



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพและความอ่อนแก่ของขิงสด

Study of assessment of quality and maturity of fresh ginger

สิรินาฏ น้อยพิทักษ์¹⁾ อนุปันท์ เทอดวงศ์วรกุล*¹⁾ และ สุมาพร เกษมสำราญ²⁾

Sirinad Noypitak¹⁾, Anupun Terdwongworakul*¹⁾ and Sumaporn Kasemsumran²⁾

¹⁾ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, Thailand 73140.

²⁾สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute (KAPI), Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900.

Received January 2014

Accepted May 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการประเมินคุณสมบัติทางสรีรวิทยาของขิงสด 3 ระยะคือ ระยะขิงอ่อน ระยะขิงกลาง และระยะขิงแก่ เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการตรวจสอบคุณภาพความอ่อนแก่ของขิงสด โดยใช้ทั้งวิธีการแบบทำลาย ได้แก่ การวิเคราะห์คุณภาพเชิงกล ปริมาณเส้นใย (Crude fiber) ปริมาณความชื้น และวิธีการแบบไม่ทำลาย คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ค่าความเป็นมันเงา (Gloss) และค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm พบว่าอายุการเก็บเกี่ยวของขิงที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้คุณลักษณะทางสรีรวิทยาต่างๆ ของขิงมีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้เทคนิค Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) ในการสร้างสมการจำแนกอายุการเก็บเกี่ยวของขิงสดพบว่า วิธีการวัดแบบทำลายให้ค่าความถูกต้อง 55.56% วิธีการวัดแบบไม่ทำลายให้ค่าความถูกต้องในการจำแนก 100% จากสมการตรวจวัดขิงสดแบบไม่ทำลาย ตัวแปรค่าสะท้อนแสงที่ 420, 450, 490, 530, 570, 590, 680 nm และค่าความถ่วงจำเพาะ เป็นตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ : ขิง ความอ่อนแก่ การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย การตรวจสอบแบบทำลาย

* Corresponding author. Tel.: 034-351-896; Fax: 034-351-896

Email address: fengant@ku.ac.th

Abstract

The research studied evaluative method of physiological properties of three stages of fresh gingers including immature stage, early mature stage and mature stage to be alternative for quality checking of maturity fresh ginger. The classification models were built based on both destructive method and non-destructive methods. The destructive variables were texture parameters, crude fiber and moisture content and the non-destructive variables were specific gravity, color (L^* , a^* , b^*), gloss and light reflection in range 400-700 nm. The results showed that increasing of ginger harvesting date significantly affected physiological properties. The partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) was performed to create a classifying model for harvesting date of fresh ginger. The 55.56% and 100% best accuracy of classification into three stages of maturity could be achieved by the destructive model and the non-destructive model, respectively. The best applicable variables in building the non-destructive model were light reflection at 420, 450, 490, 530, 570, 590, 680 nm and the specific gravity

Keywords : Ginger, Maturity, Non-destructive method, Destructive method

1. บทนำ

ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) เป็นพืชที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง โดยนิยมใช้บริโภคเป็นเครื่องเทศ สารให้กลิ่นฉุน ยาสมุนไพร ฯลฯ ในปี 2555 มีมูลค่าการส่งออกขิงสดและขิงแห้ง 676 ล้านบาท [1] การบริโภคหรือแปรรูปขิงนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพภายในของขิงซึ่งสามารถแบ่งได้ตามอายุการเก็บเกี่ยวของขิงสด 3 ระยะคือ 1) ขิงอ่อน มีรสชาติเผ็ดน้อย เคี้ยวหน้อย จึงนิยมนำไปรับประทานสด หรือแปรรูปเป็นขิงดองส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ โดยตลาดส่งออกขิงดองที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น 2) ขิงกลาง หรือ ขิงดอกแดง มีรสชาติเผ็ดขึ้น มีเสี้ยนนิยมนำไปรับประทานสด หรือแปรรูปเป็นขิงดองส่งตลาดในประเทศ 3) ขิงแก่ มีรสชาติเผ็ดร้อน มีเสี้ยนมาก จึงนิยมนำไปทำแห้งบดเป็นผง ทำเป็นเครื่องดื่ม ยาสมุนไพร ดังนั้นปริมาณเส้นใย และความเผ็ดจึงเป็นตัวกำหนดคุณภาพหลักของขิง ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตขิงดองส่งออกมีอนาคตที่ดี จึงควรควบคุมคุณภาพให้ได้ตามความต้องการของตลาดต่างประเทศที่ต้องการขิงอ่อน มีรสเผ็ดร้อนน้อย มีเสี้ยนน้อย ซึ่งการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรมาจากหลายๆ แปลงทำให้ผลผลิตขิงที่รับเข้าสู่โรงงานมีอายุเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ช่วงเวลาที่จำกัดในการเปิดรับขิงเข้าโรงงานนี้ ทำให้เกิดการปะปนกันระหว่างขิงอ่อนและขิงกลาง ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกัน ปัจจุบันโรงงานผู้ผลิตจะทำการคัดแยกขิงโดยใช้แรงงานคน

โดยวิธีการวัดด้วยการใช้มีดปลายแหลมกดลงในเนื้อขิงและใช้ความรู้สึกของบุคคลประเมินว่าขิงนั้นมีความอ่อนหรือแก่ แต่วิธีนี้อาจไม่ได้มาตรฐาน เพราะต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์ของแต่ละบุคคลเป็นตัวชี้วัด ส่งผลให้เกิดปัญหาในด้านคุณภาพกับผลิตภัณฑ์ขิงดอง ในอดีตมีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาวิธีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์แบบไม่ทำลายเช่น ทูเรียน [2, 3] แก้วมังกร [4] มะม่วง [5] ลำไย [6] ฯลฯ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์วัดคุณภาพความอ่อนแก่และตรวจสอบความเสียหายของผลไม้ แต่ยังไม่มียานวิจัยที่ศึกษาวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายในพืชประเภทขิงในการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆ ของขิงสดตามระยะการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีการวัดแบบทำลายและไม่ทำลาย และศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์แบบพหุตัวแปรในการสร้างสมการการวัดคุณภาพความอ่อนแก่ของขิงสดเพื่อเป็นดัชนีในการประเมินคุณภาพและความอ่อนแก่ของขิงสดในอุตสาหกรรมแปรรูปขิงต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

เตรียมตัวอย่างขิงพันธุ์ขิงใหญ่จำนวน 111 แง่ ซึ่งเก็บเกี่ยวจากไร่ของเกษตรกร อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย โดยแบ่งการเก็บเกี่ยวออกเป็น 3 ช่วงอายุ คือ ขิงอ่อน (อายุ 5 เดือน) ขิงกลาง (อายุ 7 เดือน) และขิงแก่ (อายุ 10 เดือน) ช่วงอายุละ 37 แง่ ล้างทำความสะอาด และเก็บรักษา

ไว้ที่อุณหภูมิ 5°C และนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนเก็บวัดข้อมูล โดยทุกครั้งที่ตัวอย่าง จะถูกระบุตำแหน่งการเจริญเติบโตตามลำดับ แล้วทำการ ตัดแบ่งแต่ละแ่งก่อนทำการทดสอบอื่นๆ ต่อไป

2.1 วิธีการวัดคุณภาพเชิงสัดแบบไม่ทำลาย

2.1.1 การหาคุณลักษณะทางกายภาพ

นำตัวอย่างขิงมาชั่งน้ำหนัก วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (Mitutoyo 530-332, 150 mm±0.03mm, Japan) แล้วนำ ตัวอย่างขิงมาหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, SG) โดยวิธีการแทนที่น้ำตามวิธีของ Mohsinin [7] โดยนำ ตัวอย่างแ่งขิงซึ่งน้ำหนักในอากาศ (W) ซึ่งน้ำหนักน้ำและ ภาชนะ (W₀) แล้วนำแท่งโลหะเสียบตัวอย่างขิง กดตัวอย่าง ให้จมปริมน้ำพอดีในภาชนะที่ใส่น้ำไว้ แล้วชั่งน้ำหนักน้ำ ที่ถูกแทนที่ด้วยตัวอย่าง (W_g) ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล สองตำแหน่ง (Adventurer; Ohaus Corp. Pine Brook, NJ, USA) แล้วนำผลที่ได้คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ ดังสมการที่ (1)

$$SG = \frac{W}{W_w - W_g} \tag{1}$$

2.1.2 การหาสมบัติเชิงแสง

นำตัวอย่างขิงแต่ละแ่งมาวัดสีในหน่วย CIE L*, a*, b*, ค่าความเงา (gloss) และค่าการสะท้อนแสง ช่วง 400-700 nm ด้วยเครื่องวัดสี (Spectro-guide sphere gloss, BYK- Gardner, USA) ค่าการสะท้อนแสง จะถูกบันทึกค่าทุก 10 nm โดยค่า L* (lightness) แสดงค่า ความสว่างวัดดูมีสีขาวจะมีค่าเท่ากับ 100 และวัดดูสีดำ มีค่าเท่ากับ 0 ค่า a*, b* (Chromaticity coordinates) โดยค่า a* มีค่าบวกรวมหมายถึงวัดดูมีสีแดง a* มีค่าลบ หมายถึงวัดดูมีสีเขียว และค่า b* มีค่าบวกรวมหมายถึงวัดดู มีสีเหลือง ค่า b* มีค่าลบหมายถึงวัดดูมีสีน้ำเงิน [5] โดยแต่ละแ่งจะถูกวัดที่บริเวณกึ่งกลางแ่งทั้ง 2 ด้าน ด้านละ 2 ซ้ำ แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละแ่งมาทำการเฉลี่ย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.2 วิธีการวัดคุณภาพเชิงสัดแบบทำลาย

2.2.1 การหาคุณสมบัติเชิงกล

ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบเฉือนด้วยเครื่อง Texture Analyzer (LLOYD Instrument, LR5K, UK) โดยติดตั้ง load cell 500 N นำตัวอย่างขิงแต่ละแ่งมาเจาะ ด้วยแท่งเจาะทรงกระบอก (corer) ขนาดตามแนวเส้นใย [8] เพื่อเตรียมตัวอย่างให้เป็นแท่งทรงกระบอก มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 mm ยาว 3 cm วางตัวอย่าง ให้ใบมีดแบบ Warner Bratzler ซึ่งตรงกลางบาก เป็นรูปตัววี (V) (ดังรูปที่ 1) ตัดขวางกับเส้นใยด้วยความเร็ว ใบมีด 1 mm/s [9] ตัดซ้ำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ในการตัดเส้นใย ของขิงได้พิจารณาจากค่าแรงเฉือนสูงสุด (F_{max}, N) ค่างาน (Work, J) และค่าความแน่นแข็ง (Stiffness, KN/m) [10]



รูปที่ 1 การตัดตัวอย่างขิงสัดด้วยใบมีดแบบ Warner Bratzler มีลักษณะตรงกลางบากเป็นรูปตัววี (V)

2.2.2 การหาคุณสมบัติทางเคมี

นำตัวอย่างขิงแต่ละแ่งที่เหลือมาหาค่าเส้นใย (Crude fiber) ตามวิธี AOAC (2000) [11] และค่า เเปอร์เซ็นต์ความชื้น (moisture) ตามวิธี ASABE (2006) [12] โดยนำขิงสดมาสับละเอียดประมาณ 5 g ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ นำมาชั่งน้ำหนักสดก่อนอบ (W_i) และน้ำหนักแห้ง หลังอบ (W_d) ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103°C เป็น เวลา 24 ชั่วโมง จนกว่าน้ำหนักจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ดังสมการที่ (2)

$$\% \text{moisture} = \frac{W_f - W_d}{W_f} \tag{2}$$

2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.3.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติตามระยะความแก่

ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่วัดอันเนื่องจากอิทธิพลของระยะความแก่ด้วยวิธี One-way ANOVA ด้วยโปรแกรม SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago, IL) โดยออกแบบการทดสอบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design)

2.3.2 การสร้างสมการจำแนกขิงตามอายุเก็บเกี่ยว

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการจำแนกอายุการเก็บเกี่ยวของขิงสด โดยคำนึงถึงความแปรปรวนของความอ่อนแก่ภายในเหง้าของขิงเพื่อใช้สร้างสมการจำแนกกลุ่มขิงสด โดยสร้างสมการจำแนกทั้งที่ใช้ตัวแปรที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ซึ่งมีตัวแปรต้น คือ ค่าความถ่วงจำเพาะค่าสี (L^* , a^* , b^* , Gloss และ ค่าการสะท้อนแสงช่วง 400-700 nm) และ สมการจำแนกโดยใช้ตัวแปรที่ทำลายตัวอย่าง ซึ่งมีตัวแปรต้น คือ ค่าแรงเฉือนสูงสุด ค่างานในการตัด ค่าความแน่นแข็ง ค่าปริมาณเส้นใย และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 ส่วน ได้แก่ กลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนายกลุ่ม (Calibration set) จำนวน 75 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการทำนาย (Validation set) จำนวน 36 ตัวอย่าง สร้างสมการทำนายกลุ่มโดยใช้วิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) ด้วยโปรแกรม Unscrambler v.9.8 (Camo, Oslo, Norway) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบพหุตัวแปรเนื่องจากมีตัวแปรต้นจำนวนมาก โดยกำหนดตัวแปรการจำแนกกลุ่มดังนี้ ระยะขิงอ่อน = 1 ระยะขิงกลาง = 2 และระยะขิงแก่ = 3 และแสดงโครงสร้างของข้อมูลด้วยกราฟ score plot ซึ่งกราฟ score plot เป็นกราฟที่นำค่า PC1 และ PC2 ของแต่ละตัวอย่างมาสร้างซึ่งจะทำให้ได้กราฟที่แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างตัวอย่างที่แฝงอยู่ เช่น กลุ่มตัวอย่าง ตัวอย่างแปลกปลอม เป็นต้น [13] โดย PC เป็นตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่จากตัวแปรเดิมทั้งหมดโดย PC1 เป็นตัวแปรที่อธิบายความแปรปรวนในข้อมูลได้สูงสุด

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพขิงสดแบบไม่ทำลาย

3.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของขิงแต่ละอายุ

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพค่าความถ่วงจำเพาะของแง่งขิงในระยะอ่อนไม่แตกต่างจากขิงระยะกลาง แต่ทั้งสองอายุแตกต่างจากระยะแก่อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ถ้าพิจารณาความแตกต่างระหว่างระยะแก่กับระยะอื่นๆ ค่าความถ่วงจำเพาะจะระบุได้ดีที่สุด ($F = 416.44$) Siripanich (1995) [14] กล่าวว่า การเจริญเติบโตของผักผลไม้มักเริ่มต้นด้วยการขยายขนาดเซลล์ จนระยะหนึ่งจึงเริ่มมีการสะสมอาหารในรูปต่างๆ การสะสมที่มากขึ้นทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของแง่งสูงขึ้นดังค่า F ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางสถิติค่าความถ่วงจำเพาะของแง่งขิงอายุ 4-6 เดือน 7-9 เดือน และ 10-12 เดือน

Value	Stage	Mean	SD	F
Specific gravity	immature	0.98 ^a	0.00	416.44
	early mature	0.98 ^a	0.01	
	mature	1.02 ^b	0.01	

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's method.

3.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเชิงแสงของขิงแต่ละอายุ

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าข้อมูลสี L^* a^* b^* และ gloss ของแง่งขิงระยะอ่อน กลาง และแก่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการวัดค่าสีและค่า gloss ซึ่งเป็นการวิเคราะห์คุณภาพจากลักษณะภายนอก [14] พบว่าเปลือกนอกขิงระยะอ่อนจะมีสีเหลืองเป็นส่วนใหญ่ โดยจากค่าที่วัดทั้งหมดพบว่า มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 72.20 มีค่า a^* เท่ากับ 0.96 แสดงถึงสีเขียว และค่า b^* เท่ากับ 26.17 แสดงถึงค่าสีเหลืองในระยะขิงอ่อนที่แสดงออกมากกว่าในระยะขิงกลางและขิงแก่ โดยเมื่อขิงมีอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นลักษณะเปลือกนอกจะเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาล โดยค่าสีเขียวจะลดลงสังเกตได้จากค่า L^* และ b^* ที่ลดลงเป็น 68.36 และ 18.86 ตามลำดับ และค่า a^* เพิ่มขึ้นเป็น 4.58 ในระยะขิงแก่

เมื่อพิจารณาค่า F ในตารางที่ 2 พบว่าค่า b^* ซึ่งบอกความเป็นสีเหลืองของผิวมันให้ค่าความแปรปรวนระหว่างระยะสูงสุด รองมาคือ a^* และ L^* ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อชิงแก่มากขึ้นผิวเปลือกนอกของชิงจะมีค่าความเป็นมันเงาเพิ่มสูงขึ้นจากระยะอ่อนถึงระยะแก่โดยมีค่า gloss เท่ากับ 3.66, 4.43 และ 5.57 ตามลำดับ ซึ่งผิวของผักผลไม้ทุกชนิดจะมีชั้นของ cuticle ซึ่งประกอบด้วยไข (wax) ซึ่งสะสมอยู่มากในผลผลิตเกษตรช่วงอายุแก่ [14] โดยวิธีการตรวจวัดสีนี้เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่น่าสนใจ สามารถใช้ชี้วัดคุณภาพความอ่อนแก่ของแก้วมังกร [4] และมะม่วง [5] ได้

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงทุกความยาวคลื่น (ช่วง 400-700 nm) พบว่าอายุความแก่ของชิงมีอิทธิพลทำให้ค่าการสะท้อนแสงบางความยาวคลื่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่า F อยู่ในช่วง 8.11-68.90 (ไม่ได้แสดงตารางผลการวิเคราะห์) อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงตามความแก่ของชิงจะไม่เหมือนกันในแต่ละความยาวคลื่น และเนื่องจากมีค่าตัวแปรจำนวนมาก จึงใช้เทคนิค PLS-DA มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มเชิงคุณภาพต่อไป

ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติข้อมูลสี L^* a^* b^* และ gloss ของแก้วชิงอายุ 4-6 เดือน 7-9 เดือน และ 10-12 เดือน

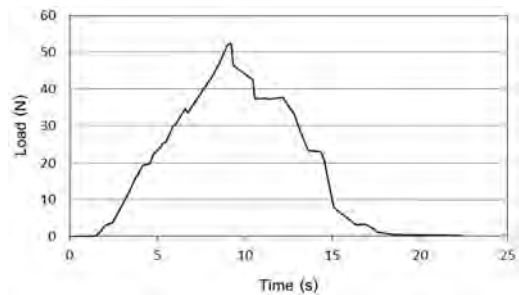
Value	Stage	Mean	SD	F
L^*	immature	72.20 ^a	2.38	
	early mature	68.01 ^b	1.78	50.92
	mature	68.36 ^b	1.70	
a^*	immature	0.96 ^a	1.52	
	early mature	3.28 ^b	0.86	112.43
	mature	4.58 ^c	0.54	
b^*	immature	26.17 ^a	1.47	
	early mature	21.66 ^b	2.72	141.35
	mature	18.86 ^c	1.08	
gloss	immature	3.66 ^a	0.80	
	early mature	4.43 ^b	1.02	26.35
	mature	5.57 ^c	1.48	

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's method.

ตารางที่ 3 ค่าทางสถิติคุณสมบัติเชิงกลของแก้วชิงอายุ 4-6 เดือน 7-9 เดือน และ 10-12 เดือน

Value	Stage	Mean	SD	F
Maximun load (N)	immature	38.49 ^a	17.46	
	early mature	56.03 ^b	19.13	24.85
	mature	72.61 ^c	25.1	
Work to maximum load (J)	immature	0.20 ^a	0.15	
	early mature	0.34 ^b	0.19	13.86
	mature	0.43 ^c	0.23	
Cutting energy (KN/m)	immature	13.38 ^a	9.19	
	early mature	15.03 ^{ab}	4.64	2.41
	mature	16.89 ^b	5.97	

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's method.



รูปที่ 2 แรงเฉือนสูงสุดในการตัดชิงสด

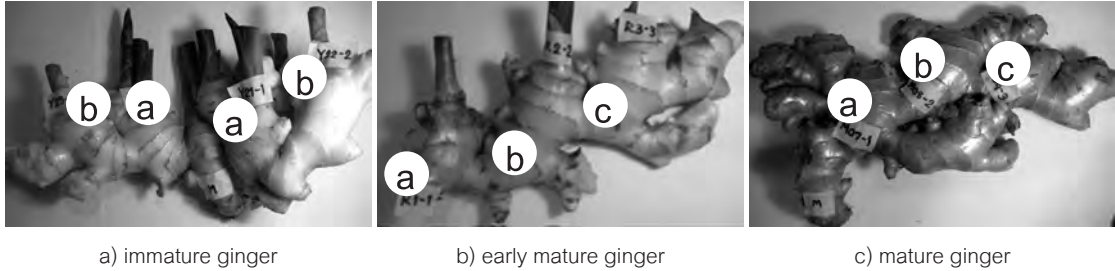
3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพชิงสดแบบทำลาย

3.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของชิงแต่ละอายุ

ผลจากการทดสอบเชิงกลพบว่า เมื่อชิงมีอายุมากขึ้นจะมีการสะสมอาหารและความแข็งแรงของเส้นใยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องใช้แรงในการตัดเนื้อชิงเพิ่มมากขึ้น จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ค่าแรงเฉือนสูงสุด (F_{max}) ที่ใช้ในการตัดชิง และค่างาน (Work) ที่แรงสูงสุดกระทำสามารถแบ่งระยะความแก่ของแก้วชิงในระยะอ่อน ระยะกลาง และระยะแก่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าความแน่นแข็ง (Stiffness) มีความแตกต่างกันในระยะชิงอ่อน และชิงแก่ จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าลักษณะของกราฟจะไม่เรียบ เนื่องจากใบมีดตัดผ่านเส้นใยที่กระจายตัวอยู่ภายในเนื้อของชิงสด มีการวางตัวของเส้นใยขนานกันไปตามแนวการเจริญเติบโต

ของการงอกภายในเหง้าโดยตำแหน่ง a งอกลำดับที่ 1 ตำแหน่ง b งอกลำดับที่ 2 และตำแหน่ง c งอกลำดับที่ 3 ดังรูปที่ 3 พบว่าในระยะซิงอ่อนยังมีการงอกของแงงซิงเพิ่มขึ้น และเริ่มหยุดการงอกเมื่อถึงระยะซิงกลาง

แล้วทำการสะสมอาหารต่อไปในระยะซิงแก่ จึงเป็นสิ่งน่าสนใจในการงอกลำดับที่ 3 (c) ในระยะซิงกลางซึ่งอาจมีสมบัติภายในใกล้เคียงกับระยะซิงอ่อนในการงอกลำดับที่ 1 (a) ดังกราฟ score plot ในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ลำดับการเจริญเติบโตภายในเหง้าซิง โดยตำแหน่ง a งอกลำดับที่ 1 ตำแหน่ง b งอกลำดับที่ 2 และตำแหน่ง c งอกลำดับที่ 3

3.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของซิงแต่ละอายุ

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4 พบว่า ค่าปริมาณความชื้นลดลง และค่าปริมาณ Crude Fiber เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยว ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระยะความแก่ของแงงซิงในระยะอ่อน ระยะกลาง และระยะแก่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาความอ่อนแก่ของซิงเบื้องต้นก่อนการแปรรูปเป็นซิงผงโดย Sertwasana (2008) [15] ค่าความแปรปรวนระหว่างระยะความแก่ เปรียบเทียบกับความแปรปรวนภายในระยะความแก่ พบว่า ปริมาณความชื้น ($F = 62.20$) มีความสำคัญในการระบุความแตกต่างทั้ง 3 ระยะมากกว่าปริมาณ Crude fiber ($F = 31.45$)

ตารางที่ 4 ค่าทางสถิติคุณสมบัติเชิงเคมีของแงงซิงอายุ 4-6 เดือน 7-9 เดือน และ 10-12 เดือน

Value	Stage	Mean	SD	F
Moisture content (%)	immature	92.86 ^a	0.86	62.20
	early mature	91.61 ^b	1.77	
	mature	88.80 ^c	1.96	
Crude Fiber (g/100g)	immature	1.22 ^a	0.16	31.45
	early mature	1.35 ^b	0.17	
	mature	1.52 ^c	0.16	

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's method.

3.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสร้างสมการจำแนกกลุ่ม

จากการนำข้อมูลตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากวิธีการวัดแบบทำลาย ได้แก่ ค่าปริมาณความชื้น ค่า Texture และค่าปริมาณ Crude Fiber และวิธีการวัดแบบไม่ทำลาย ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าสี ช่วงแสง 400-700 nm มาวิเคราะห์สร้างสมการจำแนกอายุซิงอ่อน ซิงกลาง และซิงแก่ ด้วยวิธี PLS-DA พบว่าสมการการจำแนกสามารถให้ความถูกต้องตั้งแต่ 55.56%-100% ดังตารางที่ 5

โดยพบว่า การนำข้อมูลตัวแปรทั้งหมดมาสร้างสมการจำแนก ให้ความถูกต้องในการจำแนกทั้งหมด 94.44% โดยสามารถแยกระยะซิงแก่ได้ถูกต้อง 100% และสามารถจำแนกระยะกลางและอ่อนได้ถูกต้อง 91.67% สำหรับการนำข้อมูลตัวแปรแบบทำลาย (ตัวแปรต้น คือ ปริมาณความชื้น แรงตัดสูงสุด ค่าความแน่นแข็ง และปริมาณเส้นใย) มาสร้างสมการจำแนกให้ค่าการทำนายเพียง 55.56% ถึงแม้ว่าการทดสอบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan จะมีความแตกต่างกันของระยะอ่อนแก่อย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 5

เมื่อพิจารณาเฉพาะสมการข้อมูลตัวแปรแบบไม่ทำลายพบว่า การใช้ค่าข้อมูลสี L^* , a^* , b^* , gloss จะให้ความถูกต้องในการจำแนก 75% เมื่อนำค่าข้อมูลสีวิเคราะห์ร่วมกับค่า SG จะให้ความถูกต้องในการจำแนกสูงขึ้นเป็น 91.67% ส่วนข้อมูลการสะท้อนแสงช่วง visible ช่วง 400-700 nm พบว่า ให้ความถูกต้องในการจำแนกสูง

ถึง 100% (7 PC) ฉะนั้นช่วง visible จึงเป็นจุดที่น่าสนใจที่จะนำมาลดจำนวนตัวแปรอิสระลงเพื่อให้ง่ายต่อการวัดในสายการผลิต หรือใช้พัฒนาเครื่องมือให้มีราคาถูกลงในการประยุกต์ใช้ในสายการผลิตภาคอุตสาหกรรมจากเทคนิค PLS-DA จึงได้เลือกจากความยาวคลื่น

ที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) [16] ที่สูงกว่า 0.5 จำนวน 7 ความยาวคลื่น ได้แก่ 420, 450, 490, 530, 570, 590 และ 680 nm มาสร้างสมการทำนายซึ่งจะเห็นว่าให้ความถูกต้อง

ตารางที่ 5 ผลความถูกต้องในการจำแนกอายุของแงงซึ่งด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย และการทดสอบแบบทำลาย

Variables	PC	Accuracy (%)			
		immature	Early mature	mature	total
<i>All variables</i>					
SG, L*, a*, b*, gloss, %MC, F _{max} , Stiffness, Crude fiber, 400-700 nm.	4	91.67	91.67	100	94.44
<i>Destructive variables</i>					
%MC, F _{max} , Stiffness, Crude fiber	3	58.33	75	33.33	55.56
<i>Non-destructive variables</i>					
L*, a*, b*, gloss	1	58.33	83.33	83.33	75
SG, L*, a*, b*, gloss	2	83.33	91.67	100	91.67
400-700	7	100	100	100	100
420, 450, 490, 530, 570, 590, 680	5	83.33	91.67	100	91.67
SG, 420, 450, 490, 530, 570, 590, 680	5	100	100	100	100

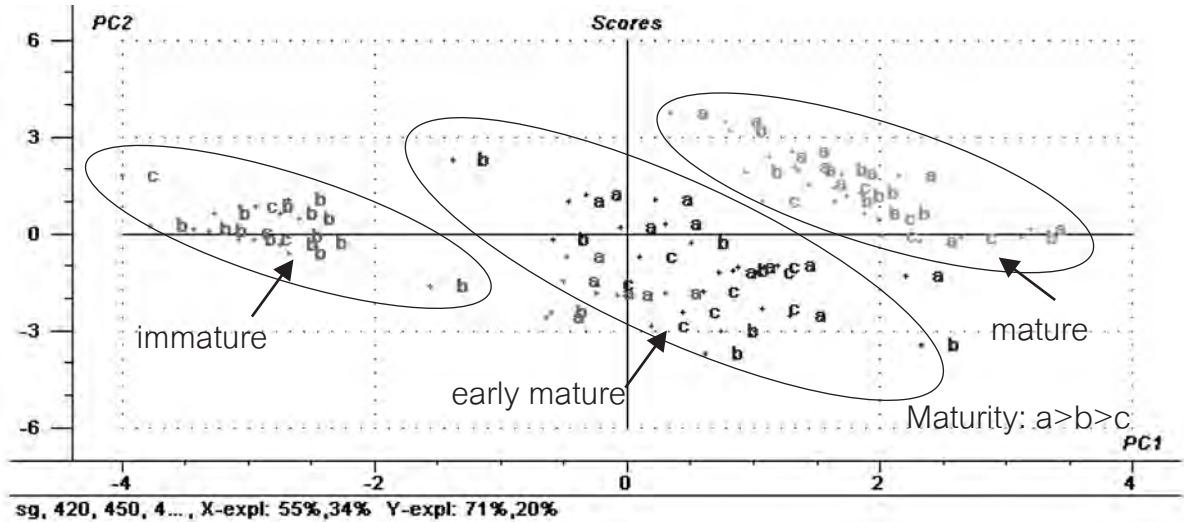
ในการจำแนก 91.67% และเมื่อนำข้อมูล 7 ความยาวคลื่น มาสร้างสมการร่วมกับค่า SG ในการทดลองนี้พบว่าสมการจำแนกสามารถทำนายให้ความถูกต้องสูงสุด 100% (5 PC) โดยมีสมการจำแนกกลุ่มซึ่งได้สร้างค่า Regression coefficient ดังสมการที่ (3)

$$\text{Group} = -20.03 + 0.415(\text{SG}) + 0.784(\text{R420}) - 1.410(\text{R450}) + 1.466(\text{R490}) + 0.501(\text{R530}) - 0.867(\text{R570}) - 0.669(\text{R590}) + 0.352(\text{R680}) \quad (3)$$

โดยที่ R(i) คือ การสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น i nm

หากพิจารณาภาพ score plot ดังรูปที่ 4 ที่ได้จากการกระจายตัวของตัวอย่างในการสร้าง Calibration model ซึ่งสร้างมาจากความยาวคลื่นได้แก่ 420, 450, 490, 530, 570, 590, 680 nm และค่า SG พบว่า มีการแบ่งตัวของข้อมูล 3 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มชิงอ่อน ชิงกลาง และชิงแก่ได้อย่างชัดเจน โดย PC1 และ PC2 อธิบายการจำแนกได้

71% และ 20% ตามลำดับ จาก รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า แกน PC1 อธิบายการจำแนกอายุการเก็บเกี่ยวของชิงสดได้ ถึงแม้ว่าจะพบการกระจายตัวของลำดับแง่ที่แก่ที่สุด (ลำดับ a) ของระยะชิงอ่อนกระจายตัวในกลุ่มชิงกลาง ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าในตำแหน่งแง่ชิงที่แก่ที่สุดในระยะชิงอ่อนนั้นมีคุณลักษณะที่เหมือนกับชิงในระยะกลาง ส่วนแกน PC2 อธิบายลำดับการงอกภายในเหง้า ของระยะชิงอ่อนได้เล็กน้อย ดังนั้นการใช้สมการจำแนกพิจารณาถึงลำดับการเจริญเติบโตภายในเหง้าจะสามารถช่วยจำแนกและแก้ปัญหาแง่ที่แก่ปะปนอยู่ในระยะชิงอ่อนในอุตสาหกรรมแปรรูปชิงสดส่งออกได้ เนื่องจากชิงสดสำหรับส่งออกนั้นต้องการเฉพาะชิงที่มีลักษณะอ่อนเท่านั้นเพื่อให้ชิงสดมีคุณภาพตามที่ผู้บริโภคในตลาดญี่ปุ่นต้องการ ดังนั้นจึงน่าสนใจที่จะนำสมการจำแนกนี้ไปประยุกต์ใช้จำแนกความอ่อนแก่ของชิงสดในภาคอุตสาหกรรมแปรรูปชิงสดต่อไป



รูปที่ 4 score plot ของตัวอย่างขิงสดในการสร้าง Calibration model จำแนกความอ่อนแก่ จากตัวแปรแบบไม่ทำลาย ได้แก่ ช่วงความยาวคลื่น 420, 450, 490, 530, 570, 590, 680 และค่า SG โดย ตัวอักษรสีแดง คือ กลุ่มขิงอ่อน สีน้ำเงิน คือ กลุ่มขิงกลาง และสีเทา คือ กลุ่มขิงแก่

4. สรุป

ขิงมีการเปลี่ยนแปลงตามการเจริญเติบโต ในระยะอ่อน ระยะกลาง และระยะแก่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี ทางกล และทางแสง การใช้เทคนิค PLS-DA สามารถแสดงความแปรปรวนของความอ่อนแก่ในแต่ละเหง้าได้ชัดเจนขึ้น และสามารถสร้างสมการจำแนกระยะขิงสดด้วยวิธีการวัดคุณภาพแบบไม่ทำลายให้ค่าความถูกต้อง 100% ฉะนั้นการนำวิธีการตรวจสอบที่มีมาตรฐานร่วมกับวิธีวิเคราะห์แบบพหุตัวแปรมาประยุกต์ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับผลิตภัณฑ์ขิงแปรรูปได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สัญญาเลขที่ PHD/0190/2552 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสับสนุนงบประมาณการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. Exported Statistic -Dried ginger and fresh ginger. 2012 [cited 2013 Nov 2]; Available from: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php.
- [2] Terdwongworakul A, Neamsorn N. Non-destructive maturity measurement of "Montong" durian using stem strength and resonant frequency. *KKU Engineering Journal* 2006; 33(5):555-63.
- [3] Timkhum P, Terdwongworakul A. Non-destructive classification of durian maturity of 'Monthong' cultivar by means of visible spectroscopy of the spine. *Journal of Food Engineering*. 2012;112(4):263-7.
- [4] Wanitchang J, Terdwongworakul A, Wanitchang P, Noypitak S. Maturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*. *Journal of Food Engineering*. 2010;100(3): 409-16.

- [5] Wanitchang P, Terdwongworakul A, Wanitchang J, Nakawajana N. Non-destructive maturity classification of mango based on physical, mechanical and optical properties. *Journal of Food Engineering*. 2011;105(3):477-84.
- [6] Pholpho T, Pathaveerat S, Sirisomboon P. Classification of longan fruit bruising using visible spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. 2011;104(1):169-72.
- [7] Mohsenin NN. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. New York: Gordon and Breach Science Publishers; 1986.
- [8] Rodriguez-Arcos RC, Smith AC, Waldron KW. Mechanical properties of green asparagus. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2002;82(3):293-300.
- [9] Cunningham SE, McMinn WAM, Magee TRA, Richardson PS. Effect of processing conditions on the water absorption and texture kinetics of potato. *Journal of Food Engineering*. 2008;84(2):214-23.
- [10] Womac AR, Yu M, Igathinathine C, Ye P, Hayes D, Narayan S, et al., editors. *Shearing Characteristics of Biomass for Size Reduction*. 2005 ASAE Annual Meeting; 17 - 20 July 2005; Tampa Convention Center, Tampa, Florida: The American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [11] AOAC. *Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists International*. Gaithersburg, Md. 2000.
- [12] ASABE. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Standard 2006*. U.S.A. 2006.
- [13] Wanichbancha K. *Advance Statistic Analysis by SPSS for Windows*. Tammasan Publishers. Bangkok, Thailand; 2006. (In Thai).
- [14] Siriphanich J. *Physiology and Postharvest Technology in vegetable and fruit*. Nakhon Pathom, Thailand: Office of Extension and Training Kamphaeng Saen; 1995. (In Thai).
- [15] Sertwasana A. *The development of ginger drink powder and ginger powder processing [Master of Science Thesis]*. Khon kaen: Khon Kaen University; 2008. (In Thai).
- [16] Noypitak S, Terdwongworakul A, Pathaveerat S. Non-Destructive Technique for Detection of Translucency in Mangosteen by Near Infrared Spectroscopy in Reflectance Mode *King Mongkut's Agricultural Journal*. 2010;28(3): 92-110. (In Thai).