

ภาคผนวก จ

ผลงานการทำงานวิจัย

อัตราส่วนของและโมดูลัสความยืดหยุ่นของผลมะเขือยาว

Poisson's Ratio and Modulus of Elasticity of Snake Egg-plant

บัณฑิต จริโมภาส¹ สุกัญญา วิชชุกิจ² บุญยวิษ ศิริสวัสดิ์³
 นิติพงษ์ ไชสิน³ และ พนิดา บุษปฤกษ์⁴
 Bundit Jarimopas¹ Suganya Vichukit² Boonvit Sirisawat³
 Nitipong Jaisin³ and Phanida Bhusaparuk⁴

ABSTRACT

This research was to determine some mechanical properties of snake egg-plant with respect to storage time t . Methodology consisted of a) determination of Poisson's ratio μ , and b) determination of modulus of elasticity E by means of radial compression and die loading tests. Results showed that the force direction applied on sample of the snake egg-plant fruit significantly affected on μ . Average μ along fruit axis was 0.252 ± 0.082 while μ along transverse axis was 0.166 ± 0.047 . The position of snake egg-plant sample did not significantly affect on E . Strength of snake egg-plant was reducing with respect to storage time. The equations of relationship between E and t for radial compression were $E_{R, \mu}$ (along fruit axis) = $475.8 e^{-0.03 t}$ ($R^2 = 0.81$), $E_{R, T}$ (along transverse axis) = $530.83 e^{-0.04 t}$ ($R^2 = 0.95$), and for die loading $E_D = 523.6 e^{-0.07 t}$ ($R^2 = 0.99$).

Key words : Poisson's ratio, Modulus of Elasticity, Snake Egg-plant

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะหาอัตราส่วนของและโมดูลัสความยืดหยุ่นของผลมะเขือยาวกับระยะเวลาเก็บรักษา t วิธีการประกอบด้วย ก. การหาอัตราส่วนของ μ ข. การหาโมดูลัสความยืดหยุ่น E โดยวิธี Radial Compression และ die loading ผลปรากฏว่า ก. ทิศทางการรับแรงของผลมะเขือยาว มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า μ และ μ เปลี่ยนตามแนวแกนผลเท่ากับ 0.252 ± 0.082 μ เปลี่ยนตามแนวขวางผลเท่ากับ 0.1667 ± 0.047 ข. ตำแหน่งของตัวอย่างในผลมะเขือยาว (ใกล้หัวผล กลางผล และปลายผล) ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อ

คำสำคัญ : อัตราส่วนของ โมดูลัสความยืดหยุ่น ผลมะเขือยาว

^{1,3} ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakorn Pathom 73140, Thailand.

² ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakorn Pathom 73140, Thailand.

⁴ โครงการพัฒนาระบบบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Post Graduate Education and Research Development Project in Post-harvest Technology, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakorn Pratom 73140, Thailand.

Corresponding author : Tel. 0-3435-1896, Fax. 0-3435-1896, E-mail address: fengbdi@ku.ac.th

ค่า E ($P < 0.05$) มะเขือยาวที่เก็บรักษาไว้จะมีความแข็งแรงลดลง ซึ่งอธิบายได้ด้วยสมการความสัมพันธ์แบบเอ็กซีโพเนนเชียล ของ E กับ t สำหรับการทดสอบแบบ Radial Compression คือ $E_{R.a}$ (ตามแนวแกน) = $475.8 e^{-0.03t}$ ($R^2 = 0.81$), $E_{R.T}$ (ตามแนวขวางแกน) = $530.83 e^{-0.04t}$ ($R^2 = 0.95$) และการทดสอบแบบ die loading $E_D = 523.6 e^{-0.07t}$ ($R^2 = 0.99$) ตามลำดับ

บทนำ

มะเขือยาวเป็นผักเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีอนาคตไกล ปัจจุบันให้ผลตอบแทนประมาณ 16,550 บาทต่อไร่ ทั้งนี้ได้มีการส่งเสริมการส่งออกมะเขือยาวไปจำหน่ายยังต่างประเทศอีกด้วย ข้อดีของมะเขือยาวคือปลูกง่าย ให้ผลผลิตสามารถได้รับประทานได้ทั้งแบบสดและแบบปรุงสุกพันธุ์มะเขือยาวที่นิยมบริโภคได้แก่ พันธุ์ทอนาโด ดาร์กตราคอน อะโกรา และคาซิโน (กรมวิชาการเกษตร, 2547) โดยทั่วไปผู้บริโภคจะตรวจสอบความสดของมะเขือยาวโดยการกดด้วยนิ้วมือลงบนผิวมะเขือยาว มะเขือยาวที่สดจะแข็ง และเนื้อแน่น ส่วนมะเขือยาวที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวหลายวันจะนิ่มและเนื้อแฟบ ความแน่นเนื้อและความแข็งแรงของผัก ผลไม้ สามารถระบุได้ด้วยสมบัติเชิงกลต่างๆ เช่น ความแน่นเนื้อ ดัชนีความแน่นเนื้อ โมดูลัสความยืดหยุ่น (E) อัตราส่วนปัวซอง (μ) มีงานวิจัยในอดีตมากที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลดังกล่าว (Chen et al., 1996; Jarimopas, 1984; Jindal and Techasena, 1985; Mohsenin, 1996) กับผลไม้ไทย เช่น มะม่วง (บัณฑิตและอุดมศักดิ์, 2547) ชมพู (บัณฑิตและสาริกา, 2549) ลำไย (บัณฑิตและประทีป, 2530) เทคนิคที่นิยมใช้เป็นพวก Contact compression โดยใช้หัวกดแบบต่างๆ เช่น แผ่นแบนแข็ง (Jarimopas, 1984; บัณฑิตและประทีป, 2530) หัว Plunger (บัณฑิตและอุดมศักดิ์, 2547; Chen, 2001; บัณฑิต และ สาริกา, 2549) หัว Die (Sirisombon et al., 2000) โมดูลัสความยืดหยุ่นของชมพูที่โตเต็มที่ 4 พันธุ์ ได้แก่ทับทิมจันทร์ พูลเกล้า เพชรสามพราน และเพชรสายรุ้ง มีค่า $\cong 242$ KPa (บัณฑิตและสาริกา, 2549) ลำไยพันธุ์เบ๊ยวเขียวมีโมดูลัสความยืดหยุ่น ($E = 3.47$ Mpa) มากกว่าพันธุ์ดอ และสีชมพู (บัณฑิตและประทีป, 2530) การเอาผลลำไยแช่เย็นจะทำให้ค่า E เพิ่มขึ้น $\cong 19\%$ Mohsenin (1996) ได้รายงานว่าการวัดหา μ โดยตรงจากการกด Cylindrical specimen ของแอปเปิ้ลพันธุ์ McIntosh และใช้ Microscope ให้ค่า $\mu = 0.34$ อย่างไรก็ตาม μ เฉลี่ยของแอปเปิ้ลหลายๆพันธุ์ $\cong 0.26$ Bourne (1979) แนะนำว่าสมบัติเชิงกลควรคำนวณหาจากการกด

น้อยๆ คือประมาณ 50% หรือน้อยกว่าการกดแตก (Rupture compression) ปัจจุบันยังไม่ปรากฏข้อมูลด้านสมบัติเชิงกลหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะเขือยาว งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาอัตราส่วนปัวซองและโมดูลัสความยืดหยุ่นของผลมะเขือยาวกับระยะเวลาเก็บรักษา

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

ก. การเตรียมตัวอย่างการทดลอง

คัดเลือกมะเขือยาว (พันธุ์ทอนาโด) ที่มีลักษณะของผลค่อนข้างตรง และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3.5 ซม. ความยาวประมาณ 30 ซม. และมีอายุหลังการเก็บเกี่ยว 1 วัน จำนวน 50 ผล ใช้ die ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 50 มม. เจาะเนื้อผลมะเขือยาว ตามแนวขวางผลจาก 3 ส่วนของผลคือ ใกล้หัวผล กลางผล และปลายผล (อย่างละ 1 ชิ้น) โดยตัดชิ้นทดสอบให้มีความยาวเหลือ 30 มม. จำนวน 5 ผล และใช้ die เจาะเนื้อผลมะเขือยาวอีก 5 ผลตามแนวแกนผล จาก 3 ส่วนของผลคือ ใกล้หัวผล กลางผล และปลายผล (อย่างละ 1 ชิ้น) ตัดชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นให้มีความยาว 30 มม.

ข. การทดสอบหาอัตราส่วนปัวซอง

นำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น แต่ละแนวทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ Instron รุ่น 5569 (UTM.) โดยวางชิ้นทดสอบให้แผ่นแบนแข็งของเครื่อง UTM. กดบนพื้นที่ตัดขวางของชิ้นตัวอย่างมะเขือยาวด้วยความเร็ว 25 มม./นาที จนถึงระดับแรง 15 นิวตัน หยุดและวัดความเปลี่ยนแปลงแนวขวางของชิ้นทดสอบ จากนั้นจึงกดต่อจนถึงจุดชั่วคราว พร้อมบันทึกผล

อัตราส่วนปัวซองหาได้จากสมการ

$$\mu = \frac{\Delta W / W_0}{\Delta L / L_0} \dots \dots \dots (1)$$

กำหนดให้

- μ = อัตราส่วนปัวซอง
- ΔW = เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบที่เปลี่ยนแปลง (มม.)
- W_0 = เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ

เมื่อเริ่มต้นการทดสอบ (มม.)
 ΔL = ความยาวขึ้นทดสอบที่เปลี่ยนแปลง (มม.)
 L_0 = ความยาวของขึ้นทดสอบเมื่อเริ่มต้นทดสอบ (มม.)

ค. การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของผลมะเขือยาว

ใช้การทดสอบ 2 วิธีคือ Radial Compression และ die loading โดยทำทุกๆ 2 วัน วันละ 5 ขึ้นทดสอบ ทำซ้ำกัน 5 วัน สำหรับวิธีแรก เตรียมขึ้นทดสอบเหมือนกับวิธีหาอัตราส่วนปัวซอง (Figure 1) กดขึ้นตัวอย่างมะเขือยาว บนด้านยาวของขึ้นตัวอย่างทรงกระบอกด้วยแผ่นแบนแข็ง ของเครื่อง UTM. ที่ความเร็ว 25 มม./นาที (ASAE Standard, 1998) โดยขึ้นทดสอบอยู่ในแนวราบ จนกระทั่งขึ้นทดสอบแตกเสียหาย แล้วบันทึกผล ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น E_R หาได้จากสมการ

$$E_R = \frac{1.927(1 - \mu^2) D^{0.2}}{L} \frac{F}{\Delta^{1.2}} \quad (\text{Jindal และ Techasena, 1985}) \dots\dots\dots(2)$$

กำหนดให้

E_R = โมดูลัสความยืดหยุ่นโดยการทดสอบแบบ Radial Compression (กิโลปาสคาล)
 μ = อัตราส่วนปัวซอง
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของขึ้นทดสอบ (มม.)
 F = แรงกด (นิวตัน)
 Δ = การเปลี่ยนรูป (มม.)
 L = ความยาวของขึ้นทดสอบ (มม.)
 F และ Δ ที่ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์วัดจากจุด 50% ของจุดแตก

สำหรับวิธี die loading แบ่งมะเขือยาวออกเป็น 3 ส่วนคือ ปลายผล, กลางผล และใกล้ขั้วผล แบ่งครึ่งมะเขือยาวแต่ละส่วนตามแนวแกนผล แล้วกดแต่ละครึ่งท่อนด้วย die เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. ที่ติดตั้งกับเครื่อง UTM. ด้วยความเร็ว 25 มม./นาที (Figure 2) จนกระทั่งถึงจุดแตก (Rupture) ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น E_D ของผลมะเขือยาวหาได้จากสมการ

$$E_D = \frac{F(1 - \mu^2)}{\Delta \cdot 2a} \quad (\text{Mohsenin, 1996}) \dots\dots\dots(3)$$

กำหนดให้

E_D = โมดูลัสความยืดหยุ่นโดยการทดสอบ

แบบ die loading (กิโลปาสคาล)

μ = อัตราส่วนปัวซอง

F = แรงกระทำ (นิวตัน)

Δ = การเปลี่ยนรูป (มม.)

a = เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด (มม.)

F และ Δ ที่ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์วัดจากจุด 50% ของจุดแตก

ผลและวิจารณ์

1. อัตราส่วนปัวซอง

Table 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม SPSS ของค่าอัตราส่วนปัวซอง (μ) ของผลมะเขือยาวเนื่องจากปัจจัยควบคุม ได้แก่ ตำแหน่งของตัวอย่างมะเขือยาว (Position) และทิศทางการรับแรงของมะเขือยาว (Direction)

ตำแหน่งตัวอย่างมะเขือยาวจากผลมะเขือยาวไม่มีอิทธิพลต่อค่า μ ของมะเขือยาวที่ระดับความสำคัญทางสถิติ 5% แต่ทิศทางการรับแรงของผลมะเขือยาวมีอิทธิพลต่อค่า μ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าเฉลี่ย μ ของผลมะเขือยาวที่ซื้อใหม่มาจากตลาด ค่าตามแนวแกน เท่ากับ 0.252 ± 0.082 และตามแนวขวาง เท่ากับ 0.166 ± 0.047

2. การหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

เมื่อกดขึ้นตัวอย่างมะเขือยาวด้วยวิธี Radial Compression มะเขือยาวจะเปลี่ยนรูปมากขึ้น (Figure 3) การเพิ่มแรงกด F ทำให้ D เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุด R (Rupture) มะเขือยาวแตก แรง F ลดลงทันที พฤติกรรมของมะเขือยาวที่จุดแตกกำหนดได้ด้วยแรง F_R และการเปลี่ยนรูป D_R

เมื่อใช้ค่า F และ D ที่ 50% ของแรงทำให้แตก F_R คำนวณหา $E_{R,a}$ โมดูลัสความยืดหยุ่นของตัวอย่างมะเขือยาวที่รับแรงตามแนวแกนผล ปรากฏว่า $E_{R,a}$ ของมะเขือยาวลดลงตามเวลาเก็บรักษา t อย่างเป็นสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล $E_{R,a} = 475.8 e^{-0.03t}$ ($R^2=0.81$) (Figure 4) ทำนองเดียวกันโมดูลัสความยืดหยุ่นของตัวอย่างที่รับแรงในแนวขวางผล $E_{R,T}$ เท่ากับ $530.83 e^{-0.04t}$ ($R^2=0.95$) (Figure 5) นี้อาจอนุมานได้ว่ามะเขือยาวสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (น้ำหนักมะเขือยาวลดลง 31.3% หลังการเก็บรักษา 8 วัน) ทำให้เซลล์ที่บริบูรณ์ในวันเริ่มต้นเก็บรักษา สูญเสียน้ำไปด้วยและยุบตัวลง เกิดการเหี่ยวและความแข็งแรงลดลง ดังนั้นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจึงลดลง ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวิธี Radial Compression เมื่อวันแรกของการเก็บรักษา

ของตัวอย่างที่รับแรงตามแนวแกนและตามแนวขวาง แกนเป็น 451.8 และ 550 KPa ตามลำดับ

Figure 6 แสดงการตอบสนองของมะเขือยาวเป็นแรง F และการเปลี่ยนรูป D ของการกดวิธี die loading เมื่อเพิ่มแรงกดกระทำกับตัวอย่างมะเขือยาว ผิวเปลือกจะเปลี่ยนรูปด้วยการยุบตัวลงในทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวกด เมื่อแรงกดมากขึ้น การเปลี่ยนรูป D เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดแตก R (Rupture Point) เปลือกของผลมะเขือยาวแตก และหัว Die จะแทงทะลุเปลือกเข้าไปในเนื้อมะเขือยาว ทำให้ F ลดลงและ D เพิ่มขึ้น จุด R กำหนดได้โดยแรงกดแตก F_R และการเปลี่ยนรูป D_R

Figure 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยการทดสอบแบบ die loading (E_D) กับเวลาเก็บรักษา (t) พบว่าเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล $E_D = 523.61e^{-0.07t}$ ($R^2=0.99$) โดยโมดูลัสความยืดหยุ่นในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 521.2 KPa ค่า E_D ของผลมะเขือยาว ไม่ได้รับอิทธิพลจากตำแหน่งตัวอย่างของผลมะเขือยาวในผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 5% อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสความยืดหยุ่นกับเวลาการเก็บรักษาของวิธี die loading สูงกว่าวิธี Radial Compression กล่าว

$$\text{คือ } \frac{dE_D}{dt} : \frac{dE_{R,T}}{dt} : \frac{dE_{R,a}}{dt} = 2.56 : 1.48 : 1$$

นี้อาจอนุมานได้ว่าวิธี die loading น่าจะไว (Sensitive)กว่าในการตรวจสอบสมบัติทางเนื้อสัมผัส (Texture) ของผลมะเขือยาวที่ระบุโดยโมดูลัสความยืดหยุ่น

สรุป

ส่วนปลายผล กลางผล ใกล้หัวผล ของผลมะเขือยาว ให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน เวลาเก็บรักษาทำให้โมดูลัสความยืดหยุ่นของผลมะเขือยาวลดลง สอดคล้องกับสภาพความสดของผลมะเขือยาวที่ซื้อขายในตลาดปัจจุบันการรับแรงของผลมะเขือยาวในแนวขวางผลให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น และอัตราการเปลี่ยนแปลงโมดูลัสกับเวลาการเก็บรักษาสูงกว่าการรับแรงของผลมะเขือยาวในแนวแกนผล เป็นไปได้ที่จะใช้โมดูลัสความยืดหยุ่นของวิธี die loading เป็นดัชนีตัวหนึ่งตรวจสอบความสดใหม่ของมะเขือยาวสำหรับการตลาดเพราะว่ามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่า

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนานวัตกรรมศึกษาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่กรุณาสับสนุนการวิจัย

Table1 Analysis of variance of Poisson's ratio of snake egg plant as affected by position and direction.

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean square	F	S
Corrected Model	8.013-02	5	1.603-02	3.854	.011
Intercept	1.308	1	1.308	314.515	.000
Position	1.653-02	2	8.267-03	1.988	.159
Direction	5.310-02	1	5.310-02	12.769	.002
Position*Direction	1.049-02	2	5.247-03	1.262	.301
Error	1.488	24	4.159-03		
Total	0.180	30			
Corrected Total		29			

Remark:df = degree of freedom ; F = F Statistics ; S = Significance

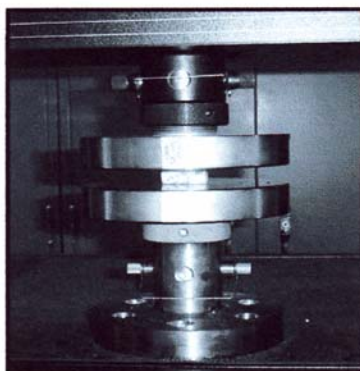


Figure 1 Determination of modulus of elasticity of snake egg plant by means of radial compression.

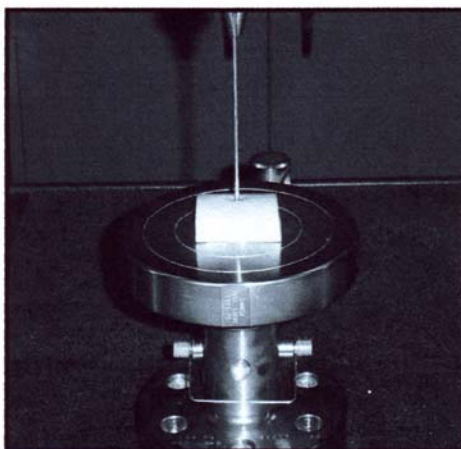


Figure 2 Determination of elasticity modulus of snake egg plant by means of die loading test..

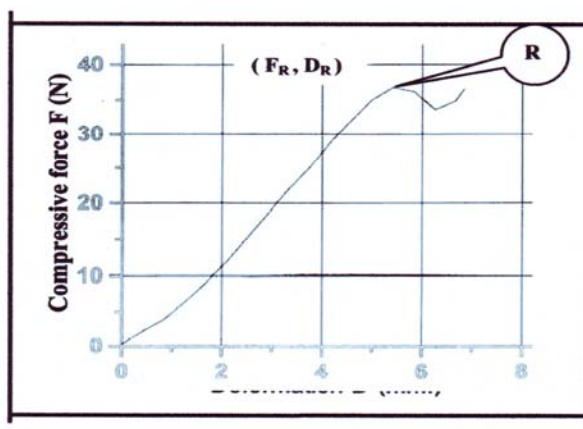


Figure 3 Force-deformation response of snake egg plant by means of radial compression.

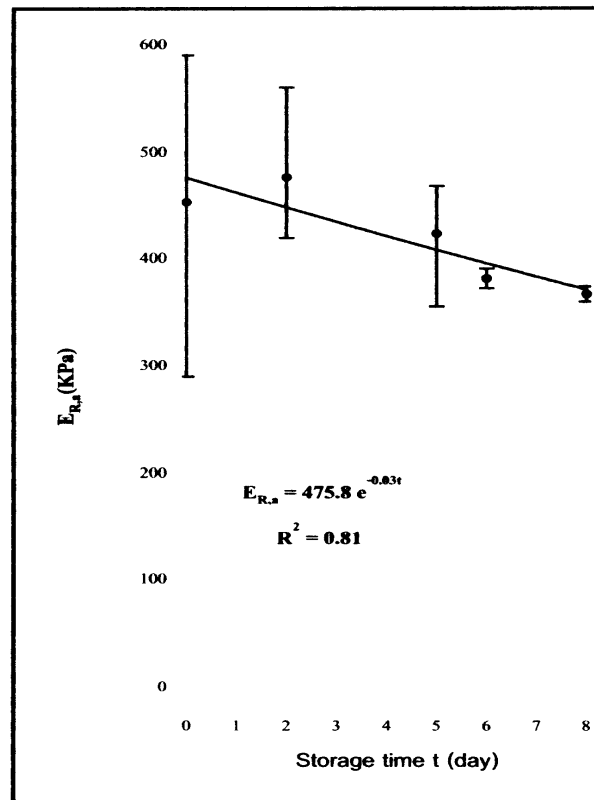


Figure 4 Graph fitted between modulus of elasticity ($E_{R,a}$) and storage time (t) by means of radial compression test upon axial specimen.

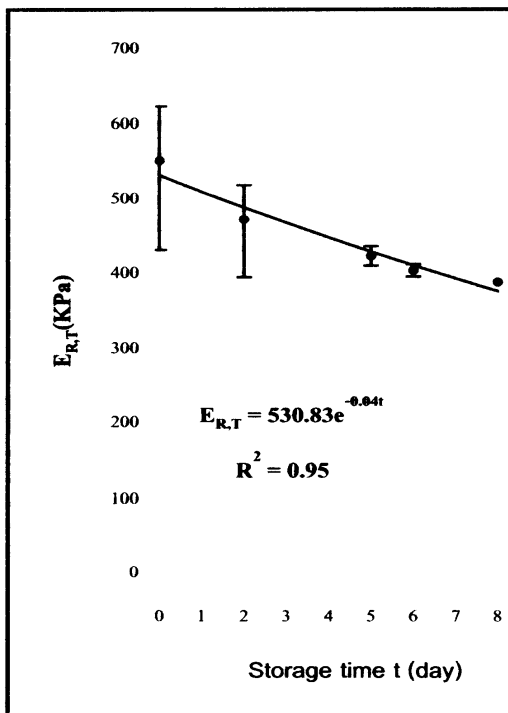


Figure 5 Graph fitted between modulus of elasticity ($E_{R,T}$) and storage time by means of radial compression test upon transverse specimen.

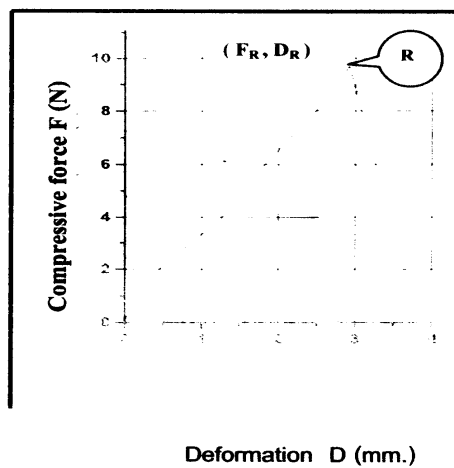


Figure 6 Force-deformation response by means of die loading.

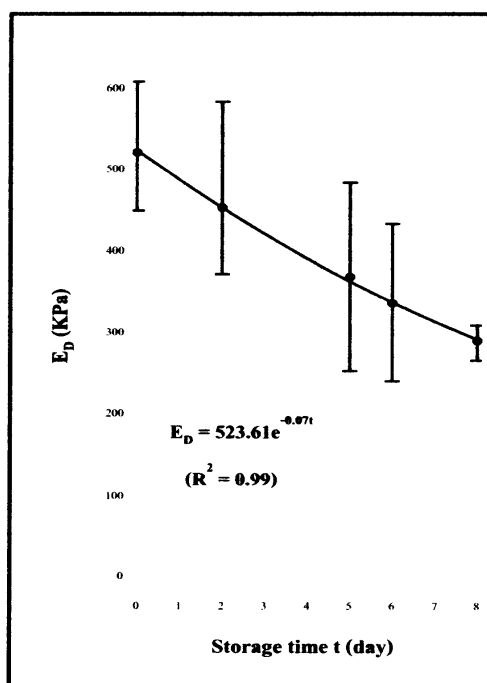


Figure 7 Graph fitted between modulus of elasticity E_D and storage time by the test of die loading.

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. แหล่งที่มา: <http://www.dpae.go.th/library/html/detail/paddy/A16.htm>, 20 ธันวาคม 2547.
- บัณฑิต จริโมภาส และประทีป ศรีบัวเอี่ยม. 2530 คุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของผลลำไยภายใต้การบีบอัดเกือบสถิตย์ ผลงานวิจัยเสนอ ณ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 25 สาขาวิศวกรรมศาสตร์ ณ ห้องประชุมอาคารวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน 3-6 กุมภาพันธ์ 2530.
- บัณฑิต จริโมภาส และ อุดมศักดิ์ กิจทวี. 2547. การรับรู้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงภายใต้การกระทำกระแทก. วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 18(52): 19-26.

- บัณฑิต จริโมภาส และสาริกา สารการ. 2549. สมบัติเชิงกลของผลชมพูไทย. บทความวิจัยนำเสนอในการประชุมวิชาการครั้งที่ 7 เรื่องงานวิจัยเพื่อเพิ่มศักยภาพสินค้าเกษตรไทยในตลาดโลก จัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 23-24 มกราคม 2549.
- ASAE Standards. 1998. Compression test of food materials of convex shape. ASAE 5368.3 Mar 95. p 554-559.
- Bourme, M. C. 1979. Rupture test .vs. small-strain tests in predicting consumer response to texture. Food Technology. 33(10) : 67-76.
- Chen, P., M. Ruiz-Altisent and P. Barreiro. 1996. Effect of impacting mass on firmness

- sensing of fruits. Trans of the ASAE 39(3). 1019-1023.
- Chen, P. 2001. Application of elastic theory to high-speed impact sensing of fruits. Proceedings of the 3rd IFAC/CIGR Workshop on Control Applications in Post-harvest and Processing Technology. October 3-5, 2001. Tokyo, Japan, pp. 21-26.
- Jarimopas, B. 1984. Failure of Apples Under Dynamic Loading. Unpublished D.Sc. Thesis. Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel. 157p.
- Jindal, V. K. and O.Techasena. 1985. Compression test for measuring the firmness of potatoes. ASAE paper no. 85-1072. 18 p.
- Mohsenin, N. N. 1996. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Publisher Inc. Thailand 841 p.
- Sirisombon, P., M. Tanaka, T. Akinaga and T. Kojima. 2000. Evaluation of the textural properties of Japanese pear. J. Texture Studies 31 (2000) : 665-677.

Received 15 September 2005

Accepted 14 February 2006