

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ความสัมพันธ์ของความหวานและอายุของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 150 ผล มีการจัดแบ่งเป็นกลุ่มเพื่อจัดเก็บและนำไปวิเคราะห์ รวมทั้งถ่ายภาพอินฟราเรดเป็นระยะๆ ทุกๆ 2 วัน จนกระทั่งผลสุก ค่าสเปกตรัมของมะม่วงน้ำดอกไม้แต่ละผลในแต่ละกลุ่ม ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของกลุ่มในแต่ละครั้ง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมตามวันที่เก็บทั้ง 5 ครั้ง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าสเปกตรัมของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองของแต่ละกลุ่ม พบว่า การเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของผลมะม่วงตามระยะเวลาการเก็บในแต่ละครั้ง ไม่มีความแตกต่างของกลุ่มทางสถิติทั้งภายในและระหว่างกลุ่ม ($p > 0.05$) ทั้ง 5, 4, 3, และ 2 กลุ่ม ในวันที่ 1, 3, 5 และ 7 ตามลำดับ ทั้งตำแหน่งหัว กลาง และท้ายบนผิวมะม่วง (ภาคผนวก ข.1) ซึ่งหมายถึงแต่ละกลุ่มสามารถใช้เป็นตัวแทนของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มาจากอายุใกล้เคียงกันได้ นอกจากนี้แล้วยังพบว่า ค่าการสะท้อนสีของสเปกตรัมของมะม่วงในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร มีการสะท้อนแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีเพิ่มมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงแสงสีเขียว และมีการสะท้อนแสงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่นของสีแดง 600-700 นาโนเมตร โดยการสะท้อนแสงจะลดลงเมื่อมะม่วงสุกมากขึ้น หรือเก็บนานขึ้น (ภาคผนวก ข.2) โดยมะม่วงที่สุกมากขึ้น มีความสว่างของสีลดลง แต่มีความเป็นสีแดงและสีเหลืองมากขึ้น ทั้งตำแหน่งหัว กลาง และท้าย (ภาคผนวก ข.3)

เมื่อนำมะม่วงแต่ละกลุ่มไปวิเคราะห์ตามระยะเวลาการเก็บ พบว่าเนื้อมะม่วงมีค่าเฉลี่ยของความหวาน ได้แก่ ระดับความหวาน (Brix level) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) เพิ่มขึ้นทั้งตำแหน่งหัว กลาง และท้าย เมื่อเก็บนานขึ้น (ภาคผนวก ค.1 และ ค.2) โดยเฉพาะระดับความหวานขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีปริมาณลดลงที่ตำแหน่งกลาง และท้ายเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของความหวาน และอายุการเก็บของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง พบว่า อายุการเก็บและระดับความหวานมีความสัมพันธ์กันในระดับมาก ($R = 0.90$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ง ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บในระดับปานกลาง ($R = 0.71$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นในการพิจารณาความหวานของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามอายุการเก็บควรเลือกใช้ระดับความหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

ตารางที่ 4.1 ค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของความสัมพันธ์ระหว่างความหวานและอายุการเก็บของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

รายการ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
1. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความหวานและอายุการเก็บ	องศาบริกซ์	0.90	มาก
2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและอายุการเก็บ	g/100gfw	0.71	ปานกลาง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากองศาบริกซ์หรือระดับความหวาน มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Piston et al. 2017) จึงได้มีการยืนยันผลระดับความหวานที่เปลี่ยนแปลงโดยพิจารณาค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วย (Wattanakul et al., 2020) ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองศาบริกซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสามารถทำนายระดับความหวานได้เพียงประมาณ 57 เปอร์เซ็นต์ ($R^2 = 0.573$) อย่างมีนัยสำคัญ $F(1,70) = 93.75$ $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) และเมื่อตัวแปรอื่นให้คงที่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเปลี่ยนแปลงไป 1 g/100gfw ไม่ส่งผลให้ระดับความหวานเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อนำค่าพีเอชมาร่วมพิจารณาด้วย พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและพีเอชสามารถทำนายระดับความหวานได้มากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ($R^2 = 0.80$) อย่างมีนัยสำคัญ $F(2,69) = 137.790$ $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก จ.1 และ จ.2) แสดงให้เห็นว่า เมื่อมะม่วงมีการสุกมากขึ้น พีเอชเพิ่มมากขึ้นความเป็นกรดลดลงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Piston et al (2017)

นอกจากนี้ ระดับความหวานบริกซ์ หรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) สามารถนำไปใช้ในการหาค่าดัชนีความสมบูรณ์ (maturity index, MI) ได้โดยคำนวณจากสัดส่วนของ TSS ต่อ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ซึ่งสัดส่วนนี้เป็นดัชนีสำคัญที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางโดยผู้บริโภคเป็นส่วนใหญ่ในการพิจารณาเติบโตสมบูรณ์ของผลไม้ (Watanawan et al., 2014) กล่าวคือ ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้น และ TA จะลดลงเมื่ออายุการเก็บ

เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดลดลง ทำให้มะม่วงมีรสชาตหวานมากขึ้น (Srisawat et al, 2022; Rungpichayapichet et al., 2023) เมื่อคำนวณดัชนีความสมบูรณ์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตามระยะเวลาการเก็บ พบว่า มะม่วงมีค่าความสมบูรณ์หรือแก่มากขึ้น ตามเวลาที่เก็บนานขึ้น ทั้งสามตำแหน่ง ดังแสดงในภาคผนวก ฅ โดยมะม่วงที่นำมาเป็นช่วงอายุ 90-100 วัน เมื่อนำมาจัดเก็บในช่วง 10 วัน สภาพการจัดเก็บ $27.81+0.39^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $60.29 + 4.26$ เปอร์เซ็นต์ ช่วงความสุกตั้งแต่ 7.44 ถึง 218.84 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หรือ TSS ตั้งแต่ 10.84 ถึง 20.24 องศาบริกซ์ โดย TSS ที่ได้จากการศึกษาอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับการศึกษาความสุกของผลมะม่วงตั้งแต่ติดดอก ในช่วง 91 ถึง 119 วัน คือ TSS 9.7 ถึง 16.0 องศาบริกซ์ (Wattanawan et al., 2014).

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตำแหน่งหัว กลาง และท้ายของมะม่วงน้ำดอกไม้ ในด้านความหวานทั้งระดับความหวานและปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันของตำแหน่งหัว กลาง และท้ายทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาคผนวก ฉ2)

4.2 ความสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระกับอายุของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

สารสำคัญในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันแก่ร่างกาย และป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ หรือจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน สารประกอบฟีนอล และวิตามินซี เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวกับอายุการเก็บ พบว่า เบต้าแคโรทีนและวิตามินซีมีปริมาณมากขึ้นเมื่อเก็บมะม่วงนานขึ้น (ภาคผนวก ค.3 และ ค.5) เบต้าแคโรทีนมีการเพิ่มขึ้นมาก 2-3 เท่าในช่วงระยะเวลาการเก็บวันที่ 5 เมื่อเทียบกับวันที่ 3 (ภาคผนวก ค.3) โดยอายุการเก็บมีความสัมพันธ์กับเบต้าแคโรทีนและวิตามินซีในระดับมาก ($R = 0.92$ และ $R = 0.89$ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p = 0.000$ ในขณะที่อายุการเก็บมีความสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลน้อยมาก ($R = 0.10$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p = 0.445$ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 แสดงว่าสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระไม่เปลี่ยนตามอายุการเก็บ พบว่า มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดที่ 363.55 ± 80.51 และสูงสุดที่ 643.98 ± 177.26 มิลลิกรัม gallic acid ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ภาคผนวก ค.4 ปริมาณฟีนอลิกที่พบในเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เคยมีการศึกษาพบว่า มีปริมาณสูงถึง 569.65 มิลลิกรัม gallic acid ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดซึ่งเป็นปริมาณที่สูงเป็นอันดับสองรองจากมะม่วงโชคอนันต์สำหรับการศึกษามะม่วง 13 สายพันธุ์ (ฤกษ์ สงวนพวก 2562) ดังนั้นในการทำนายสารต้านอนุมูลอิสระ จึงเลือกใช้ เบต้าแคโรทีน และวิตามินซี เพราะมีความสัมพันธ์ในระดับมากกับอายุการเก็บ

ตารางที่ 4.2 ค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของความสัมพันธ์ระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

รายการ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
1. ความสัมพันธ์ระหว่างเบต้าแคโรทีน และ อายุการเก็บ	g/100gfw	0.92	มาก
2. ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟีนอล และอายุการเก็บ	มิลลิกรัม gallic acid ต่อ 100 กรัม	0.09	น้อยมาก
3. ความสัมพันธ์ระหว่างวิตามินซี และอายุการเก็บ	มิลลิลิตรต่อ ลิตร	0.89	มาก

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระพบว่า อายุการเก็บมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในระดับน้อย ในขณะที่อายุการเก็บมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ในระดับมาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ง) ดังนั้น กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวแทนในการนำมาใช้สำหรับพิจารณาสารต้านอนุมูลอิสระด้วย

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตำแหน่งหัว กลาง และท้ายของมะม่วงน้ำดอกไม้ ในด้านสารต้านอนุมูลอิสระพบว่า เบต้าแคโรทีน กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS ไม่มีความแตกต่างกันของตำแหน่งหัว กลาง และท้ายทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้น ฟีนอลิก (ภาคผนวก ฉ2)

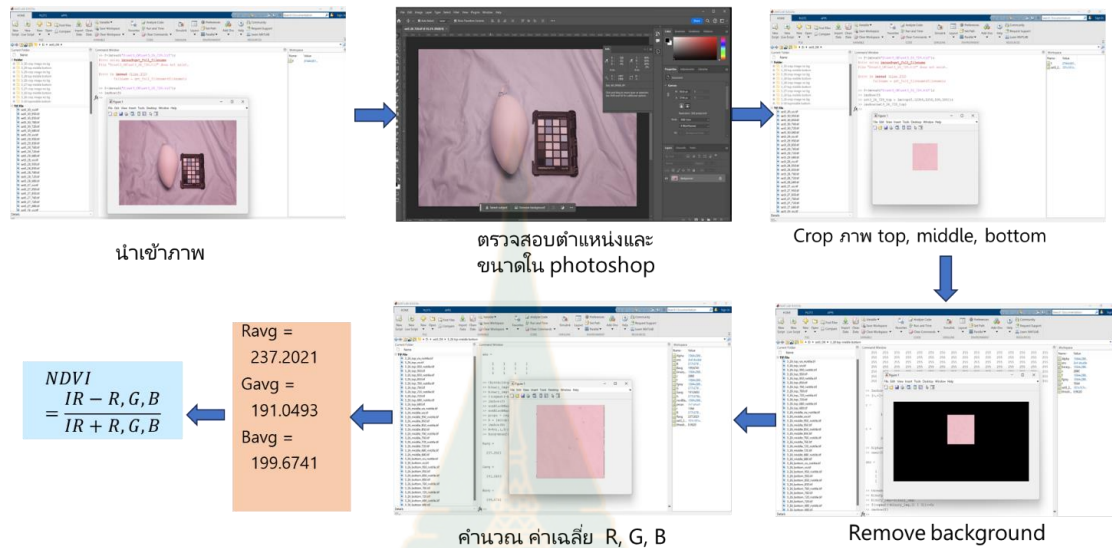
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมด้านอนุมูลอิสระ และอายุการเก็บของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

รายการ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
1. ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมด้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และอายุการเก็บ	%	0.44	น้อย
2. ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมด้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และอายุการเก็บ	%	0.90	มาก

4.3 การประมวลผลภาพอินฟราเรดใกล้ด้วยโปรแกรม MATLAB และคำนวณค่า NDVI

4.3.1 การประมวลผลภาพอินฟราเรดใกล้ด้วยโปรแกรม MATLAB นำภาพถ่ายมะม่วงที่ผ่านฟิลเตอร์สำหรับการถ่ายภาพปกติ และผ่านฟิลเตอร์อินฟราเรด 5 ระดับ รวม 6 ภาพ ต่อ มะม่วง 1 ผล โดยแต่ละครั้งมีการถ่ายภาพมะม่วง 5 ผล รวมเป็น 30 ภาพต่อครั้ง ตามระยะเวลาการเก็บ 5 ครั้ง รวมจำนวนภาพทั้งหมดคิดเป็น 150 ภาพ (ภาคผนวก จ) ที่ถ่ายและปรับสมดุลสีขาว เพื่อนำมาทำการประมวลผลภาพตามขั้นตอนดังภาพที่ 4.1 ให้ได้ภาพแยกสีในแชนแนลหรือช่องสีแดง (channel R) ช่องสีเขียว (channel G) และช่องสีน้ำเงิน (channel B) โดยเริ่มจากการนำเข้าภาพในคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB ขณะเดียวกันมีการตรวจสอบตำแหน่งภาพเพื่อหาตำแหน่งหัวกลาง ท้ายของภาพมะม่วงโดยการกำหนดตำแหน่งในทำนองเดียวกันกับการวัดสีผลมะม่วงในโปรแกรมโฟโตชอป นำตำแหน่งที่ได้มาใช้กำหนดการครอบภาพในโปรแกรม MATLAB (ภาคผนวก จ.1) เพื่อลดค่าประมวลผลภาพจากพื้นหลัง แล้วทำการประมวลผลภาพ ช่องสีแดง (R) เขียว (G) และน้ำ

เงิน (B) (ภาคผนวก จ.2) โดยให้คำสั่งแสดงผลเป็นค่าสีเฉลี่ยของ R, G และ B เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ NDVI ต่อไป



ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยโปรแกรม MATLAB

4.3.2 การคำนวณค่า NDVI ค่าสีแดง (R) เขียว (G) และน้ำเงิน (B) ของภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในแต่ละตำแหน่งหัว กลาง และท้าย ที่ผ่านฟิลเตอร์ทั้ง 6 ระดับ นำมาคำนวณ NDVI ตามสมการที่ (6) ซึ่งเป็นสูตรในการหาค่า NDVI ที่เหมาะสมสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในที่นี้จึงมีการใช้ค่าสีที่ทั้งสามสี โดยกำหนด ดังนี้

$$NDVI_{rr} = (IR_r - Vis_r)/(IR_r + Vis_r)$$

$$NDVI_{gg} = (IR_g - Vis_g)/(IR_g + Vis_g)$$

$$NDVI_{bb} = (IR_b - Vis_b)/(IR_b + Vis_b)$$

$$NDVI_{rg} = (IR_r - Vis_g)/(IR_r + Vis_g)$$

$$NDVI_{rb} = (IR_r - Vis_b)/(IR_r + Vis_b)$$

$$NDVI_{gr} = (IR_g - Vis_r)/(IR_g + Vis_r)$$

$$NDVI_{gb} = (IR_g - Vis_b)/(IR_g + Vis_b)$$

$$NDVI_{br} = (IR_b - Vis_r)/(IR_b + Vis_r)$$

$$NDVI_{bg} = (IR_b - Vis_g)/(IR_b + Vis_g)$$

ตัวอย่างเช่น $NDVI_{rr} = (IR_r - Vis_r)/(IR_r + Vis_r)$

$$= (237.7085 - 241.9892)/(237.7085 + 241.9892)$$

$$= -0.0089$$

4.4 ความสัมพันธ์ของความหวานและอายุของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองโดยใช้ภาพอาร์จีบีและอินฟราเรดใกล้

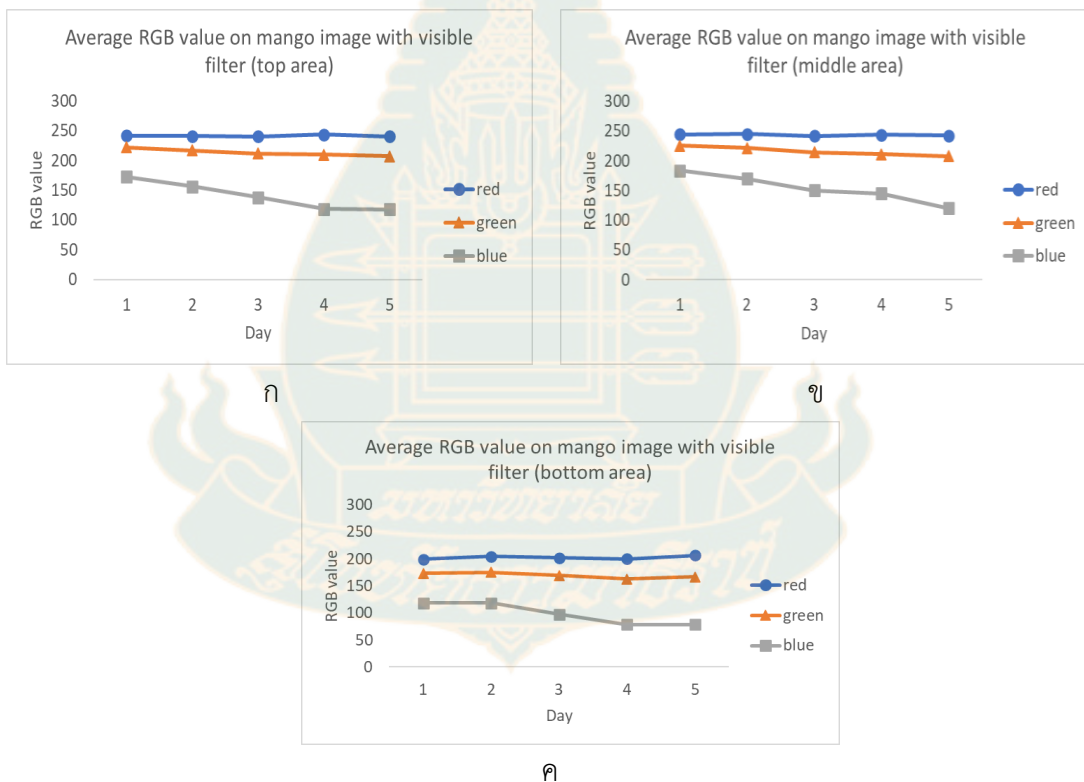
เนื่องจากในการวิเคราะห์ความหวานของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง เป็นการนำมะม่วงหมายเลข 1 ถึง 25 ของแต่ละชุดที่ทำการเก็บ ไปทำการวิเคราะห์ที่หน่วยบริการวิเคราะห์และทดสอบมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิร ซึ่งมะม่วงจะถูกนำไปแบ่งส่วนหัว กลาง และท้าย และบด ให้เหมาะสมกับการทำเป็นตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ ในขณะที่ การวิเคราะห์ภาพอาร์จีบีและอินฟราเรดใกล้ เป็นการนำมะม่วงหมายเลข 26 ถึง 30 ไปทำการถ่ายภาพอินฟราเรด และประมวลผลสีภาพด้วยโปรแกรม MATLAB อย่างไรก็ตามก่อนการนำไปวิเคราะห์มะม่วงทั้งหมดได้รับการวัดค่าสี CIELAB เมื่อคำนวณค่าความอิ่มตัวของสีซึ่งมีค่าเท่ากับ รากที่สองของผลรวมของค่า a^* และ b^* ยกกำลังสองของมะม่วงชุดที่ 5 เนื่องจากเป็นชุดที่มีการเก็บตั้งแต่วันที่ 1 ถึง วันที่ 9 และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความอิ่มตัวของสีและอายุของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในแต่ละตำแหน่ง หัว กลาง และท้าย ด้วยโปรแกรม MINITAB 18 พบว่า ค่าความอิ่มตัวของสีผลมะม่วงน้ำดอกไม้ (C-fruit) มีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บ (day) ในเชิงบวก โดยอายุการเก็บสามารถทำนายความอิ่มตัวของสีผลมะม่วงน้ำดอกไม้ ประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F(3,370) = 136.91$ $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) โดยตำแหน่งไม่มีผลต่อความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข

สำหรับในส่วนของมะม่วงที่นำมาถ่ายภาพอินฟราเรด (มะม่วงหมายเลข 26 ถึง 30) มีการคำนวณความอิ่มตัวของสีซึ่งของผลมะม่วง (C-fruit) และความอิ่มตัวของภาพ (C-image) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่า ความอิ่มตัวของสีผลมะม่วงสามารถทำนายความอิ่มตัวของสีภาพมะม่วงได้ประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ ($R^2 = 0.86$) และโดย กลาง และท้าย มีความสัมพันธ์กับความอิ่มตัวของสีผลมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F(3,71) = 143.15$ $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข) จากค่าความสัมพันธ์ระหว่าง C-image และ C-fruit ของภาพ สามารถนำไปเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของมะม่วงที่ทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ และค่า NDVI ได้

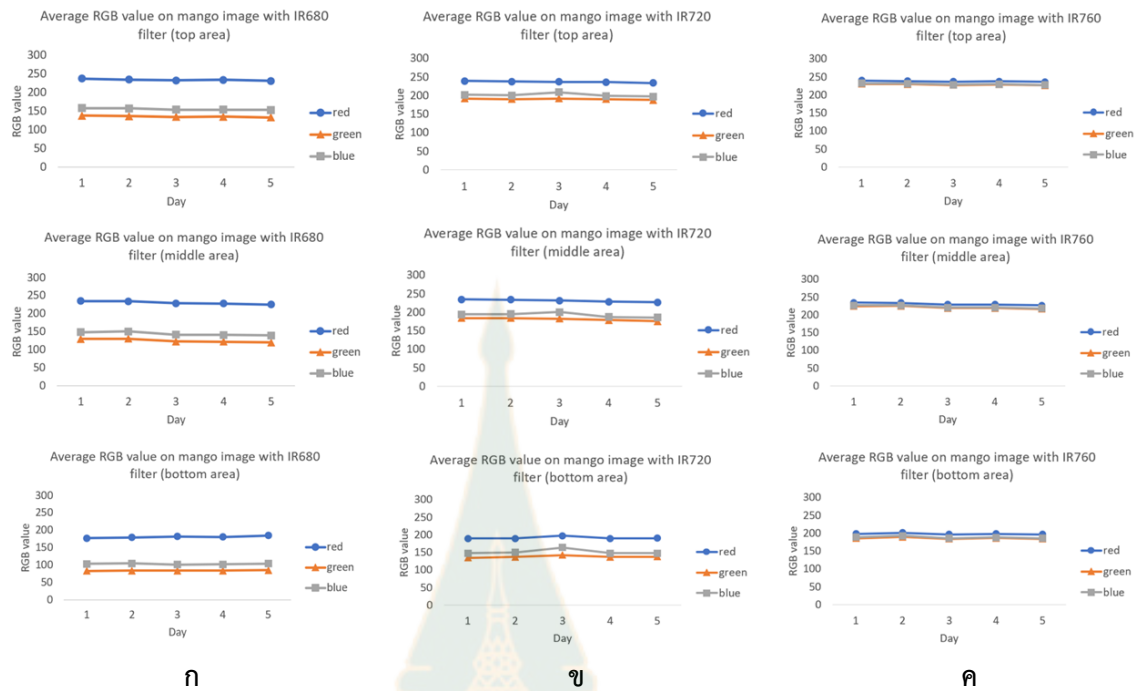
เมื่อพิจารณาค่าสีในช่องสีแดง เขียว และน้ำเงิน ของภาพอาร์จีบี พบว่า ค่าสีที่ช่องสีน้ำเงินมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุการเก็บอย่างชัดเจน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F(3, 11) = 130.63$, $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ฉ) โดยมีค่าลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ในขณะที่ ค่าสีในช่องสีแดง เขียว และน้ำเงิน ของภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผ่านฟิลเตอร์อินฟราเรดขนาดความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ได้แก่ IR680, IR720, IR760, IR850 และ IR950 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของช่องสีแดงตามอายุการเก็บ (ภาพที่ 4.3 และ 4.4) เช่นเดียวกับภาพถ่ายปกติ แสดงให้เห็นว่า การ

ใช้ฟิลเตอร์อินฟราเรดไม่ได้แสดงความแตกต่างของภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งมีความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีเขียวที่เป็นสีของคลอโรฟิลล์ที่ถูกดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นของสีแดงหรือช่องสีแดงเพื่อดูความสมบูรณ์ทำให้สามารถใช้ภาพอินฟราเรดแยกความแตกต่างได้ชัดเจนเมื่อสีเขียวของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาลที่มีการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นสีแดงลดลง NDVI จะมีค่าในช่วง 0 ถึง 1 (Stamford et al. 2023) ดังนั้นดัชนีมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในการศึกษานี้ ใช้หลักการคำนวณ NDVI โดยใช้เพียงค่าสีในช่องสีแดงจากภาพถ่ายปกติมาใช้ในการคำนวณแทนในค่าอินฟราเรดและค่าสีในช่องสีน้ำเงินแทนค่าสำหรับภาพปกติ ตามสูตรการคำนวณดังสมการที่ (7)

$$\text{ดัชนีมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (NDMST-index)} = (R - B)/(R + B) \dots\dots\dots(7)$$



ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยสีในช่องสีแดง เขียว และน้ำเงิน ที่ตำแหน่ง หัว กลาง และท้ายของภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ผ่านการถ่ายภาพจากฟิลเตอร์ปกติ (visible filter)

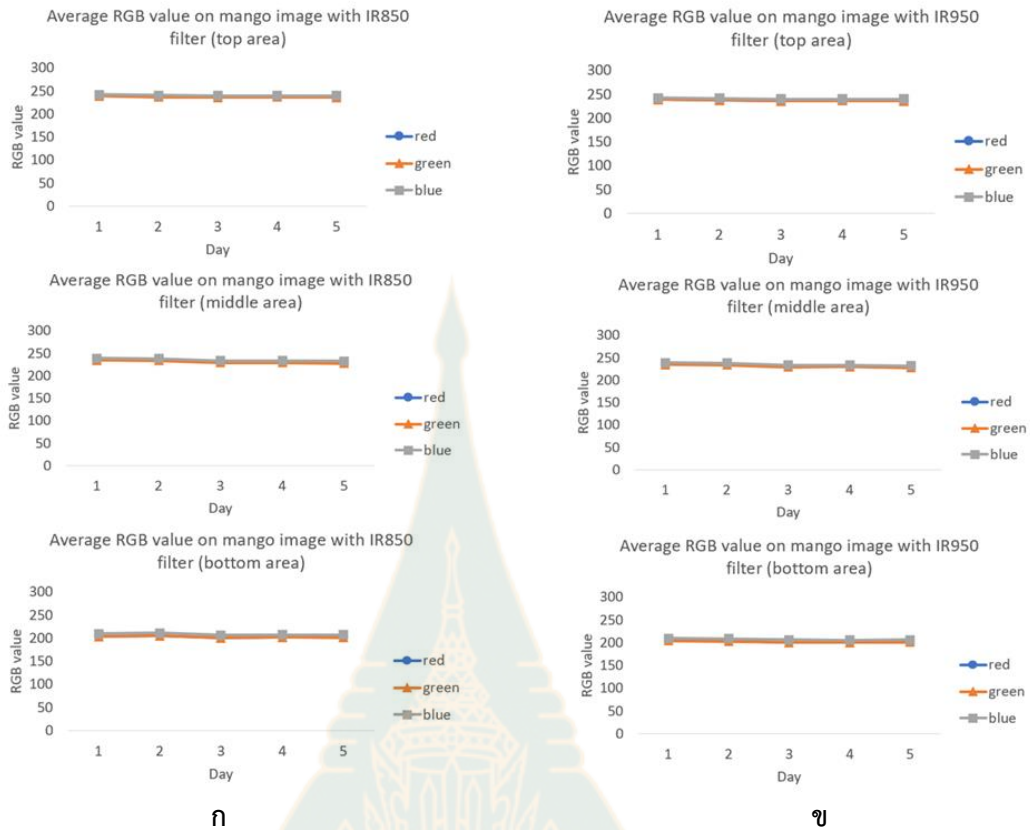


ก

ข

ค

ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยสีในช่องสีแดง เขียว และน้ำเงิน ที่ตำแหน่ง หัว กลาง และท้ายของภาพมะม่วง น้ำดอกไม้ที่ผ่านการถ่ายภาพจากฟิลเตอร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างกัน คือ ก. IR680 ข. IR720 และ ค. IR760



ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยสีในช่องสีแดง เขียว และน้ำเงิน ที่ตำแหน่ง หัว กลาง และท้ายของภาพมะม่วง น้ำดอกไม้ที่ผ่านการถ่ายภาพจากฟิลเตอร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างกัน คือ ก. IR850 และ ข. IR950

เมื่อนำค่าดัชนีมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่คำนวณได้จากภาพสี RGB มาหาความสัมพันธ์กับค่าความอึมตัวของสีภาพ เพื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับระดับความหวานของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง พบว่า ความอึมตัวของสีภาพ (C-image) สามารถทำนายดัชนีมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ 91 เปอร์เซ็นต์ ($R^2 = 0.91$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F(3,71) = 226.44$ $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ญ)

จากการนำข้อมูลระดับความหวานกับดัชนีมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง หรือ NDMST-Index จากค่าเฉลี่ยความอึมตัวของสีภาพสัมพันธ์กับความอึมตัวของสีผลมะม่วงน้ำดอกไม้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ทั้งนี้ค่าที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยที่นำค่าจากตำแหน่งหัว กลางและท้าย ของแต่ละข้อมูลมาใช้ เนื่องจาก การวิเคราะห์เบื้องต้นตามที่กล่าวไปแล้วในข้อ 4.1 และ 4.2 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันของตำแหน่งหัว กลาง และท้ายของสมบัติด้านความหวานและสารต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่าฟีนอลิก ซึ่งมีความสัมพันธ์น้อยมากกับอายุการเก็บ ค่า NDMST-index ที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.27 ± 0.08 ขณะที่ระดับความหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) มี

ค่าเฉลี่ยที่ 16.79 ± 4.00 องศาบริกซ์ และ 15.47 ± 5.08 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ภาคผนวก ก)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับความหวานและ NDMST-index พบว่า มีความสัมพันธ์กันในระดับมาก ($R= 0.89$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ (ตารางที่ 4.4 และ ภาคผนวก ก) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.79 ± 4.00 องศาบริกซ์ (ภาคผนวก ก) รวมทั้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับ NDMST-index ในระดับมาก ($R = 0.92$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ (ตารางที่ 4.4 และภาคผนวก ก) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.47 ± 5.08 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของความสัมพันธ์ระหว่างระดับความหวาน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และNDMST-index

รายการ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
1. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความหวาน และ NDMST-index	องศาบริกซ์	0.89	มาก
2. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และ NDMST-index	กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด	0.92	มาก

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยพบว่า NDMST-index สามารถทำนายระดับความหวานได้ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยสมการทำนายในรูปลอการิทึม (logarithm) ให้ค่าการทำนายที่สูงกว่า ($R^2 = 0.86$) และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F(1, 3) = 17.77, p = 0.024 (p \leq 0.05)$ (ตารางที่ 4.5 และภาคผนวก ก1) สมการทำนายหมายความว่า NDMST-index ที่เปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 สัมพันธ์กับระดับความหวานที่เปลี่ยนแปลงไป 12.47 องศาบริกซ์ และ NDMST-index สามารถทำนายปริมาณน้ำตาลทั้งหมดได้ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยสมการทำนายในรูปลอการิทึม ให้ค่าการทำนายที่สูงกว่า

($R^2 = 0.84$) และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F(1, 3) = 15.57, p = 0.029$ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.5 และภาคผนวก ฎ2) แสดงให้เห็นว่า NDMST-index ที่เปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 สัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงไป 16.18 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

ตารางที่ 4.5 สมการ ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) และ ค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (standard error of the estimate) ของความสัมพันธ์ถดถอยระหว่างระดับความหวาน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและ NDMST-index

รายการ	หน่วย	สมการความสัมพันธ์ถดถอย	R^2	ค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย
1. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความหวานและ NDMST-index	องศาบริกซ์	ระดับความหวาน =	0.80	2.12
		$4.757 + 44.61 \text{ NDMST-index}$		
2. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและ NDMST-index	กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด	ระดับความหวาน =	0.86	1.76
		$33.56 + 12.47 \ln(\text{NDMST-index})$		
1. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและ NDMST-index	กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด =	0.84	2.36
		$-0.24 + 58.23 \text{ NDMST-index}$		
2. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและ NDMST-index	กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด =	0.90	1.88
		$37.23 + 16.18 \ln(\text{NDMST-index})$		

4.5 ความสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระและอายุของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองโดยใช้ภาพอาร์จีบีและอินฟราเรดใกล้

เนื่องจากเบต้าแคโรทีน วิตามินซี และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอายุการเก็บและให้ค่าการทำนายที่สูงสุด (ตารางที่ 4.2 และ 4.3) การพิจารณาความสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ภาพอาร์จีบีและอินฟราเรดใกล้ จึงเลือกใช้เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า NDMST-index มีความสัมพันธ์กับเบต้าแคโรทีน วิตามินซี และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS ในระดับมาก ($R=0.99, 0.98$ และ 0.99 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.01$ (ตารางที่ 4.6 และภาคผนวก ฎ) ทั้งนี้ปริมาณเบต้าแคโรทีน วิตามิน

ซี และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9206.76 ± 6507.58 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด 198.24 ± 73.18 มิลลิลิตรต่อลิตร และ 52.56 ± 29.47 เปอร์เซ็นต์

NDMST-index สามารถทำนายเบต้าแคโรทีนได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป โดยสมการแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้การทำนายที่สูงกว่า ($R^2 = 0.99$) และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F(1,3) = 300.48$ $p = 0.000$ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.7 และภาคผนวก รูป1) สมการทำนายหมายความว่า เมื่อ NDMST-index เพิ่มขึ้น 1 หน่วย เบต้าแคโรทีนจะเพิ่มขึ้น 931.2 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม มะม่วงสด

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของความสัมพันธ์ระหว่างเบต้าแคโรทีน วิตามินซี กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS และ NDMST-index

รายการ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
1. ความสัมพันธ์ระหว่างเบต้าแคโรทีนและ NDMST-index	ไมโครกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด	0.99	มาก
2. ความสัมพันธ์ระหว่าง วิตามินซี และ NDMST-index	มิลลิลิตรต่อลิตร	0.98	มาก
3. ความสัมพันธ์ระหว่าง กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วย ATBS และ NDMST-index	เปอร์เซ็นต์	0.99	มาก

NDMST-index สามารถทำนายวิตามินซีได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป โดยสมการแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้การทำนายที่สูงกว่า ($R^2 = 0.99$) และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ $F(1,3) = 194.25$ $p = 0.001$ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.7 และภาคผนวก รูป2) สมการทำนายหมายความว่า เมื่อ NDMST-index เพิ่มขึ้น 1 หน่วย วิตามินซีจะเพิ่มขึ้น 445 มิลลิกรัมต่อลิตร

NDMST-index สามารถทำนายกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยสมการแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้การทำนายน้อยกว่า ($R^2 = 0.93$) แต่มีความคลาดเคลื่อนน้อย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $F(1,3) = 37.76$ $p = 0.009$ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.7 และภาคผนวก รูป3) สมการทำนายหมายความว่า เมื่อ NDMST-index เพิ่มขึ้น 1 หน่วย กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจะเพิ่มขึ้น 740 %

ตารางที่ 4.7 สมการ ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) และ ค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (standard error of the estimate) ของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง NDMST-Index กับ เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ

รายการ	หน่วย	สมการความสัมพันธ์ถดถอย	R^2	ค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย
1. ความสัมพันธ์ระหว่าง เบต้าแคโรทีน และ NDMST-index-1	ไมโครกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด	เบต้าแคโรทีน = $-12536.4 + 80575.29$ NDMST-index	0.98	1100.63
		เบต้าแคโรทีน = $601.56 e^{9.312 \text{ NDMST-index}}$	0.99	0.09
2. ความสัมพันธ์ระหว่าง วิตามินซี และ NDMST-index	มิลลิกรัมต่อลิตร	วิตามินซี = $-45.075 + 901.67$ NDMST-index	0.97	14.89
		วิตามินซี = $56.66 e^{4.45 \text{ NDMST-index}}$	0.99	0.51
3. ความสัมพันธ์ระหว่าง กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วย ATBS และ NDMST-index	เปอร์เซ็นต์	ABTS = $-45.72 + 364.17$ NDMST-index	0.98	5.39
		ABTS = $6.20 e^{7.40 \text{ NDMST-index}}$	0.93	0.19

4.6 ดัชนีความหวานและสารต้านอนุมูลอิสระของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

เนื่องจากสมการทำนายที่ได้มาจากการใช้ NDMST-index ที่สัมพันธ์กันของความอิมตัวของสีผลมะม่วงกับความอิมตัวของสีภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อมโยงกันของกลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีกับกลุ่มมะม่วงที่นำไปถ่ายภาพด้วยเทคนิคทางภาพถ่าย จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบสมการเพื่อให้แน่ใจว่า สมการสามารถทำนายข้อมูลได้โดยตรงจากการใช้ค่าสี R และ B จากภาพสี RGB เพื่อให้ได้ค่าของ NDMST-index ที่ใช้เป็นดัชนีความหวานและสารต้านอนุมูลอิสระได้ ดังนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยของสี R และ B จากค่าเฉลี่ยของภาพสี RGB ที่ได้จากการถ่ายภาพมาใช้คำนวณค่า NDMST-index ตามสมการที่ (7) มาใช้ในสมการทำนายค่าความหวานและสารต้านอนุมูลอิสระตามสมการทำนายที่ได้ในสมการที่ 4.5 และ 4.7 แล้วนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ใช้ในการทำนายสมการและค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการใช้ค่าสี R และ B ด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (paired sample t-test)

ผลการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความหวาน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ของข้อมูลจากการสร้างสมการทำนายกับข้อมูลที่ได้จากการใช้ค่าสี R และ B เพื่อทดสอบสมการทำนาย พบว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูลระดับความหวาน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ จากการสร้างสมการทำนายและจากการทดสอบสมการมีความสัมพันธ์กันในระดับมาก และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเป็นไปตามสมการทำนาย ดังนั้น NDMST-index สามารถใช้เป็นดัชนีความหวานและสารต้านอนุมูลอิสระได้ด้วยการใช้ค่าสี R และ B จากสี RGB ของภาพถ่ายมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง และในที่นี้จึงขอเรียกว่า ดัชนีความหวานและสารต้านอนุมูลอิสระของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (Sweetness and Antioxidant Index of Nam Dok Mai Sithong, SAI-NDMST)

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่า t-test ของค่าเฉลี่ยของระดับความหวาน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วย ABTS ที่ได้จากข้อมูลที่ใช้สร้างสมการทำนาย และข้อมูลที่ทดสอบการทำนาย

รายการ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)	ระดับความสัมพันธ์	t-test	Sig.(2-tailed)
1. ระดับความหวาน (องศาบริกซ์)	0.961	มาก	-0.653	0.550
2. ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)	0.966	มาก	-0.722	0.510
3. เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)	0.995	มาก	-1.682	0.168
4. วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.825	มาก	0.386	0.719
5. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)	0.995	มาก	-1.626	0.179