



การประเมินความบิรูรณ์ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยค่าสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Evaluation of “Monthong” durian maturity using color value from image analysis

ธีรวัฒน์ ชื่นอัศตงคต¹, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค^{2*}, กระวี ตรีอำนรรค¹

Teerawat Chuenatsadongkot¹, Tawarat Treemnu^{2*}, Krawee Treemnu¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

¹School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

²School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเปลือกกับความบิรูรณ์ของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยประยุกต์เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายในการคำนวณหาค่าสีเปลือกทุเรียนที่บริเวณปลายหนาม จากนั้นนำค่าสีที่ได้ไปหาความสัมพันธ์กับดัชนีการเก็บเกี่ยวมาตรฐาน 2 ชนิดคือดัชนีมวลแห้ง และดัชนีวันหลังดอกบาน แล้วทำการจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ช่วงคือผลทุเรียนอ่อนไม่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวและผลทุเรียนที่มีความบิรูรณ์สามารถเก็บเกี่ยวได้ ผลจากการศึกษาพบว่าค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความสัมพันธ์กับดัชนีทั้งสองชนิด โดยสมการทำนายดัชนีมวลแห้งและดัชนีวันหลังดอกบานมีค่าความน่าเชื่อถือ (R^2) 0.769 และ 0.906 ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์เพื่อจำแนกกลุ่มพบว่าหากใช้ดัชนีมวลแห้งสามารถจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 85.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการจำแนกกลุ่มด้วยดัชนีวันหลังดอกบานมีความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม 89.4 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ทุเรียนหมอนทอง, ความบิรูรณ์, ค่าสี, การวิเคราะห์ภาพถ่าย

Abstract

The objective of this research was to find the relation between peel color and maturity of “Monthong” durian. The image analysis technique was used to calculate the color values at spine tip. Then the color values were used to make relation with the 2 types of harvesting index i.e dry matter and day after bloom. The discriminant analysis was used to discrimination the durian into 2 groups i.e immature (the durians are not suitable for harvest) and mature (the durians are suitable for harvest and ripening stage can be cure). The results of this study indicate that the calculated color values from the image have relation with the both index. The equations for predict the dry matter and day after bloom have coefficient of determination (R^2) 0.769 and 0.906 respectively. For discrimination of durian, the result show that the dry matter index gives the correct classification of 85.1%, while the day after bloom index give the correct classification of 89.4%.

Keywords: Monthong durian, Maturity, Color value, Image processing

1 บทนำ

ทุเรียนเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอย่างมากทั้งการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ในช่วงปี 2555 -2557 พบว่ามีปริมาณและมูลค่าการส่งออกที่เพิ่มสูงขึ้น

โดยเพิ่มจาก 351,124 ตัน มูลค่า 6,195 ล้านบาท เป็น 369,602 ตัน มูลค่า 12,436 ล้านบาท โดยมีตลาดคู่ค้าที่สำคัญคือ จีน ฮองกง และไต้หวัน (Office of Agricultural Economics, 2017) เนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีมูลค่าต่อกิโลกรัมสูงในช่วง

ต้นฤดูการผลิตจึงเกิดปัญหาการตัดทุเรียนอ่อนออกสู่ตลาด ซึ่งทุเรียนอ่อนเหล่านี้จะไม่สามารถพัฒนาไปเป็นทุเรียนสุกได้ จึงถือว่าเป็นทุเรียนด้อยคุณภาพ หากทุเรียนเหล่านี้ถูกจำหน่ายออกไปทั้งภายในและต่างประเทศจะส่งผลให้ภาพลักษณ์ของทุเรียนไทยเกิดความเสียหาย จากปัญหาดังกล่าวการตรวจสอบคุณภาพของทุเรียนก่อนออกจำหน่ายจึงถือเป็นเรื่องที่สำคัญ โดยผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งเกษตรกร ผู้รวบรวมผลผลิต และพ่อค้าจะต้องตระหนักถึงคุณภาพของทุเรียน กระทรวงเกษตรได้ออกมาตราฐานทุเรียนคุณภาพโดยใช้ดัชนีเนื้อแห้งเป็นตัวกำหนดโดยทุเรียนพันธุ์หมอนทองต้องมีเนื้อแห้ง 32% พันธุ์ชะนี 30% พันธุ์กระดุมทอง 27% และพันธุ์พวงมณี 30% (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2013) แต่วิธีการประเมินหาเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งต้องใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบ อีกทั้งยังเป็นการทำลายผลทุเรียนนอกจากนี้ผลทุเรียนตัวอย่างอาจไม่ใช่ตัวแทนที่แท้จริง อีกวิธีที่สามารถประเมินความบริสุทธิ์ของทุเรียนได้คือการนับอายุของผลทุเรียนตั้งแต่วันหลังดอกบานซึ่งทุเรียนพันธุ์หมอนทองใช้เวลา 115-135 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละปี (Siriphanich, 2001) นอกจากการหาเปอร์เซ็นต์เนื้อแห้งและการนับวันหลังดอกบานแล้วยังมีดัชนีการเก็บเกี่ยวอื่นซึ่งต้องอาศัยความชำนาญของผู้ตรวจประเมิน ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ จึงได้มีการวิจัยพยายามนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อการประเมินความบริสุทธิ์ของทุเรียน เช่นวิธีการตรวจวัดความแก่ของทุเรียนด้วยความถี่ธรรมชาติ ซึ่งสามารถทำได้โดยเคาะที่เปลือกของทุเรียนเพื่อวัดค่าความถี่วิธีการนี้ให้ผลในการประเมินผลที่รวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือผลที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ค่อนข้างมาก (Terdwongworakul and Neamsorn, 2006) วิธีการตรวจสอบความแก่ของทุเรียนด้วยอัลตราโซนิก โดยจะใช้ประโยชน์จากคลื่นอัลตราโซนิกมาหาความสัมพันธ์กับสมบัติทางเคมีต่างๆ วิธีการนี้ให้ผลที่ค่อนข้างแม่นยำ แต่มีข้อจำกัดเรื่องขนาดของเครื่องที่มีขนาดใหญ่ ทั้งราคาของเครื่องสูงมาก (Kongrattanaprasert, 2000) วิธีการตรวจสอบความแก่ของทุเรียนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งวิธีนี้ก็มีการจำกัดเกี่ยวกับเรื่องของขนาดเครื่องเช่นกัน ทำให้ไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้ในพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (Rutpralom et al, 1999) จากวิธีที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าปัญหาที่พบหลัก ๆ คือ เครื่องมือที่นำมาใช้วัดประเมินความบริสุทธิ์ของทุเรียน ยังมีราคาสูง ขนาดของเครื่องที่ใหญ่เคลื่อนย้ายได้ยาก

สีเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวหรือดัชนีคุณภาพที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง โดย Jha (2007) ได้ทำงานวิจัยเพื่อการจำแนกระยะอายุของผล

มะม่วงโดยการวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสีแบบ spectrometer เพื่อนำค่าที่ได้มาสร้างสมการทำนายอายุของมะม่วง ซึ่งสมการทำนายที่ได้มีความแม่นยำ 75.7% สำหรับการประเมินความบริสุทธิ์ของทุเรียนนั้น Timkhum and Terdwongworakul (2012) และ Timkhum and Terdwongworakul (2013) ได้ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านแสงที่มองเห็นได้พบว่าวิธีนี้สามารถแยกระยะของทุเรียนพันธุ์หมอนทองออกเป็น 5 ช่วงได้อย่างแม่นยำถึง 83.39% และวิธีการนี้ชี้ให้เห็นว่าสีที่ปลายหนามของผลทุเรียนมีความสัมพันธ์กับความบริสุทธิ์ของผลทุเรียน จึงสามารถประยุกต์ใช้เครื่องวัดสีที่ปลายหนามได้แต่ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้เทคนิคการวัดสเปกโทรสโกปี และเครื่องมือวัดสีมาตรฐานมีราคาที่สูงมาก นอกจากนี้ยังพบปัญหาว่าพื้นผิวเปลือกของทุเรียนไม่เรียบ มีลักษณะเป็นหนามแหลมนั้นเป็นอุปสรรคต่อการใช้เครื่องมือมาตรฐานในการวัดค่าสี ดังนั้นหากต้องการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของผลทุเรียนแบบไม่ทำลายผลโดยใช้ค่าสี การใช้เครื่องมือวัดสีมาตรฐานจึงพบอุปสรรคเรื่องความไม่สะดวกต่อการใช้งานและเครื่องมือมีราคาแพง ทางคณะผู้วิจัยจึงเห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้โดยข้อดีของเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย คือความรวดเร็วในการประมวลผล และอุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่ายและมีราคาไม่สูงนัก นอกจากนี้ยังแก้ไขปัญหามีสวนของผิวของผลผลิตที่ไม่เรียบได้อีกด้วย (Pedreschi et al., 2006) ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายไปใช้สำหรับตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารโดย Tekouyporn (2011) ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบด้วยระบบการวิเคราะห์ภาพถ่าย ให้ค่าออกมาเป็นตัวแปรค่าสี พบว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกคุณภาพของขนมปังกรอบได้ โดยมีความถูกต้องของผลการคัดเลือกที่อยู่ในเกณฑ์ดี และ Yam and Papadakis (2004) ทำการตรวจสอบคุณภาพของพิซซ่าที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย พบว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลสามารถคัดแยกคุณภาพของอาหารได้เพียงพอสำหรับงานวิจัยด้านอาหาร แต่ยังไม่เพียงพอในเชิงธุรกิจเพราะมีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องมือวัดสีมาตรฐานสำหรับทุเรียนนั้น Thammabhutra and Wattanavichean (2005) ได้นำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาใช้ตรวจสอบความแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยการประมวลผลภาพที่ก้านผล โดยการหาความแตกต่างระหว่างความกว้างของปากปลิงและก้านผล พบว่าใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 15 วินาที/ภาพ ซึ่ง

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายให้การประมวลผลที่รวดเร็ว แต่ยังไม่ให้ความแม่นยำของการตรวจประเมินที่ไม่สูงมากนัก เพราะขนาดของก้านผลนั้น ยังขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตด้วย ตัวแปรขนาดของก้านผลจึงไม่มีความสัมพันธ์กับอายุความแก่ของทุเรียนมากนัก

จากปัญหาในการวัดค่าสีด้วยเครื่องมือมาตรฐาน และข้อดีของการประมวลผลที่รวดเร็วและเครื่องมือที่ใช้มีราคาไม่แพงของเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการวัดค่าสีของปลายหนามทุเรียนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อนำมาใช้ในการประเมินความบริสุทธิ์ของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเก็บตัวอย่างทดสอบตามอายุวันหลังจากดอกบาน

การเก็บตัวอย่างทดสอบใช้ผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากสวนทุเรียนในจังหวัดระยอง โดยทำการติดเครื่องหมายที่ช่อดอกหลังผสมเกสรเพื่อนับอายุวันหลังจากดอกบานจำนวน 8 ช่วงอายุ ได้แก่ 100 105 110 115 120 125 130 135 วันหลังจากดอกบาน โดยสุ่มเก็บที่ช่วงละ 20 ผล จำนวนรวมทั้งหมด 160 ผล จากนั้นทำการเคลื่อนย้ายทุเรียนที่ตัดมาเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C เป็นเวลา 1 คืนเพื่อทำการปรับสภาพทุเรียนทุกผลให้อยู่สภาพเดียวกันก่อนที่จะนำไปวัดค่าต่าง ๆ

2.2 การวัดค่าร้อยละน้ำหนักแห้ง

นำเนื้อทุเรียนจากกลางพูของทุก ๆ พู โดยความหมายก็คือเพื่อเป็นการสุ่มวัดค่าเนื้อจากทั้งผล โดยนำเนื้อที่ได้มาสับให้ละเอียดแล้วชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลความละเอียด 0.1 mg (Satorius, model BSA224S-CW, Germany) จำนวน 20 g จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (FRANCE ETUVES, model XU058, France) ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 48 h หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ เพื่อนำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาร้อยละน้ำหนักแห้ง ดังสมการที่ (1) (Siripanich, 2007)

$$\%DM = \left[\frac{W_2}{W_1} \right] \times 100 \quad (1)$$

%DM = เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง (%)

W_1 = น้ำหนักของเนื้อทุเรียนก่อนอบแห้ง (g)

W_2 = น้ำหนักของเนื้อทุเรียนหลังอบแห้ง (g)

2.3 การวัดค่าสีด้วย spectrometer

การวัดค่าสีเปลือกผลทุเรียนที่ปลายหนามด้วยชุด Spectrometer (Ocean Optics, USB200+, USA) ซึ่งประกอบไปด้วย (1) Light source DH-2000 (2) ตัวรับและแปลงสัญญาณ Ocean Optics USB2000+UV/VIS Spectrometer (3) สายไฟเบอร์ออปติก (QR200-7-VIS-NIR Reflection Probes) (4) ฝาครอบปลายหนามทุเรียน (5) Notebook ซึ่งลงโปรแกรม Spectra Suite โดยทำการวัดในช่วงความยาวคลื่น 190 – 780 nm ก่อนที่จะทำการวัดทุกครั้งต้องทำการวัดค่าจากอุปกรณ์มาตรฐานก่อน (WS-1 Reflectance Standards) จากนั้นวัดค่าสีที่ปลายหนามผลทุเรียน (Figure 1) ที่ตำแหน่งกลางพูเอก 3 จุด ที่พูรองอีก 2 พู พูละ 3 จุด รวมวัดค่าทั้งหมด 9 จุด ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าพารามิเตอร์สีต่างๆ คือ L^* แสดงถึงความสว่างของสี, a^* แสดงถึงความเป็นสีแดง, b^* แสดงถึงความเป็นสีเหลือง โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกวิเคราะห์ค่าสีในหน่วยของ CIELAB เมื่อได้ค่าทั้งหมด นำมาจัดเรียงเก็บใส่ลงในไฟล์ Excel เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

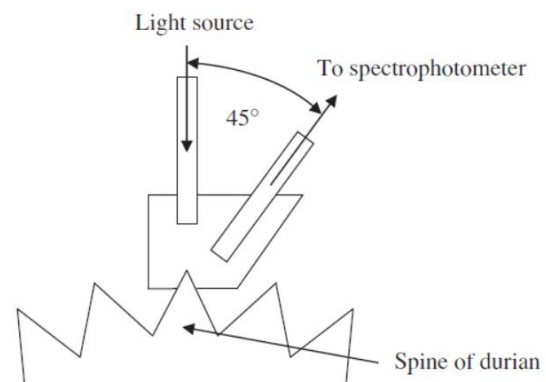


Figure 1 Implement of color measurement system of the spline of durian (Timkhum and Terdwongworakul, 2012).

2.4 การวิเคราะห์ภาพถ่ายและการประมวลผลภาพถ่าย

การถ่ายภาพทุเรียนเพื่อนำมาวิเคราะห์นั้นต้องจัดองค์ประกอบในการถ่ายภาพให้เหมือนกันทุกครั้งที่ทำการถ่ายภาพ โดยการถ่ายภาพทุเรียนทุก ๆ พูในแต่ละผล ด้วยกล้องดิจิทัลยี่ห้อ FUJI รุ่น X-A2 ปรับตั้งค่ากล้องให้เหมือนกันทุกครั้งที่ $f = 4.5$ และ speed 1/85 ไม่มีการขยายภาพ ไม่ใช้แฟลช และบันทึกไฟล์ภาพเป็น JPEG format ความละเอียด 4896x2760 pixels ควบคุมแสงสว่างโดยติดตั้งหลอดไฟ Ralight D65 ขนาด 18W ซึ่งเป็นหลอดไฟในการตรวจสอบสีตามมาตรฐาน ISO 3664 : 2016 จำนวน 2 หลอด ห่างจากแท่นวาง

ทุเรียนเพื่อถ่ายรูปเป็นระยะ 35 cm โดยติดตั้งให้แสงทำมุมกับแท่นวางเป็นมุม 45° ส่วนของการถ่ายภาพนั้นกำหนดให้เลนส์กล้องอยู่ห่างจากทุเรียนเป็นระยะ 30 cm ดังแสดงใน Figure 2 พื้นหลังในการถ่ายภาพจัดให้เป็นสีดำทั้งหมด (Mendoza et al., 2549) ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพแสดงดัง Figure 3

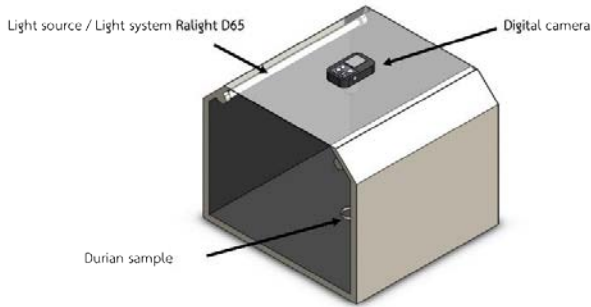


Figure 2 Light control unit for use in photography.



Figure 3 The durian images taken within the light control.

ขั้นตอนการประมวลผลภาพ นำภาพถ่ายทุเรียนที่ได้มาวิเคราะห์เป็นค่าสีในหน่วย RGB ด้วยโปรแกรม ImageJ จากนั้นแปลงหน่วยสีจาก RGB เป็น $L^* a^* b^*$ ในขั้นตอนของกระบวนการแปลงหน่วยสีทำการอ้างอิงจากวิธีมาตรฐานของ CIE (1995) โดยเริ่มจากแปลงค่า RGB ให้เป็น sRGB (standard RGB) ขั้นตอนแรกนำค่า RGB ไปหารด้วย 255 โดยจะได้เป็นค่า NR NG และ NB เพื่อปรับให้เป็นพื้นฐาน จากนั้นทำการคำนวณค่า sRGB ด้วยสมการ(2)-(4)

$$r = \begin{cases} (NR + 0.055) / 1.005, NR > 0.04045 \\ NR / 12.92, NR \leq 0.04045 \end{cases} \quad (2)$$

$$g = \begin{cases} (NG + 0.055) / 1.005, NG > 0.04045 \\ NG / 12.92, NG \leq 0.04045 \end{cases} \quad (3)$$

$$b = \begin{cases} (NB + 0.055) / 1.005, NB > 0.04045 \\ NB / 12.92, NB \leq 0.04045 \end{cases} \quad (4)$$

จากนั้นนำค่า sRGB ที่ได้ไปคำนวณเพื่อแปลงค่าให้เข้าสู่ปริภูมิสี XYZ ด้วยสมการ (5)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (5)$$

จากนั้นนำค่า $X Y Z$ ไปหารด้วย $X_n Y_n Z_n$ โดยที่ค่า $X_n Y_n$ และ Z_n คือค่า tri-stimulus อ้างอิงของวัตถุสีขาวตามมาตรฐานของ CIE สำหรับแสง D65, 2° โดยค่า $X_n = 95.047, Y_n = 100$ และ $Z_n = 108.883$ จากนั้นคำนวณค่า $L^* a^* b^*$ ตามสมการ(6) - (11)

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \begin{cases} 7.787x + \frac{16}{116}, x \leq 0.008856 \\ x^{1/3}, x > 0.008856 \end{cases} \quad (6)$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \begin{cases} 7.787y + \frac{16}{116}, y \leq 0.008856 \\ y^{1/3}, y > 0.008856 \end{cases} \quad (7)$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \begin{cases} 7.787z + \frac{16}{116}, z \leq 0.008856 \\ z^{1/3}, z > 0.008856 \end{cases} \quad (8)$$

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (9)$$

$$a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (10)$$

$$b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (11)$$

เมื่อได้ค่าสีในระบบ CIELAB มาแล้ว ทำการคำนวณหาค่า Hue angle ตามสมการ (12) และทำค่าเปรียบเทียบค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกับค่าที่ได้จากเครื่อง spectrometer

$$Hue = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (12)$$

2.5 การเลือกตำแหน่งสำหรับวิเคราะห์ภาพถ่าย

จากกระบวนการถ่ายภาพ ซึ่งจะทำได้ภาพออกมาดังแสดงใน Figure 3 นั้นสามารถนำภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์ค่าสีที่เฉพาะบางจุดของภาพถ่ายได้ โดยใช้โปรแกรม imageJ ทำการเลือกจุดที่สนใจวิเคราะห์เท่านั้น เมื่อทำการศึกษาถึงดัชนีที่ชาวสวนหรือผู้คัดเลือกทั่วไปใช้ในการคัดแยกความแก่ของทุเรียนพบว่า หนึ่งในวิธีที่ใช้สำหรับคัดแยกระดับความแก่ของทุเรียนคือ

การดูสีที่เปลือกของทุเรียน แต่การดูสีที่เปลือกของทุเรียนก็ยังสามารถแยกออกเป็นหลายวิธี ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสีที่ร่องพูทุเรียน การเปลี่ยนแปลงของสีที่ปลายหนามทุเรียน การเปลี่ยนแปลงสีที่โคนหนามของทุเรียน และการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างระหว่างสีที่ปลายหนามกับโคนหนามของทุเรียน (Chanthaburi Horticultural Research Center, 2009) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่ปลายหนามเป็นหลักตามที่ Timkhum and Terdwongworakul (2013) ได้แนะนำไว้

การวิเคราะห์สีที่ปลายหนามจะสุ่มเลือกที่ตำแหน่งปลายสุดของหนาม ดังแสดงใน Figure 4 จำนวน 10 หนามต่อภาพถ่ายทุเรียน 1 ภาพ โดยความหมายของการสุ่มเลือกคือเพื่อให้ค่าที่ได้ครอบคลุมและเป็นตัวแทนของสีที่ปลายหนามของทุเรียนทั้งผล

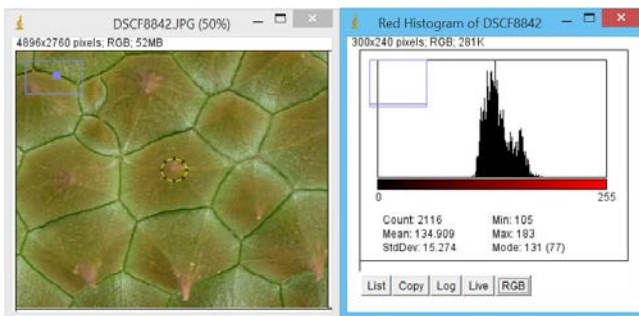


Figure 4 Positioning of collecting color value of the spine tip in the image.

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ

การนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ทำได้โดยการนำค่าอายุวันหลังจากดอกบาน ค่าร้อยละน้ำหนักรวม ค่าสีที่ปลายหนามทุเรียน และค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย มาทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการจำแนกกลุ่มเพื่อแบ่งเป็น 2 กลุ่มระหว่าง กลุ่มทุเรียนที่ยังไม่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากต้น และกลุ่มทุเรียนที่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากต้น ด้วยวิธีการจำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistic version 22

การวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการทำนายค่าอายุวันหลังจากดอกบาน และค่าร้อยละน้ำหนักรวม ได้อ้างอิงตามมาตรฐานร้อยละน้ำหนักรวมและมาตรฐานค่าอายุวันหลังจากดอกบานที่กำหนดไว้ว่าทุเรียนที่มีความบริบูรณ์เพียงพอที่จะสามารถเก็บเกี่ยวได้ จะมีค่าร้อยละน้ำหนักรวม 32 ขึ้นไป (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2013)

และมีอายุวันหลังดอกบานตั้งแต่ 120 วันเป็นต้นไป (International Tropical Fruits Network, 2008)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบค่าร้อยละน้ำหนักรวม

ผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าร้อยละน้ำหนักรวม มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบานเป็นแนวโน้มที่ชัดเจน โดยค่าร้อยละน้ำหนักรวมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาวันหลังจากดอกบานที่เพิ่มขึ้นจาก 100 วัน ไปจนถึง 135 วันหลังจากดอกบาน ดังแสดงใน Figure 5

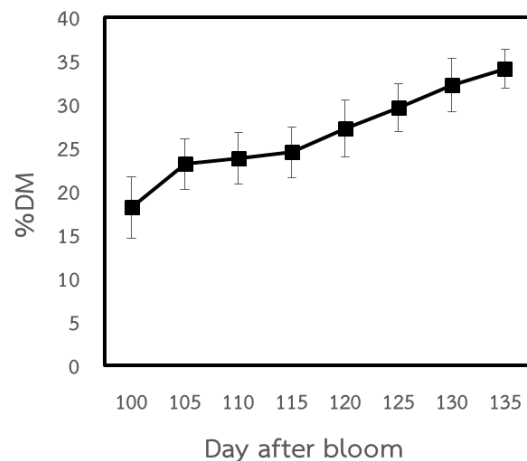


Figure 5 The relationships between the days after bloom and the dry matter value.

3.2 ผลการเทียบค่าสีระหว่างค่าจาก spectrometer กับการวิเคราะห์ภาพถ่าย

ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์สี L^* a^* b^* เช่นเดียวกับค่าสีจาก spectrometer จึงได้นำค่าสีทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบกัน ผลจากการเปรียบเทียบจะทำให้ทราบได้ว่าค่าสีที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีค่าเป็นไปแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าสีที่วัดได้จาก spectrometer ดังแสดงใน Figure 6 ซึ่งเห็นได้ว่าตัวแปรค่าสีทั้ง L^* a^* b^* ที่วัดค่าได้จากวิธีวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าสี L^* a^* b^* ที่วัดได้จากเครื่อง spectrometer โดยมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไป ค่า L^* ที่วัดค่าได้จากวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความสัมพันธ์ที่ดีและมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับค่า L^* ที่วัดค่าได้จาก spectrometer มากที่สุด (Figure 6(a)) รองลงมาคือค่า b^* (Figure 6(b)) ส่วนค่า a^* ที่วัดได้จากวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย มีความสัมพันธ์กับค่า a^* ที่วัดค่าได้จาก spectrometer น้อยที่สุด มีการกระจายตัวค่อนข้างมาก (Figure 6(c))

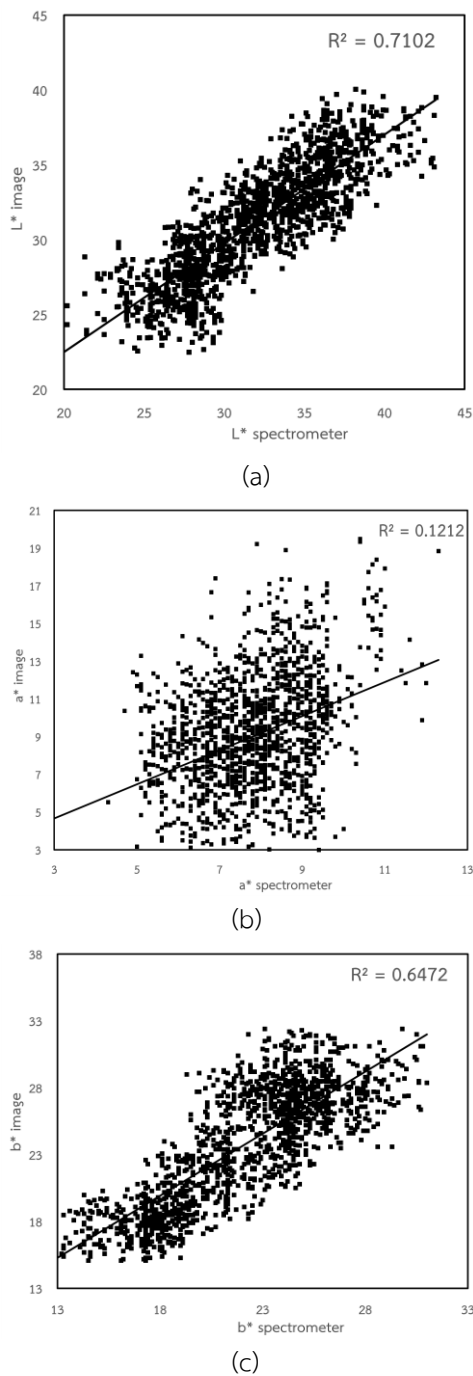


Figure 6 The relationships between the color value (a) L* (b) a* (c) b* from spectrometer and color value from image analysis.

3.3 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย

ผลที่ได้จากการทดสอบค่าด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าสี L* a* b* และ Hue กับอายุวันหลังจากดอกบานดัง Figure 7 และ กับค่าร้อยละน้ำหนักร้างแห้งดัง Figure 8 โดยทำการแสดงค่าที่วัดได้จากตำแหน่งปลายหนามที่ทำการเฉลี่ยมาแล้วในแต่ละผล พบว่าตัวแปรค่าสีที่วัดได้จากตำแหน่งปลายหนาม มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบานและร้อยละน้ำหนักร้างแห้ง โดยค่าสี L* b* และ

Hue angle มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังจากดอกบาน (Figure 7 (a)) และร้อยละน้ำหนักร้างแห้ง (Figure 8(a)) ที่ตีมาก โดยค่า L* มีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อจำนวนวันหลังดอกบานและค่าร้อยละน้ำหนักร้างแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนค่า b* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังจากดอกบาน (Figure 7(c)) และร้อยละน้ำหนักร้างแห้ง (Figure 8(c)) ที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณา ค่า a* กลับไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับอายุวันหลังดอกบาน (Figure 7(b)) และร้อยละน้ำหนักร้างแห้ง (Figure 8(b)) จึงไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าค่า a* มีความสัมพันธ์กับอายุวันหลังดอกบานและร้อยละน้ำหนักร้างแห้งไปในทิศทางใด ส่วนค่า Hue angle นั้นพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันหลังดอกบาน (Figure 7(d)) และค่าร้อยละน้ำหนักร้างแห้ง (Figure 8(d)) ที่เพิ่มมากขึ้น

3.4 ผลการวิเคราะห์เพื่อจำแนกกลุ่ม

ในกระบวนการวิเคราะห์เพื่อจำแนกกลุ่มจำเป็นต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทดสอบก่อนเพื่อสามารถระบุได้ว่าตัวแปรใดที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นตัวแปรประกอบเพื่อสร้างสมการทำนาย ความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวจะแสดงใน Table 1 พบว่าตัวแปร L* มีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละน้ำหนักร้างแห้งและอายุวันหลังดอกบานมากที่สุดที่ 0.847 และ 0.913 ตามลำดับ รองมาจะเป็นตัวแปร b* ซึ่งมีความสัมพันธ์อยู่ที่ 0.752 และ 0.838 ตามลำดับ ตามด้วยตัวแปร Hue angle มีความสัมพันธ์ 0.649 และ 0.748 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปรดังกล่าว ได้แก่ L* b* และค่า Hue angle เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละน้ำหนักร้างแห้งและอายุวันหลังจากดอกบานอยู่ในเกณฑ์ที่ดี (มีค่ามากกว่า 0.500) ในการสร้างสมการทำนายความบริสุทธิ์ของทุเรียนจึงเลือกใช้ตัวแปรทั้ง 3 ค่ามาใช้เป็นตัวแปรประกอบในการสร้างสมการทำนาย แต่สำหรับตัวแปร a* ที่ตำแหน่งปลายหนาม มีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละน้ำหนักร้างแห้ง และอายุวันหลังจากดอกบานน้อยมากเพียงแค่ 0.082 และ 0.068 ดังนั้น ในการสร้างสมการทำนายความแก่จึงไม่นำตัวแปร a* ที่ตำแหน่งปลายหนาม มาใช้เป็นตัวแปรประกอบในการสร้างสมการทำนาย

ในการจำแนกกลุ่มระยะความแก่ของทุเรียนออกเป็น 2 ช่วงคือ ทุเรียนที่มีความเหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากต้น และทุเรียนที่ยังไม่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวจากต้น ทำการวิเคราะห์ผลสำหรับจำแนกกลุ่มทุเรียนด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสามารถในการจำแนกระยะความแก่ของทุเรียนได้ดี คือค่า L* b* และค่า Hue angle

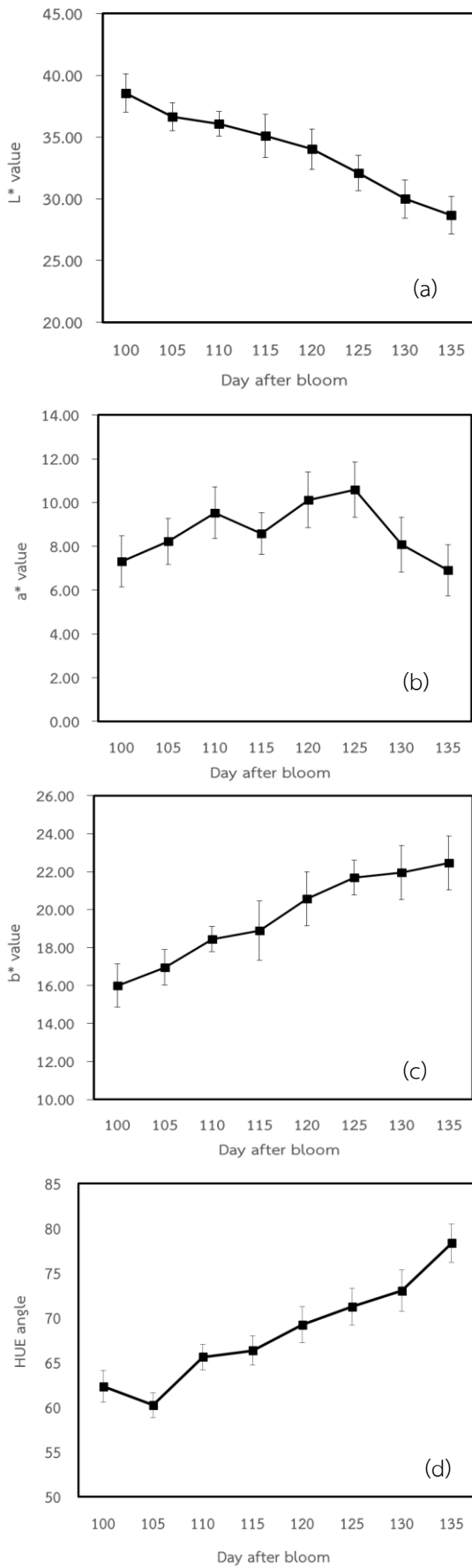


Figure 7 The relationships between color value (a) L*, (b) a*, (c) b*, (d) Hue angle and the days after bloom.

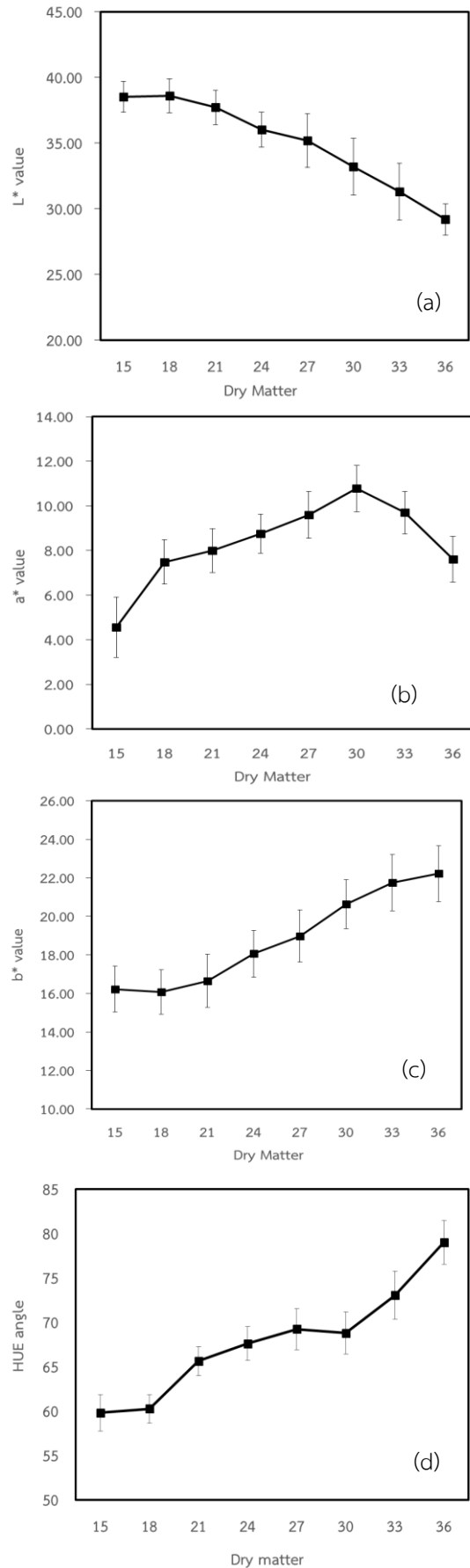


Figure 8 The relationships between color value (a) L*, (b) a*, (c) b*, (d) Hue angle and percent dry matter.

Table 1 Correlation between variables.

Variables	DM	DAB	L*	a*	b*	Hue angle
DM	1.000	0.913	-0.847	0.82	0.752	0.649
DAB	0.913	1.000	-0.913	0.068	0.838	0.748
L*	-0.847	-0.913	1.000	-0.027	-0.756	-0.682
a*	0.82	0.068	-0.027	1.000	0.115	-0.288
b*	0.752	0.838	-0.756	0.115	1.000	0.624
Hue angle	0.649	0.748	-0.682	-0.288	0.624	1.000

การจำแนกความบริบูรณ์ของทุเรียนถ้าแยกตามค่ามาตรฐานร้อยละน้ำหนักแห้งของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (32% dry matter) จะให้ค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่มอยู่ที่ 85.1% ดังแสดงใน Table 2 แต่ถ้าทำการแยกตามอายุวันหลังจากดอกทุเรียนบาน โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการนับอายุวันหลังดอกบานของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จะให้ค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่มมากถึง 89.4% ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งจากผลของการจำแนกกลุ่มจะเห็นได้ว่า การจำแนกกลุ่มโดยใช้การนับอายุวันเป็นเกณฑ์ จะมีความถูกต้องที่มากกว่าการจำแนกที่ใช้ร้อยละน้ำหนักแห้งเป็นเกณฑ์อยู่เล็กน้อย ทั้งนี้เมื่อพิจารณา Figure 7 และ Figure 8 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำตัวแปรค่าสีไปแสดงความสัมพันธ์กับอายุวันหลังดอกบาน กราฟที่ได้จะมีความเป็นแนวโน้มเส้นตรง (Linear) มากกว่ากราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าสีกับร้อยละน้ำหนักแห้งเป็นผลให้การจำแนกกลุ่มด้วยอายุวันหลังดอกบานจึงมีความถูกต้องมากกว่าการจำแนกกลุ่มด้วยร้อยละน้ำหนักแห้ง

Table 2 Classification Results from dry matter.

Stage	Classified Group (%)		Total
	Immature	Mature	
Immature	82.9	17.1	100
Mature	6.9	93.1	100
Total correctly classified group (%)			85.1

Table 3 Classification Results from day after bloom.

Stage	Classified Group (%)		Total
	Immature	Mature	
Immature	87.6	12.4	100
Mature	8.8	91.2	100
Total correctly classified group (%)			89.4

การสร้างสมการทำนายความบริบูรณ์ของทุเรียนโดยใช้วิธี Linear Regression สามารถสร้างสมการทำนายความบริบูรณ์ของทุเรียนโดยอ้างอิงตามมาตรฐานร้อยละน้ำหนักแห้งพบว่าสมการมีค่าความน่าเชื่อถือ (R^2) อยู่ที่ 0.769 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (SEP) อยู่ที่ 2.54546 (Table 4) เมื่อสร้างสมการทำนายบริบูรณ์ของทุเรียนที่อ้างอิงตามมาตรฐานการนับอายุวันหลังดอกบานพบว่าสมการมีค่าความน่าเชื่อถือ (R^2) อยู่ที่ 0.906 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (SEP) อยู่ที่ 3.06749 (Table 4)

Table 4 Linear regression for evaluate dry matter and day after bloom.

Parameters	R	R^2	SEP
DM	0.877	0.769	2.54546
DAB	0.952	0.906	3.06749

จากผลการจำแนกกลุ่มโดยใช้ค่าสีที่ปลายหนามจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายคือ ค่า L* b* และ Hue angle พบว่าสามารถใช้ในการจำแนกความบริบูรณ์ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยใช้ดัชนีร้อยละน้ำหนักแห้งและดัชนีการนับวันหลังดอกบานพบว่าให้ค่าความถูกต้องมากกว่า 85% ซึ่งสอดคล้องกับการงานวิจัยของประภิตและอนุพันธ์ (2556) ที่สรุปว่าค่าสีที่ปลายหนามของทุเรียนมีความสัมพันธ์กับความบริบูรณ์ของทุเรียนและสามารถใช้เพื่อการจำแนกทุเรียนที่มีความเหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายจึงเป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นเครื่องมือเพื่อใช้ในการตรวจสอบความอ่อนแก่ของทุเรียนได้ แต่เนื่องจากในการงานวิจัยนี้ได้ทดสอบกับทุเรียนที่ผ่านการตัดมาพักไว้เป็นระยะเวลา 1 คืนดังนั้นอาจต้องมีการศึกษาถึง

ผลกระทบของระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่ปลายหนามด้วย

4 สรุป

การจำแนกระยะความสมบูรณ์ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ยังไม่เหมาะแก่การเก็บเกี่ยวและช่วงที่เหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวด้วยค่าสีจากเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ปลายหนามโดยอ้างอิงตามดัชนีการเก็บเกี่ยวร้อยละของน้ำหนักรวมและการนับอายุวันหลังดอกบานมีค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม 85.1% และ 89.4% เมื่อทำการจำแนกด้วยดัชนีร้อยละน้ำหนักรวมและการนับอายุวันหลังดอกบานตามลำดับ

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสนับสนุนด้านเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

Chanthaburi Horticultural Research Center. 2009.

Durian Available at:

http://doa.go.th/hrc/chantaburi/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=65.

Accessed on 10 August 2016.

CIE. 1995. Industrial colour-difference evaluation (Technical Report). Publication CIENo. 116. Vienna: Central Bureau of the Commission Internationale de L'Eclairage.

Industrial Technology, 2002. IEEE ICIT'02. 2002 IEEE International Conference, Vol.1, pp. 155- 158, Apr 2003.

International Tropical Fruits Network. 2008. Days from anthesis recommended as maturity indices for selected durian cultivars. Available at: <http://www.itfnet.org/gfruit/Templates%20English/durian.harv.post.htm>. Accessed on 10 September 2017.

Kongrattanaprasert, W. 2000. Nondestructive Maturity Determination of Durian by Force Vibration Compared with using Ultrasonic. Master

Thesis. Graduate School, King Mongkuts University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

Jha S. N. 2007. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering* 78, 22–26.

Mendozaa, F., P. Dejmekb, J. M. Aguilera. 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology* 41, 285–295.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2013. Thai Agricultural Standard TAS 3-2013: DURIAN. Ministry of Agriculture and Cooperatives, 14p.

Office of Agricultural Economics. 2017. Durian: Partner/Competitor. Available at: <http://www.oae.go.th/fruits/index.php/2013-01-25-03-34-09?id=156> Accessed on 16 September 2017.

Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D. and Moyano, P. 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International* 39, 1092–1098.

Rutpralom, T., Kumhom, P., Chamnongthai, K. 1999. Nondestructive Maturity Determination of Durian by Using Microwave Moisture Sensing.

Siripanich, J. 2001. Physiology and Postharvest Technology of Vegetables and Fruits. (4th ed.). Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Siripanich, J. 2007. Effect of water on dry matter standard of durian cv. Monthong (Final research report). Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Tekouyporn S. 2011. Biscuit Quality Evaluation on Physical Properties Using Image Analysis Technique. Master Thesis. Department of Food Technology, Silpakorn University, Bangkok, Thailand.

Terdwongworakul, A. and Neamsorn, N. 2006. Non-destructive Maturity Measurement of “Montong” Durian Using Stem Strength and Resonant Frequency. *KKU Engineering Journal* Vol. 33(5), 555 – 563.

Thammabhutra, A. and Wattanavichean, K. 2005. Analysis of Monthong Durian Maturation Using Image Processing of Fruit Stem. Proceedings of the 43th Kasetsart University Annual Conference: Engineering, Architecture, 263-270, Kasetsart University, 1-4 February 2005, Bangkok, Thailand. Available at:

<http://kucon.lib.ku.ac.th/index.php/meeting>.

Accessed on 16 September 2017.

Timkhum, P., Terdwongworakul, A. 2012. Non-destructive Classification of Durian Maturity of ‘Monthong’ Cultivar by Means of Visible Spectroscopy of the Spine. *Journal of Food Engineering* 112, 263–267.

Timkhum, P., Terdwongworakul, A. 2013. Non-destructive Classification of Durian Maturity of ‘Monthong’ Cultivar by Visible Spectroscopy of the Husk. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal* Vol. 19(1), 1-6.

Yam, L. K., Papadakis, E. S. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering* 61, 137–142.