช้สมการที่ 1 มาวิเคราะห์ พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่นและขนาดผลมังคุดเดียวกัน เมื่อ ω เพิ่มขึ้น ℓ เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) นี้อาจจะอธิบายได้ว่าเมื่อ ω เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดโมเมนตัม กับผลมังคุดมากขึ้น ในขณะเดียวกันก็มีแรงกระทำกับผลมังคุดมากขึ้นเกิดการขจัด (Displacement) มากขึ้นเช่นเดียวกับการแทงสนุ๊ก ยกเว้นในกรณีผลมังคุดขนาดกลางที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และผลมังคุดขนาดกลางกับขนาดใหญ่ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ที่ ℓ ลดลงเล็กน้อยที่ 25 รอบต่อนาที อาจเป็นเพราะจำนวนของการทำซ้ำในการคัดขนาดผลมังคุดน้อยเกินไป จึงทำให้แนวโน้มที่ได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% แตกต่างจากที่ระดับความเชื่อมั่น 90% อย่างไรก็ตามที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกันผลรวมระยะทางที่ผลมังคุดทุกขนาดน่าจะเคลื่อนที่ได้ก่อนตกออกจากช่องคัดขนาดของขนาดนั้นๆ ได้ถูกต้อง, ($\Sigma\ell$) เพิ่มขึ้น เมื่อ ω เพิ่มขึ้น (กราฟที่ 2) และ $\Sigma\ell$ แปรผันตรงกับ ω ($R^2 \geq 0.99$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% $\Sigma\ell$ มีค่าเท่ากับ 20.8, 53.0 และ 70.5 เซนติเมตร สมนัยกับ ω = 14, 21 และ 25 รอบต่อนาที ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% $\Sigma\ell$ มีค่าเท่ากับ 30.8, 59.8 และ 79.9 เซนติเมตร สมนัยกับ ω = 14, 21 และ 25 รอบต่อนาที ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% $\Sigma\ell$ มีค่าเท่ากับ 36.5, 72.9 และ 98.3 เซนติเมตร สมนัยกับ ω = 14, 21 และ 25 รอบต่อนาที ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกันและ ω หนึ่ง ℓ ของผลมังคุดขนาดเล็กมีค่าสูงสุด ℓ มีแนวโน้มลดลง สำหรับผลมังคุดขนาดโตขึ้น และ ℓ ของผลมังคุดขนาดใหญ่มีแนวโน้มมีค่าน้อยที่สุด สามารถอธิบายได้ว่ากลีบเลี้ยงและขั้วมีอิทธิพลทำให้รูปทรงของผลมังคุดขนาดเล็กบิดเบือนไปจากทรงกลมมากส่งผลให้ผลมังคุดกลิ้งไม่สะดวกเวลาสอบเทียบกับช่องคัดขนาดทำให้ตกออกจากช่องคัดขนาดช้า ในขณะที่ผลโต กลีบเลี้ยงและขั้วมีอิทธิพลน้อยต่อรูปทรง ทำให้มีลักษณะใกล้ทรงกลมมากกว่าการกลิ้งสะดวกกว่าจึงสอบเทียบกับช่องคัดขนาดได้เร็ว และตกออกจากช่องคัดขนาดเร็ว ยิ่งเพิ่มระดับความเชื่อมั่น $\Sigma\ell$ ยิ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มระดับความเชื่อมั่นขึ้น ช่วงระยะของ ℓ ที่ต้องอินทิเกรตเข้าไปในสมการที่ 1 กว้างขึ้นสำหรับแต่ละขนาด และเมื่อนำมารวมกัน $\Sigma\ell$ ก็ยิ่งเพิ่มขึ้น

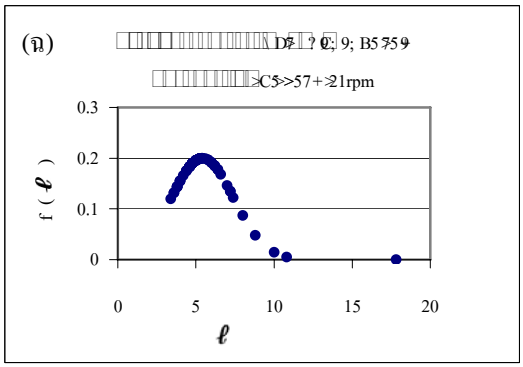




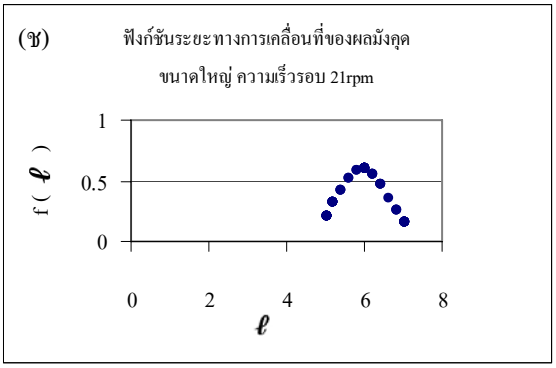


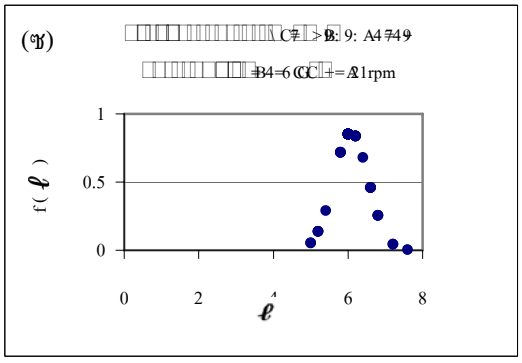


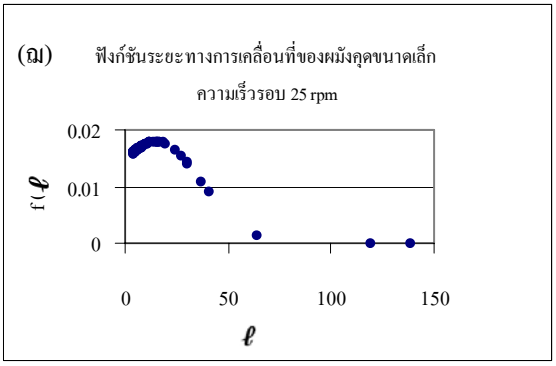


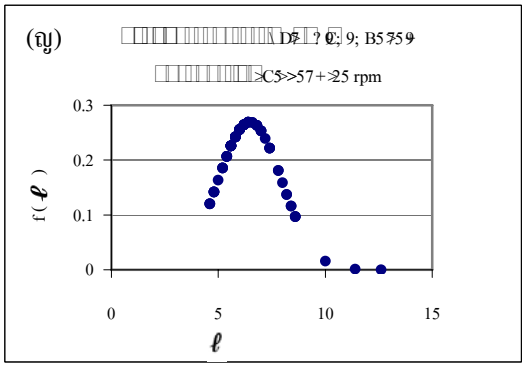


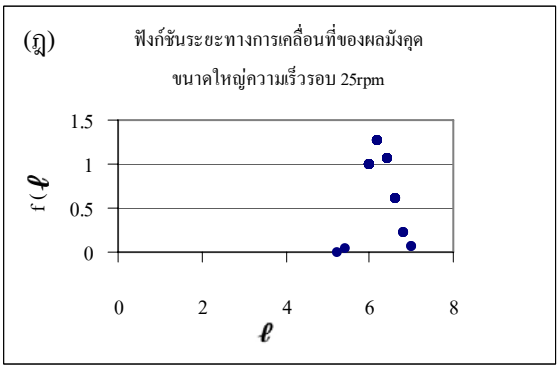
<u>ภาพผนวกที่ จ4</u> ความสัมพันธ์การแจกแจงระหว่างระยะทางที่ผลมังคุดที่เคลื่อนไปตามแผ่นกั้นคัดขนาดก่อนตกออกจากช่องคัดขนาด (เซนติเมตร), ℓ กับฟังก์ชันการแจกแจงของระยะทางการเคลื่อนที่ของผลมังคุด, f(ℓ)

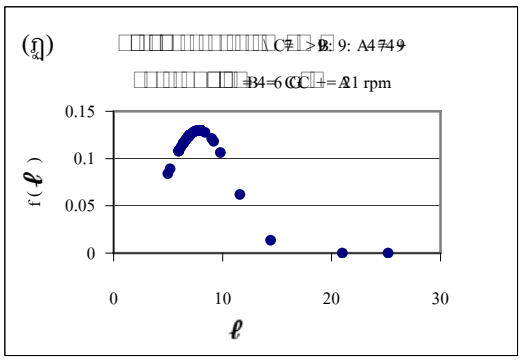












ภาพผนวกที่ จ4 (ต่อ)

<u>ตารางผนวกที่ จ2</u> ระยะทางของผลมังคุดที่น่าจะเคลื่อนไปได้ตามแนวแผ่นกั้นคัดขนาดก่อนผลมังคุดตกออกจากช่องคัดขนาดที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ

ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%

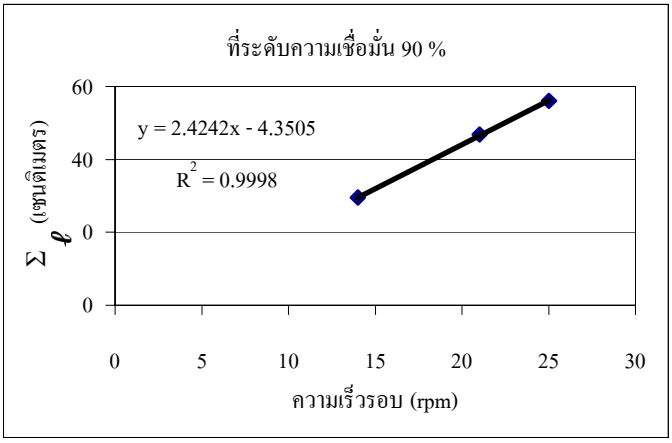
ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะทางที่ผลมังคุดน่าจะเคลื่อนที่ได้ (เซนติเมตร), ℓ				ผลรวมระยะทางที่ผลมังคุดทุกขนาดน่าจะเคลื่อนที่ได้ก่อนตกออกจากช่องคัดขนาดของขนาดนั้นๆ ได้ถูกต้อง, $\Sigma\ell$ (เซนติเมตร)
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	ขนาดใหญ่พิเศษ	
14	8.3	5.2	3.0	4.3	20.8
21	31.6	7.9	6.8	6.7	53.0
25	43.4	8.4	6.9	11.8	70.5

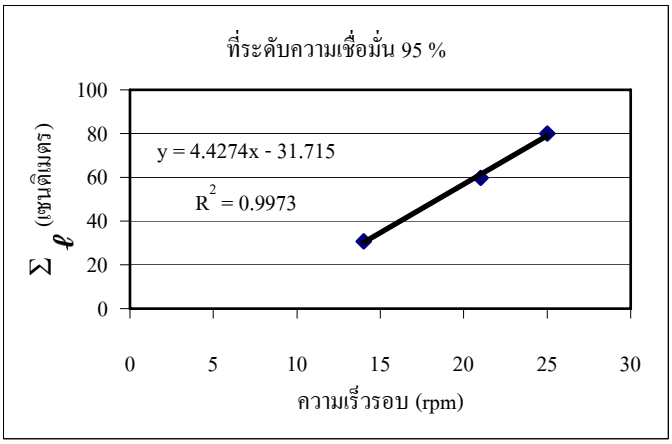
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

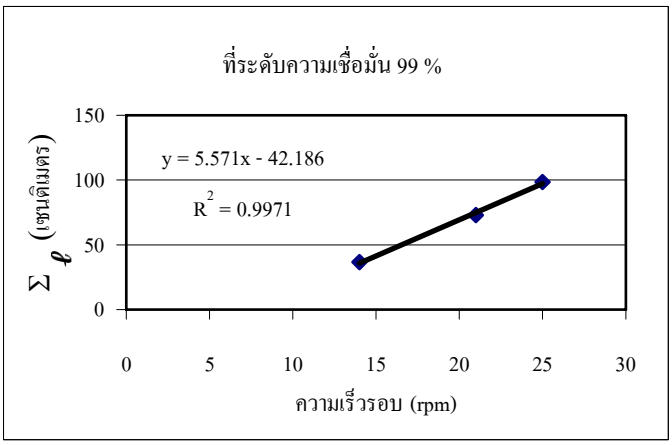
ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะทางที่ผลมังคุดน่าจะเคลื่อนที่ได้ (เซนติเมตร), ℓ				ผลรวมระยะทางที่ผลมังคุดทุกขนาดน่าจะเคลื่อนที่ได้ก่อนตกออกจากช่องคัดขนาดของขนาดนั้นๆ ได้ถูกต้อง, $\Sigma\ell$ (เซนติเมตร)
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	ขนาดใหญ่พิเศษ	
14	17.5	5.7	3.1	4.5	30.8
21	37.3	8.7	7.0	6.8	59.8
25	51.4	8.9	6.7	12.9	79.9

ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะทางที่ผลมังคุดน่าจะเคลื่อนที่ได้ (เซนติเมตร) , ℓ				ผลรวมระยะทางที่ผลมังคุดทุกขนาดน่าจะเคลื่อนที่ได้ก่อนตกออกจากช่องคัดขนาดของขนาดนั้นๆ ได้ถูกต้อง, $\Sigma\ell$ (เซนติเมตร)
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	ขนาดใหญ่พิเศษ	
14	21.9	6.6	3.2	4.8	36.5
21	48.2	10.1	7.5	7.1	72.9
25	66.5	9.9	6.9	15.0	98.3







<u>ภาพผนวกที่ จ5</u> ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมระยะทางที่ผลมังคุดทุกขนาดน่าจะเคลื่อนที่ได้ก่อนตกออกจากช่องคัดขนาดของขนาดนั้นๆ ได้ถูกต้อง, ($\Sigma\ell$) กับความเร็วจานหมุนของผลมังคุดที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สำหรับผลมังคุดทุกขนาด เมื่อความเร็วจานหมุนเพิ่มขึ้น ระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นคัดขนาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในลักษณะแปรผันตามกัน และสำหรับความเร็วจานหมุนที่ค่าหนึ่ง เมื่อผลมังคุดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจากขนาดเล็กจนถึงมีขนาดใหญ่ ระยะทางที่ผลมังคุดเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นคัดขนาดมีแนวโน้มลดลงในลักษณะแปรผันตามกันโดยต้องทำการทดลองตามสภาวะที่กำหนดนี้เท่านั้นจึงจะได้ผลดังที่แสดง

ในการทำการทดลองการคัดขนาดผลมังคุด เพื่อลดการคาดเคลื่อนจากการทดลองแบบสุ่ม ควรมากแผนการทดลองให้มีจำนวนการทำซ้ำมากขึ้น

ข้อดีจากการทดลองนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดของเครื่องคัดมังคุดแบบ Greefa sizer ให้มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งานได้โดยผู้ใช้จะประหยัดทั้งเรื่องเวลา แรงงาน และลดต้นทุนการผลิตได้โดยผู้ใช้อาจกำหนดให้เครื่องมีขนาดเล็กลงทำให้สามารถคัดขนาดผลมังคุดโดยใช้เวลาลดลง ไม่เปลืองแรงงานในการขนย้ายเครื่อง และที่สำคัญราคาของเครื่องก็ไม่แพง

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.

ฉันทนา บัวทรัพย์, ชำนาญ เอี่ยมทัต และ พัฒนา นรมาศ. ม.ป.ป. คำแนะนำที่ 38 เรื่องมังคุด. กองส่งเสริมพืชสวน, กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งที่มา: http://web.ku.ac.th/agri/magost/intro.htm, 23 เมษายน 2546.

นิรนาม. 2544. หนังสือความน่าจะเป็นและสถิติ. คณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.

นิรนาม. ม.ป.ป. ตอนที่ 5 ไม้ผล Section V Fruit Trees. กรมส่งเสริมการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งที่มา: http://oae.go.th/statistic/yearbook/2001-02/, 23 เมษายน 2546.

นิรนาม. ม.ป.ป. พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดระยอง. แหล่งที่มา: http://www.rayong.go.th/KASAT/data/3-3-5.htm , 23 เมษายน 2546.

นิรนาม. ม.ป.ป. สถานการณ์พืช เศรษฐกิจ, ไม้ผล. แหล่งที่มา: http://www.doae.go.th/plant/mungkud.htm, 23 เมษายน 2546.

บัณฑิต จริโมภาส, สุทธิพร เนียมหอม และ ธีรยุทธ สุวรรณประทีป. 2544. การปรับปรุงเครื่องคัดขนาดผลมังคุด. วารสารวิชาการเกษตร 19 (2): 121-131.

สยาม ตุ้มแสงทอง. 2546. เครื่องคัดขนาดมังคุดแบบจานหมุน. โครงการวิทยานิพนธ์, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กำแพงแสน, นครปฐม. (ไม่ตีพิมพ์)

อาภรณ์ คงสวัสดิ์. 2532. การผลิตและการตลาดมังคุด. ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร 35 (391): 6-13.

Alexander, D.M. 1984. Guttiferae, pp. 66-69. In P.E. Page (ed.). Tropical Tree Fruits for Australia. Poly-Graphics Pty. Ltd., Brisbane.

Almeyda, N. and F.W. Martin. 1976. Cultivation of Neglected Tropical Fruits with Promise. Part1. The Mangosteen. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. 18 p.

Dowling, C.F., Jr. 1987. Fruits of Warm Climates. Media Incorporation, New York. 506 p.

Downton, W.J.S., W.J.R. Grant and E.K. Chacko. 1990. Effect of elevated carbon dioxide on the photosynthesis and early growth of mangosteen (Garcinia mangstana L.). Scientia Hortic. 44:215-225

Peleg, K., 1985. Produce handling packaging and distribution. AVI Publishing Compary, USA

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) ที่กรุณาสนับสนุนงบประมาณวิจัย

ภาคผนวก ฉ
ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก กับ ความกว้าง, ความยาวและพื้นที่ภาพฉายเพื่อการกำหนดขนาดของมะม่วง 4 พันธุ์ คือ เขียวเสวย, น้ำดอกไม้, แรด และโชคอนันต์

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก กับ ความกว้าง, ความยาวและพื้นที่ภาพฉายเพื่อการกำหนดขนาดของมะม่วง 4 พันธุ์ คือ เขียวเสวย,น้ำดอกไม้ , แรด และโชคอนันต์

บัณฑิต จริโมภาส[1], สาริกา สารการ[2] และ ณัฐจรีย์ พิทักษ์[2]

[1]รองศาสตราจารย์, [2]นิสิตปริญญาโท
คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับพื้นที่ภาพฉาย ความกว้าง และ ความยาวของมะม่วง 4 พันธุ์ คือ เขียวเสวย , น้ำดอกไม้, แรด และโชคอนันต์ วิธีการประกอบด้วยการเก็บข้อมูลน้ำหนัก, พื้นที่ภาพฉายด้วยเครื่องฉายแผ่นใส, ความกว้าง, ความยาว และพื้นที่ภาพฉายจากคอมพิวเตอร์เป็นพิกเซลของมะม่วงทุกพันธุ์ พันธุ์ละ 3 ขนาด (ใหญ่, กลาง และเล็ก) ขนาดละ 10 ผล และการวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลปรากฏว่า ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างน้ำหนักกับความยาวของผลในมะม่วงทุกพันธุ์ ความกว้างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักผลอย่างดี ($R^2 \geq 0.9$) ในพันธุ์น้ำดอกไม้และแรด พื้นที่ภาพฉายแปรผันตรงกับน้ำหนักผลของมะม่วงได้ดีในพันธุ์น้ำดอกไม้, แรด และโชคอนันต์ ($R^2 \geq 0.9$) ความสัมพันธุ์ระหว่างที่ภาพฉายเป็นพิกเซลกับน้ำหนักผลเป็นเส้นตรงดีกับพันธุ์โชคอนันต์ ($R^2 > 0.89$)

คำสำคัญ: ลักษณะทางกายภาพ , มะม่วง

Abstract : This research was to determine the relationship between weight and projected area or width or length of mangoes of four varieties, ie. Khiaosawoey, Namdokmai, Raet and Chok Anan. Methodology included (i) data collection of weight, projected area measured by overhead projector or microcomputer in term of pixel, width and length of mangoes of all varieties, three size (big, medium, small) for each variety and 10 samples for each size, and (ii) statistical analysis.

Results showed that no linear regression was found between weight and length of mango fruits for all varieties. Width well varied proportionally as weight ($R^2 \geq 0.9$) for Namdokmai and Raet. Projected area well varied directly as fruit weight for Namdokmai, Raet and Chok Anan ($R^2 \geq 0.9$). Linear relationship between projected area (pixle) and weight of fruit was well found for Chok Anan ($R^2 \geq 0.89$).

Keywords : Physical characteristic, mango

บทนำ

มะม่วงเป็นผลไม้เขตร้อนที่นิยมปลูกกันมากในหลายประเทศ เช่น อินเดีย, ปากีสถาน, อาหรับ, อิสราเอล, อเมริกาใต้, สหรัฐอเมริกา และฟิลิปปินส์ เป็นต้น ด้วยลักษณะเด่นของมะม่วงที่ปลูกง่าย ไม่เลือกดินฟ้าอากาศ เป็นผลไม้รสเลิศ รับประทานได้ตั้งแต่ใบอ่อน, ช่อดอก, ผลอ่อน, ผลดิบ และผลสุก รสชาดแปลกแตกต่างกันไป ชาวต่างชาติจึงได้ขนานนามให้กับมะม่วงว่า “แอปเปิ้ลของถิ่นร้อน” (Apple of tropic) ซึ่งประเทศไทยมีการปลูกมะม่วงมานาน และมีมากกว่า 200 พันธุ์ (ธนะชัย, 2543) มะม่วงมีความสำคัญทางเศรฐกิจและเป็นที่นิยมบริโภคของคนในประเทศต่าง ๆ พื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทยเท่ากับ 537,531 ไร่ เป็นพื้นที่ให้ผลผลิต 405,729 ไร่ และมีผลิตผลรวม 345,963 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545) ปริมาณการส่งออกมะม่วงในปี 2540 มีปริมาณ 8,539 เมตริกตัน มีมูลค่า 149 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2542) อัตราเพิ่ม 84.4 % ต่อปี พันธุ์มะม่วงที่มีการส่งออกได้แก่ มะม่วงสุกพันธุ์หนังกลางวัน ,น้ำดอกไม้ และทองคำ ตลาดต่างประเทศ ได้แก่ ฮ่องกง, สิงคโปร์, มาเลเซีย และญี่ปุ่น เป็นต้น

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้จัดทำมาตรฐานผลมะม่วงส่งออกโดยรวมเอามาตรฐานการคัดขนาดขนาดโดยใช้น้ำหนักของมะม่วงเป็นเกณฑ์ไว้ด้วย (พูนพัฒน์, 2545) ปัจจุบันได้มีผู้ออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดคุณภาพมะม่วงโดยใช้ระบบแมชีนวิชันคัดมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่คัดทั้งขนาด , รูปร่าง , ความสุกแก่ และตำหนิของมะม่วง พบว่า จำนวนพิกเซลของภาพถ่ายมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักของผลมะม่วงมากกว่าความกว้างและความยาว ระบบคัดขนาดได้ถูกต้อง 94.9 % ทำให้ค่าการคัดผิดไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดคือ 10 % ของจำนวนมะม่วงทั้งหมด (พูนพัฒน์, 2545) แต่เนื่องจากน้ำหนักลดลงไปกับเวลาหลังการเก็บเกี่ยวเพราะผลมะม่วงเกิดการหายใจและคายน้ำ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะหาคุณลักษณะทางกายภาพอื่น เช่น พื้นที่ภาพฉาย (Projected area) ผลคูณของความกว้างและความยาว ที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนน้อยมาก

กับเวลามาใช้เป็นตัวแปรในการคัดขนาด ถ้าความสัมพันธ์ของคุณลักษณะดังกล่าวกับน้ำหนักผลมะม่วงมีความสัมพันธ์กันดี

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก กับ ความกว้าง, ความยาวและพื้นที่ภาพฉายของมะม่วง4 พันธุ์ คือ เขียวเสวย , น้ำดอกไม้, แรด และโชคอนันต์

ตรวจเอกสาร

ความรู้เกี่ยวกับมะม่วง

สมาคมพฤกษชาติแห่งประเทศไทย (2520) กล่าวว่า มะม่วงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Mangifera indica Lin มีหลักฐานปรากฏแน่ชัดว่า มะม่วงมีถิ่นกำเนิดในเอเชียตอนใต้หรือในแนวต่อประเทศอินเดีย, พม่า และมาเลเซีย มะม่วงที่ปลูกเป็นการค้าแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มมะม่วงอินเดีย กลุ่มนี้เมื่อเพาะเมล็ดจะได้ต้นกล้าเพียง หนึ่งต้นต่อเมล็ด และต้นกล้านี้จะกลายพันธุ์ มะม่วงในกลุ่มนี้มักมีสีสะดุดตา เช่น สีแดงและม่วง ปลูกมากในอินเดีย, ปากีสถาน และอเมริกาใต้ อีกกลุ่มหนึ่งคือ กลุ่มอินโดจีนเมื่อเพาะเมล็ดจะได้ต้นกล้ามากกว่าหนึ่งต้นต่อเมล็ด ต้นกล้าส่วนใหญ่ไม่กลายพันธุ์ นอกจากต้นที่งอกจากที่ได้รับการผสมต่างพันธุ์ มะม่วงกลุ่มนี้มีการปลูกในประเทศไทย, ฟิลิปปินส์, อินโดนีเซียและ เวียดนาม จะมีผลสีเขียวหรือเหลือง มีกลิ่นหอม ในประเทศไทยมีการนำมะม่วงมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น การปลูกมะม่วงเพื่อให้ร่มเงาและเกิดความร่มรื่น

ประทีป (2532) กล่าวว่า ผลมะม่วงสามารถรับประทานได้ทั้งผลดิบและผลสุข ทั้งยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารอย่างอื่นได้อีก จึงแบ่งชนิดของพันธุ์มะม่วงในแง่ของการบริโภคออกเป็น 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. มะม่วงที่ปลูกเพื่อรับประทานผลสุก ได้แก่ มะม่วงอกร่อง มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงทองคำ มะม่วงหนังกลางวัน และมะม่วงโชคอนันต์ เป็นต้น

2. มะม่วงที่ปลูกเพื่อรับประทานผลดิบ ได้แก่ มะม่วงแรด มะม่วงพิมเสนมัน มะม่วงเขียวเสวย มะม่วงมันหนองแซง มะม่วงฟ้าลั่น เป็นต้น

3. มะม่วงที่ปลูกเพื่ออุตสาหกรรมการแปรรูป ได้แก่ มะม่วงแก้ว มะม่วงพิมเสน เป็นต้น

สำหรับมะม่วงพันธุ์ที่ต่างประเทศต้องการ ได้แก่ มะม่วงสุกพันธุ์ หนังกลางวัน มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงทองคำ

<u>การพัฒนาการของผลมะม่วง</u>

การพัฒนาการโดยทั่วไปของมะม่วงจะออกดอกติดผลในช่วงเดือน พ.ย.-ธ.ค. และเก็บเกี่ยวได้ในเดือน มี.ค.-เม.ย.ปลูกในภาคกลาง สำหรับมะม่วงที่ปลูกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะออกดอกในเดือน ม.ค. และเก็บเกี่ยวเดือน พ.ค.-มิ.ย. (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2533)

<u>การเก็บเกี่ยว</u>

สายชล (2536) กล่าวว่า ข้อสังเกตง่าย ๆ ว่ามะม่วงจะแก่เมื่อใดมีสิ่งที่น่าสนใจ 2 ประการ คือ

1. ผลแก้มทั้ง สองข้างจะพองโตเต็มที่ สีผิวจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีขาวจาง สังเกตจากผิวมะม่วงจะเป็นสีขาวนวล หรือไขปกคลุมผล

2. เก็บตัวอย่างมา 2-3 ผลเพื่อนำผลมาทดสอบแช่น้ำดูว่าผลมะม่วงจมน้ำหรือไม่ ถ้ามะม่วงจมน้ำแสดงว่ามะม่วงแก่แล้ว แต่การทดสอบนี้อาจยกเว้นบางพันธุ์ที่เมื่อแก่แล้วอาจไม่จมน้ำเพราะช่องว่างในเมล็ดมากทำให้ลอยน้ำ

การเก็บผลมะม่วงนั้นควรเก็บด้วยความรวดเร็วและระมัดระวังไม่ให้บอบช้ำ การเก็บมะม่วงควรอย่าให้ยางมะม่วงไหลมาโดนผล เมื่อเก็บอาจมีการไว้ขั้วยาว 2-3 นิ้วกันยางไหล หรือถ้าไว้ขั้วไม่ได้ควรเก็บผลมาแล้วคว่ำผลลงทันที การทำความสะอาดควรทำอย่างรวดเร็ว ทำความสะอาดผลและแช่สารเคมีเพื่อป้องกันเชื้อรา หรือนำไปอบด้วยไอน้ำเพื่อฆ่าแมลงวันผลไม้แล้วนำมาผึ่งให้แห้ง

ตารางผนวกที่ ฉ1 อายุการเก็บเกี่ยวของมะม่วงบางพันธุ์

พันธุ์	อายุการเก็บเกี่ยว (วัน)	นับอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่	ความถ่วงจำเพาะ	การจมน้ำ	ช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอก
เขียวเสวย	110	เริ่มออกดอก	0.97	ลอย	มาก
น้ำดอกไม้	100	ดอกบานเต็มที่	1.03	จม	น้อย
แรด	70	หลังช่อติดผล	0.99	ลอย	มาก

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมและการฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม (2545)

มาตรฐานผลมะม่วงไทยของสำนักมาตรฐานและการส่งออก กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีข้อกำหนดเรื่องขนาดที่พิจารณาตามน้ำหนัก ตามตารางดังนี้

ตารางผนวกที่ ฉ2 น้ำหนักของมะม่วงแต่ละขนาด

ขนาด	น้ำหนัก (กรัม)	ความแตกต่างของขนาดผลสูงสุดในแต่ละภาชนะบรรจุ (กรัม)
1	$\geq$ 351	100
2	251-350	50
3	200-250	25

ที่มา: สำนักมาตรฐานและตรวจสอบสินค้าเกษตร (2544)

ตารางผนวกที่ ฉ3 การคัดขนาดมะม่วงของแต่ละพันธุ์

พันธุ์	ขนาดใหญ่ (กรัม/ผล)	ขนาดกลาง (กรัม/ผล)	ขนาดเล็ก (กรัม/ผล)
เขียวเสวย	310-370	251-309	200-250
น้ำดอกไม้	360-420	301-359	250-300
แรด	260-310	231-269	200-230
*โชคอนันต์	240-280	210-239	170-209

ที่มา: สนทรรศน์ นันทชัย และ เบ็ญจมาศ มะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออก หน่วยปฏิบัติการพืชสวนหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร (2545)

หมายเหตุ: มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ไม่ปรากฏการคัดขนาด จึงใช้ขนาดจากชาวสวน และตามท้องตลาดทั่วไป

ตารางผนวกที่ ฉ4 มาตรฐานการอบมะม่วงส่งออกญี่ปุ่น (Vapour Heat Treatment,VHT)

ขนาด	น้ำหนัก (กรัม)/ผล
S	250 –280
M	281 – 350
L	351 – 380
LL	380 ขึ้นไป

ที่มา**:** ฝ่ายเอกสารคำแนะนำ กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร (2538)

กรมวิชาการเกษตร (www. Doae.go.th/library/m85.htm, 2003) ได้มีข้อบ่งชี้ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงแต่ละพันธุ์ไว้ดังนี้

ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงพันธุ์ต่าง ๆ

มะม่วงพันธุ์เขียวเสวย (Khiaosawoey)

ลักษณะประจำพันธุ์ ทรงผลเป็นรูปรีรูปหน้าตัด ทรงผลตามขวางป้อมรี ความลึกของฐานผลตื้น จุกทรงผลเล็ก ทรงไหล่ด้านท้องผลกลมกว้าง ทรงผลด้านหลังผลไหล่ลาดลง 45 องศา ร่องฐานผลไม่มีรอยเว้า ด้านท้องผลมีนอไหล่ขวาของทรงผลไม่มีจะงอย

ลักษณะทางการเกษตร ความยาวผลประมาณ 15.83 เซนติเมตร ความกว้างผลประมาณ 7.21 เซนติเมตร ความหนาผลประมาณ 6.83 เซนติเมตร ผลดิบ สีเนื้อ กลิ่นของเนื้อมีกลิ่นอ่อน ความหนาเนื้อประมาณ 2.35 เซนติเมตร เส้นใยในเนื้อไม่มี ปริมาณน้ำในเนื้อปานกลาง ความหนาเปลือกประมาณ 0.15 เซนติเมตร น้ำหนักเปลือประมาณ 40 กรัม รสชาดผลดิบหวานอมเปรี้ยว รสชาดผลสุหวาน ความหวานเนื้อ 18.5 องศาบริกซ์

มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (Chok Anan)

ลักษณะประจำพันธุ์ ทรงผลรูปไข่กลับรูปหน้าตัด ทรงผลตามขวางป้อมรี ความลึกของฐานผลตื้น มีจุกทรงผล ทรงไหล่ด้านท้องผลกลมกว้าง ทรงผลด้านหลังผลมีไหล่ลาดลง 45 องศา ไม่มีร่องฐานผล มีรอยเว้าด้านท้องผล ไม่มีนอและไหล่ขวาไม่มีจะงอย

ลักษณะทางการเกษตร ความยาวผลประมาณ 11.12 เซนติเมตร ความกว้างผลประมาณ 6.25 เซนติเมตร ความหนาผลประมาณ 5.39 เซนติเมตร น้ำหนักผลประมาณ 209 กรัม กลิ่นของเนื้อมีกลิ่นอ่อน ความหนาเนื้อประมาณ 2.95 เซนติเมตร ปริมาณเส้นใยในเนื้อปานกลาง มีปริมาณน้ำในเนื้อมาก ความหนาเปลือกประมาณ 0.01 เซนติเมตร ความกว้างของเมล็ดประมาณ 3.35 เซนติเมตร ความยาวของเมล็ดประมาณ 8.94 เซนติเมตร ความหนาของเมล็ดประมาณ 1.93 เซนติเมตร น้ำหนักของเมล็ดประมาณ29 กรัม รสชาดผลดิบเปรี้ยว รสชาดผลสุก หวาน ความหวานเนื้อ 20 องศาบริกซ์

มะม่วงพันธุ์ น้ำดอกไม้ (Namdokmai)

ลักษณะประจำพันธุ์ ทรงผลรูปรีปลายแหลม ผลตามขวางมีความลึกของฐานผล ทรงผลด้านหลังมีร่องฐานผล และมีรอยเว้าด้านทองผล ไม่มีนอและไหล่ขวาไม่มีจะงอย

ลักษณะทางการเกษตร ความยาวผลประมาณ 15.25 เซนติเมตร ความกว้างผลประมาณ 7.27 เซนติเมตร ความหนาผลประมาณ 6.59 เซนติเมตร น้ำหนักผลประมาณ 300 กรัม กลิ่นของเนื้อมีกลิ่นอ่อน ความหนาเนื้อประมาณ 2.45 เซนติเมตร ปริมาณเส้นใยในเนื้อน้อย ปริมาณน้ำในเนื้อปานกลาง ความหนาเปลือกประมาณ 0.14 เซนติเมตร ความกว้างของเมล็ดประมาณ 4.03 เซนติเมตร ความยาวของเมล็ดประมาณ 10.27 เซนติเมตร ความหนาของเมล็ดประมาณ 1.10 เซนติเมตร น้ำหนักของเมล็ดประมาณ 20 กรัม รสชาดผลดิบเปรี้ยว รสชาดผลสุกหวาน ความหวานเนื้อ 22 องศาบริกซ์

มะม่วงพันธุ์ แรด (Raet)

ลักษณะประจำพันธุ์ ทรงผลรูปหน้าตัด ผลตามขวางมีความลึกของฐานผล ทรงผลด้านหลังมีร่องฐานผล ละมีรอยเว้าด้านทองผล มีนอและไหล่ขวามีจะงอย

ลักษณะทางการเกษตร ความกว้างผลประมาณ 7.42 เซนติเมตร ความหนาผลประมาณ 6.12 เซนติเมตร น้ำหนักผลประมาณ 300 กรัม กลิ่นของเนื้อมีกลิ่นอ่อน ความหนาเนื้อประมาณ 2.13 เซนติเมตร เส้นใยในเนื้อมีน้อย ปริมาณน้ำในเนื้อปานกลาง ความหนาเปลือกประมาณ 0.1 เซนติเมตร ความกว้างของเมล็ดประมาณ 3.6 เซนติเมตร ความยาวของเมล็ดประมาณ 10.82 เซนติเมตร ความหนาของเมล็ด 1.8 เซนติเมตร น้ำหนักของเมล็ดประมาณ 15 กรัม รสชาดผลดิบหวานอมเปรี้ยว รสชาดผลสุกเปรี้ยวอมหวาน ความหวานเนื้อ 20 องศาบริกซ์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ยี่ห้อ MITUTOYO วัดความละเอียดได้ 0.05 มิลลิเมตร

2. เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็คทรอนิกส์ ยี่ห้อ OHAUS รุ่น G4100 PRECISION ADVANCED วัดน้ำหนักสูง สุดได้ 4,100 กรัม

3. แผ่นใส 20 แผ่น

4. เครื่องฉายแผ่นใส

5. ปากกาเขียนถาวร

6. กระดาษติดหมายเลข

7. มะม่วง 4 พันธุ์ๆละ 30 ผล แบ่งเป็นขนาดเล็ก, กลางและใหญ่ ขนาดละ 10 ผล รวมทั้งหมด 120 ผล

8. โปรแกรม และอุปกรณ์ในการหาพื้นที่ภาพฉายด้วยคอมพิวเตอร์

หมายเหตุ : มะม่วงที่นำมาทดลอง คัดมาเฉพาะที่นิยมรับประทานกันทั่วไป ไม่มีลักษณะผิดปกติจากลักษณะประจำพันธุ์ และคัดตามน้ำหนัก (ตามตารางที่ 3)

วิธีการ

1. นำมะม่วงทั้ง 4 พันธุ์ มาคัดขนาดตามเกณฑ์มาตรฐานของแต่ละพันธุ์โดยการชั่งน้ำหนัก

2. ติดฉลากและเขียนหมายเลขกำกับทุกผล

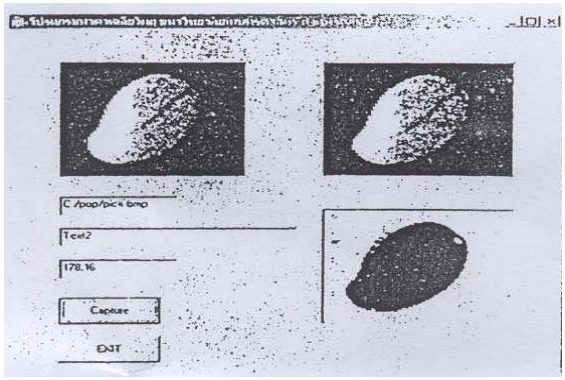
3. วัดขนาดความกว้าง, ความยาวและความหนา บันทึกผล

4. วัดพื้นที่ภาพฉายโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลทุกผล

5. แบ่งมะม่วงที่ทำการเก็บข้อมูลทุกอย่างแล้ว ในแต่ละสายพันธุ์ ขนาดละ 5 ผล ทั้ง 4 พันธุ์ รวม ทั้งหมด 60 ผล

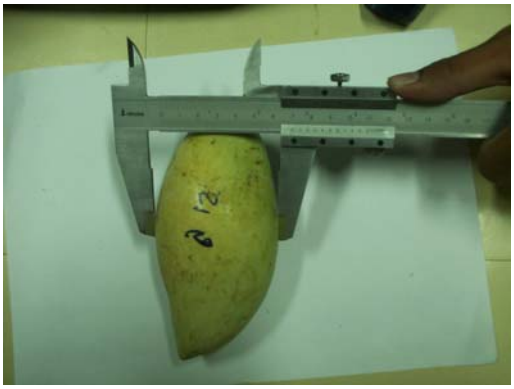
6. นำมะม่วงจาก (5) มาทำการวัดพื้นที่ภาพฉายโดยใช้เครื่องฉายแผ่นใส โดยการผ่าครึ่งมะม่วงตามแนวระนาบที่ตั้งฉากกับความหนา แล้ววางทาบบนแผ่นใส ใช้ปากกาเมจิกลากเส้นตามขอบเส้นของภาพฉาย จากนั้นนำมานับพื้นที่โดยการใช้กระดาษกราฟทาบลงแผ่นล่างแล้วนับพื้นที่

7. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ของน้ำหนัก กับความกว้าง, ความยาวและพื้นที่ภาพฉายในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น

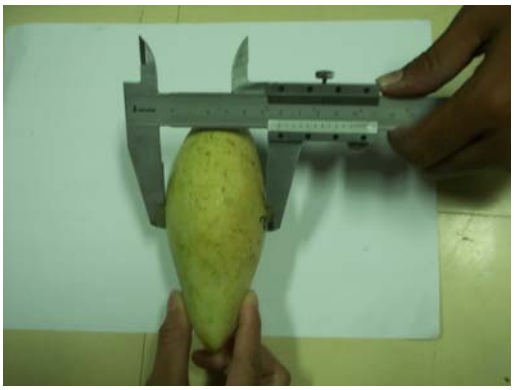


<u>ภาพผนวกที่ ฉ1</u> การวัดพื้นที่จากเครื่องวัดแบบจุด**, pixel**

<u>ภาพผนวกที่ ฉ2</u> การวัดความยาวของมะม่วง



ภาพผนวกที่ ฉ3 การวัดความกว้างของมะม่วง



ภาพผนวกที่ ฉ4 การวัดความหนาของมะม่วง

ผลและวิจารณ์

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วงที่นำมาทดลองได้แก่ น้ำหนัก , ความกว้าง , ความยาว และความหนา ของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย, น้ำดอกไม้, แรด และโชคอนันต์ (ข้อมูลดิบที่สัมพันธ์กันถูกนำเสนอไว้ในภาคผนวกที่ 1)

ตารางที่ 6 แสดงสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของมะม่วงพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อรวมทั้งขนาดเล็กกลาง และใหญ่เข้าด้วยกันไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างน้ำหนักกับความยาวของผลในทุก ๆ พันธุ์ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่ำระหว่างน้ำหนักกับความกว้างของผลสำหรับเขียวเสวยและโชคอนันต์ ($R^2 < 0.77$) แต่กับน้ำดอกไม้และแรดความกว้างแบ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงได้ดีกับน้ำหนักผล ($R^2 = 0.9$) ผลคูณระหว่างความกว้างและความยาวของผลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ค่อนข้างดีกับ

น้ำหนักผลในพันธุ์เขียวเสวย , น้ำดอกไม้ และโชคอนันต์ ($R^2 > 0.84$) แต่ความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ดีในพันธุ์แรด ($R^2 \cong 0.70$) พื้นที่ภาพฉายแปรผันตรงได้ดีกับน้ำหนักผลมะม่วง ($R^2 \geq 0.9$) ในพันธุ์น้ำดอกไม้ , แรด และโชคอนันต์ แต่ความสัมพันธ์นี้อยู่ในเกณฑ์พอใช้กับพันธุ์เขียวเสวย ($R^2 = 0.8$) ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภาพฉายเป็นพิกเซลกับน้ำหนักผล เป็นเส้นตรงดีกับพันธุ์โชคอนันต์ ($R^2 > 0.89$) และค่อนข้างดีกับเขียวเสวย ($R^2 > 0.84$) แต่ความสัมพันธ์ดังกล่าวค่อนข้างน้อยในพันธุ์น้ำดอกไม้และแรด ($0.7 < R^2 < 0.8$)

ความสัมพันธ์ระหว่าง parameter กำหนดค่าต่าง ๆ ได้แก่ กว้าง , ยาว , พื้นที่ภาพฉายได้ถูกวิเคราะห์โดย Linear regression และแสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง parameter กำหนดค่าต่าง ๆ กับน้ำหนักผลมะม่วง สำหรับแต่ละช่วงขนาดถูกแสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 4 เนื่องจากน้ำหนักผลในแต่ละช่วงขนาดใกล้กันและจำนวน Replication น้อยผลของการ fit graph จึงออกมาไม่ชัดเจนและสรุปยาก

<u>ตารางผนวกที่ ฉ5</u> ลักษณะทางกายภาพของมะม่วงที่เจริญเติบโตเต็มที่พร้อมรับประทาน (ค่าเฉลี่ย, AV และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน , SD) ถูกนำเสนอในรูป AV±SD

พันธุ์	ขนาด	น้ำหนัก (กรัม)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)
เขียวเสวย	ใหญ่	321.58 ± 11.67	62.93 ± 4.29	164.32 ± 9.80	58.70 ± 3.20
	กลาง	274.83 ± 16.48	60.67± 3.64	155.10 ± 10.37	55.74 ± 1.75
	เล็ก	228.83 ± 14.06	55.71 ± 1.73	149.55 ± 6.63	52.68 ± 2.20
น้ำดอกไม้	ใหญ่	417.09 ± 3.02	81.62 ± 1.37	150.48 ± 4.19	73.79 ± 2.17
	กลาง	314.00 ± 15.50	71.15 ± 2.07	131.38 ± 6.12	63.55 ± 2.11
	เล็ก	269.33 ± 12.83	69.28 ± 1.83	135.26 ± 6.42	59.42 ± 1.82
แรด	ใหญ่	301.10 ± 7.64	76.80 ± 1.89	116.46 ± 5.03	66.23 ± 2.41
	กลาง	262.10 ± 6.59	73.67 ± 2.56	111.35 ± 4.57	64.59 ± 2.37
	เล็ก	213.08 ± 8.75	62.67 ± 1.51	117.21 ± 9.03	54.13 ± 1.10
โชคอนันต์	ใหญ่	259.40 ± 10.28	68.94 ± 1.33	120.41 ± 3.15	58.52 ± 3.17
	กลาง	222.20 ± 5.94	66.75 ± 1.89	112.23 ±3 .95	55.62 ± 1.85
	เล็ก	188.33 ± 11.45	62.88 ± 1.51	109.90 ± 5.08	51.70 ± 2.62

<u>ตารางผนวกที่ ฉ6</u> สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นเมื่อรวมทุกขนาดของมะม่วงพันธุ์ เขียวเสวย, น้ำดอกไม้, แรด , และโชคอนันต์

พันธุ์มะม่วง	x	y	สมการเชิงเส้น
เขียวเสวย	น้ำหนัก	พื้นที่ภาพฉาย	$y = 19.501x + 2590.6$ $R^2 = 0.8038$
	น้ำหนัก	ความกว้าง	$y = 0.0845x + 36.512$ $R^2 = 0.5863$
	น้ำหนัก	ความยาว	$y = 0.1319x + 120.04$ $R^2 = 0.2491$
	น้ำหนัก	ความกว้างคูณความยาว	$y = 20.655x + 3659$ $R^2 = 0.8401$
	น้ำหนัก	เครื่องวัดพื้นที่แบบจุด,pixel	$y = 0.4326x + 62.938$ $R^2 = 0.8455$
น้ำดอกไม้	น้ำหนัก	พื้นที่ภาพฉาย	$y = 19.041x + 1801.3$ $R^2 = 0.9046$
	น้ำหนัก	ความกว้าง	$y = 0.0858x + 45.404$ $R^2 = 0.9001$
	น้ำหนัก	ความยาว	$y = -0.0095x + 117.57$ $R^2 = 0.0026$
	น้ำหนัก	ความกว้างคูณความยาว	$y = 21.377x + 3199.7$ $R^2 = 0.8636$
	น้ำหนัก	เครื่องวัดพื้นที่แบบจุด,pixel	$y = 0.4406x + 53.153$ $R^2 = 0.796$
แรด	น้ำหนัก	พื้นที่ภาพฉาย	$y = 15.155x + 2747.4$ $R^2 = 0.8999$
	น้ำหนัก	ความกว้าง	$y = 15.155x + 2747.4$ $R^2 = 0.8999$
	น้ำหนัก	ความยาว	$y = -0.0095x + 117.57$ $R^2 = 0.0026$
	น้ำหนัก	ความกว้างคูณความยาว	$y = 18.298x + 3430.7$ $R^2 = 0.6974$
	น้ำหนัก	เครื่องวัดพื้นที่แบบจุด,pixel	$y = 18.298x + 3430.7$ $R^2 = 0.6974$
โชคอนันต์	น้ำหนัก	พื้นที่ภาพฉาย	$y = 16.997x + 2396.8$ $R^2 = 0.9371$
	น้ำหนัก	ความกว้าง	$y = 0.0843x + 47.336$ $R^2 = 0.7649$
	น้ำหนัก	ความยาว	$y = 0.1392x + 83.141$ $R^2 = 0.5067$
	น้ำหนัก	ความกว้างคูณความยาว	$y = 18.98x + 3327.9$ $R^2 = 0.8476$
	น้ำหนัก	เครื่องวัดพื้นที่แบบจุด,pixel	$y = 0.4451x + 46.724$ $R^2 = 0.8945$

สรุปและข้อเสนอแนะ

สำหรับมะม่วงที่รวมทุกขนาดในแต่ละพันธุ์ เมื่อนำมาศึกษาความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้นจะมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูงซึ่งสังเกตได้จากค่า R^2 ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงแนวโน้มการเป็นเส้นตรงของความสัมพันธ์และเมื่อทำการศึกษาหาความสัมพันธ์โดยการแยกขนาดของมะม่วงแต่ละพันธุ์ สมการเชิงเส้นที่ได้ มีความสัมพันธ์กันน้อยมากหรือแทบไม่มีความสัมพันธ์กันเลย นอกจากสัมพันธ์ของน้ำหนักกับพื้นที่ภาพฉาย และกว้างคูณยาวกับพื้นที่ภาพฉาย (ตารางภาคผนวกที่ 4)

ในการศึกษาหาความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้น เพื่อลดการคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำ ควรเพิ่มจำนวนมะม่วงที่ใช้ในการทดลองแต่ละขนาดให้มากขึ้น

ดังนั้นหากผู้ที่สนใจนำข้อมูลไปใช้เพื่อประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพมะม่วงเป็นตัวแบ่งแยกความแตกต่าง เช่น เครื่องคัดขนาดมะม่วงโดยใช้หลักการ การสะท้อนของแสง ควรนำข้อมูลของความสัมพันธ์สมการเชิงเส้นที่เกิดจากการรวมขนาดไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จรัญ จันทลักขณา . 2540. สถิติวิเคราะห์และการวางแผนงานวิจัย. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2533. มะม่วง. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

นริศรา ทุมมณี. 2544. ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคโนโลยีการผลิตมะม่วงเพื่อการส่งออกของเกษตรกรกลุ่มปรับปรุง คุณภาพผลไม้ จังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2533. การทำสวนมะม่วง. คณาจารย์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำแพงแสน. โครงการคู่มือประกอบอาชีพสำหรับประชาชนศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมเกษตรแห่งชาติ นครปฐม.

นิรนาม. 2520. การทำไร่มะม่วง. สมาคมพฤกษชาติแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. วังบูรพา กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูก 2545/46.กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.

นิรนาม . ม.ป.ป. พืชเศรฐกิจที่สำคัญของจังหวัดฉะเชิงเทรา. แหล่งที่ :http://www.chachongsao.doae.go.th/library.htm , 16 มิถุนายน 2546.

นิรนาม . ม.ป.ป. ไม้ผล section v Fruit Trees . กรมส่งเสริมการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งที่มา : http://www.doae.go.th/plant/kdoae/index.htm, 16 มิถุนายน 2546.

ภาคผนวก ช
สมบัติเชิงกลของผลชมพู่ไทย

การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 ประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
วันที่ 23-24 มกราคม พ.ศ 2549 จังหวัดมหาสารคาม

สมบัติเชิงกลของผลชมพู่ไทย

Mechanical Properties of Thai Rose Apples Fruit

บัณฑิต จริโมภาส[1] และ สาริกา สารการ[2]

Bundit Jarimopas[1] and Sarika Sarakarn[2]

Abstract

This research was to investigate physical and mechanical properties of four Thai rose apple of cultivars (ie. Tubtimjan, Toonklao, Pechsampran and Pechsairung. Methodology comprised determination of physical characteristic and mechanical properties of full mature rose apple, 480 fruit per cultivar, by the use of Universal Testing Machine INSTRON 5569 and Impact tester. Experiment al design was of factorial in CRD with two control factors, ie. cultivar and size of the fruit.

Result showed that the cultivar and size significantly influenced parameters of physical characteristic and mechanical properties at the significance level of 1 %. Tubtimjan tended to have the greatest weight and length wich are 106 g. and 81 mm. Width to length ratio (r) of Tubtimjan was low ($\cong$0.71), makhing the fruit elliptical look. The other three cultivars looked more spherical ($0.89 < r \leq 0.95$). The greatest sweetness was found in Pechsairung and with the middle size fruit of all cultivars. The maximum specific gravity was found in Tubtimjan and with the big size fruit of all cultivars an except Pechsampran the small size of which exhibited the highest specific gravity.

Pechsairung showed the greatest toughness (1.16 N-mm) and average firmness (7.61N/mm) while Tubtimjan and Toolklao exhibited the lowest toughness (0.67 N-mm). This perhaps implied that Tubtimjan and Toolklao tend to be more crispy while Pechsairung would be more tough and firm than the other two cultivars. The initial firmness and modulus of elasticity (E_S, E_P, E_I) were not significantly different amongst cultivars. Hence, these

parameters would probably be insensitive to differentiate quality of the rose apple fruit of four cultivars at full maturity.

Key word: rose apple, mechanical properties

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของผลชมพู่ไทย 4 พันธุ์ ประกอบด้วย ทับทิมจันทร์ ทูลเกล้า เพชรสามพราน และ เพชรสายรุ้ง การศึกษาประกอบด้วยการหาคุณลักษณะทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของผลชมพู่เจริญเติบโตบริบูรณ์ พันธุ์ละ 480 ผล โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine INSRON 5569 และเครื่อง Impact Tester วางแผนการทดลองเป็น factorial in CRD มีปัจจัยควบคุม 2 ตัว ได้แก่ พันธุ์ และขนาดของผลชมพู่

ผลการทดลองปรากฏว่าพันธุ์และขนาดมีอิทธิพลอยางมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 1% ต่อตัวแปรลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกล ทับทิมจันทร์มีแนวโน้มมีน้ำหนัก และความยาวต่อผลสูงสุดเท่ากับ 106 ก. และ 81 มม. อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวผล r ในทับทิมจันทร์ต่ำ ($\cong 0.71$) ทำให้ดูเป็นทรงรี ในอีกสามพันธุ์ดูแนวโน้มกลม ($0.89 < r \leq 0.95$) เพชรสายรุ้งมีความหวานมากที่สุด (11.2%brix) และชมพู่ขนาดกลางให้ความหวานมากที่สุดในทุก ๆ พันธุ์ ความถ่วงจำเพาะสูงที่สุดในพันธุ์ทับทิมจันทร์ และกับผลชมพู่ขนาดใหญ่ของทุก ๆ พันธุ์ ยกเว้นเพชรสามพรานที่ขนาดเล็กมีความถ่วงจำเพาะสูงที่สุด

เพชรสายรุ้งแสดงความเหนียวสูงสุด (1.16 N.mm) และความแน่นเนื้อเฉลี่ย Average frimness สูงสุด (7.61 N/mm) ในขณะที่ทับทิมจันทร์และทูลเกล้ามีพฤติกรรมความเหนียวต่ำสุด (0.67 N.mm) นี้อาจจะชี้ให้เห็นว่าทับทิมจันทร์และทูลเกล้าจะมีความกรอบกว่าทุก ๆ พันธุ์ (เปราะกว่า) และเพชรสายรุ้งเหนียวและแน่นกว่าทุก ๆ พันธุ์ ความแน่นเนื้อเริ่มต้น, โมดุลัสความยืดหยุ่น E_P, E_S, E_I ไม่แตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ ทำให้อนุมานได้ว่า ตัวแปรเหล่านี้อาจไม่ sensitive พอที่จะบอกระดับคุณภาพของผลชมพูทั้ง 4 พันธุ์ ที่ระยะบริบูรณ์ (Full maturity)

คำสำคัญ : สมบัติเชิงกล, ผลชมพู่

---

[1] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Assoc. Prof.of Agricultural Engineering Department, Kamphaengsaen Engineering Faculty Kasetsart University, Kamphaengsean Campus, Nakhon Pathom 73140

[2] นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Graduate Student of Agricultural Engineering Department, Kamphaengsaen Engineering Faculty Kasetsart University, Kamphaengsean Campus, Nakhon Pathom 73140

บทนำ

ชมพู่เป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียแต่แพร่กระจายในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงประเทศไทย ชมพู่เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ง่ายและให้ผลผลิตเร็ว ผลของชมพู่มีความหวานกรอบ ชุ่มน้ำ และมีคุณค่าทางโภชนาการไม่แพ้ผลไม้ชนิดอื่น (กองโภชนาการ, 2535) ประกอบด้วย พลังงาน 24 กิโลแคลอรี่, โปรตีน 1.5 กรัม, คาร์โบไฮเดรต 5.5 กรัม, แคลเซียม 2 มิลลิกรัม,ฟอสฟอรัส 18 มิลลิกรัม , เหล็ก 0.3 มิลลิกรัม และวิตามินซี 32 มิลลิกรัม ปัจจุบันได้มีการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ เช่น ฮ่องกง, สิงคโปร์ ญี่ปุ่น และไต้หวัน ชมพู่เป็นผลไม้ที่บอบบางและเกิดบาดแผลช้ำจากแรงกระทำต่าง ๆ ได้ง่าย ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว การบรรจุหีบห่อ ขนย้าย ขนส่ง ผลชมพู่ที่ได้มาตรฐานจำเป็นต้องมีองค์ความรู้และข้อมูลทางพฤติกรรมการตอบสนองของผลชมพู่ภายใต้ภาระเชิงกลต่าง ๆ อันจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องจักรกลหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์ผลชมพู่ที่มีประสิทธิภาพลดความสูญเสียและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งที่จะศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของผลชมพู่ไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

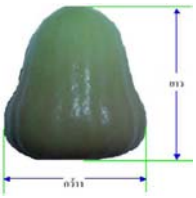
ผลชมพู่ไทยที่ใช้ในการศึกษามี 4 พันธุ์ คือ ทับทิมจันทร์, ทูลเกล้า, เพชรสามพราน และเพชรสายรุ้ง พันธุ์ละ 480 ผล, เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ยี่ห้อ MITUTOYO วัดความละเอียดได้ 0.05 มิลลิเมตร, เครื่องชั่งอิเล็คทรอนิกส์ ยี่ห้อ OHAUS รุ่น G4100 PRECISION ADVANCED วัดน้ำหนักสูงสุดได้ 4,100 กรัม, ชุดเครื่องมือทดสอบ Quasi-static Compression test โดยใช้ Universal Testing Machince, UTM (Instron 5569), ชุดเครื่องมือทดสอบ Impact test (Chen et al.,1996), ชุดเครื่องมือทดสอบความถ่วงจำเพาะของชมพู่ (Mohsenin,1996), ตู้อบลมร้อน

ยี่ห้อ Fujitsu รุ่น HG0001600 FTC วัดอุณหภูมิสูงสุดได้ 200 องศาเซลเซียส, ปรอทวัดอุณหภูมิ, Aluminium can (Moiture can), โถดูดความชื้นและซิลิก้าเจล, Hand Refractometer ยี่ห้อ Salinity รุ่น S-28E อ่านค่าได้สูงสุด 32 %brix, เครื่องปั่นชนิดปั่นแห้งและน้ำกลั่น

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. รวบรวมชมพู่ทั้ง 4 พันธุ์ จากแหล่งปลูก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม เพชรบุรี และราชบุรี ซึ่งผลชมพู่อยู่ในขั้นแก่กำลังรับประทานและคัดเกรดตามการขายทั้งในและต่างประเทศ โดยแบ่งออกเป็นพันธุ์ละ 8 กลุ่ม กลุ่มละ 60 ผล แบ่งเป็น 3 ขนาด (เล็ก, กลาง และใหญ่) ขนาดละ 20 ผล แล้วนำชมพู่มาทดสอบทั้งลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกล กลุ่มที่ 1 วัดขนาด, กลุ่มที่ 2 วัดความชื้น,กลุ่มที่ 3 วัดปริมาณความชื้นที่ลดลง, กลุ่มที่ 4 วัดความหวาน, กลุ่มที่ 5 วัดความถ่วงจำเพาะ กลุ่มที่ 6 ทดสอบ Compression Test แบบ Puncture Compression Test, กลุ่มที่ 7 ทดสอบ Quasi-static Compression Test, กลุ่มที่ 8 ทดสอบ Impact Test

2. นำชมพู่กลุ่มที่ 1 มาวัดความกว้าง, ความยาว และชั่งน้ำหนัก (Figure 1)



<u>ภาพผนวกที่ ช1</u> Diamentional measurement of rose apple fruit

3. นำชมพู่กลุ่มที่ 2 มาวัดความชื้น (Moisture Constent) โดยหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ และ แบ่งใส่ลงใน Aluminium Moiture can แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิห้อง 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

$$\text{Moisture Constent (\%)} = [(W1W2)/W1]\ 100 \qquad (1)$$

W1 = น้ำหนักก่อนอบ

W2 = น้ำหนักหลังอบ

4. นำชมพู่กลุ่มที่ 3 มาหาความชื้นที่ลดลงโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการชั่งน้ำหนักชมพู่วันแรก และวันที่ 10

ปริมาณความชื้นที่ลดลงเฉลี่ยต่อวัน (%) = [(WL1-WL2)/WL1] x100] /10 (2)

WL1 = น้ำหนักผลชมพู่วันแรก

WL2 = น้ำหนักผลชมพู่วันที่ 10

5. นำชมพู่กลุ่มที่ 4 มาปั่นเนื้อของผลด้วยเครื่องปั่นชนิดแห้ง โดยแยกผลชมพู่ตามขนาด (ใหญ่, กลาง และเล็ก) วัดความหวาน(Soluble Solid) ด้วยเครื่อง Hand Refractometer บันทึกค่าที่ได้ในหน่วย เปอร์เซ็นต์บริกซ์

6. นำชมพู่กลุ่มที่ 5 ไปวัดความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity,SG)(Figure2) ชั่งน้ำหนักของผลชมพู่ที่จมอยู่ใต้น้ำ และน้ำหนักของชมพู่ในอากาศ แล้วนำมาคำนวณค่า SG ดังนี้ (บัณฑิต, 2545)

ภาพผนวกที่ ช2 Determination of specific gravity of rose apple fruit

SG = X1 / (X3–X2) (3)

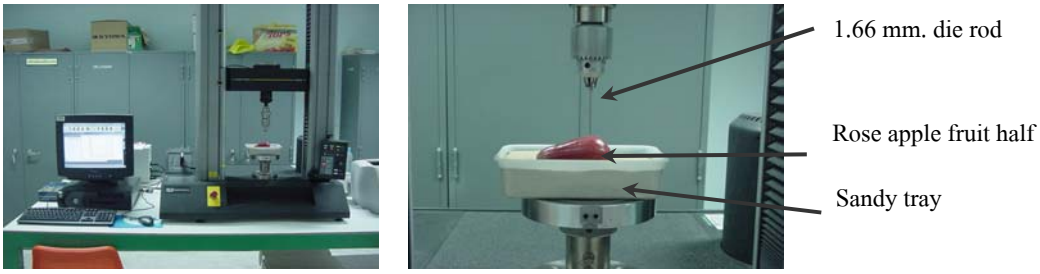
เมื่อ X1 = น้ำหนักของผลชมพู่ในอากาศ (กรัม)

X2 = น้ำหนักของภาชนะและน้ำ (กรัม)

X3 = น้ำหนักของภาชนะใส่น้ำและผลชมพู่ในน้ำ (กรัม)

X3– X2 = น้ำหนักน้ำที่ถูกแทนที่ (กรัม)

7. นำชมพู่กลุ่มที่ 6 มาทดสอบ Puncture Compression Test (Figure 3) โดยติดตั้ง die เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.66 มิลลิเมตรเข้ากับหัวกดของเครื่อง Instron 5569 กด Puncture กับผลชมพู่ครึ่งผลด้วยอัตราเร็ว 25 มิลลิเมตร/ นาที (ASAE, 1998) บันทึกกราฟแรงการเปลี่ยนรูป (Figure 4)



ภาพผนวกที่ ช3 Puncture compression test with Instron 5569 (Left) and view on the right

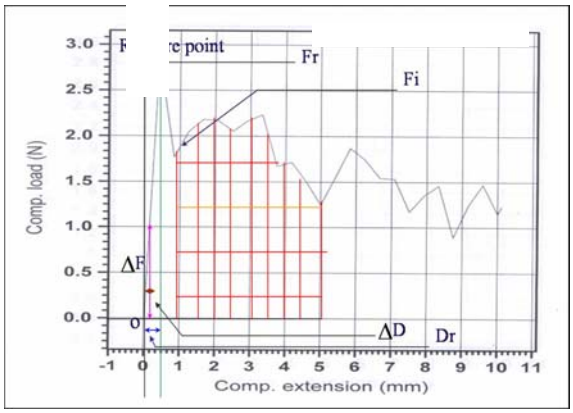
ตัวแปรที่สามารถคำนวณค่าได้จากกราฟ (Figure 4) คือ

7.1 แรงทำให้แตกหรือทะลุ(Rupture force) สมนัยกับจุดแทงทะลุ R : Fr (N)

7.2 การเปลี่ยนรูปสมนัยกับ Fr (Rupture Deformation): Dr (mm)

7.3 Toughness(N- mm) : พื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดแทงทะลุ

7.4 ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (Average firmness): Fr/Dr (N/mm) (4)



ภาพผนวกที่ ช4 Force-deformation response of rose apple fruit under puncture compression test

7.5 ความแน่นเนื้อเริ่มต้น(Initial firmness): $\Delta F/\Delta D$, (N/mm) (5)

7.6 โมดูลัสความยืดหยุ่น Modulus of elasticity (KPa), $Ep = \frac{\Delta F}{\Delta D} x \frac{(1-\mu^2)}{dp}$ (6)

dp = เส้นผ่านศูนย์กลางหัวกด 1.66 มม.

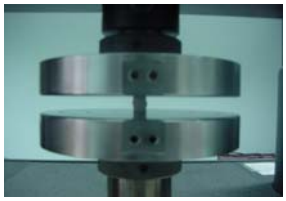
7.7 Penetrating force = ค่าเฉลี่ยของแรงที่วัดได้ทุก ๆ ความลึกหรือการเปลี่ยนรูป 1 มม.จนถึง 5 มม.

(5 จุด) หลังจากจุดแทงทะลุ : $P = (\sum_{i=1}^{n} F_i)/n$, (N) (7)

7.8 Penetrating energy = พื้นที่ใต้กราฟแรงกดการเปลี่ยนรูปหลังจากจุดแทงทะลุ หาจากผลบวกของพื้นที่เล็ก ๆ ทุก ๆ 1 มม.จนถึงความลึก 5 มม. $EN = \frac{1}{2} x \sum_{i=1}^{n} (F_i + F_{i+1}) x 1$, n = 5, (N.mm) (8)

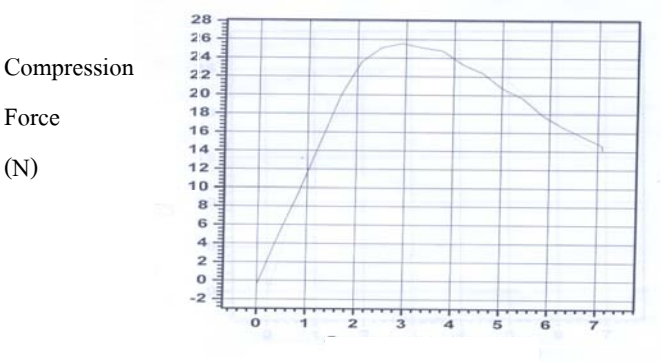
8. นำชมพู่กลุ่มที่ 7 มาทดสอบ Quasi-static Compression Test ที่อัตราเร็วในการทดสอบ 25 มิลลิเมตร/ นาที เตรียมตัวอย่างจากการนำผลชมพู่ขนาดใหญ่ผ่าตามขวางบริเวณก้นผลแล้วใช้ Die โลหะทรงกระบอกกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร กดลงในส่วนเนื้อของชมพู่ที่หนาที่สุดบริเวณก้นผลด้วยความระมัดระวังมิให้เกิดการแตกหักและการบอบช้ำ ติดตั้งตัวอย่างเนื้อผลของชมพู่ทรงกระบอกเข้ากับเครื่อง Instron 5569 (Figure 5) โหลดตัวอย่างจนได้กราฟแรง-การเปลี่ยนรูป (Figure 6) Slope ของกราฟความเค้นความเครียดที่สมนัยกัน คือ E_s (Modulus of elasticity, KPa)

(a) Die preparing cylindrical sample



(b) cylindrical sample under compression

<u>ภาพผนวกที่ ช5</u> Quasi-static compression test with cylindrical specimen of rose apple fruit



<u>ภาพผนวกที่ ช6</u> Force deformation response of rose apple cylindrical specimen under quasi-static compression test

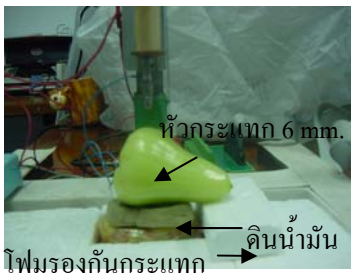
9. นำชมพู่กลุ่มที่ 8 มาทดสอบ Impact Test กับเครื่องมือทดสอบความแน่นเนื้อ (Figure 7) แล้วนำกราฟความเร่งกับเวลามาคำนวณหา E_I (Modulus of elasticity, KPa)

$$E_I = \left[3/4*(1-\mu^2)/D^{1.5}\right] x \left[(R_1+R_2)/R_1R_2\right]^{0.5} \quad (9)$$

ที่มา: Chen et al. (1996)

เมื่อ μ = Assumed Poisson' ratio = 0.26, D = การเปลี่ยนรูปสูงสุดระหว่างการกระแทก = t x V /1.47, t = เวลาที่เกิดความเร่งสูงสุดระหว่างการกระแทก, V = ความเร็วเริ่มกระแทก, R_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกระแทก: 6 มม., R_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของผลชมพู่

(a) General view



(b) Close up

<u>ภาพผนวกที่ ช7</u> Impact test set-up

10. ทำการทดสอบซ้ำในลักษณะเดียวกันตั้งแต่ ข้อที่ 2 ถึงข้อที่ 9 กับผลชมพู่ทั้ง 4 พันธุ์ คือ ทับทิมจันทร์, ทูลเกล้า, เพชรสามพราน และ เพชรสายรุ้ง

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

Table 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของผลชมพู่และความแตกต่างทางสถิติตามพันธุ์ที่ระดับความสำคัญ 1% น้ำหนัก ความยาวของชมพู่พันธ์ทับทิมจันทร์มีแนวโน้มมีค่ามากที่สุด อัตราต่อของความกว้างส่วนความยาว (r) ของทับทิมจันทร์, ทูลเกล้า, เพชรสามพราน, เพชรสายรุ้ง เท่ากับ 0.71, 0.85, 0.94, และ 0.95 ตามลำดับ แสดงว่า ทับทิมจันทร์มีความรีมากที่สุด ในขณะที่เพชรสามพรานและ เพชรสายรุ้งเข้าใกล้ทรงกลมป้อม พันธุ์เพชรสายรุ้ง, ทับทิมจันทร์ และทูลเกล้า มีแนวโน้มเนื้อผลชุ่มชื้นกว่าเพชรสามพราน พันธุ์เพชรสายรุ้งมีความหวานมากที่สุด (11.2 %brix) รองลงมาคือทับทิมจันทร์ พวกที่หวานน้อยได้แก่ เพชรสามพรานและ ทูลเกล้า

(7.3-8 %brix) ความถ่วงจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกันมาก (0.83-0.87) แต่ในทางสถิติพบว่าในพันธุ์ทับทิมจันทร์มีค่าความถ่วงจำเพาะมากที่สุดคือ 0.87

Table 2 แสดงลักษณะทางกายภาพตามขนาดของผลชมพู่ประกอบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า น้ำหนัก มิติ แปรไปตามขนาดโดยที่ลูกใหญ่มีปริมาตรและรูปทรงที่มากกว่าลูกเล็กในแต่ละพันธุ์ ความชื้นและความชื้นที่ลดลงความถ่วงจำเพาะ ไม่แปรปรวนไปตามขนาดของแต่ละพันธุ์ แต่ความถ่วงจำเพาะในทุก ๆ พันธุ์จะพบว่าในขนาดใหญ่มีค่าสูงที่สุดยกเว้นเพชรสามพรานที่ SG สูงสุดในผลเล็ก ในเพชรสายรุ้ง SG ไม่เปลี่ยนแปลงกับขนาดและมีค่าคงที่ = 0.83

ตารางผนวกที่ ช1 Physical characteristic of rose apple fruit with analysis of variance by cultivars (1%significance level)

Physical properties	**1% significance level**			
	cultivar			
	Tubtimjan	**Toonklao**	**Pech Sampran**	**Pech Sairung**
weight(g.)	106.04c	98.29b	96.20a	104.78c
diameter(mm.)	57.86a	70.97d	62.38b	64.55c
lenght (mm.)	81.14e	79.50d	65.79a	67.94b
Moisture Constent (%)	69.23b	68.88b	66.86a	69.48b
Less Moisture Constent	15.77a	15.88a	16.33b	18.80c
Soluble Solid (%brix)	8.98c	7.25a	7.93b	11.32e
Specific Gravity	0.87c	0.84a	0.83a	0.86b

ตารางผนวกที่ ช2 Physical characteristic of rose apple fruit categorized by size and analysis of variance according to cultivars (1%significance level)

Physical properties	Size	1% significance level			
		cultivar			
		Tubtimjan	**Toonklao**	**Pech Sampran**	**Pech Sairung**
weight(g.)	S	เล็ก	89.52a ± 2.35	89.25a ± 3.77	76.94a ± 3.80
	M	กลาง	100.20b ± 3.50	96.70b ± 2.47	94.67b ± 7.17
	L	ใหญ่	128.41c ± 5.84	110.92c ± 2.72	117.01c ± 1.82
diameter(mm.)	S	เล็ก	53.55a ± 1.42	66.64a ± 1.23	58.22a ± 0.88
	M	57.28b ± 0.86	70.49b ± 2.58	62.83b ± 7.80	63.62b ± 2.00
	L	62.77c ± 1.06	77.75c ± 1.71	66.10c ± 1.71	70.64c ± 2.27
lenght (mm.)	S	74.48a ± 1.35	72.73a ± 1.95	61.97a ± 1.35	64.16a ± 0.96
	M	80.57b ± 2.74	79.82b ± 2.04	66.87b ± 2.08	67.58b ± 1.54
	L	88.40c ± 3.06	85.95c ± 1.32	68.53c ± 7.96	72.09c ± 1.43
Moisture	S	69.27b ± 1.31	69.45b ± 1.52	66.33a ± 2.27	69.84b ± 1.52
Constent (%)	M	68.70a ± 1.03	68.65a ± 1.28	66.85a ± 1.96	69.30a ± 1.19
	L	69.73b ± 1.53	68.55a ± 0.67	67.40a ± 1.30	69.32a± 1.39
Less Moisture	S	16.14b ± 0.86	15.44a ± 0.64	15.50a ± 1.09	19.33b ±2.34
Constent (%)	M	15.35a ± 0.90	15.35a ± 0.97	16.12a±1.18	16.99a ± 3.13
	L	15.83b ± 1.41	16.86b ± 0.14	17.39b ± 0.28	20.10b ± 1.81
Soluble Solid	S	8.94a ± 0.28	7.01a ± 0.17	7.79a ± 0.32	11.51b ± 0.95
(%brix)	M	9.12b ± 0.26	7.55c ± 0.10	8.08c ± 0.22	11.75b ± 0.74
	L	8.91a ± 0.20	7.22b ± 0.02	7.95b ± 0.03	10.71a ± 0.03
Specific	S	0.85a ± 0.03	0.81a ± 0.03	0.85b ± 0.02	0.87a ± 0.03
Gravity	M	0.88b ± 0.02	0.85b ± 0.02	0.83a ± 0.02	0.86a ± 0.02
	L	0.90c ± 0.01	0.86c ± 0.02	0.83a ± 0.02	0.86a ± 0.02

Table 3 แสดงสมบัติเชิงกลของผลชมพู่เมื่อถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบตามพันธุ์ ปรากฏว่า

1. เพชรสายรุ้งมีพฤติกรรมแรงกดทะลุ Fr,(3.34N.) และการเปลี่ยนรูป ณ จุดแทงทะลุ Dr, (0.69 mm.) ความเหนียวสูงสุดผล (1.16 N.mm.) และความแน่นเนื้อเฉลี่ย สูงสุด (7.61 N/mm.) ในขณะที่ทับทิมจันทร์มีพฤติกรรม คือ Fr,(2.95N.), Dr, (0.43 mm.), Toughnes s (0.67 N.mm.) มีค่าต่ำสุด ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าทับทิมจันทร์น่าจะมีความกรอบกว่าทุก ๆ พันธุ์ (เปราะกว่า) และเพชรสายรุ้งเหนียวและแน่นกว่าทุก ๆ พันธุ์

2. ความแน่นเนื้อเริ่มต้น, โมดุลัสความยืดหยุ่น E_P, E_S, E_I ไม่แตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ ทำให้อณุมานได้ว่า ตัวแปรเหล่านี้อาจไม่ sensitiveพอที่จะบอกระดับคุณภาพของผลชมพูทั้ง 4 พันธุ์ ที่ระดับ Maturity แก่กำลังรับประทาน

ตารางผนวกที่ ช3 Analysis of variance of mechanical properties of rose apple fruit affected by cultivar at the significance level of 1%

Mechanical properties	1% significance level			
	cultivar			
	Tubtimjan	**Toonklao**	**Pech Sampran**	**Pech Sairung**
1.Puncture test	57.28b ± 0.86	70.49b ± 2.58	62.83b ± 7.80	63.62b ± 2.00
1.2 Deformation Dr, (mm)	62.77c ± 1.06	77.75c ± 1.71	66.10c ± 1.71	70.64c ± 2.27
1.3 Toughness, (N mm)	74.48a ± 1.35	72.73a ± 1.95	61.97a ± 1.35	64.16a ± 0.96
1.4 Average firmness,	80.57b ± 2.74	79.82b ± 2.04	66.87b ± 2.08	67.58b ± 1.54
1.5 Initial firmness,	88.40c ± 3.06	85.95c ± 1.32	68.53c ± 7.96	72.09c ± 1.43
1.6 Penetrating force P,	69.27b ± 1.31	69.45b ± 1.52	66.33a ± 2.27	69.84b ± 1.52
1.7 Penetrating	68.70a ± 1.03	68.65a ± 1.28	66.85a ± 1.96	69.30a ± 1.19
1.8 Modulus of elasticity	69.73b ± 1.53	68.55a ± 0.67	67.40a ± 1.30	69.32a± 1.39
2. Quasi- static	16.14b ± 0.86	15.44a ± 0.64	15.50a ± 1.09	19.33b ±2.34
3. Impact Test	15.35a ± 0.90	15.35a ± 0.97	16.12a±1.18	16.99a ± 3.13

ตารางผนวกที่ ช4 Analysis of variance of machanical properties of rose apple fruit as affected by cultivar size at the significance level of 1%

Machanical properties	Size	1% significance level			
		cultivar			
		Tubtimjan	Toonklao	Pech	Pech Sairung
1. Puncture test	S	2.85a ± 0.66	3.29a ± 0.19	3.08a ± 0.25	3.57b ± 0.38
1.1 Rupture force Fr (N)	M	2.95a ± 0.33	3.19a ± 0.23	3.08a ± 0.35	3.27a ±0.26
	L	3.06a ± 0.29	3.18a ± 0.18	3.11a ± 0.39	3.18a ± 0.28
1.2 Deformation Dr (mm)	S	0.42a ± 0.01	0.44b ± 0.04	0.40a ± 0.03	0.42a ± 0.03
	M	0.43a ± 0.03	0.42a ± 0.03	0.43b ± 0.04	0.84c ± 0.02
	L	0.43a ± 0.03	0.45b ± 0.05	0.45c ± 0.81	0.82b ± 0.07
1.3 Toughness (N.mm)	S	0.69a ± 0.03	0.60a ± 0.07	0.85a ± 0.11	0.88a ± 0.14
	M	0.66a ± 0.07	0.70b ± 0.09	1.36b ± 0.09	1.31b ± 0.23
	L	0.66a ± 0.09	0.71b ± 0.07	0.70a ± 0.80	1.29b ± 1.33
1.4 Average firmness (N/mm)	S	7.88b ± 0.71	6.47a ± 0.72	7.65c ± 0.57	8.52b ± 0.78
	M	7.11a ± 0.65	7.32b ± 0.85	7.17b ± 0.50	7.33a ± 0.93
	L	6.91a ± 0.68	7.18b ± 0.81	6.81a ± 0.02	7.14a ± 0.21
1.5 Initial firmness (N/mm)	S	3.97b ± 0.74	3.71a ± 1.35	3.75a ± 0.02	3.77a ± 0.18
	M	3.69a ± 0.65	3.92b ± 0.65	3.74a ± 0.03	3.72a ± 0.24
	L	3.80a ± 0.95	3.75a ± 0.16	3.70a ± 0.20	3.74a ± 0.20
1.6 Penetrating force P (N)	S	2.27c ± 0.25	1.80a ± 1.80	2.23a ± 0.23	2.36b ± 0.19
	M	2.08b ± 0.30	1.95b ± 1.95	2.16a ± 0.24	2.28b ± 0.13
	L	1.96a ± 0.21	1.98b ± 1.98	2.27a ± 0.94	2.16a ± 0.82
1.7 Penetrating energy EN (N.mm)	S	9.86c ± 0.98	7.41a ± 0.63	9.04b ± 1.46	9.07a ± 1.19
	M	9.00b ± 0.89	7.31a ± 0.44	8.52a ± 1.12	9.07a ± 0.85
	L	8.36a ± 0.77	8.68b ± 0.72	9.07b ± 0.03	9.23a±0.01
1.8 Modulus of elasticity Ep (KPa)	S	222b ±2.89	207a ±7.57	209a ±0.40	210a ±4.48
	M	206a ±5.95	219b ±3.38	209a ±0.91	207a ±4.187
	L	212a ±5.52	209a ±3.87	207a ±1.18	206a ±4.83
2. Quasi- static	S	2.85a ± 0.66	3.29a ± 0.19	3.08a ± 0.25	3.57b ± 0.38
2.1 Modulus of elasticity ES (KPa)	M	2.95a ± 0.33	3.19a ± 0.23	3.08a ± 0.35	3.27a ±0.26
	L	3.06a ± 0.29	3.18a ± 0.18	3.11a ± 0.39	3.18a ± 0.28
3. Impact Test	S	0.42a ± 0.01	0.44b ± 0.04	0.40a ± 0.03	0.42a ± 0.03
3.1 Modulus of elasticity EI (KPa)	M	0.43a ± 0.03	0.42a ± 0.03	0.43b ± 0.04	0.84c ± 0.02
	L	0.43a ± 0.03	0.45b ± 0.05	0.45c ± 0.81	0.82b ± 0.07

หมายเหตุ : * ผลชมพู่ขนาดกลาง(M) และเล็ก(S) ไม่สามารถใช้ Die ทำให้เป็นทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ยาว 15 มม.ได้ เนื่องจากส่วนที่หนาเป็นเนื้อเดียวกันมีความหนาน้อยกว่าขนาดของ Die

Table 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลชมพู่ จำแนกตามขนาดและสายพันธุ์ สำหรับตัวแปรสมบัติเชิงกลหนึ่ง ๆ ค่ามากที่สุดของตัวแปรนั้น ๆ ที่ปรากฏกับผลชมพู่ในแต่ละพันธุ์ที่ขนาดต่าง ๆ กันมีแนวโน้มไม่แน่นอน ยกเว้นความแน่นเนื้อเฉลี่ยและความแน่นเนื้อเริ่มต้นที่ค่ามากที่สุดเกิดกับผลขนาดเล็กในทุก ๆ พันธุ์ ยกเว้นทูลเกล้าที่เกิดกับผลขนาดกลาง

สรุป

ลักษณะทางกายภาพของผลชมพู่และความแตกต่างทางสถิติตามพันธุ์ ที่ระดับความสำคัญ 1% น้ำหนัก ความยาวของชมพู่พันธ์ทับทิมจันทร์มีแนวโน้มมีค่ามากที่สุดมีความรีมากที่สุด ในขณะที่เพชรสามพรานและ เพชรสายรุ้งเข้าใกล้ทรงกลมป้อม เพชรสายรุ้ง, ทับทิมจันทร์ และ ทูลเกล้ามีแนวโน้มเนื้อผลชุ่มชื้นกว่าเพชรสามพราน พันธุ์เพชรสายรุ้งมีความหวานมากที่สุด (11.2 %brix) ความถ่วงจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกันมาก (0.83-0.87)

สมบัติเชิงกลของผลชมพู่เมื่อถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบตามพันธุ์ ปรากฏว่าเพชรสายรุ้งมีพฤติกรรมแรงกดทะลุ และการเปลี่ยนรูป ณ จุดแทงทะลุ ความเหนียวผล และความแน่นเนื้อเฉลี่ย สูงสุด ในขณะที่ทับทิมจันทร์มีพฤติกรรมดังกล่าวมีค่าต่ำสุด ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าทับทิมจันทร์น่าจะมีความกรอบกว่าทุก ๆ พันธุ์ (เปราะกว่า) และเพชรสายรุ้งเหนียวและแน่นกว่าทุก ๆ พันธุ์ ความแน่นเนื้อเริ่มต้น, โมดุลัสความยืดหยุ่น E_P, E_S, E_I ไม่แตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ ทำให้อณุมานได้ว่า ตัวแปรเหล่านี้อาจไม่ sensitive พอที่จะบอกระดับคุณภาพของผลชมพูทั้ง 4 พันธุ์ที่ระดับ Maturity แกกำลังรับประทาน

เอกสารอ้างอิง

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2535. **คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย.** โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก, กรุงเทพ ฯ. 97 น.

ASAE STANDARDS. 1998. Compression test of fruit machanical of convex shape. ASAE s368.3 MAR95 p.554-559

Chen, P., M. Ruiz-Alisent, and P. Barreiro. 1996. **Effects of impaction mass on frimness sensing of fruits**. Transaction of ASAE 39(3) : 1019-1o23.

Mohsenin N.N. 1977 . Characterization and failure in solid food with particular reference to vegetables. J. Texture Studies. 8 :169-193.

Panmanas Sirisomboon, Munehiro Tanaka, Takayoshi Akinaga and Takayuki Kojima. 2000. **Evalution of textural propertise of Japanese Pear**. Jourenal of Texure Studies. Vol 30 . 665-677.