การประเมินความหนาเนื้อมะพร้าวเจียด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์สำหรับวัดสี

Evaluation of Pulp Thickness in Polished Coconut by Color Spectrophotometer

จิรเมธ มีทิม[1/] อาทิตย์ พวงสมบัติ[1/] อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล[1/*]

Jiramet Meetim[1/] Arthit Phuangsombut[1/] Anupun Terdwongworakul[1/*]

Received 20 Jun. 2022/Revised 2 Aug. 2022/Accepted 20 Aug. 2022

ABSTRACT

This research aimed to apply optical properties of polished coconut shell to predict pulp thickness or maturity. Predictive equations were constructed using 210 polished coconut shell by comparing the uses of reflectance spectra and colour values (L*, a*, b*) together with glossiness. Both reflectance spectra and colour values were obtained by averaging three measured positions at the bottom of coconut shell samples. Predictive equation generated from colour values provided slightly higher accuracy than the one developed from the reflectance spectra, in which, b* was considered the most crucial variable to pulp thickness prediction. When the predicted pulp thickness data obtained from L*, a*, b*, and gloss colour values were used to separate the coconut into 3 grades, it was found that sorting accuracy reached 80.8%, which was higher than the accuracy operated by skilled labours (74%). Results of this research showed the possibility of using colour values to predict pulp thickness or maturity of polished coconuts, which could be further applied as a sorting tool in postharvest supply chain.

Keywords: polished coconut, flesh thickness, spectrophotometer

[1/] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[1/] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

*** Corresponding author: fengant@ku.ac.th**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้สมบัติเชิงแสงของผิวมะพร้าวเจียในการทำนายความหนาเนื้อหรือความแก่ สร้างสมการสำหรับทำนายความหนาเนื้อมะพร้าวเจีย 210 ผล โดยเปรียบเทียบการใช้สเปกตรัมการสะท้อนแสงและค่าสี L*, a*, b* และ ค่าความเงา (gloss) ของผิวมะพร้าวมาสร้างสมการ โดยเป็นค่าที่เฉลี่ยจากการวัดบริเวณด้านล่างของผลมะพร้าว 3 จุด ผลการวิเคราะห์สร้างสมการทำนาย พบว่า สมการที่สร้างจากข้อมูลค่าสีมีความแม่นยำมากกว่าสมการที่สร้างจากสเปกตรัมการสะท้อนแสงเล็กน้อย โดยค่า b* เป็นค่าสีที่มีความสำคัญกับการทำนายความหนาเนื้อมากที่สุด เมื่อนำข้อมูลความหนาเนื้อที่ทำนายได้จากค่าสี L*, a*, b* และ gloss มาคัดแยกผลมะพร้าวออกเป็น 3 เกรด พบว่า มีความแม่นยำในการคัดแยก 80.8% ซึ่งมากกว่าการคัดแยกโดยผู้ชำนาญของผู้ประกอบการที่มีความแม่นยำในการคัดแยกเท่ากับ 74% ผลจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ค่าสีสำหรับทำนายความหนาเนื้อหรือความแก่มะพร้าวเจีย ซึ่งสามารถนำผลวิจัยไปพัฒนาเป็นเครื่องมือคัดแยกได้ต่อไป

คำสำคัญ: มะพร้าวเจีย, ความหนาเนื้อ, สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจประจำประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดที่ติดชายฝั่งทะเลและยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญโดยมีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณการส่งออก 52,857 ตัน เป็นมูลค่า 1,259 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ซึ่งในตลาดโลกมะพร้าวเป็นสิ่งที่ต้องการเป็นอย่างมาก เนื่องจากมะพร้าวสามารถนำไปบริโภคแบบสดและนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้เช่น กะทิ น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น ซึ่งมะพร้าวที่มีความนิยมมากที่สุดคือ มะพร้าวน้ำหอม (coconut; *Cocos nucifera* Linn)

มะพร้าวเจีย (polished coconut) เป็นมะพร้าวที่มีการตัดแต่งผลมะพร้าวน้ำหอม เพื่อให้มีความสวยงามและเป็นการเพิ่มมูลค่าโดยปอกเปลือกจนเหลือเปลือกขาวเพียงบางส่วนเพื่อครอบคลุมส่วนตามะพร้าวที่มีความบางและมีโอกาสที่จะถูกเชื้อโรคเข้าทำลายได้ เสร็จแล้วแต่งผิวกะลาให้เรียบ โดยทั่วไปภายในผลมะพร้าวน้ำหอมจะมีความหนาเนื้อประมาณ 4 มม. (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562) และความหวานของน้ำมะพร้าวประมาณ 6.5-8.0 °Brix ขึ้นอยู่กับความแก่ของมะพร้าว ผู้บริโภคส่วนใหญ่ต้องการซื้อมะพร้าวเจียที่มีความหนาเนื้อที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม การคัดความหนาเนื้อมะพร้าวเจียในปัจจุบันอาศัยผู้คัดเลือกซึ่งประเมินโดยใช้การสังเกตสีที่ผิวกะลาด้านใต้ผล ซึ่งผู้คัดเลือกจำเป็นต้องมีประสบการณ์และความชำนาญสูง ดังนั้น ทำให้มีความต้องการเทคนิคการประเมินความหนาเนื้อแบบไม่ทำลายตัวอย่าง และรวดเร็ว

ได้มีการนำเทคนิคการวัดสีด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ซึ่งเป็นวิธีที่มีแนวโน้มความเป็นไปได้ โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของสี ตั้งแต่ 300 - 700 นาโนเมตร ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในการประเมินคุณภาพของผลไม้ Jha *et al*. (2005) สร้างสมการสำหรับประเมินความหวานของมะม่วงจากค่าสเปกตรัมสีเปลือกมะม่วงในช่วง 440 - 480 นาโนเมตร และพบว่า ค่าความหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อมะม่วง มีความสัมพันธ์กับข้อมูลสเปกตรัมของสีผิวมะม่วงสำหรับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ Wanitchang *et al*. (2011) ได้พัฒนาสร้างสมการในการคัดแยกมะม่วงตามความแก่

4 ระดับ โดยใช้สเปกตรัมการสะท้อนแสงของสีผิวมะม่วงเป็นตัวแปรสำคัญในสมการคัดแยก นอกจากนั้น Wanitchang *et al*. (2010) นำค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงของสีผิวเปลือกแก้วมังกรในการสร้างสมการทำนายดัชนีความแก่ของแก้วมังกร ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.86 การวัดสเปกตรัมการสะท้อนแสงของสีผิวได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกส้มโอทับทิมสยามตามความแก่ เช่นกัน Phuangsombut *et al*. (2020) รายงานการสร้างสมการคัดแยกความแก่ส้มโอทับทิมสยามออกเป็น 4 ระดับ โดยใช้สเปกตรัมการสะท้อนแสงของสีผิว ซึ่งให้ความถูกต้องในการคัดแยก 83.9%

การประยุกต์เทคนิคตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับทำนายความหนาเนื้อมะพร้าว Hendrawan *et al.* (2019) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายในการทำนายความหนาเนื้อมะพร้าว โดยนำภาพถ่ายผลมะพร้าวมาหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสี รูปทรง และขนาดผล และนำมาวิเคราะห์สร้างสมการทำนายความหนาเนื้อด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดเท่ากับ 0.90 เมื่อใช้ข้อมูลรูปทรงของผลเป็นพารามิเตอร์สร้างโมเดล Javel *et al.* (2019) รายงานการใช้เทคนิคตรรกะแบบฟัซซี (fuzzy logic) สร้างโมเดลคัดแยกมะพร้าวตามกลุ่มความแก่ ด้วยข้อมูลสีจากภาพผลมะพร้าวและความถี่เสียงเคาะผล พบว่า ตรรกะแบบฟัซซีสามารถแยกมะพร้าวเป็น 3 ระดับความแก่ตามลักษณะเนื้อมะพร้าว ขณะที่ Caladcad *et al.* (2020) นำรูปแบบสเปกตรัมเสียงเคาะมาสร้างสมการคัดแยกมะพร้าวเป็น 3 ระดับความแก่ เช่นเดียวกัน และพบว่า เทคนิคต้นไม้สุ่ม (random forest) มีความแม่นยำในการคัดแยก 83.48%

ในกรณีของมะพร้าวเจีย มีรายงานการนำเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบคุณภาพและความบริบูรณ์ของผลมะพร้าวอ่อนแบบไม่ทำลาย โดยพีรพงษ์และคณะ (2554) พบว่า สมการที่สร้างจากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ในช่วงความยาวคลื่น 600-1,100 นาโนเมตร สามารถคัดแยกมะพร้าวเจียทรงหัวแหลมที่มีเนื้อ 0-1 ชั้น ได้อย่างถูกต้อง 92% และมีเนื้อ 1.5-2.5 ชั้น ได้อย่างถูกต้อง 100% มีความถูกต้องรวม 98.3% อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าว ใช้เครื่องมือวัดสำหรับห้องปฏิบัติการที่มีราคาสูง ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ในเชิงการค้าสำหรับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก จากงานวิจัยที่กล่าวมา ยังไม่มีการประยุกต์ใช้การวัดสเปกตรัมการสะท้องแสงสำหรับการประเมินความแก่หรือความหนาเนื้อของมะพร้าวเจีย ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่มีราคาไม่สูง เพื่อนำมาสร้างสมการทำนายความหนาเนื้อของมะพร้าวเจีย ซึ่งจะสามารถนำไปเป็นส่วนหนึ่งของคำสั่งคอมพิวเตอร์ ในการพัฒนาแอพพลิเคชันสมาร์ทโฟนเพื่อใช้งานร่วมกับสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สำหรับผู้ประกอบการจำหน่ายมะพร้าวเจียนำไปควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างมะพร้าวเจีย

เตรียมตัวอย่างผลมะพร้าวทั้งหมด 210 ผล จากผู้ประกอบการ ซึ่งจัดหามาจากแหล่งปลูก จ.ประจวบคีรีขันธ์ และให้ผู้ประกอบการสุ่มคัดเลือกความแก่ของมะพร้าว 3 ระดับ ได้แก่ มะพร้าวอ่อน มะพร้าวแก่พอดี และมะพร้าวแก่จัด โดยไม่คำนึงถึงขนาดและรูปร่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีความหนาของเนื้อแตกต่างกัน จากนั้นผู้ประกอบการได้นำมะพร้าวมาปอกเปลือกเป็นมะพร้าวเจีย โดยเหลือเปลือกขาวมีรูปร่างทรงหัวแหลมด้านกะลาส่วนบนที่ติดกับขั้วสำหรับปิดตามะพร้าว ขัดผิวกะลาส่วนที่เหลือให้ผิวเรียบทั้งผล เสร็จแล้วนำมาแช่สารละลายฟอกขาวเพื่อหยุดกระบวนการเกิดสีน้ำตาลที่ผิว (Figure 1)

Figure 1 Appearance of polished coconut used in this study

2. การวัดสเปกตรัมการสะท้อนแสงของสีผิวมะพร้าวเจีย

นำผลมะพร้าวแต่ละผลมาวัดค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงที่มองเห็นได้ สี และความเงา ด้วยเครื่องมือสเปกโทรโฟโตมิเตอร์วัดสี (BYK Gardner Spectro-Guide 45/0, Germany) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีขนาดเล็ก พกพาได้สะดวก สามารถวัดการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 ถึง 700 นาโนเมตร ค่าความสว่าง (L*) แกนสีจากสีเขียวจนถึงสีแดง (a*) แกนสีจากสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง (b*) และค่าความเงา (gloss) ทำการวัดบริเวณด้านก้นของมะพร้าว 3 ตำแหน่ง โดยนำมะพร้าวมาวางบนแท่นวางให้ด้านก้นผลหงายขึ้น (Figure 2) เนื่องจากด้านก้นมะพร้าวมีลักษณะแบนเรียบและเป็นบริเวณที่ผู้ประเมินสีกะลาใช้พิจารณาความหนาของเนื้อมะพร้าว นอกจากนั้นด้านก้นจะมีแนวสันแบ่งออกเป็น 3 ส่วน การวัดจะเริ่มจากส่วนที่มีผิวกว้างที่สุด โดยนับเป็นจุดที่ 1 จากนั้นจะวัดจุดที่ 2 และ 3 ตามเข็มนาฬิกา (Figure 3) แล้วบันทึกค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงที่มองเห็นได้ ค่าสี และความเงา ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกลงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์วัดสี แล้วนำข้อมูลที่ได้นำไปลงในโปรแกรม Excel (version 365, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA)

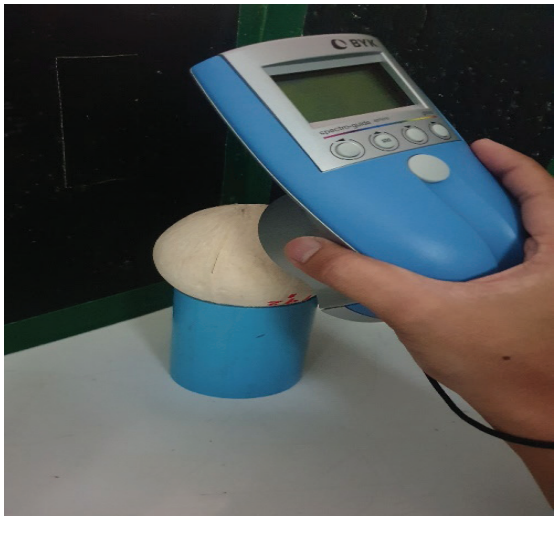
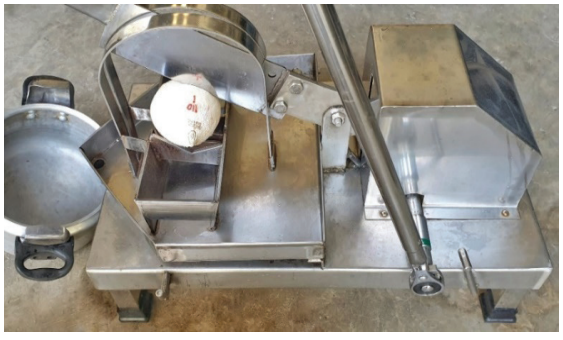


Figure 2 Measurement of reflectance spectra and colour values of polished coconut using a hand-held spectrophotometer

Figure 3 Three positions at the bottom of polished coconut with a clockwise direction measurement

3. การวัดความหนาเนื้อ

นำมะพร้าวเจียที่วัดค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงแล้ว มาวางบนเครื่องผ่ามะพร้าว ซึ่งส่วนประกอบของเครื่อง ได้แก่ แท่นวางผลมะพร้าวพร้อมใบตัด ด้านล่างมีกระบะเพื่อไว้รองน้ำมะพร้าวหลังจากการผ่า (Figure 4a) โดยผ่าครึ่งมะพร้าวตามแนวระนาบที่ตั้งฉากกับแนวขั้วผ่านส่วนที่กว้างที่สุดของผล จนผลมะพร้าวแยกออกมาเป็น 2 ส่วน วัดความหนาเนื้อมะพร้าวโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Richer, Jiangxi, China) ทั้ง 3 ตำแหน่ง วัดตำแหน่งละ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อของแต่ละตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกจะวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางส่วนที่มีพื้นผิวกะลาที่ใหญ่ และตำแหน่งที่ 2 และ 3 จะวัดตามเข็มนาฬิกา ซึ่งในการวัดความหนาเนื้อจะวัดตรงตำแหน่งแนวเดียวกันกับการวัดค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสง (Figure 4b) นำค่าความหนาเนื้อทั้งสามค่ามาเฉลี่ยสำหรับเป็นค่าตัวแปรตามในการวิเคราะห์สร้างสมการทำนายความหนาเนื้อต่อไป



(a)

(b)

Figure 4 A device for cutting a polished coconut into halves (a), and flesh thickness measurement using digital vernier caliper (b)

4. การสร้างสมการทำนายความหนาเนื้อมะพร้าวเจีย

นำข้อมูลการวัดตัวอย่างมะพร้าวจำนวน 210 ลูก ได้แก่ ความหนาเนื้อ ค่าการสะท้อนแสงที่มองเห็นได้ ค่า L*, a*, b* และความเงา มาสร้างสมการทำนายโดยแบ่งเป็น 2 สมการหลัก ได้แก่

1. สมการทำนายความหนาเนื้อจากค่าการสะท้อนแสง

2. สมการทำนายความหนาเนื้อจากค่า L*, a*, b* และความเงา

การเตรียมข้อมูลสำหรับสร้างสมการ แบ่งข้อมูลตัวอย่างตามค่าความหนาเนื้อเป็นกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) 75% และกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) 25% โดยให้ทั้งสองกลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวของค่าความหนาเนื้อใกล้เคียงกัน และช่วงค่าความหนาเนื้อของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการครอบคลุมค่าในกลุ่มทดสอบสมการ ซึ่งทำโดยนำตัวอย่างมาเรียงตามค่าความหนาเนื้อมากสุดไปยังน้อยสุด และเลือกตัวอย่างสลับกันเข้ากลุ่มทั้งสองในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยให้ตัวอย่างที่มีค่าความหนาเนื้อน้อยที่สุด และมากที่สุดอยู่ในกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) จากนั้นนำข้อมูลการสะท้อนแสง (หรือค่า L*, a*, b* และความเงา) และความหนาเนื้อของกลุ่มสร้างสมการ มาวิเคราะห์สร้างสมการทำนาย สำหรับกรณีค่าการสะท้อนแสงวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler V.9.8 (Camo, Oslo, Norway) และหาจำนวนแฟกเตอร์ (latent variable) ที่เหมาะสมด้วยเทคนิค leave-one-out cross-validation ส่วนค่า L*, a*, b* และความเงา วิเคราะห์ด้วยเทคนิค multiple linear regression โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler V.9.8 (Camo, Oslo, Norway) เช่นเดียวกัน เมื่อได้สมการที่เหมาะสมแล้ว นำมาทำนายค่าความหนาเนื้อของตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) จากค่าการสะท้อนแสง (หรือค่า L*, a*, b* และความเงา) นำค่าความหนาเนื้อที่ทำนายและค่าความหนาเนื้อที่วัดจริงมาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนและค่าสถิติสำหรับประเมินสมรรถนะของสมการ ได้แก่ correlation coefficient (r), root mean square error of calibration (RMSEC) และ root mean square error of prediction (RMSEP)

ในกรณีการสร้างสมการจากข้อมูลสเปกตรัมการสะท้อนแสง เพิ่มการปรับปรุงความแม่นยำในการทำนายของสมการ ทำการปรับลดผลกระทบจากการกระเจิงแสงต่อสเปกตรัม โดยนำสเปกตรัมการสะท้อนแสงมาปรับแต่งด้วยวิธี pretreatment ต่าง ๆ เช่น smoothing, first derivative, second derivative หรือ standard normal variate (SNV) หรือ หลาย ๆ วิธี รวมกัน และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ปรับในแต่ละรูปแบบไปสร้างสมการทำนายตามขั้นตอนข้างต้น

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ความหนาเนื้อของมะพร้าวเจีย

จากการแบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม เพื่อให้มีการกระจายตัวของค่าความหนาเนื้อมะพร้าวเจียใกล้เคียงกัน พบว่า ตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการมีความหนาเนื้ออยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.41 ถึง 7.95 มม. และมีความหนาเนื้อเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 4.60±1.20 มม. โดยค่าความหนาเนื้อในกลุ่มสร้างสมการจะครอบคลุมค่าความหนาเนื้อในกลุ่มทดสอบสมการ ที่มีค่าความหนาเนื้ออยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.71 ถึง 7.27 มม. และมีความหนาเนื้อเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.57±1.15 มม. (Table 1)

Table 1 Descriptive statistics of flesh thickness in polished coconut samples

	Minimum value (mm)	Maximum value (mm)	Mean (mm)	Standard deviation
Calibration set (n = 158)	2.41	7.95	4.60	1.20
Prediction set (n = 52)	2.71	7.27	4.57	1.15

2. สเปกตรัมการสะท้อนแสงของมะพร้าว

ลักษณะการสะท้อนแสงของตัวอย่างมะพร้าวเจียซึ่งแสดงออกมาในรูปของสเปกตรัมในภาพรวม (Figure 5) ไม่มีการสะท้อนแสงที่เด่นชัดที่ความยาวคลื่นจำเพาะ (specific wavelength) ทั้งนี้ เนื่องจากสีของผลมะพร้าวเจียค่อนข้างเป็นสีขาวสม่ำเสมอ นอกจากนั้นค่าการสะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น อย่างไรก็ตามพบว่าการสะท้อนแสงของแต่ละตัวอย่างได้รับผลกระทบจากการกระเจิงแสงเนื่องจากผิวมะพร้าวมีระนาบและลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดการเลื่อนตัวของสเปกตรัมในแนวแกน y ที่แตกต่างกัน หรือเรียกว่า baseline offset ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกว่าสเปกตรัมควรได้รับการปรับด้วยเทคนิคต่าง ๆ ก่อนนำไปวิเคราะห์สร้างสมการ เพื่อลดผลกระทบของการกระเจิงแสง

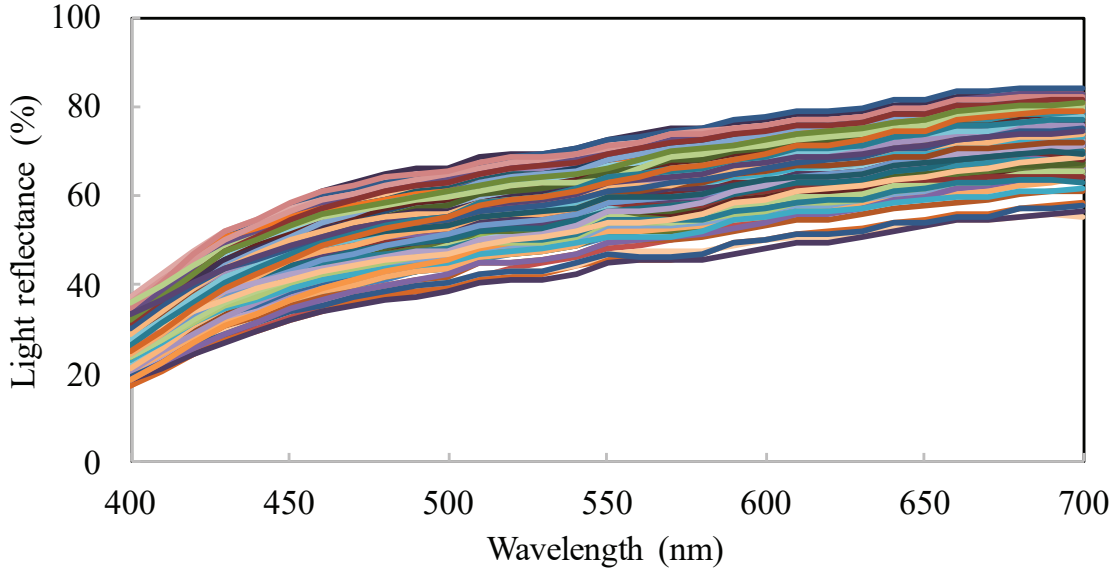


Figure 5 Reflectance spectra (light reflectance; %) of polished coconut samples obtained from a hand-held spectrophotometer

3. ค่าสีของมะพร้าวเจีย

สมบัติเชิงสีของมะพร้าวเจียแสดงใน Table 2 เมื่อพิจารณาค่า L* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสว่างของตัวอย่างมะพร้าวทั้งหมดมีค่า L* ตั้งแต่ 73.27 ถึง 86.56 แสดงว่า ตัวอย่างมะพร้าวมีสีที่ค่อนไปทางสว่าง สำหรับค่า a* ที่เป็นช่วงสีระหว่างแดงกับเขียวมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.49 ซึ่งเป็นค่าที่เข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่า ผิวมะพร้าวมีสีจะใกล้เคียงสีขาว ส่วนค่า b* ที่แสดงช่วงสีระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำเงินมีค่าสูงสุดของเท่ากับ 17.82 หมายความว่า สีของผลมะพร้าวค่อนข้างไปทางสีขาว (McGuire, 1992) เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาค่า gloss ที่แสดงความมันเงาของตัวอย่างมะพร้าวเจีย ในการทดลองมีค่า gloss ตั้งแต่ 0.08 GU ถึง 2.21 GU ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 GU หมายความว่า ผิวมะพร้าวเจียมีลักษณะเป็นมันเงาต่ำ (Anonymous, 2022) เมื่อนำค่าสี L*, a*, b* และ gloss มาหาความสัมพันธ์กับความหนาเนื้อมะพร้าวเจีย พบว่า ค่า a*, b* และ gloss มีความสัมพันธ์ตรงกับความหนาเนื้อ โดย

Table 2 Descriptive statistics of colour parameters (L*, a*, b*, and gloss) obtained from polished coconut shell samples

Parameter	Sample set	Minimum Value	Maximum value	Mean	Standard deviation
L*	Calibration set	73.27	86.56	80.90	2.81
L*	Prediction set	74.75	86.16	81.01	2.99
a*	Calibration set	0.66	3.49	1.87	0.53
a*	Prediction set	0.77	2.87	1.78	0.44
b*	Calibration set	11.22	17.82	15.04	1.59
b*	Prediction set	11.63	17.35	15.07	1.33
Gloss (GU)	Calibration set	0.08	2.21	1.45	0.50
Gloss (GU)	Prediction set	0.09	2.14	1.35	0.53

ค่า b* มีความสัมพันธ์สูงสุด (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) = 0.70) ค่า gloss มีความสัมพันธ์ต่ำสุด (r = 0.06) ส่วนค่า L* มีความสัมพันธ์ผกผันกับความหนาเนื้อมะพร้าวเจีย (r = -0.60)

4. ผลการสร้างสมการทำนายความหนาเนื้อ

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการทำนายความหนาเนื้อมะพร้าวเจียจากข้อมูลการสะท้อนแสงและข้อมูลค่าสี L*, a*, b* และ gloss พบว่า สมการที่สร้างจากข้อมูลค่าสี (r และ RMSEP มีค่า 0.82 และ 0.63) มีความแม่นยำมากกว่าสมการที่สร้างจากข้อมูลการสะท้อนแสง (r และ RMSEP มีค่า 0.80 และ 0.69) (Table 3) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเนื้อมะพร้าวที่ทำนายจากสมการที่สร้างจากข้อมูลค่าสีกับค่าความหนาเนื้อจริงของตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการแสดงใน Figure 6 เมื่อเปรียบเทียบค่า standardized coefficient พบว่า ค่าสีที่มีความสำคัญในการทำนายความหนาเนื้อมากที่สุด ได้แก่ b* (Table 4)

Table 3 Prediction performance of the model based on light reflectance in comparison with the model created from L*, a*, b*, and gloss

Variable type	Calibration			Prediction	
	Number of factors	R	RMSEC[a]	r	RMSEP
Light reflectance[b]	4	0.76	0.75	0.80	0.69
L*, a*, b*, gloss		0.78	0.75	0.82	0.63

[a] RMSEC = Root mean square error of calibration

RMSEP = Root mean square error of prediction

[b] Light reflectance treated by smoothing, standard normal variate and first derivative.

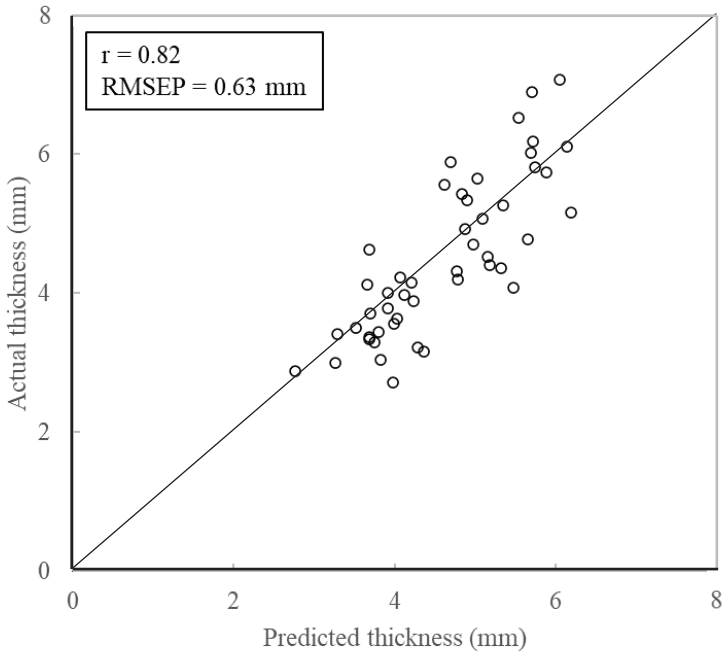


Figure 6 Relationship between actual flesh thickness against the flesh thickness predicted by the model based on L*, a*, b*, and gloss

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การใช้เครื่องมือวัดค่าสีของผิวกะลาสามารถตรวจวัดความหนาเนื้อได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการตรวจสอบของผู้ประกอบการที่ใช้การสังเกตสีที่กะลา และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dobrzanski and Rybczynski (2002) ที่ได้ศึกษาการใช้ค่าสีประเมินคุณภาพของผลแอปเปิล พบว่า สามารถใช้ค่าสี L*, a* และ b* ในการประเมินอายุเก็บรักษาได้

สำหรับการนำผลการทำนายความหนาเนื้อมาแบ่งเกรดมะพร้าวนั้น จากการสอบถามผู้ประกอบการที่จำหน่ายมะพร้าวเจียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผู้ประกอบการต้องการแบ่งเกรดมะพร้าวตามประสบการณ์ออกเป็น 3 เกรด โดยกำหนดการแบ่งเกรดตามความหนาเนื้อมะพร้าวเจีย ได้แก่

1. เกรด 1 ความหนาเนื้อ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 มม.

2. เกรด 2 ความหนาเนื้ออยู่ระหว่าง 3 - 5 มม.

3. เกรด 3 ความหนาเนื้อ มากกว่าหรือเท่ากับ 5 มม.

โดยเกรดที่ผู้บริโภคต้องการคือ เกรด 2 ดังนั้น ในการคัดเกรดผู้ประกอบการต้องการคัดมะพร้าวเกรด 1 และ เกรด 3 ออก และจำหน่ายเฉพาะมะพร้าวเกรด 2 เท่านั้น ซึ่งจำหน่ายในราคาผลละ 30 บาท

Table 4 Standardized coefficients of variables in multiple linear regression for predicting flesh thickness

Parameter	Standardized coefficients
L*	-0.333
a*	0.072
b*	0.483
Gloss	0.090

การแสดงผลทำนายเปอร์เซ็นต์การจำแนกตัวอย่างออกเป็นเกรด 3 เกรด ทำโดยนำค่าความหนาเนื้อจริงของตัวอย่างทั้งหมดในกลุ่มทดสอบสมการมาแบ่งเป็น 3 เกรด ตามเกณฑ์ข้างต้น จากนั้น นำความหนาเนื้อของตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการที่ทำนายจากสมการทีสร้างจากค่าสี มาแบ่งเป็น 3 เกรด เช่นเดียวกัน จากนั้นเปรียบเทียบการแบ่งเกรดตัวอย่างทั้งหมดระหว่างเกรดจากความหนาเนื้อจริง และเกรดจากความหนาเนื้อทำนาย ถ้าเกรดตรงกันนับว่าถูกต้อง เกรดไม่ตรงกันนับว่าไม่ถูกต้อง แล้วนำจำนวนที่ถูกต้องหารด้วยจำนวนทั้งหมดคูณด้วย 100 เพื่อได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดแยก

ผลการคัดแยกที่เน้นการคัดเกรดที่ต้องการเป็นเกรด 2 ส่วนเกรดอื่นเป็นเกรดที่ไม่ต้องการ เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดแยกรวม 80.8% ซึ่งสูงกว่าการคัดแยกด้วยผู้คัดแยกของผู้ประกอบการ ที่สามารถคัดแยกด้วยสายตาจากการดูสีที่ด้านล่างผลมะพร้าวได้ถูกต้อง 74% ส่วนความคลาดเคลื่อนเชิงบวก (false positive) หรือการคัดเกรดอื่นผิดเป็นเกรด 2 เท่ากับ 14.3% และความคลาดเคลื่อนเชิงลบ (false negative) หรือการคัดเกรด 2 ผิดเป็นเกรดอื่นเท่ากับ 22.6% อย่างไรก็ตาม ผลการคัดแยกนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการวัดสีมะพร้าวเจีย ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องมือคัดแยกคุณภาพได้ต่อไปในอนาคต

Table 5 Classification results of polished coconut categorized by flesh thickness

Actual grade	Correctly classified (%)	Predicted grade*			
		1*	2	3	Total
1	66.7	2	1	0	3
2	77.4	0	24	7	31
3	88.9	0	2	16	18
Total	80.8				

* Grade 1: Flesh thickness ≤ 3 mm
Grade 2: 3 mm < Flesh thickness < 5 mm
Grade 3: Flesh thickness ≥ 5 mm

สรุปผลการทดลอง

เปรียบเทียบการใช้สเปกตรัมการสะท้อนแสงและค่าสี L*, a*, b* และ gloss สำหรับสร้างสมการทำนายความหนาเนื้อมะพร้าวเจีย พบว่า สมการที่สร้างจากข้อมูลค่าสีมีความแม่นยำมากกว่าสมการที่สร้างจากสเปกตรัมการสะท้อนแสงเล็กน้อย ค่าสีที่มีความสำคัญกับการทำนายความหนาเนื้อมากที่สุด ได้แก่ b* เมื่อนำข้อมูลความหนาเนื้อที่ทำนายได้จากสมการค่าสี L*, a*, b* และ gloss มาหาความถูกต้องในการคัดแยกผลมะพร้าวออกเป็น 3 เกรด พบว่ามีความแม่นยำในการคัดแยก 80.8% ซึ่งสูงกว่าการคัดแยกโดยผู้ชำนาญของผู้ประกอบการที่มีความแม่นยำในการคัดแยก 74% แสดงให้เห็นว่าค่าสีของผิวกะลามะพร้าวเจีย สามารถทำนายความหนาเนื้อหรือความแก่มะพร้าวเจียได้ ซึ่งสามารถนำผลวิจัยไปพัฒนาเป็นเครื่องมือคัดแยกได้ต่อไป อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ควรใช้คัดแยกมะพร้าวเจียที่ได้ผ่านกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนทั้งหมดทันทีก่อนที่จะบรรจุกล่องส่งจำหน่าย เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือกกะลามะพร้าว

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับทุนวิจัยในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

พีรพงษ์ แสงวนางค์กูล รณฤทธิ์ ฤทธิรณ ธีรนุต ฆ่มโพธิ์ภักดิ์ สมนึก ทองบ่อ และยุพิน อ่อนศิริ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพและความบริบูรณ์ของผลมะพร้าวอ่อนแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิค NIRs เพื่ออุตสาหกรรมการส่งออก. รายงานผลการวิจัย. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา.

สถาบันวิจัยพืชสวน. 2562. การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตมะพร้าวน้ำหอม. สำนักพิมพ์การันตี, กรุงเทพฯ. 98 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. สถิติการส่งออกมะพร้าวอ่อน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งข้อมูล: http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2564&E_YEAR=2565&PRODUCTGROUP=5252&PRODUCTID=5031&wfsearch=&WF_SEARCH=Y สืบค้น: 12 มิถุนายน 2565.

Anonymous, 2022. Rhopoint Instruments. Gloss FAQs. Available at: https://www.rhopointinstruments.com/faqs/gloss/. Accessed: June 2022.

Caladcad, J.A., S. Cabahug, M.R. Catamco, P.E. Villaceran, L. Cosgafa, K.N. Cabizares and M. Hermosilla. 2020. Determining Philippine coconut maturity level using machine learning algorithms based on acoustic signal. *Comput. Electron. Agric*. 172: 105327.

Dobrzanski, B. and R. Rybczynski. 2002. Colour change of apple as a result of storage, shelf-life, and bruising. *Int. Agrophysics*. 16(4):.261-268.

Hendrawan, Y., A. Amini, D.M. Maharani and S.M. Sutan. 2019. Intelligent Non-Invasive Sensing Method in Identifying Coconut (*Coco nucifera* var. Ebunea) Ripeness Using Computer Vision and Artificial Neural Network. *PERTANIKA J. Science & Technology*. 27(3): 1317-1339.

Javel, I. M., A.A. Bandala, R.C. Salvador, R.A.R. Bedruz, E.P. Dadios, and R.R.P. Vicerra. 2019. Coconut fruit maturity classification using fuzzy logic. pp. 1-6. *In* IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM).

Jha, S.N., S. Chopra and A.R.P. Kingsly. 2005. Determination of sweetness of intact mango using visual spectral analysis. *Biosyst. Eng*. 91 (2): 157–161.

McGuire, R.G.. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*. 27(12): 1254-1255.

Wanitchang, J., A. Terdwongworakul, P. Wanitchang and S. Noypitak. 2010. Maturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*. *J. Food Eng.* 100(3): 409-416.

Wanitchang, P., A. Terdwongworakul, J. Wanitchang, and N. Nakawajana. 2011. Non-destructive maturity classification of mango based on physical, mechanical and optical properties. *J. Food Eng.* 105(3): 477-484.