



ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว

Factors Related to Ripening-stages of Nam Dok-mai Mango after Harvesting

ศักยะ สมบัติไพรวัน¹, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค^{1*}, กระวี ตรีอำนรรค²

Sakaya Sombatpraiwan¹, Tawarat Tipyavimol^{1*}, Krawee Treeamnu²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

¹School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, 30000

²Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, 12110

*Corresponding author: Tel +66-44-224-583, Fax: +66-44-224-610, E-mail: tawarat@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพ, ทางกล และทางเคมีกับระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยและการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วยค่าความแน่นเนื้อวัดทั้งเปลือกและเฉพาะเนื้อ, ค่าสีของเปลือกและเนื้อ, ค่าปริมาณของแข็งที่ละลาย (Total soluble solids content, TSS), ความถ่วงจำเพาะ, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) และอัตราส่วนของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระยะการสุกประกอบด้วยค่าสี a^* และ b^* ทั้งเปลือกและเนื้อผลมะม่วง, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้, ค่าความแน่นเนื้อทั้งเปลือกและเฉพาะเนื้อ และ ค่า TSS/TA ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะและค่าสี L^* ของทั้งเปลือกและเนื้อผลไม่มีแนวโน้มที่เด่นชัด เมื่อทำการจำแนกระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าการใช้ตัวแปรความแน่นเนื้อวัดทั้งเปลือกร่วมกับค่า TSS/TA สามารถจำแนกระยะการสุกออกเป็น 3 กลุ่มคือ ระยะดิบ, ระยะสุก และระยะสุกเกิน ได้ถูกต้อง 91.7%

คำสำคัญ: มะม่วงน้ำดอกไม้, ระยะการสุก, การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

Abstract

The objective of this research was to study the relation of physical, mechanical and chemical factors with stages of ripening of Nam Dok-mai mango. The factor analysis and discriminant analysis techniques were used in this study. Firmness (fruit and flesh), color (peel and flesh), total soluble solids content (TSS), specific gravity, titratable acidity (TA), and ratio of TSS/TA were used to evaluate ripening stages of the mango. The results indicated that a^* and b^* values (peel and flesh), total soluble solids content, titratable acidity, fruit and flesh firmness, TSS/TA affected to the ripening stages, while specific gravity and L^* value of peel and flesh had no clear effect. The results of discriminant analysis showed that fruit firmness and TSS/TA could be used to classify mangoes into three ripening stages; unripe, ripe, and over ripe with accuracy of 91.7%.

Keywords: Nam Dok-mai Mango, Ripening stages, Discriminant analysis

1 บทนำ

มะม่วงน้ำดอกไม้ (*Manifera indica* L. cv NamDok-mai) เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย ทั้งสำหรับตลาดเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ทั้งนี้เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงที่อยู่ในกลุ่มบริโภคเมื่อ

ผลสุก (จารุวัฒน์ และศิริชัย, 2545) จากข้อมูลของศูนย์สารสนเทศเกษตร (2552) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้มีมูลค่าการส่งออกถึง 1,500 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยมาตั้งแต่ปี 2549 โดยประเทศคู่ค้าที่สำคัญตลอดเวลาเกือบสิบปีที่ผ่านมาคือ ประเทศญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตามการส่งออกมะม่วง

ไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศที่ต้องขนส่งระยะทางไกลๆ ยังประสบกับปัญหาด้านคุณภาพและอายุการวางจำหน่ายที่สั้น (สายชล และสุนทร, 2535) ทั้งนี้เนื่องจากหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงซึ่งเป็นผลไม้ในกลุ่ม Climacteric fruit จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลถึงลักษณะปรากฏทางคุณภาพที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อจากผู้บริโภคเช่น สี, รูปร่าง, รอยตำหนิ, ความหวาน และ ความแน่นเนื้อ สำหรับความแน่นเนื้อเป็นลักษณะคุณภาพชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคนิยมใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลไม้หลายๆ ชนิด รวมถึงผลมะม่วงสุก จากการศึกษาก่อนของ Jha et al. (2010) พบว่าความแน่นเนื้อ (firmness) ของมะม่วงลูกผสมแปดสายพันธุ์จะมีค่าสูงสุดในวันแรกของการเก็บเกี่ยวและมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และจากรายงานของ ศักยะ และคณะ (2555) พบว่าสามารถใช้ค่าความแน่นเนื้อแบ่งการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้ออกเป็น 3 ระยะการสุกคือ ระยะเริ่มสุก, ระยะสุก และ ระยะสุกงอม แต่อย่างไรก็ตามลักษณะทางคุณภาพที่ดึงดูดใจและสร้างความพอใจให้กับผู้บริโภคได้มีแค่ความแน่นเนื้อเพียงอย่างเดียว ยังมีปัจจัยทางคุณภาพอื่นที่ต้องพิจารณาประกอบกันนั่นคือ หากมะม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยวมีค่าความแน่นเนื้อที่ลดลง แต่การพัฒนาด้านสีและรสชาติที่ไม่สมบูรณ์ขาดความสัมพันธ์กันก็จะก่อให้เกิดการสุกที่ไม่มีคุณภาพ (สายชล และสุนทร, 2535) ซึ่งปัจจัยทางคุณภาพเหล่านี้สามารถตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคแบบทำลายและไม่ทำลาย (Padda et al., 2011) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยวเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดชั้นคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 มะม่วงน้ำดอกไม้

มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ใช้ได้จากสวนมะม่วงของเกษตรกรในเขตอำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา อายุการเก็บเกี่ยว 110 วัน หลังดอกบาน นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $27 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 5\%$ ทำการตรวจวัดค่าปัจจัยการสุกทุกวันโดยใช้ตัวอย่างมะม่วงวันละ 5 ผล

2.2 การตรวจวัดค่าปัจจัย

ค่าความถ่วงจำเพาะ, (SG) หาได้โดยใช้วิธีการแทนที่น้ำ (Mohsenin, 1996)

สีของมะม่วงน้ำดอกไม้ถูกวัดทุกวันด้วยเครื่อง Chroma meter ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-300 (Minolta Co., Ltd., Japan) ทำการวัดในระบบ CIE LAB บริเวณกึ่งกลางแก้มผล โดยค่าที่ได้แสดงในรูปค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำจากมะม่วงจำนวน 5 ผล ทำการวัดค่าความสว่าง (L^*) ของเปลือก (L_{peel}), ค่าความสว่างของเนื้อมะม่วง (L_{flesh}), ค่าสีแดง (a^*) ของเปลือก (a_{peel}), ค่าสีแดงของเนื้อมะม่วง (a_{flesh}), ค่าสีเหลือง (b^*) ของเปลือก และ (b_{peel}) ค่าสีเหลืองของเนื้อมะม่วง (b_{flesh})

ค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ ทำการวัดโดยใช้ Penetrometer ยี่ห้อ Chatillon รุ่น DFGS 50 (AMETEK Inc., USA) ด้วยหัวกดทรงกระบอกปลายตัดเรียบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 mm กดลงไปเป็นระยะ 50 mm บนแก้มผลของตัวอย่างมะม่วงจำนวน 5 ผล ในรูปแรงต่อพื้นที่ในหน่วย kg cm^{-2} วัดค่าทั้งก่อนลอกเปลือก (f_{peel}) และภายหลังลอกเปลือกออกแล้ว (f_{flesh})

ทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids content, TSS) โดยนำเนื้อมะม่วงส่วนแก้มผลปริมาณ 50 g มาปั่นให้ละเอียดเติมน้ำ 200 ml จากนั้นปั่นต่อให้ละเอียดกรองเอาเฉพาะส่วนน้ำมาหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่อง Hand refractometer (ATAGO, ATC-1, Cat. No.2910) ซึ่งค่าที่อ่านได้จากเครื่องต้องนำมาคูณกลับด้วยค่าแฟกเตอร์การละลาย (Dilution factor)

ทำการวัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA) โดยนำสารละลายน้ำมะม่วงที่เตรียมได้ในข้อ 2.2.4 ขั้นตอนการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาตร 20 mL มาทำการไทเทรตด้วยสารละลาย 0.1 N NaOH จนถึงจุดยุติที่ pH เท่ากับ 8.2 ซึ่งปริมาณกรดที่ได้เป็นปริมาณกรดเทียบเท่าของกรดมาลิก (Malic acid)

ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้วยการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระยะการสุกของผลมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้โปรแกรม SPSS 11.5 for Windows กับปัจจัยทั้งหมด ด้วยวิธีเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) และการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) โดยใช้ค่าการแบ่งระยะมะม่วงออกเป็น 3 ระยะ (stage) ได้แก่ ระยะเริ่มสุก, ระยะสุก และระยะสุกงอม ตามวิธีการของ ศักยะ และคณะ (2555) เป็นตัวแปรการแบ่งกลุ่ม

3 ผลและวิจารณ์

การแบ่งระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว ใช้สมการทำนายการเปลี่ยนแปลงการสุกของศักยะและคณะ (2555) ร่วมกับการประเมินลักษณะดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งจะแบ่งระยะการสุกออกเป็นสามช่วงคือ ระยะดิบ (unripe) มีลักษณะผลเขียวเนื้อภายในขาว กดดูแข็ง ระยะสุก (ripe) มีลักษณะผิวและเนื้อมีสีเหลืองสม่ำเสมอทั้งผล และระยะสุกเกิน (over ripe) ลักษณะภายนอกเริ่มปรากฏจุดสีดำ เนื้อมีสีดำ เกิดขึ้นบางจุดซึ่งเป็นลักษณะไม่พึงประสงค์ต่อผู้บริโภค

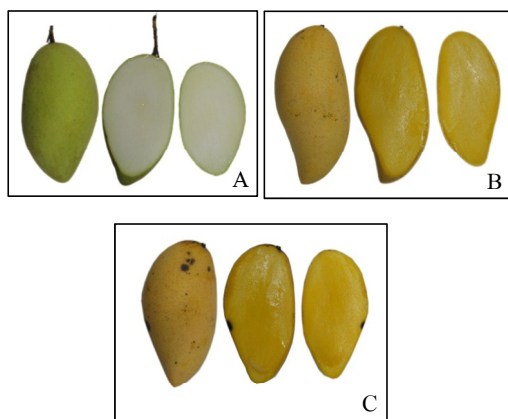


Figure 1 Ripening stages of Nom Dok-mai mango (A) unripe, (B) ripe and (C) over ripe.

เมื่อนำค่าปัจจัยต่างๆ ของมะม่วงน้ำดอกไม้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับระยะเวลาเป็นวันภายหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะไม่ให้ความแตกต่างในการแบ่งกลุ่มที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนปัจจัยอื่นให้ผลดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเปลือกและเนื้อผลที่วัดในระบบ L^* , a^* และ b^* แสดงใน Figure 2 ซึ่งจะพบว่าค่า L^* ของเนื้อผลมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนวันหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นนั่นคือ สีของเนื้อผลจะเปลี่ยนจากสีขาวไปเป็นสีเหลืองที่มากขึ้น ส่วนค่า L^* ของเปลือกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจนกระทั่งวันที่ 12 สำหรับค่า a^* ของทั้งเปลือกและเนื้อซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีจากเขียวไปเป็นแดงนั้น เมื่อมะม่วงน้ำดอกไม้มีความสุกเพิ่มขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของทั้งสีเปลือกและสีเนื้อโดยเปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นเหลือง ส่วนเนื้อจะเปลี่ยนจากสีขาวไปเป็นสีเหลืองส้ม จึงทำให้ค่า a^* ของเปลือกมีการ

เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในวันที่ 3 หลังการเก็บเกี่ยว จากนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าสีมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อวันเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของเนื้อก็เพิ่มขึ้นในทำนองเดียวกันกับเปลือก สำหรับค่า b^* ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีน้ำเงินไปเป็นสีเหลืองนั้นพบว่าค่า b^* ของเปลือกจะพัฒนาขึ้นที่ละน้อยจนเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในวันที่ 8 ส่วนค่า b^* ของเนื้อนั้นจะมีการพัฒนาซึ่งแบ่งกลุ่มอย่างชัดเจนในวันที่ 3 และเมื่อมองในภาพรวมการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกและเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อมีการสุกเกิดขึ้น พบว่าค่า a^* และ b^* จะแสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่าค่า L^*

เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อพบว่ามีความลดลงในขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้เกิดการสุกตามจำนวนวันหลังการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มมากขึ้น (Figure 3) โดยการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเกิดขึ้นจนถึงวันที่ 3 ทั้งความแน่นเนื้อที่วัดทั้งเปลือกและเฉพาะเนื้อโดยในช่วงเริ่มต้นพบว่าความแน่นเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจนเมื่อกระบวนการสุกเกิดขึ้นเต็มที่ในวันที่ 6 ความแน่นเนื้อจึงมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้พบว่าเมื่อระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นมะม่วงมีความสุกเพิ่มขึ้นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.2°Brix เป็น 17°Brix โดยการเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 1-3 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมะม่วงเกิดการสุกอย่างเต็มที่แล้วปริมาณของแข็งที่ละลายจะไม่เปลี่ยนแปลงจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงที่ตรงกันข้าม (Figure 4) นั่นคือ เมื่อการสุกเพิ่มขึ้นปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จะลดลงโดยสังเกตได้ชัดเจนในช่วงวันที่ 1-7 จากนั้นปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ในวันที่ 8-12 ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้จากตัวอย่างที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่ามีปริมาณกรดเริ่มต้นและพฤติกรรมกรดลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้คล้ายคลึงกับผลที่ได้จากการศึกษาของ สายชล และสุนทร (2535) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวอย่างของมะม่วงมาจากแหล่งการผลิตเดียวกันคือ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

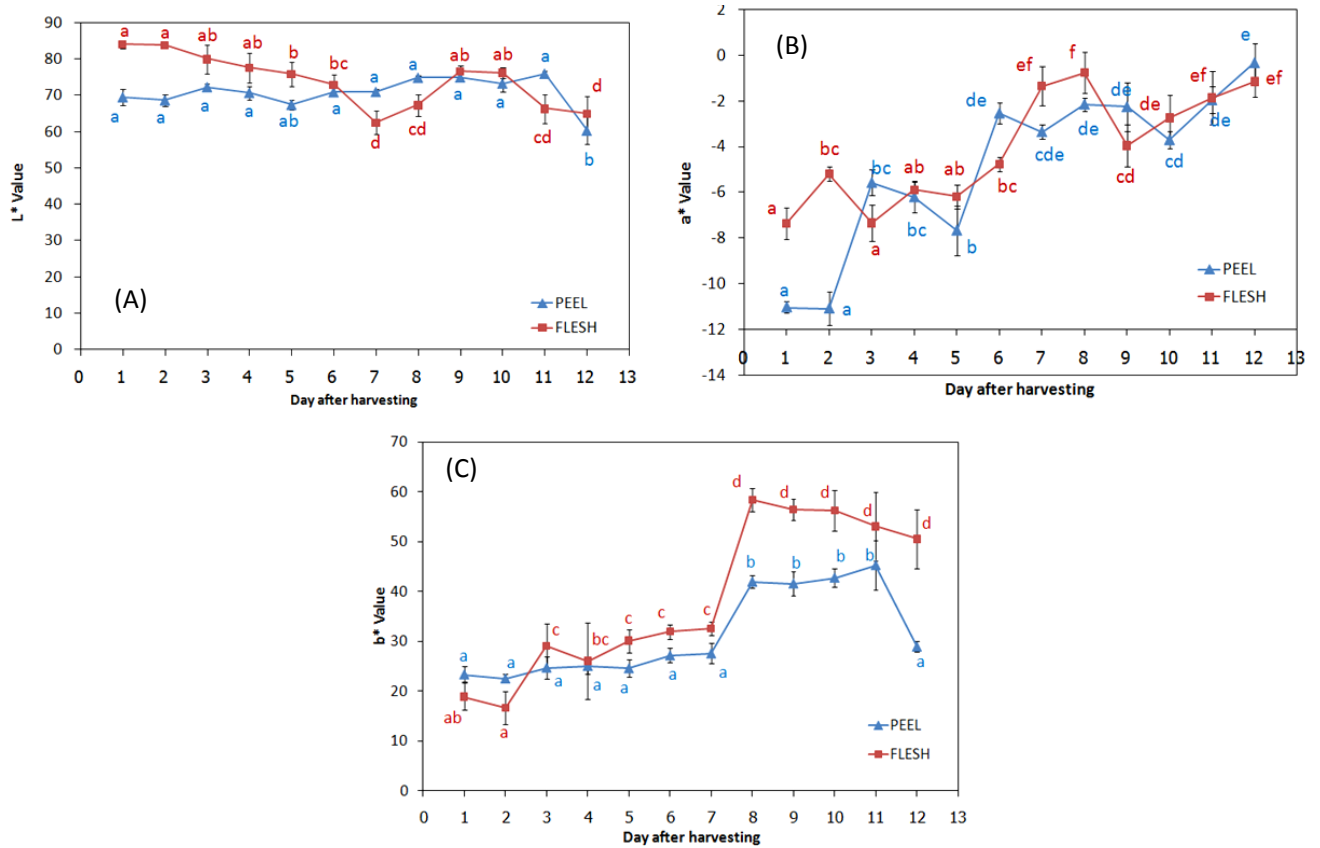


Figure 2 Changes in Nam Dok-mai mango flesh and peel color during ripening at room temperature ($27\pm1.5^\circ\text{C}$, $65\pm5\%\text{rh}$). (A) L^* value. (B) a^* value. (C) b^* value. Values followed by the same letter within each type are not significantly different (Duncan, $P<0.05$).

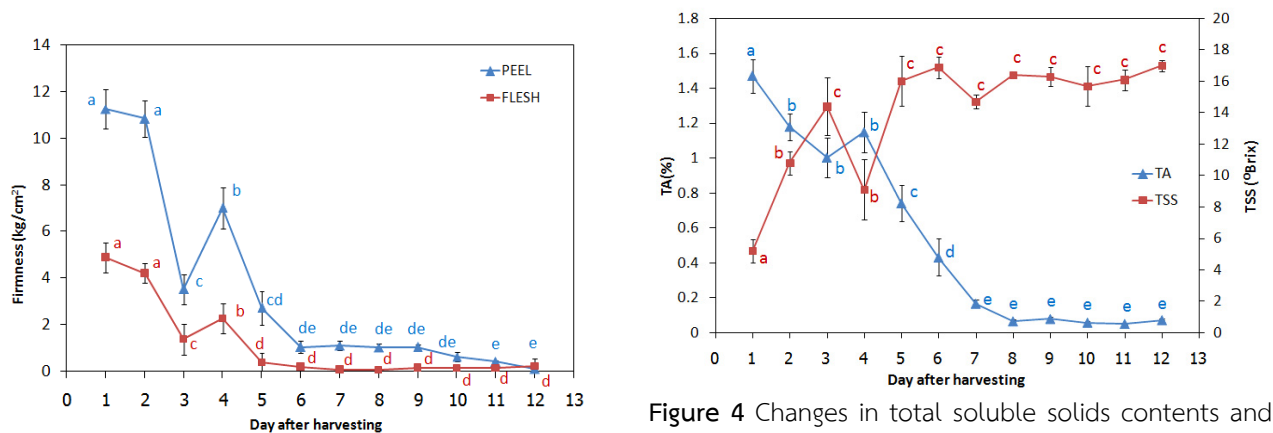


Figure 3 Changes in firmness of Nam Dok-mai mango during ripening at temperature of $27\pm1.5^\circ\text{C}$, $65\pm5\%\text{rh}$. Firmness values followed by the same letter were not significantly different (Duncan, $P<0.05$).

Figure 4 Changes in total soluble solids contents and titratable acidity of Nam Dok-mai mango during ripening at temperature of $27\pm1.5^\circ\text{C}$, $65\pm5\%\text{rh}$. Values followed by the same letter within each ripening attribute were not significantly different (Duncan, $P<0.05$).

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางกล, กายภาพ และเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าหากพิจารณาเพียงปัจจัยหนึ่งปัจจัยเดียว จะไม่สามารถแบ่งระยะการสุก (stage) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ชัดเจน ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อหาความสัมพันธ์กับระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยในรูปแบบ component plot (Figure 5) เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละตัวพบวาระยะการสุกของมะม่วง (ripening stage) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่า s_i^* ของเนื้อ (a_flesh) และเปลือก (a_peel), ค่า s_i^* ของเนื้อ (b_flesh), ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ซึ่งปัจจัยทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ใน component 1 และมีความแปรปรวนเป็น 60.08% ค่าความแน่นเนื้อทั้งเปลือกและเนื้อ (f_peel และ f_flesh) และค่าปริมาณกรดที่ไทเทรต (TA) ได้มีความสัมพันธ์ผกผันกับระยะการสุก (stage) เนื่องจากขณะที่ระยะการสุกเพิ่มค่าจากระยะดิบไปจนถึงระยะสุกเกิน ค่า f_peel, f_flesh และ TA จะมีค่าลดลงอย่างผกผันกัน ในขณะที่ค่า s_i^* ของเปลือก (l_peel) ถูกจัดกลุ่มแยกไปอยู่ใน component 2 อย่างเด่นชัดและมีความแปรปรวนเป็น 14.03% โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะ (sg) และค่า s_i^* เปลือก (b_peel) ค่อนข้างกระจายและไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นในทิศทางที่เด่นชัด โดยที่ความแปรปรวนรวมของ component ทั้งสองมีค่าเป็น 74.11%

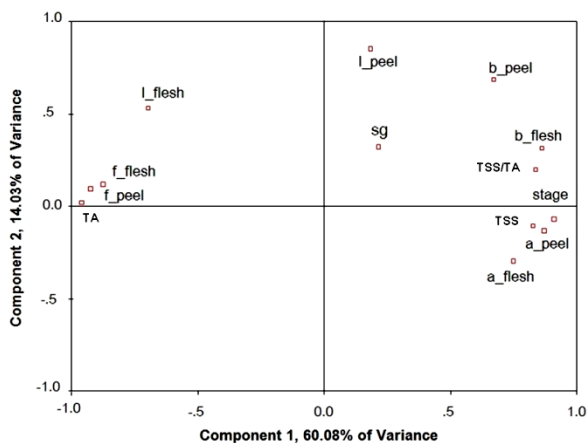


Figure 5 Component plots of all variables in experiment.

เมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Table 1) พบว่าทุกตัวแปรยกเว้น sg และ l_peel มีความสัมพันธ์อย่างย้งกับ stage ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ปัจจัย ตัวแปรที่มีค่า

สหสัมพันธ์กับ ripening stage สูงมากนอกจากตัวแปร f_peel ที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงสุดซึ่งใช้ในการแบ่ง ripening stage แล้ว ได้แก่ TA, f_flesh, a_peel, b_flesh, a_flesh, TSS/TA และ TSS ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีศักยภาพที่จะใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับ f_peel ในการประเมินระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ออกเป็นสามกลุ่มคือ ระยะดิบ (unripe), ระยะสุก (ripe) และระยะสุกเกิน (overripe) ให้มีความแม่นยำสูงขึ้นมากกว่าการใช้ค่า f_peel เพียงตัวเดียวในการจำแนก

จากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) พบว่าในภาพรวมของการจำแนกระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ กลุ่มตัวแปรสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ได้แก่ f_peel และ f_flesh) มีความสามารถในการจำแนกระยะการสุกได้ดีที่สุดคือ 85% (Table 2) โดยสามารถจำแนกวัย unripe ได้ถูกต้องถึง 100% รองลงมาคือ กลุ่มตัวแปรสมบัติทางเคมี (Chemical properties) ได้แก่ TSS, TA และ TSS/TA) กลุ่มตัวแปรสีของเนื้อ (Color of flesh) ได้แก่ l_flesh, a_flesh และ b_flesh) และการใช้กลุ่มตัวแปรสีของเปลือก (Color of peel) ได้แก่ l_peel, a_peel และ b_peel) มีความสามารถในการจำแนกระยะการสุกได้น้อยที่สุดเพียง 73.3% อย่างไรก็ตามการใช้ความแน่นเนื้อเพียงอย่างเดียว หรือการใช้คุณสมบัติเพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งในการประเมินระยะการสุกอาจไม่ครอบคลุมเกณฑ์คุณภาพที่ต้องการจำแนกอย่างเพียงพอ ประกอบกับระยะสุก (ripe) ที่จำแนกได้จากกลุ่มตัวแปรเชิงกลยังมีค่าไม่สูงมากพอ (ถูกต้องเพียง 65.2%) จึงเป็นไปได้ว่าเราไม่สามารถใช้ค่าหรือกลุ่มตัวแปรใดเพียงกลุ่มเดียวในการจำแนกระยะการสุกได้อย่างถูกต้องเพียงพอ

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการ Stepwise เพื่อคัดเลือกเฉพาะตัวแปรที่มีความสามารถต่อการจำแนกระยะการสุกได้ดีที่สุดพบว่าการใช้ตัวแปร f_peel ร่วมกับ TSS/TA มีความสามารถในการจำแนกระยะการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีที่สุดถึง 91.7% และสามารถเพิ่มการจำแนกระยะสุก (ripe) ได้ถูกต้องยิ่งขึ้นเป็น 82.6% (Table 3) โดยที่กลุ่มของมะม่วงน้ำดอกไม้ทั้ง 3 ระยะการสุกแสดงใน Figure 6

จาก Figure 6 ค่า Discriminant function 1 อธิบายความแปรปรวนได้ 98.3% โดยที่ความแปรปรวนอีก 1.7% ถูกอธิบายได้ด้วย Discriminant function 2 กลุ่มของมะม่วงระยะ unripe แยกออกจากอีกสองระยะอย่างชัดเจน (100%) ส่วนกลุ่มของวัย ripe กับ overripe มีบางส่วนเจือกันอยู่ และค่า Centroid ของแต่ละกลุ่มระยะการสุกที่จำแนกได้แยกกันอย่างชัดเจน

Table 1 Correlation between variables.

	sg	l_peel	a_peel	b_peel	l_flesh	a_flesh	b_flesh	f_peel	f_flesh	TA	TSS	TSS/TA	stage
sg	1	00.171	00.242	00.174	0.009	0.043	0.286*	-0.203	-0.194	-0.192	0.185	0.110	0.094
l_peel	0.171	1	0.120	0.681**	0.186	-0.102	0.270*	-0.120	-0.084	-0.158	0.104	0.171	0.082
a_peel	0.242	0.120	1	0.458**	-0.696**	0.625**	0.683**	-0.824**	-0.749**	-0.812**	0.718**	0.616**	0.768**
b_peel	0.174	0.681**	0.458**	1	-0.158	0.384**	0.793**	-0.503**	-0.467**	-0.628**	0.418**	0.750**	0.542**
l_flesh	0.009	0.186	-0.696**	-0.158	1	-0.787**	-0.336**	0.642**	0.618**	0.655**	-0.526**	-0.464**	-0.616**
a_flesh	0.043	-0.102	0.625**	0.384**	-0.787**	1	0.537**	-0.551**	-0.532**	-0.757**	0.475**	0.711**	0.640**
b_flesh	0.286*	0.270*	0.683**	0.793**	-0.336**	0.537**	1	-0.745**	-0.696**	-0.820**	0.618**	0.874**	0.752**
f_peel	-0.203	-0.120	-0.824**	-0.503**	0.642**	-0.551**	-0.745**	1	0.929**	0.866**	-0.871**	-0.639**	-0.880**
f_flesh	-0.194	-0.084	-0.749**	-0.467**	0.618**	-0.532**	-0.696**	0.929**	1	0.829**	-0.825**	-0.578**	-0.785**
TA	-0.192	-0.158	-0.812**	-0.628**	0.655**	-0.757**	-0.820**	0.866**	0.829**	1	-0.794**	-0.805**	-0.849**
TSS	0.185	0.104	0.718**	0.418**	-0.526**	0.475**	0.618**	-0.871**	-0.825**	-0.794**	1	0.529**	0.730**
TSS/TA	0.110	0.171	0.616**	0.750**	-0.464**	0.711**	0.874**	-0.639**	-0.578**	-0.805**	0.529**	1	0.745**
stage	0.094	0.082	0.768**	0.542**	-0.616**	0.640**	0.752**	-0.880**	-0.785**	-0.849**	0.730**	0.745**	1

Note: * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

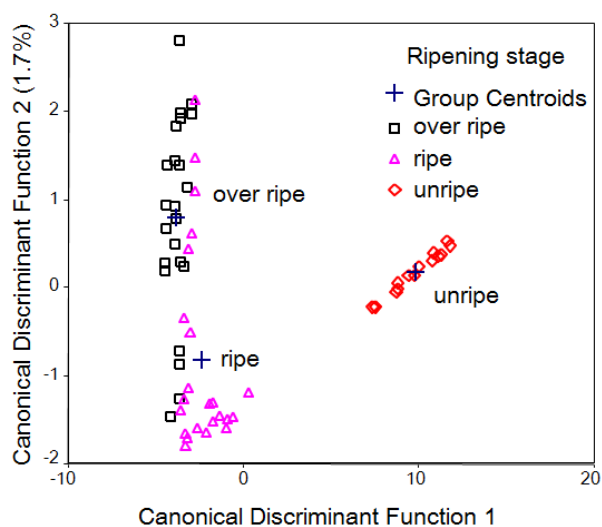
Table 2 Performance of classifications into sets of maturity stage.

Variable group	Total correctly classified group (%)	STAGE	Predicted Group Membership (%)		
			unripe	ripe	overripe
Mechanical properties ^a	85.0	unripe	100.0	0.0	0.0
		ripe	0.0	65.2	34.8
		overripe	0.0	4.3	95.7
Chemical properties ^b	83.3	unripe	100.0	0.0	0.0
		ripe	8.7	65.2	26.1
		overripe	0.0	8.7	91.3
Color of flesh ^c	81.7	unripe	92.9	7.1	0.0
		ripe	0.0	69.6	30.4
		over ripe	0.0	13.0	87.0
Color of peel ^d	73.3	unripe	92.9	7.1	0.0
		ripe	17.4	56.5	26.1
		overripe	0.0	21.7	78.3

Notes: ^a Mechanical properties are f_peel and f_flesh variables.^b Chemical properties are TSS and TA variables.^{c,d} Color of flesh and peel in l*, a* and b*.

Table 3 Classification Results from f_{peel} and tss_{ta} variables.

STAGE	Classified Group (%)			Total
	unripe	ripe	over ripe	
unripe	100.0	0.0	0.0	100.0
ripe	0.0	82.6	17.4	100.0
over ripe	0.0	4.3	95.7	100.0
Total correctly classified group (%)				91.7

**Figure 6** Scatter plots between canonical functions developed from f_{peel} and TSS/TA .

4 สรุป

สมบัติทางทางกล, ทางกายภาพ และทางเคมี ของมะม่วง น้ำดอกไม้ระหว่างการสุกเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระยะการสุก โดยปัจจัยที่สามารถจำแนกระยะสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ ออกเป็น 3 ระยะการสุกคือ ระยะดิบ, ระยะสุก และระยะสุกเกิน ด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม คือ ค่าความแน่นเนื้อทั้งเปลือก (f_{peel}) และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ซึ่งสามารถจำแนกระยะการสุกรวมของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ถูกต้อง 91.7% โดยจำแนกระยะดิบ, ระยะสุก และระยะสุกเกินได้ถูกต้อง 100%, 82.6% และ 95.7% ตามลำดับ

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุน นักศึกษาบัณฑิตศึกษาภายใต้โครงการ OROG

6 เอกสารอ้างอิง

- จารุวัฒน์ โจนนัททรากุล และศิริชัย กัลยานรัตน์. 2545. ผลของ 1-methylcyclopropene ต่อการชะลอการสุกของมะม่วง พันธุ์น้ำดอกไม้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 33 ฉบับที่ 6 (พิเศษ), 60-67.
- สายชล เกตุษา และสุนทร โปรทา. 2535. คุณภาพผลมะม่วงสุก และการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วง น้ำดอกไม้ที่เก็บเกี่ยวอายุต่างกัน. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์) 26, 12-19.
- ศักยะ สมบัติไพรวัน, เทวรัตน์ ทิพย์มิล และกระวี ตรีอานรรค. 2555. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพของมะม่วง น้ำดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานการประชุมวิชาการ สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 ประจำปี 2555, 680-687. เชียงใหม่: โรงแรมอิมพีเรียลแม่งปิง. 4-5 เมษายน 2555, เมือง, เชียงใหม่.
- ศูนย์สารสนเทศเกษตร. 2552. รายงานการส่งออกผลิตผลเกษตร 2549 ถึง 2552. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวง เกษตรและสหกรณ์.
- Jha, S. K., Sethi, S., Srivastav, M., Dubey, A. K., Sharma, R. R., Samuel, D. V. K. and Singh, A. K. 2010. Firmness characteristics of mango hybrids under ambient storage. Journal of Food Engineering 97:, 280-212.
- Mohsenin, N. N. 1996. Physical Properties of Plant and Animal Materials. (2nd ed.). Gordon and Breach Publishers, Singapore: 891 pp.
- Padda, M. S., Amareante, C. V. T. do, Garcia, P. M., Slaughter, D. C. and Mitcham, E. J. 2011. Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. Postharvest Biology and Technology 62:, 267-274.