Agricultural Sci. J. 39 : 3 (Suppl.) : 331-334 (2008) ว. วิทย. กษ. 39 : 3 (พิเศษ) : 331-334 (2551)

สมบัติเชิงกลที่มีผลต่อการสุกแก่ของพุทรา
Mechanical Properties of Jujube as Related to Maturity

รัฐมนต์ จิตปรีดากร[1] นฤมล บุญกระจ่าง[1,2] และ บัณฑิต จริโมภาส[2,3]
Rattamon Jitpreedakorn[1], Narumon Boonkrachang[1,2] and Bundit Jarimopas[2,3]

Abstract

The purpose of this research was to determine mechanical properties of jujube (jumbo cultivar) in three maturity stages. Methodology was to determine the firmness, compression energy, Poisson's ratio and modulus of elasticity of jujube fruit. The fruit were tested with varying probes (a cylindrical, a spherical and a flat) mounted to the Universal Testing Machine at loading rate of 2.5, 25 and 250 mm/min Result showed a spherical probe at a loading rate of 2.5 mm/min could present the best fruit firmness. The firmness of immature, mature and over-mature jujube were 16.72, 16.06 and 13.37 N/mm which significantly related to the compression energy used (56.25, 47.83 and 39.41 mJ.). Poisson's ratio of three different maturities were 0.394, 0.383 and 0.426 and modulus of elasticity were 3.51, 3.91 and 2.91 MPa.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะหาคุณสมบัติเชิงกลของพุทราพันธุ์จัมโบ้ 3 ระยะการเจริญเติบโต (ก่อนสุก 7 วัน, สุก, หลังสุก 7 วัน) วิธีการศึกษาประกอบด้วย การหาสมบัติความแน่นเนื้อ พลังงานที่ใช้กด อัตราส่วนปังซอง และโมดูลัสของความยืดหยุ่นของผลพุทรา การทดสอบใช้หัวกด 3 แบบ คือ Cylindrical probe, Spherical probe และ Flat probe แต่ละหัวกดใช้ 3 อัตราความเร็ว คือ 2.5, 25 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ผลปรากฏว่าหัวกดแบบ Spherical probe ที่อัตราความเร็วของหัวกด 2.5 มิลลิเมตรต่อนาที บอกแนวโน้มความแน่นเนื้อของผลพุทราได้ดีที่สุด ค่าความแน่นเนื้อในระยะก่อนสุก 7 วัน, สุก และหลังสุก 7 วัน คือ 16.72, 16.06 และ 13.37 นิวตันต่อมิลลิเมตร ค่าพลังงานที่ใช้กดสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อ พลังงานในการกดเป็น 56.25, 47.83 และ 39.41 มิลลิจูล สำหรับระยะก่อนสุก 7 วัน, สุก และหลังสุก 7 วัน ตามลำดับ อัตราส่วนป๋วซองของพุทราทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต คือ 0.394, 0.383 และ 0.426 ตามลำดับ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น 3.51, 3.91 และ 2.91 MPa

คำนำ

พุทรา (*Zizyphus mauritiana* Lamk)เป็นผลไม้เขตร้อนอยู่ในfamiliy Rhamnaceae ที่ได้รับความนิยมสำหรับผู้บริโภคทั้งใน และต่างประเทศอย่างแพร่หลาย มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและมีศักยภาพการส่งออกสูงขึ้นเรื่อยๆโดยเฉพาะในประเทศไต้หวัน และ อินโดนีเซีย เนื่องจากพุทรามีรสชาติอร่อยคล้ายแอปเปิล แต่มีความหวานมากกว่านอกจากนี้พุทรามีรูปร่างคล้ายแอปเปิล จึงง่ายต่อการบรรจุหีบห่อ ผลพุทราที่ส่งไปขายยังต่างประเทศส่วนใหญ่เป็นประเภทรับประทานผลสด พุทราพันธุ์จัมโบ้เป็นพันธุ์ที่นิยมกันมากอีกพันธุ์ พันธุนี้มีชื่อเรียกอื่นๆหลายชื่อ เช่น บอมแอปเปิล บอมเปิล หรือบอมยักษ์ ทั้งนี้เนื่องจากพุทราพันธุ์นี้ ผลมีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากกว่า 100 กรัมขึ้นไป มีเนื้อมาก และแน่นละเอียด กรอบ เมล็ดมีขนาดเล็กจึงเป็นที่นิยมบริโภคกันมาก คุณภาพของพุทราขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษาในระหว่างการเจริญเติบโต ความแก่ของผล การเก็บเกี่ยว และการปฏิบัติต่อพุทราภายหลังการเก็บเกี่ยว (วิจิตร, 2529) พุทราพันธุ์จัมโบ้ ใช้ระยะเวลา 4-5 เดือนหลังดอกบานจึงเก็บเกี่ยวได้ โดยเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวผลพุทราเมื่อผลมีสีเขียวอ่อน ผิวบริเวณขั้วผลเต่ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลที่มีผลต่อการสุกแก่ของพุทราพันธุ์แอปเปิล เพื่อใช้เป็นข้อมูลระบุความสุกแก่ของผลพุทราที่เหมาะสมต่อไป

[1] นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140
[1] Graduate student, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Nakohnpathom 73140
[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] Postharvest Technology Innovation Center, Kasetsart University
[3] ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140
[3] Professor, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Nakohnpathom 73140

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวแปรจำแนกกลุ่ม คือ ระยะการเจริญเติบโต แบ่งผลพุทราออกเป็น 3 ระยะการเจริญเติบโต คือ ก่อนสุก 7 วัน (immature) สุกพอดี (mature) และหลังสุก 7 วัน (over-mature) จากความชำนาญของเกษตรกร หาอัตราส่วนปัวซอง โดยคัดเลือกผลพุทราขนาดสม่ำเสมอ จำนวน 10 ผลต่อระยะการเจริญเติบโต เจาะเนื้อของผลพุทราให้เป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร จากนั้นใช้เครื่อง Universal Testing Machine (Instron 5569) UTM ที่ติดตั้งหัวกด Flat probe ใช้แรงกดครึ่งหนึ่งของจุดแตกหัก คำนวณหาอัตราส่วนปัวซองจากเส้นผ่านศูนย์กลางหลังกดลบเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนกดหารด้วยระยะยุบตัวของตัวอย่าง ศึกษาสมบัติความแน่นเนื้อ พลังงานที่ใช้กด และโมดูลัสความยืดหยุ่นของพุทรา โดยใช้เครื่อง UTM ที่ติดตั้งหัวกด Cylindrical probe ขนาด 3.6 มิลลิเมตร ที่ 3 อัตราความเร็วของหัวกด 2.5, 25 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยวางผลพุทราในกระบะทรายเพื่อให้สามารถอ่านระยุบตัวตรงจุดสัมผัสกับหัวกดได้แม่นยำ (Jarimopas et al., 2007) โดยทำการทดสอบกดพุทรา 4 รอยต่อผล ใช้พุทรา 10 ผลต่ออัตราความเร็วของหัวกด บันทึกค่าพลังงานที่ใช้ในการกดจากเครื่อง UTM ทดสอบซ้ำ โดยเปลี่ยนหัวกดจาก Cylindrical probe เป็น Spherical probe ขนาด 3.6 มิลลิเมตร และ Flat probe คำนวณหาค่าความแน่นเนื้อจากค่าความลาดชันของกราฟแรงการเปลี่ยนรูปที่ 30 เปอร์เซ็นต์ของแรงกดสูงสุด คำนวณหาโมดูลัสความยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{3}{4}\frac{(1-\upsilon^2)}{\sqrt{R}}\frac{F}{D^{1.5}}$$ สำหรับ spherical probe (Jarimopas & Rattanadat, 2007)

$$E = \frac{F}{D}\frac{(1-\upsilon^2)}{2a}$$ สำหรับ cylindrical probe (Mohsenin, 1996)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ระยะการเจริญเติบโต อัตราภาระและชนิดหัวกดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแน่นเนื้อที่ $p < 0.05$ สำหรับหัวกดทรงกลมที่อัตราภาระหนึ่ง ๆ ความแน่นเนื้อของพุทราลดลง เมื่ออายุพุทรามากขึ้น (Table 1) สอดคล้องกับ Chen (1996) อธิบายว่าสมบัติความแน่นเนื้อของผลไม้จะสัมพันธ์กับอายุการเก็บเกี่ยวของผลไม้หลายชนิด โดยค่าความแน่นเนื้อของผลลดลงเมื่อผลไม้เริ่มแก่ และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลไม้เริ่มสุก และที่ระยะความเติบโตหนึ่ง ๆ อัตราความเร็วของหัวกดที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อของพุทราสูงขึ้นด้วย ระยะการเจริญเติบโต อัตราภาระ และชนิดหัวกดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อพลังงานกดที่ $p < 0.05$ สำหรับหัวกดประเภทหนึ่ง ๆ (ในระหว่างหัวกดแบบทรงกระบอกและทรงกลม) และความเร็วหัวกดหนึ่ง ๆ พลังงานกดลดลงเมื่อผลพุทรามีวัยเพิ่มขึ้น (Table 2) อัตราส่วนปัวซองของพุทราทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต ที่ระยะก่อนสุก 7 วัน และสุก จะได้ค่าอัตราส่วนปัวซองใกล้เคียงกัน คือ 0.394 และ 0.383 และจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.426 ในระยะหลังสุก 7 วัน

Table 1 Firmness of jujube as affected by maturity, loading rate and probe type

Maturity	Loading rate(mm/min)	Firmness (N/mm)		
		cylindrical	spherical	flat
Immature	2.5	27.86±4.59 abcdef	16.72±1.42 abc	126.37±16.60 h
	25.0	31.66±4.39 bcdef	17.19±2.71 abc	129.93±17.93 hi
	250.0	33.19±6.12 def	19.05±3.68 abcde	142.51±42.25 ij
mature	2.5	34.23±2.37 ef	16.06±3.02 ab	132.02±13.84 hi
	25.0	35.71±4.91 f	17.99±2.18 abcd	137.67±18.79 hij
	250.0	40.14±8.49 f	18.92±3.07 abcde	147.93±31.50 j
Over-mature	2.5	25.72±4.13 abcdef	13.37±2.33 a	112.46±14.24 g
	25.0	26.44±3.02 abcdef	15.29±1.31 a	141.59±24.55 ij
	250.0	32.21±7.49 cdef	15.78±1.79 ab	126.63±23.57 h

Table 2 Compression energy of jujube as affected by maturity, loading rate and probe type

Maturity	Loading rate(mm/min)	Compression Energy (mJ)		
		cylindrical	spherical	flat
Immature	2.5	65.74±16.09 a	56.25±6.30 a	1366.41±310.43 f
	25.0	60.74±11.22 a	58.36±11.42 a	1199.24±214.10 de
	250.0	52.28±13.24 a	53.76±11.36 a	1208.99±375.15 de
mature	2.5	49.33±8.56 a	47.83±6.45 a	886.75±230.69 b
	25.0	46.60±10.97 a	47.48±5.95 a	997.31±103.10 bc
	250.0	47.45±10.50 a	51.29±9.95 a	1043.28±160.82 c
Over-mature	2.5	38.96±8.33 a	39.41±3.82 a	1228.08±187.32 e
	25.0	40.80±12.51 a	42.15±2.84 a	1074.17±286.46 cd
	250.0	44.95±11.31 a	44.80±9.42 a	1209.69±201.91 de

ระยะการเจริญเติบโต อัตราภาระ และชนิดหัวกดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อโมดูลัสยังที่ $p < 0.05$ (Table 3) แนวโน้มอิทธิพลของทั้ง 3 ปัจจัยควบคุมต่อโมดูลัสยัง ให้แนวโน้มที่ไม่แน่นอน

Table 3 Modulus of elasticity of jujube as affected by maturity, loading rate and probe type

Maturity	Loading rate(mm/min)	Modulus of elasticity (kPa)		
		cylindrical	spherical	flat
Immature	2.5	2863.78±602.36 ab	3507.69±776.26 abcd	5809.82±1798.67 fg
	25.0	3651.38±670.22 abcd	2863.44±794.18 ab	6027.36±1361.04 fg
	250.0	3611.26±686.03 abcd	3387.26±740.60 abcd	6723.00±2805.46 g
mature	2.5	3908.59±329.63 bcd	3908.64±1414.24 bcd	6927.84±1449.68 g
	25.0	4364.75±651.56 de	3635.47±1311.82 abcd	6771.44±1702.57 g
	250.0	4201.20±928.99 cde	2833.04±752.70 ab	6873.50±1383.39 g
Over-mature	2.5	2746.12±595.99 ab	2908.70±1063.63 ab	4419.07±936.18 de
	25.0	2892.05±409.57 ab	2533.08±271.64 a	5883.51±1364.61 fg
	250.0	3092.61±660.98 abc	2387.16±422.23 a	5285.01±1293.84 ef

สรุป

หัวกดแบบ Spherical probe ที่อัตราความเร็วของหัวกด 2.5 มิลลิเมตรต่อนาที บอกแนวโน้มความแน่นเนื้อของผลพุทราได้ดี ซึ่งเหมาะสมสำหรับการใช้ทดสอบมากที่สุด ค่าความแน่นเนื้อในระยะก่อนสุก 7 วัน, สุก และหลังสุก 7 วัน คือ 16.72, 16.06 และ 13.37 นิวตันต่อมิลลิเมตร ค่าพลังงานที่ใช้กดสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อ ในระยะก่อนสุก 7 วัน, สุก และหลังสุก 7 วัน ใช้พลังงานในการกด 56.25, 47.83 และ 39.41 มิลลิจูล ตามลำดับ อัตราส่วนปัวซองของพุทราทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโต คือ 0.394, 0.383 และ 0.426 ตามลำดับ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นบอกแนวโน้มความสุกแก่ได้ไม่ดีเท่ากับค่าความแน่นเนื้อ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการสุ่มเก็บตัวอย่างจากความชำนาญของเกษตรกร

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ที่สนับสนุน อุปกรณ์การวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กวิศร์ วานิชกุล, 2537, พุทราพันธุ์ดี: จากอดีตถึงปัจจุบัน, บ้วนชวนคุย, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, หน้า 7-14

Chen, P. 1996. Quality evaluation technology for agricultural products. Invited paper presented at he International Conference on Agricultural Machinery Engineering, November 12-15, Seoul Korea.

Jarimopas, B., Sirisomboon, P., Sothornwit, R. & Terdwongworakul, A. 2007. The Development of Engineering Technology to Improve Tropical Fruit Production in Developing Countries. In Focus on Food Engineering Research and Development. Nova Science Publishers, New Yor. (in kpress)

Jarimopas , B. and N. Ruttanadat. 2007. Development of a young coconut fruit trimming machine. Journal of Food Engineering 79(2007):752-757.

Mohsenin, N.N. 1996. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Publisher Inc. Second Updated Revised Edition. Australia 891 p.