ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงภายใต้การกระทำเชิงกล

Firmness Sensing of Mango Fruit Subjected to Mechanical Loading

อุดมศักดิ์ กิจทวี [1]และ บัณฑิต จริโมภาส[2]
Udomsak Kitthawee[1] and Bundit Jarimopas[2]

Abstract

This research was to study firmness sensing of mango fruit subjected to mechanical loading in order to sort mango of different maturity stages. Harvested two cultivars (Nam Dok Mai and Chok Anan) of mango from immature, mature to overmature were tested quasi-statically with the Universal Testing Machine and determined for their specific gravity. Impact testing using the impact tester developed by Chen et al. (1996) was also included. The proper impact testing condition was 2 cm height and 10 gm impactor with Nam Dok Mai (75-113 days after fruit set) and Chok Anan (67-105 days after fruit set) [Nam Dok Mai and Chok Anan reached full maturity at 99 and 91 days after fruit set]. Firmness is defined by the ratio between maximum acceleration A and the corresponding time t. A/t = (alternatively called firmness index) of the two cultivars remains constant until full maturity , after that A/t fastly decreased. Weibull equation was applied to give very good correlation between A/t and time x. For the Nam Dok Mai and Chok Anan the equations are $A/t = 0.89 - 48.94e^{-1.6E8x^{-3.7}}$ (R^2 = 0.98) and $A/t = 1.09 - 245.62e^{-5.7E5x^{-2.5}}$ (R^2 = 0.97). The firmness index well complied to the firmness determined from force F to deformation D ratio of the quasi-static loading. The Weibull equation could well correlate between F/D and X for Nam Dok Mai and Chok Anan as follows:- $F/D = 27.56 - 1659e^{-1.4E9x^{-4.2}}$ (R^2= 0.96) and $F/D = 33.10 - 21813e^{-6.8E5x^{-2.5}}$ (R^2=0.96) respectively. Maturity stage affected elasticity of mango. The impact method could determine mango firmness fastly, non-destructively, accurately within the boundary of theory of elasticity. Mango behavior did not suit the application of the impact method to sort mango maturity. Specific gravity SG of Nam Dok Mai tended to linearly increase with time. The correlation equation is SG = 0.87+0.0016X (R^2=0.90).

Keyword : mango, firmness , mechanical loading

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะศึกษาการรับรู้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงภายใต้การกระทำเชิงกล เพื่อการคัดแยกผลมะม่วงอ่อนแก่ การทดลองทำกับผลมะม่วง 2 พันธุ์คือโชคอนันต์และน้ำดอกไม้โดยเก็บเกี่ยวตั้งแต่ระยะอ่อนต่อเนื่องไปจนบริบูรณ์และแก่แล้วนำไปทดลองการกดแบบเกือบสถิตย์กับ Universal Testing Machine, หาความถ่วงจำเพาะ, และทดสอบกับเครื่องทดสอบการกระแทกพัฒนาโดย Chen และคณะ(1996)โดยเลือกใช้เงื่อนไขการกระแทกคือ ความสูง 2 เซนติเมตรและน้ำหนักหัวกระแทก 10 กรัม กับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้อายุ 75 – 113 วันและมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์อายุ 67 – 105 วัน(มะม่วงน้ำดอกไม้และโชคอนันต์มีความบริบูรณ์เมื่ออายุ 99 และ 91 วัน) ความแน่นเนื้อที่กำหนดโดย ความเร่งสูงสุดต่อเวลา ณ ความเร่งสูงสุด (A/t)ของมะม่วงทั้งสองพันธุ์จะประมาณคงที่อยู่ในช่วงหนึ่งจนถึงวันบริบูรณ์หลังจากนั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็ว สมการ Weibull สามารถจำลองแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง A/t กับอายุ X ได้ดีมาก $A/t = 0.89 - 48.94e^{-1.6E8x^{-3.7}}$ (น้ำดอกไม้, R^2=0.98) และ $A/t = 1.09 - 245.62e^{-5.7E5x^{-2.5}}$ (โชคอนันต์, R^2=0.97) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับความแน่นเนื้อที่หาจากอัตราส่วนแรง F กับ การเปลี่ยนรูป D ที่ได้จาก UTM และสามารถจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง F/D กับอายุได้ดีมาก $F/D = 27.56 - 1659e^{-1.4E9x^{-4.2}}$ (น้ำดอกไม้, R^2=0.96) และ $F/D = 33.10 - 21813e^{-6.8E5x^{-2.5}}$ (โชคอนันต์, R^2=0.96) ระยะการเจริญเติบโตของผลมะม่วงมีอิทธิพลต่อความแน่นเนื้อของผลมะม่วง วิธีกระแทกสามารถระบุความแน่นเนื้อ

[1] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต กรุงเทพฯ 10300
SuanDusit Scientific Equipment Center, Suan Dusit Rajabhat University, Bangkok 10300
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140
Department of Agricultural Engineer, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 73140

ของมะม่วงได้ภายในกรอบทฤษฎียืดหยุ่น มีความรวดเร็ว ไม่ทำลายผลไม้และมีความถูกต้อง ความถ่วงจำเพาะของน้ำดอกไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นสมการเส้นตรงจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะ SG กับอายุ X คือ $SG = 0.87 + 0.0016x$ (R^2=0.90) ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับอายุในมะม่วงโชคอนันต์
คำสำคัญ : มะม่วง, ความแน่นเนื้อ, ภาระเชิงกล

คำนำ

มีผักผลไม้หลายอย่างที่ความแน่นเนื้อสัมพันธ์กับระยะของการเจริญเติบโต ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลงทีละน้อยเมื่อมันเจริญเติบโตมากขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมันสุก ผลไม้ที่เสียหายหรือสุกเกินไปจะนิ่ม (Chen, 1996) ดังนั้นความแน่นเนื้อสามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับคัดเลือกผักผลไม้ออกเป็นกลุ่มความเติบโตต่างๆได้หรือแยกสุกเกินไปและพวกเสียหายจากพวกดีได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีความแน่นเนื้อผล 54.8 - 42.8 นิวตันระหว่าง 96 ถึง 111 วัน (ดวงตรา และคณะ, 2527) Reyes และคณะ (1996) ได้แยกการเจริญเติบโตของมะละกอออกเป็น 5 ระดับตามระดับสีผิวจากเขียวถึงสีเหลืองสามในสี่ส่วน ปรากฏว่ามีความแน่นเนื้อลดลงจาก 129 ถึง 16.5 นิวตัน Delwiche และคณะ (1996) ได้แบ่งความแน่นเนื้อของ Bartlett pear ออกเป็น 3 ช่วงคือนิ่ม (ความแน่นเนื้อน้อยกว่า 44 นิวตัน) แน่น (ความแน่นเนื้ออยู่ระหว่าง 44 นิวตัน ถึงน้อยกว่า 70 นิวตัน) แข็ง (ความแน่นเนื้อเท่ากับหรือมากกว่า 70 นิวตัน) นักวิจัยพบว่าการกระแทกของผลไม้บนพื้นผิวเรียบแข็งมีความใกล้เคียงกับการกระแทกของทรงกลมยืดหยุ่นและค่าความแน่นเนื้อของผลไม้มีความสัมพันธ์กับการตอบสนองของแรงกระแทก Nahir และคณะ (1986) รายงานว่าเมื่อปล่อยมะเขือเทศจากที่สูง 70 มิลลิเมตรตกลงสู่พื้นผิวเรียบแข็ง การตอบสนองของแรงมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับน้ำหนักของผลไม้และค่าความแน่นเนื้อ Delwiche และคณะ (1996) ได้วิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุเกษตรตกลงกระแทกสู่พื้นผิวเรียบแข็งพบว่าแรงกระแทกมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับโมดูลัสความยืดหยุ่นของผลไม้และค่าความแน่นเนื้อที่อ่านได้จาก penetrometer และจากกราฟการกระจายแรงกระแทกกับเวลาของผลไม้ เขาพบว่าค่าแรงมากที่สุดมีค่าลดลงสำหรับผลไม้ที่ความแน่นเนื้อแปรเปลี่ยนจากแข็งเป็นแน่นและอ่อนตามลำดับ สมบัติความยืดหยุ่นหนืดเป็นสมบัติรวมกันระหว่างสมบัติเหมือนของแข็งและสมบัติเหมือนของเหลว (Mohsenin, 1986) ถึงแม้ว่าผลไม้จะมีสมบัติความยืดหยุ่นหนืดแต่ผลกระทบของความหนืดมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการกระทำที่เร็วขึ้นและผลไม้จะมีสมบัติความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้การกระทำที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็ว (Chen, 2001) เมื่อมีวัสดุยืดหยุ่นทรงกลมกระทำบนพื้นผิวเรียบ แรงขึ้นอยู่กับความเร็ว มวล รัศมีความโค้ง โมดูลัสยังและอัตราส่วนปัวซองของทรงกลม (Chen และคณะ, 1996) ในการทดลองที่ใช้วิธี Drop test แรงกระทำเป็นฟังก์ชันของมวลและรัศมีความโค้งของผลไม้ มีความแปรปรวนมากในตัวแปรทั้งสอง ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความแน่นเนื้อ (Chen และคณะ, 1996) แรงที่ได้จะได้รับอิทธิพลจากความเร็วและมวลของผลไม้มากกว่าโมดูลัสของผลไม้ (Chen, 2001)

การทดสอบการกระแทกอาจทำได้โดยกระแทกผลไม้ด้วยหัวกระแทกทรงกลมขนาดเล็กซึ่งทราบน้ำหนัก รัศมีความโค้ง และความเร่งของหัวกระแทกที่แน่นอน ประโยชน์ของวิธีนี้คือการตอบสนองของแรงกระแทกเป็นอิสระจากมวลของผลไม้และมีผลกระทบน้อยมากจากรัศมีความโค้งของผลไม้ เมื่อใช้น้ำหนักหัวกระแทกน้อยๆ (ประมาณ 10 กรัม) ผลการศึกษาของ Chen และคณะ (1996) ชี้ว่า 1) สัญญาณที่ได้มีค่ามากขึ้นเมื่อน้ำหนักน้อยลง (จากน้ำหนักหัวกระแทก 50 กรัม ลดลงเหลือ 10 กรัม) 2)ดัชนีความแน่นเนื้อ (ได้แก่ สัดส่วนระหว่างความเร่งสูงสุด A ต่อเวลาที่สมนัยกัน t มีค่าสูงขึ้น) 3) ลดความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของผลไม้เนื่องจากน้ำหนักกระแทกที่น้อย 4) ลดความเสียหายเนื่องจากการกระแทก อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดในการลดน้ำหนักหัวกระแทกเพราะหัววัดมีน้ำหนักอยู่ค่าหนึ่งและเมื่อน้ำหนักน้อยๆสายสัญญาณจะรบกวนการตกกระทบทำให้หัวกระแทกตกกระทบไม่ตั้งฉากกับผิวของผลไม้และยังรั้งหัวกระแทกให้ช้าลงซึ่งส่งผลกระทบต่อดัชนีความแน่นเนื้อ

Chen และคณะ (1996) ได้แสดงการสร้างสูตรคณิตศาสตร์และสรุปว่าเวลาที่ต้องการได้แรงกระแทก (F) สูงสุดเป็น $t = 1.47D/V$…(1) ดัชนีความแน่นเนื้อ $A/t = 0.68\ FV/Dm_1$…(2) เมื่อ D = การเปลี่ยนรูปมากที่สุดของผลไม้เมื่อถูกกระแทก, m_1= มวลของหัวกระแทก, A=ความเร่งสูงสุด วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อที่จะหาการรับรู้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงภายใต้การกระทำเชิงกลเพื่อการคัดแยกผลมะม่วงอ่อนแก่

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องมือวัดหาสมบัติการกระแทกซึ่งประกอบไปด้วย ดินน้ำมัน แม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องวัดความเร่งขนาด 0-250 g (Vibra-Metrics Model1000), หัวกระแทก (ประกอบด้วยลูกปืนโลหะทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร น้ำหนัก 12 กรัม), Data Acquisition Unit (NI DAQ 700), คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมและสวิตช์ วิธีการทดลอง 1. ผูกช่อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์โดยเริ่มทำเครื่องหมายที่ช่อในช่วงของการติดผลหรือผลมะม่วงมีขนาดเท่าเม็ดถั่วเขียวจนจำนวนวันของมะม่วงครบ 67 วันจึงนำผลมะม่วง

ตัวอย่างจำนวน 20 ผลจากต้นมะม่วงไปทดลอง 2. ทำเครื่องหมายกับผลมะม่วงตัวอย่าง 3. ชั่งน้ำหนักผลด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (OHAUS GT4100) (ไม่รวมก้าน) 4. จัดเครื่องมือกระแทกให้มีความสูง (h) เท่ากับ 2 เซนติเมตร 5. ใส่ข้อมูลได้แก่ ไดเรคทอรีและชื่อไฟล์ 6. วางผลมะม่วงบนดินน้ำมันโดยหันแก้มมะม่วงขึ้น 7. สั่งโปรแกรมให้เริ่มทำงาน 8. ปิดสวิตช์แล้วข้อมูลต่างๆจะถูกเก็บลงในไดเรคทอรีที่ตั้งไว้ 9. หาความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงโดยการแทนที่น้ำ 10. นำผลมะม่วงกดด้วยUniversal Testing Machine (UTM , Instron 5569) ที่ความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที 11. เปลี่ยนผลมะม่วงตัวอย่างและทำซ้ำ 3-10 จนครบ 12. เปลี่ยนผลมะม่วงตัวอย่างจากกลุ่ม 67 วันเป็นกลุ่ม 69 วันและทำซ้ำ 2-11 เปลี่ยนผลมะม่วงทุกๆ 2 วันไปจนถึงกลุ่ม 105 วัน 13. เปลี่ยนพันธุ์มะม่วงเป็นน้ำดอกไม้และทำซ้ำตั้งแต่เริ่มผูกช่อมะม่วงและเริ่มทดลองกับผลมะม่วงกลุ่มแรก (อายุครบ 75 วัน) จำนวน 10 ผลและเปลี่ยนผลมะม่วงตัวอย่างทุกๆ 2 วันไปจนถึงกลุ่ม 113 วัน

ผลการทดลอง

การทดลองนี้ได้ใช้หลักการเลือกวันที่มะม่วงมีความบริบูรณ์เป็นเกณฑ์ ในการทดลองคือ มะม่วงน้ำดอกไม้ 99 วันและโชคอนันต์ 91 วัน นับจากเริ่มติดผลแล้วนับถอยหลังจาก 99 วันช่วงละ 2 วันเป็นจำนวน 12 ช่วงและนับเดินหน้าช่วงละ 2 วันเป็นจำนวน 7 ช่วงนั่นคือ มะม่วงน้ำดอกไม้เริ่มนับอายุที่ 75, 77, 79,..., 113 วันทำนองเดียวกับมะม่วงโชคอนันต์เริ่มนับอายุที่ 67, 69, 71,..., 105 วัน

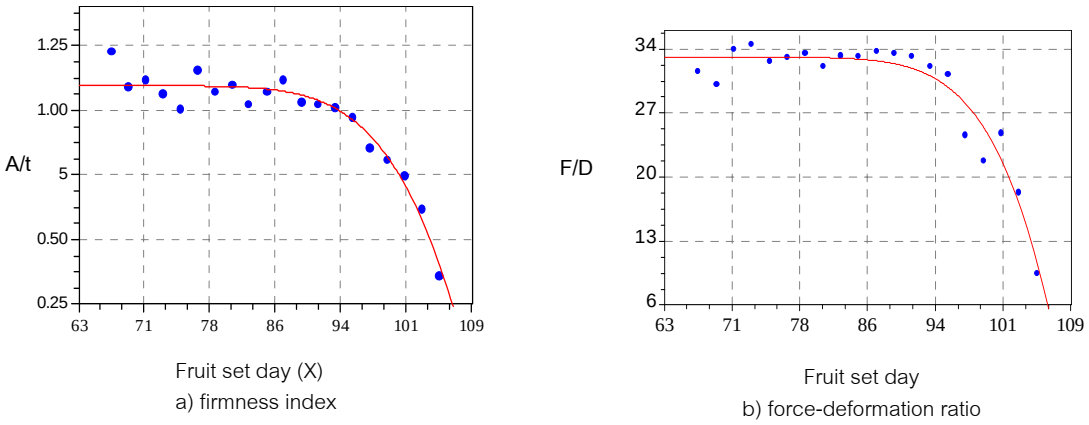

Figure 1 Graph fitted between A/t, F/D and fruit set day X for Chok Anan mango

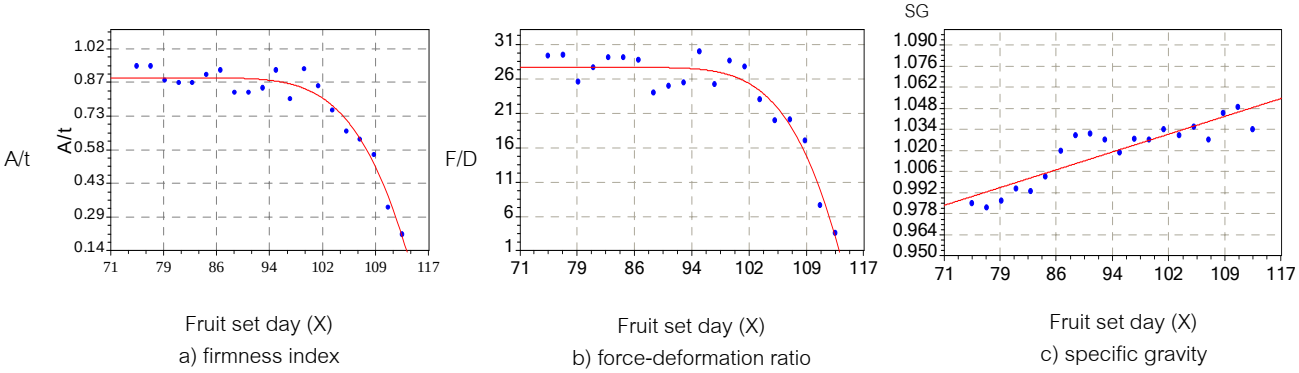

Figure 2 Graph fitted between A/t , F/D , SG and fruit set day for Nam Dok Mai mango

การทดสอบมะม่วงโชคอนันต์กับเครื่องทดสอบการกระแทกซึ่งพัฒนาโดย Chenและคณะ (1996) ความแน่นเนื้อที่กำหนดโดย ความเร่งสูงสุดต่อเวลา ณ ความเร่งสูงสุด (A/t) ของมะม่วงน้ำดอกไม้จะคงที่ที่ประมาณตัวเลข 1.1 จนถึงหลังจากวันบริบูรณ์ช่วงหนึ่ง หลังจากนั้นค่าดัชนีความแน่นเนื้อจะลดลงอย่างรวดเร็ว (Figure 1a) ลักษณะคงที่และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านวันบริบูรณ์มาช่วงหนึ่งเกิดขึ้นกับค่าความแน่นเนื้อที่ได้จากอัตราส่วน F/D ซึ่งทดสอบการกดแบบเกือบสถิตกับ UTM (Figure 1b) การหาความถ่วงจำเพาะจากมะม่วงโชคอนันต์ เมื่อนำมาเขียนกราฟกับอายุวันไม่มีความสัมพันธ์ที่ดี

การทดสอบมะม่วงน้ำดอกไม้กับเครื่องทดสอบการกระแทก (Figure 2a) และทดสอบการกดแบบเกือบสถิตกับ UTM

(Figure 2b) ได้ผลซึ่งมีทิศทางไปในแนวทางเดียวกันกับผลการทดลองซึ่งได้จากการทดลองในมะม่วงโชคอนันต์คือมีค่าดัชนีความแน่นเนื้อและอัตราส่วน (F/D) คงที่อยู่ระยะหนึ่งแล้วลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านวันบริบูรณ์ ในส่วนความถ่วงจำเพาะของมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามอายุวันที่เพิ่มขึ้น (Figure 2c)

วิจารณ์ผล

ทำการจำลองแนวโน้มของผลการทดลองกับเครื่องการทดสอบการกระแทกด้วยสมการ Weibull มีความสัมพันธ์ระหว่าง A/t กับอายุ X ดีมากทั้งมะม่วงโชคอนันต์และน้ำดอกไม้ซึ่งมีสมการดังนี้ $A/t = 1.09 - 245.62e^{-5.7E5x^{-2.5}}$ (โชคอนันต์, R^2=0.97) และ $A/t = 0.89 - 48.94e^{-1.6E8x^{-3.7}}$ (น้ำดอกไม้, R^2=0.98) ผลการทดลองดัชนีความแน่นเนื้อนี้สอดคล้องกับความแน่นเนื้อที่หาจากอัตราส่วนแรง F กับ การเปลี่ยนรูป D ที่ได้จาก UTM และสามารถจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง F/D กับอายุได้ดีมาก $F/D = 33.10 - 21813e^{-6.8E5x^{-2.5}}$ (โชคอนันต์, R^2=0.96) และ $F/D = 27.56 - 1659e^{-1.4E9x^{-4.2}}$ (น้ำดอกไม้, R^2=0.96) จากสมการ Weibull ความแน่นเนื้อของมะม่วงทั้งสองพันธุ์ไม่เปลี่ยนแปลงจากช่วงระยะอ่อนจนถึงระยะบริบูรณ์ แต่เมื่อเลยระยะเจริญเติบโตออกไปสู่ระยะแก่แล้วความแน่นเนื้อจะลดลง ค่าคงที่ในช่วงแรกของดัชนีความแน่นเนื้อของมะม่วงโชคอนันต์สูงกว่าค่าคงที่ดัชนีความแน่นเนื้อซึ่งได้จากมะม่วงน้ำดอกไม้แสดงให้เห็นว่ามะม่วงโชคอนันต์มีความแน่นเนื้อมากกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ สอดคล้องกับค่าคงที่ในช่วงแรกของ F/D ในมะม่วงโชคอนันต์มีค่ามากกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ จากการจำลองแนวโน้มนี้แสดงว่าระยะเวลาของการเจริญเติบโตของมะม่วงโชคอนันต์และน้ำดอกไม้มีอิทธิพลต่อความแน่นเนื้อของผลมะม่วง และการทดสอบหาความแน่นเนื้อกับเครื่องทดสอบการกระแทกมีผลการทดลองที่สอดคล้องกับความแน่นเนื้อซึ่งได้จากการทดลองกับ UTMซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน วิธีกระแทกสามารถระบุความแน่นเนื้อของมะม่วงได้ภายในกรอบทฤษฎียืดหยุ่น อีกทั้งมีความรวดเร็ว ไม่ทำลายผลไม้ และมีความถูกต้อง ความถ่วงจำเพาะของมะม่วงน้ำดอกไม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับอายุวันซึ่งเพิ่มขึ้นโดยมีสมการดังนี้ $SG = 0.87 + 0.0016x$ (R^2=0.90) แต่ความถ่วงจำเพาะของมะม่วงโชคอนันต์ไม่เพิ่มตามอายุวันแสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ของความถ่วงจำเพาะกับอายุการเจริญเติบโต

ในทางปฏิบัติมะม่วงทั้งสองพันธุ์เป็นมะม่วงรับประทานขณะสุก มะม่วงจะถูกเก็บเมื่อถึงวันบริบูรณ์ แล้วนำมาบ่มก่อนจึงนำมาบริโภคได้ ซึ่งเกษตรกรต้องเก็บเกี่ยวที่ประมาณวันบริบูรณ์ของมะม่วง เกษตรกรจึงไม่สามารถนำเอาความแน่นเนื้อซึ่งได้จากทั้งสองวิธีไปประยุกต์ใช้เพื่อบอกวันบริบูรณ์ดังกล่าวได้ เนื่องจากก่อนถึงวันบริบูรณ์ค่าความแน่นเนื้อค่อนข้างคงที่ไม่ว่ามะม่วงอายุน้อย (มะม่วงอ่อน) หรือมะม่วงโตเต็มที่นั้นแสดงความแน่นเนื้อใกล้เคียงกันมาก จึงอนุมานได้ว่าความแน่นเนื้อไม่สามารถถูกนำไปใช้แยกมะม่วงอ่อนออกจากมะม่วงแก่ได้

สรุป

ใช้เครื่องทดสอบการกระแทกและเครื่อง UTM ทำการกดแบบเกือบสถิตทดลองหาความแน่นเนื้อกับผลมะม่วงโชคอนันต์และน้ำดอกไม้จากระยะอ่อน บริบูรณ์จนถึงแก่ผลปรากฏว่าความแน่นเนื้อจะประมาณคงที่อยู่ในระยะอ่อนถึงบริบุรณ์และเลยวันบริบูรณ์ออกไปอีกจนถึงช่วงอายุหนึ่งแล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็ว สมการ Weibullจำลองแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง A/t และ F/D กับอายุ X ได้ดีมาก กับมะม่วงทั้งสองพันธุ์ มีความสัมพันธ์ที่ดีของความถ่วงจำเพาะ SG กับระยะเวลาการเจริญเติบโต X ของมะม่วงน้ำดอกไม้ $SG = 0.87 + 0.0016x$ (R^2=0.90) แต่ไม่มีความสัมพันธ์ในมะม่วงโชคอนันต์

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ADB มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนทุนวิจัย และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน ที่อนุเคราะห์เครื่องมือวัดและสถานที่ทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

ดวงตรา กสานติกุล, สายชล เกตุษา และ สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2527. ดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย.) ฉบับที่ 18: หน้า 55-60.

Chen, P. 1996. Quality evaluation technology for agricultural products. The Invited Paper for presentation at the International Conference on Agricultural Machinery Engineering, November 12-15, 1996. Seoul, Korea. 11 p.

Chen, P., M. Ruiz-Altisent, and P. Barreiro. 1996. Effects of impaction mass on firmness sensing of fruits. Transactions of the ASAE. Vol. 39, No.3 : pp. 1019-1023.

Chen, P. 2001. Application of elastic theory to high-speed impact sensing of fruits. Proceeding of the IFAC/CIGR Workshop on Control

Applications in Post-harvest and Processing Technology, October 3-5, 2001. Tokyo, Japan. pp. 21-26.

Delwiche, Michael J. 1987. Theory of Fruit Firmness Sorting By Impact Forces. Transactions of the ASAE. Vol. 30, No.4: pp. 1160-1166.

Delwiche, M.J., Arevalo, H., Mehlschau. J. 1996. Second Generation Impact Force Response Fruit Firmness Sorter. Transactions of the ASAE. Vol. 39, No.3: pp. 1025-1033.

Mohsenin, Nuri N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers. New York. 742 p.

Nahir, D.,Z. Schmilovitch and B. Ronen. 1986. Tomato grading by impact force response. ASAE Paper No. 86-3028. St. Joseph, Mich.

Reyes. M.U., R.E. Paull, M.R. Williamson, L.D. Gautz. 1996. Ripeness Determination of 'Solo' Papaya(Carica papaya L.) By Impact Force. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 12, No.6: pp. 703-708.