บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดัชนีการสุกของมะม่วง

ลักษณะของสีที่ปรากฏของผลไม้สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีระบุถึงความสุกได้ด้วย เช่น งานวิจัยของ ยาฮายาและคณะ (Yahaya, et al., 2014) ได้มีการจัดทำดัชนีการสุกของมะม่วงตามระดับที่กำหนดของฟาร์มในประเทศมาเลเซีย แบ่งเป็น 6 ระดับตามสีของเปลือกมะม่วง ดังนี้

ระดับที่ 1 สีสีเขียวทึบ หมายถึง ยังไม่สุก

ระดับที่ 2 สีเขียวสว่าง หมายถึง เริ่มสุก

ระดับที่ 3 สีเหลือง-เขียว หมายถึง เริ่มสุกเพิ่มขึ้น

ระดับที่ 4 สีเหลืองปนเขียวเล็กน้อย หมายถึง เกือบสุก

ระดับที่ 5 สีเหลืองทั้งใบ หมายถึง สุก

ระดับที่ 6 สีเหลืองปนส้มเล็กน้อย หมายถึง สุกมาก

ทั้งนี้ สีที่เปลี่ยนไปตามความสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้สัมพันธ์ไปกับค่าความเป็นสีแดง (a*) ในระบบสี CIELAB ในทางบวก เมื่อสุก อยู่ในช่วงการสุกหลังดอกบาน 45 ถึง 88 วัน และสุกเต็มที่หลังจากดอกบาน 98 วัน ขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) มีความสัมพันธ์กับความสุกด้วยเช่นกัน ซึ่งเบต้าแคโรทีน (β-carotene) เป็นหนึ่งในสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มสารแคโรทีนอยด์ที่เป็นสารให้สี ที่มีสีส้ม หรือสีเหลือง พบมากที่สุดทั้งในเปลือกและเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในปริมาณร้อยละ 70 ของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Yungyuen et al., 2021) นอกจากนี้แล้วการเปลี่ยนแปลงของความเป็นสีแดงของมะม่วงน้ำดอกไม้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเก็บสูงขึ้น จาก 13 องศาเซลเซียส เป็น 28 องศาเซลเซียส แต่ไม่ชัดเจนถึงความสัมพันธ์กับความแน่น (firmness) ของมะม่วง (Penchaiya et al., 2015)

ดัชนีความสุกของมะม่วงสามารถวัดได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ และปริมาณกรดที่ไตเตรท (titratable acid, TA) มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์ เป็นค่าที่นิยมและยอมรับกันในการตรวจสอบความสุกของผลไม้ โดยสัดส่วนของ TSS ต่อ TA ของมะม่วงน้ำดอกไม้ อายุตั้งแต่ออกดอก 91 ถึง 119 วัน มีดัชนีความสุก 31.3 – 129.2 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมะม่วงมากขึ้น (Wattanawan et al., 2014).

2.2 มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

น้ำดอกไม้สีทอง ลักษณะผลที่สำคัญ คือ ทรงผลสวย ปลายแหลม ผิวผลสีเหลืองทอง เมื่อสุกเปลือกผลหนา และเนื้อละเอียด หวานนุ่ม ไม่มีเสี้ยน กลิ่นหอม ทั้งนี้อายุการเก็บเกี่ยว การประเมินความสุกแก่ และคุณค่าทางโภชนาการ ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีดังนี้

2.2.1 อายุเก็บเกี่ยวหลังดอกบาน โดยปกติมีอายุที่ 100-110 วัน ทั้งนี้ช่วงวันที่นำมะม่วงน้ำดอกไม้มาใช้ศึกษาแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เพนไชยยา และคณะ (Penchaiya et al., 2015) ทำการศึกษาความแน่นของผลและสีผิวเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองของไทย โดยอายุเก็บเกี่ยวหลังดอกบานของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ 84-95 วัน ในขณะที่ ฉั่วเจริญ และซาบลิอฟ (Chuacharoen & Sabliov, 2022) ได้ทำการพัฒนาสารเคลือบเคอร์คิวมินเพื่อรักษาคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งอายุเก็บเกี่ยวหลังดอกบานที่นำมาใช้ คือ 90-100 วัน โดยมีความแก่ประมาณร้อยละ 80 ซึ่งสอดคล้องกับการให้สัมภาษณ์ของคุณสุวิทย์ คุณาวุฒิ เจ้าของสวนมะม่วงน้ำดอกไม้ส่งออก สวนเพชรสำโรง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่มีการเก็บเกี่ยวหลังดอกบานที่ 90-100 วัน ทั้งนี้ อายุมะม่วงที่สุกเต็มที่หรือแก่จัดอยู่ที่ ประมาณ 120 วัน การเก็บจึงเก็บที่ 30 วัน ก่อนวันผลแก่จัด เพื่อชดเชยเวลาในการขนส่งด้วย

2.2.2 จำนวนวันในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีการเปลี่ยนแปลงความสุกไปตามอุณหภูมิในการจัดเก็บ อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ผลมะม่วงสุกเร็ว จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงในด้านคุณภาพโดยการเลี้ยงเชื้อและไม่มีการเคลือบผิวมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยสารเคอร์คิวมินทุก ๆ 3 วัน รวม 9 วัน จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ทุก ๆ 3 วันเมื่อมีการเก็บมะม่วงที่อุณหภูมิห้อง 32$\pm$1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-75% จำลองสภาพการจัดเก็บและการขนส่งมะม่วงของประเทศไทย (Chuacharoen & Sabliov, 2022) ขณะที่ เพนไชยยา และคณะ (Penchaiya et al., 2020) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองคุณภาพความแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา โดยมีการศึกษาทุก 2-3 วัน เป็นจำนวน 9 ครั้ง ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาต่าง ๆ กัน ได้แก่ ห้องเย็น ห้องควบคุม ห้องปรับอากาศ และห้องปกติไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ ที่ 13.4$\pm$0.5 องศาเซลเซียล 91.6$\pm$3.0%, 18.4$\pm$0.4 องศาเซลเซียส 54.3$\pm$7.0%, 24.5$\pm$0.5 องศาเซลเซียส 75.5$\pm$5.2% และ 29.8$\pm$0.4 องศาเซลเซียส 70.4$\pm$3.1% ดังนั้น ในการจัดเก็บมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการตรวจสอบในการศึกษานี้ต้องมีการตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องจัดเก็บให้มีความสม่ำเสมอตลอดการทดสอบด้วย

2.2.3 การประเมินการสุกแก่ของมะม่วง สามารถใช้วิธีการแช่ผลในน้ำเพื่อสังเกตการจมหรือลอยของผลมะม่วง ซึ่งสามารถนำสู่การประมาณความแก่และความหวานเมื่อมะม่วงสุกได้

ตัวอย่างเช่น ผลมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แช่ในน้ำจมในระดับผิวน้ำประมาณการได้ว่า ผลมะม่วงมีความแก่ 85% ความหวาน 17 องศาบริกซ์ ซึ่งเป็นระดับพอเหมาะสำหรับขนส่งไปจำหน่ายต่างประเทศ โดยใช้เวลาขนส่ง 5-10 วัน ส่วนมะม่วงลอยปริ่มน้ำหรือจมถึงพื้นล่างภาชนะมีความแก่และความหวานแตกต่าง ดังนี้ แสดงในตารางที่ 1 เช่น ลักษณะผลมะม่วงที่ลอยปริ่มน้ำ มีส่วนโผล่เหนือผิวน้ำขนาดกว้างเท่าเหรียญห้าบาท ประมาณการความแก่ และความหวานของมะม่วงที่ความแก่ 80% ความหวาน 16 องศาบริกซ์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ลักษณะผลมะม่วงในน้ำ เพื่อประมาณการความแก่และความหวานของมะม่วง

ลักษณะผลมะม่วงในน้ำ	ประมาณการความแก่และความหวานของมะม่วง
1. มะม่วงลอยปริ่มน้ำ มีส่วนโผล่เหนือผิวน้ำขนาดกว้างเท่าเหรียญห้าบาท	1. ความแก่ 80% ความหวาน 16 องศาบริกซ์
2. มะม่วงจมในระดับผิวน้ำ	2. ความแก่ 85% ความหวาน 17 องศาบริกซ์
3. มะม่วงจมถึงพื้นล่างถังภาชนะ	3. ความแก่ 90% ความหวาน 18 องศาบริกซ์

มะม่วงที่มีอายุต่างกันจะมีลักษณะการจมและลอยน้ำไม่เหมือนกัน เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของมะม่วง น้ำที่ใช้ในการทดสอบการจมหรือลอยน้ำ เป็นน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 1-3

เปอร์เซ็นต์ อภิตา บุญศิริ และ จริงแท้ ศิริพานิช (2550) พบว่า ผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่ความแก่ 80 เปอร์เซ็นต์ลอยน้ำ และผลที่มีความแก่ 85 เปอร์เซ็นต์ จมน้ำที่น้ำเกลือเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ลอยน้ำได้ในน้ำเกลือ 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลแก่ 90 เปอร์เซ็นต์ จะจมในน้ำเกลือ 1 เปอร์เซ็นต์ แต่ลอยในน้ำเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์ สุภาวดี สมคะเน (2563) ได้ทำการคัดเลือกผลมะม่วงแก้วขมิ้น โดยการลอยน้ำในน้ำเกลือความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อคัดเลือกผลมะม่วงที่ความแก่อ่อนเท่าๆกัน โดยเลือกผลที่ลอยน้ำได้มาใช้ในการศึกษา

เนื่องด้วยการจัดการผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในแปลงปลูก เพื่อป้องกันแมลงและต้องการให้ผลมีผิวสีเหลืองสวยงามด้วยการห่อผลด้วยถุงกระดาษสีน้ำตาล ทำให้ผิวของผลมีสีเหลืองสม่ำเสมอไม่เป็นสีเขียวตามสีปกติตามอายุของผลมะม่วง จึงจำเป็นต้องประเมินความสุกแก่จากอายุการเก็บเกี่ยว คือ 90 วันหลังดอกบาน และตรวจสอบความสุกแก่ด้วยวิธีการแช่ผลในน้ำเพื่อสังเกตการจมหรือลอยของผลมะม่วงด้วย

2.2.4 คุณค่าทางอาหารหรือโภชนาการของมะม่วง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ความอ่อน-แก่ รวมถึงพื้นที่ปลูก เนื้อมะม่วงประกอบด้วยน้ำ คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ แร่ธาตุ สารประกอบที่ให้สี กลิ่นและรส เป็นต้น มะม่วงมีคุณค่าทางโภชนาการ

1) คาร์โบไฮเดรต อยู่ระหว่าง 13.8 - 16.9 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลไม้ที่มีแป้งและน้ำตาลสูง โดยปริมาณแป้งสูงในขณะดิบแต่ลดลงเมื่อสุก ขณะเดียวกันปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อสุก

2) โปรตีน อยู่ระหว่าง 0.4 - 0.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโปรตีนไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับพันธุ์มะม่วง เช่น พันธุ์มะม่วงในอินเดีย มีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 0.5 - 1.0 กรัมต่อเนื้อมะม่วง 100 กรัม ซึ่งพันธุ์มะม่วง ในอเมริกามีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 1.5 - 5.5 เปอร์เซนต์

3) ไขมัน อยู่ระหว่าง 0.4 - 0.6 เปอร์เซนต์ ซึ่งในมะม่วงจะมีปริมาณไขมันน้อยมาก

4) แร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก มะม่วงดิบ มะม่วงห่าม และมะม่วงสุก มีแคลเซียมและฟอลฟรัลไม่แตกต่างกัน คือ แคลเซียม 10 มิลลิกรัม และฟอสฟอรัส 15.5 มิลลิกรัม ในเนื้อมะม่วง 100 กรัม สำหรับเหล็กมีปริมาณเหล็กอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.3 มิลลิกรัม ในเนื้อมะม่วง 100 กรัม

5) วิตามิน มะม่วงสุกมีปริมาณวิตามินเอสูง เพราะมีแคโรทีนมาก มะม่วงจึงเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินเอ ส่วนมะม่วงดิบมีปริมาณวิตามินซีสูง

6) พลังงานความร้อน มะม่วงสุกและมะม่วงห่ามให้พลังงานความร้อนแก่ร่างกายมากกว่ามะม่วงดิบเล็กน้อย

7) เส้นใย มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.5 เปอร์เซ็นต์ มะม่วงสุกจะมีเส้นใยมากกว่ามะม่วงดิบ

8) องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการบริโภคและการแปรรูป เช่น

(1) ความเป็นกรด-ด่างในเนื้อมะม่วง หรือค่า pH เนื้อมะม่วงมี pH ประมาณ 3.9 - 4.5 โดยความเป็นกรด (acidity) ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะม่วง ความเป็นกรดคิดในรูปกรดซิตริก อยู่ระหว่าง 0.12 - 0.71 เปอร์เซ็นต์ เพราะคนไทยคุ้นเคยกับกลิ่นรสของมะม่วงอยู่แล้ว นอกจากนี้หากสามารถผลิตหรือแปรรูปเป็นสินค้า จะเป็นการช่วยด้านเศรษฐกิจได้ทางหนึ่ง

(2) สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดอาการแพ้ สารอินทรีย์ตัวนี้ชื่อ 3-pentaecy catechol เป็นสารอินทรีย์ที่ทำให้บางคนบริโภคมะม่วงแล้ว ทำให้เกิดอาการแพ้ แต่ไม่มีรายงานแสดงว่า ลักษณะอาการแพ้เป็นอย่างไร

มะม่วงนอกจากจะมีสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายแล้ว ยังมีสารสำคัญที่ไม่ใช่สารอาหารโดยตรงแต่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เสริมสร้างภูมิคุ้มกันแก่ร่างกาย เช่น แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอล วิตามินซี และใยอาหาร เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารเริ่มต้นของวิตามินเอ มีคุณสมบัติ เป็นสารแอนติออกซิแดนท์หรือสารต้านออกซิเดชันที่ดี ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคต้อกระจกและต้อหิน โรคความผิดปกติของกล้ามเนื้อ ระบบประสาท การอักเสบและความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เป็นต้น ในมะม่วงมีแคโรทีนอยด์อยู่ในรูปของเบต้า-แคโรทีน (all-trans-β-carotene) มากที่สุดถึงร้อยละ 60-70 ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (ธำรงเจต พัฒมุขม 2563; Yungyuen et al., 2021) คิดเป็น 10.0-32.5 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีไลโคปีน 3.53 ไมโครกรัมต่อกรัม ทั้งนี้เบทา-แคโรทีน ของมะม่วงน้ำดอกไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงแก่มากขึ้น (Yungyuen et al., 2021)

2) สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) ที่พบในมะม่วง ส่วนใหญ่เป็นพวกแทนนิน (tannin) มีรสฝาดและขม มีคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ ในมะม่วงสุกมีปริมาณแทนนินสูงกว่าในมะม่วงดิบ ในมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมีแทนนิน 32.41 มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ส่วนมะม่วงเขียวเสวยและมะม่วงแรด มีแทนนิน 15.47 และ 13.81 มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม ตามลำดับ (ริญและรัชนี, 2551) นอกจากนี้นายคิม (Kim *et al*., 2010) รายงานว่า ในผลมะม่วงพันธุ์เออร์วิน (*Mangifera indica* L. cv. Irwin) มีสารประกอบฟีนอลในเนื้อมะม่วงดิบและเนื้อมะม่วงสุก เท่ากับ 27.8 และ 26.9 มิลลิกรัม GAE (gallic acid equivalent) ต่อกรัม ตามลำดับ และ มีสารฟลาโวนอยด์ในเนื้อมะม่วงดิบและเนื้อมะม่วงสุกคิดเป็น 8.15 และ 3.30 มิลลิกรัม RE (rutin equivalent) ตามลำดับ

3) วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นวิตามินชนิดหนึ่งที่สามารถละลายน้ำได้ มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว มีรสเปรี้ยว พบปริมาณมากในเนื้อมะม่วงดิบ และปริมาณจะลดลงในเนื้อมะม่วงสุก วิตามินซีมีประโยชน์ด้านโภชนาการหลายด้าน ได้แก่ ป้องกันเลือดออกตามไรฟัน ช่วยสร้างคอลลาเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูก ฟัน ผิวหนัง กล้ามเนื้อ และผนังเส้นเลือด ช่วยในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ สารสื่อสัญญานประสาทและฮอร์โมนชนิดต่างๆ ช่วยดูดซึมธาตุเหล็ก ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และยังมีสมบัติการต้านออกซิเดชั่น โดยวิตามินซีละลายอยู่ในของเหลวที่อยู่ระหว่างเซลล์ ปกป้องเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายจากอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะม่วงทั่วไป 100 กรัม

องค์ประกอบ	มะม่วงดิบ	มะม่วงห่าม	มะม่วงสุก
ความชื้น (กรัม)	82.9	81.1	82.9
ไขมัน(กรัม)	0.4	0.6	0.6
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	15.3	17.5	15.9
เส้นใย (กรัม)	0.4	0.2	0.5
แคลเซี่ยม (มิลลิกรัม)	10.0	10.0	10.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	15.0	15.0	15.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.2	0.3	0.3
ไวตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.06	0.06	0.06
ไวตามินบี2 (มิลลิกรัม)	0.05	0.05	0.05
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	62	48	36
ไวตามิน เอ หน่วยสากล/ 100 กรัม	183	392	3,133
พลังงานความร้อน (กิโลแคสอรี่/ 100 กรัม)	60	69	62

ที่มา สำนักงานพัฒนาการเกษตร, (2547)

2.3 วิธีการตรวจสารต้านอนุมูลอิสระ

2.3.1 ปริมาณแอนติออกซิแดนท์ โดยวิธี ดี พี พี เอช (1, 1-diphenyl-2picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay) ดัดแปลงจากวิธีของ Brand และคณะ (1995)

1) วิธี ดี พี พี เอช (1, 1-diphenyl-2picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay) โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระคืออนุมูลอิสระ ดีพีพีเอช (DPPH, 1,1-diphenyl–2–picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและ มีสีม่วง เมื่อ DPPH' ทำปฏิกิริยากับแอนติออกซิแดนท์ที่ละลายด้วยเอทานอล จะทำให้ได้สีม่วงจางลงจนเป็นสีเหลือง การเตรียมสารละลายดีพีพีเอช (DPPH reagent) โดยชั่งดีพีพีเอช 0.0079 กรัม ละลายใน เอทานอล 100 มิลลิกรัม ทำการทดสอบสารตัวอย่าง โดย ผสมสารละลายตัวอย่าง 100 กรัม กับสารละลายดีพีพีเอช 100 ไมโครลิตร ใน 96 well plate ตั้งทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่ได้มาคำนวณหาการยับยั้งอนุมูลอิสระจากสมการที่ (1) หรือ (2)

การยับยั้งอนุมูลอิสระ (% Inhibition) = [(Aดีพีพีเอช - Aสารตัวอย่าง)/(Aดีพีพีเอช - Aสารมาตรฐาน)] x 100 .....(1)

หรือ การยับยั้งอนุมูลอิสระ (% Inhibition) = [(Aควบคุม - Aสารตัวอย่าง)/(Aควบคุม] x 100 .....(2)

โดยที่ A สารควบคุม คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารควบคุม

A สารตัวอย่าง คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันจะแสดงเป็นค่า IC50 คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 %

2.3.2 วิธีเอบีทีเอส (ABTS radical cationdecolorization assay) (Re et al., 1999) เป็นการทดสอบด้วย ABTS'+, 2, 2′-azino-bis (3ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical สารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงินสามารถดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร การเตรียมสารละลายเอบีทีเอส (ABTS reagent) โดยการชั่งสารเอบีทีเอส 0.0036 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.00067 กรัม แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด

ให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง ทำการทดสอบ สารตัวอย่างโดยผสมสารละลายตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร กับ สารละลายเอบีทีเอสปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใน 96 well plate ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร โดยใช้โทรลอกซ์เป็น สารมาตรฐาน จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มา คำนวณหาการยับยั้งอนุมูลอิสระจากสมการที่ (3) หรือสามารถเขียนเป็นสมการในทำนองเดียวกันกับสมการที่ (2)

การยับยั้งอนุมูลอิสระ (% Inhibition) = [(Aเอบีทีเอส – Aสารตัวอย่าง)/(Aเอบีทีเอส – Aสารมาตรฐาน)] x 100 .....(3)

ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันจะแสดงเป็นค่า IC50 คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 % โดยการแทนค่า y = 50 ในสมการเพื่อหา x จะได้ผลค่า IC50 ซึ่งการแปลผลค่า IC50 หมายถึง ค่าของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 % ค่ายิ่งน้อยยิ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและวิตามินซีเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลไม้ พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากวิธี ดีเอ็มพีดี (N,N-dimethyl-p-phenylenediamine, DMPD) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟีนอลิกและวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญ (r = 0.868 - 0.882, p-value = 0.000) (วรานนท์ ทองอินลา ชลธิชา วรรณวิมลรักษ์ และภารดี ช่วยบำรุง, 2557)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำผัก สมุนไพร และผลไม้ โดยใช้สถิติ Pearson correlation พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (บุญเลี้ยง สุพิมพ์, สุระเดช ไชยตอกเกี๋ย, จิตติมา พีรกมล และสุพรรณี พฤกษา, 2563)

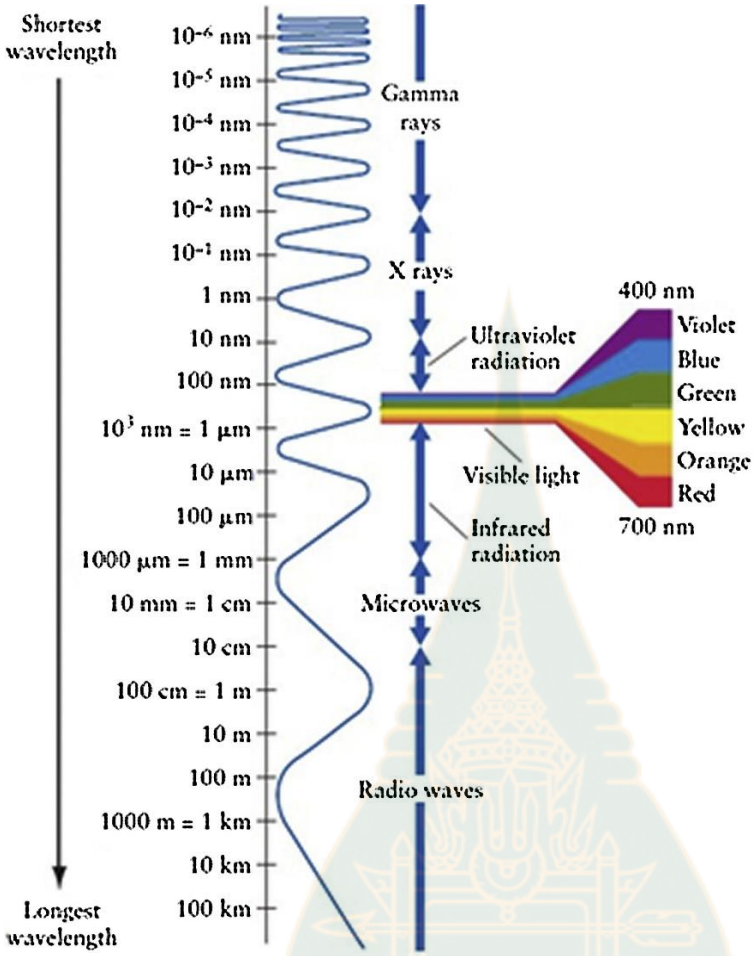
ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างองศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลและกรด พบว่าเมื่อองศาบริกซ์เพิ่มขึ้น สัดส่วนปริมาณน้ำตาลและกรดเพิ่มขึ้นด้วย โดยองศาบริกซ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (R^2 = 0.74) และความสัมพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณกลูโคสและฟรุกโตส (R^2 = 0.82 และ 0.81 ตามลำดับ) (Pistón et.al., 2017)

2.4 การประเมินคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

ทำการคัดเลือกมะม่วงที่มีอายุใกล้เคียงกันโดยการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพด้วยการแช่ผลในน้ำ ตามเกณฑ์คัดเลือกในตารางที่ 2.1 จากนั้นทำการวิเคราะห์ทางเคมี ด้านระดับความหวาน (Brix level) องศาบริกซ์ สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี เบต้าแคโรทีน และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ตามอายุการเก็บ รวมทั้งกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ หรือการยับยั้งอนุมูลอิสระ

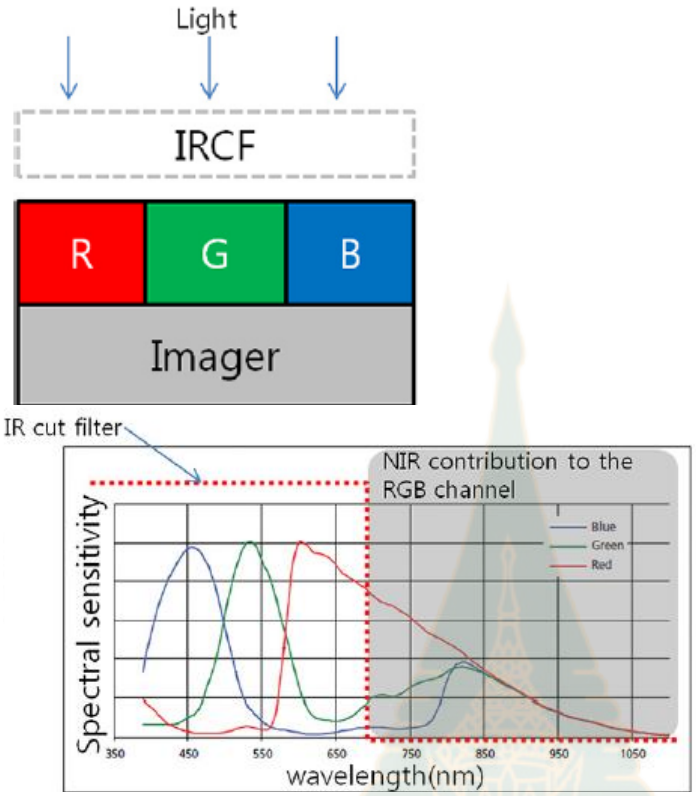
2.5 ภาพอาร์จีบีและอินฟราเรดใกล้

ภาพอาร์จีบีและอินฟราเรดใกล้ หรือภาพ RGB-IR โดยปกติภาพอินฟราเรดมีลักษณะภาพเป็นขาวดำไม่มีสี โดยการถ่ายภาพเหมือนการถ่ายภาพทั่วไปโดยใช้กล้องถ่ายภาพผ่านฟิลเตอร์อินฟราเรด อินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ ประมาณ 700 นาโนเมตรไปถึง 1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ใกล้กับความยาวคลื่นยาว (แสงสีแดง) ที่ตามองเห็น (700 นาโนเมตร) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 เนื่องจากอินฟราเรดใกล้ มีบางช่วงคลื่นที่อยู่ในคลื่นที่ตามองเห็นด้วย ทำให้การเห็นภาพที่ปรากฏได้ อย่างไรก็ตามการสะท้อนพื้นผิวแถบอินฟราเรดย่านใกล้ ขึ้นอยู่กับวัสดุ เช่น สีย้อม และสารสีของวัสดุนั้น ๆ (Park and Kang, 2016)



ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าที่แสดงความยาวคลื่นต่างกันตามหมวดหมู่ของรังสี
ที่มา: Evers et al. 2018 อ้างจาก Harnischmacher 2008.

กล้องดิจิทัลมีเซนเซอร์ที่มีความไวแสงตั้งแต่ประมาณ 340 -1100 นาโนเมตร ส่วนใหญ่มีฟิลเตอร์สำหรับกั้นรังสีอินฟราเรด (Infrared block) หรือ IRCF (Infrared cut-off filter) ไม่ให้ผ่านไปบันทึกลงบนเซนเซอร์ มีเพียงความไวของสเปคตรัมช่วงแสงสีขาว คือ แสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่ผ่านได้ ดังภาพที่ 2.2ก และเมื่อนำ IRCF ออก และใช้ฟิลเตอร์อินฟราเรดจะเห็นว่า ช่วงความยาวคลื่น 720 นาโนเมตร ความไวของสเปคตรัมช่วงคลื่นแสงสีแดงจะมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นคลื่นแสงสีเขียวและสีน้ำเงิน ตามลำดับ จึงทำให้เห็นภาพเป็นสีแดง และที่ฟิลเตอร์อินฟราเรดความยาวคลื่นตั้งแต่ประมาณ 850 นาโนเมตร ขึ้นไป ความไวของสเปคตรัมทั้งสามสีใกล้เคียงกัน รวมทั้งความยาวคลื่นแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ถึงประมาณ 780 นาโนเมตรเท่านั้น เมื่อถ่ายภาพแล้วได้ภาพสีขาวดำ ดังแสดงในภาพที่ 2.3ข (Park and Kang, 2016)



ภาพที่ 2.2 ระบบความไวสเปคตรัมของกล้อง โดยปกติมีฟิลเตอร์กั้นรังสีอินฟราเรด (ก) และเมื่อมีการนำฟิลเตอร์กั้นรังสีอินฟราเรดออก (ข)
ที่มา: Park and Kang, 2016.

โดยปกติฟิลเตอร์ที่กั้นอินฟราเรดไม่สามารถกั้นได้ทั้งหมด จึงทำให้มีอินฟราเรดบางส่วนทะลุมาได้บ้างแต่น้อยมากจนไม่มีผลกระทบต่อการถ่ายภาพทั่วๆ ไปในสภาวะแสงปกติ เพราะอัตราส่วนของอินฟราเรดต่อแสงขาวนั้นน้อยจนไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ดีหากต้องการทราบว่า กล้องดิจิทัลมีปริมาณอินฟราเรดส่องผ่านไปยังเซนเซอร์มากน้อยแค่ไหน สามารถทดสอบทำได้โดยการเปิดกล้อง แล้วกดปุ่มใดปุ่มหนึ่งบนรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าใด ๆ โดย หันเข้าหาเลนส์ของกล้อง ถ้าเป็นกล้อง DSLR (Digital Single Lens Reflex) ให้เปิดโหมด live view และเมื่อมองที่จอ LCD ของกล้องแล้วเห็นแสงออกมาจากรีโมทคอนโทรล แสดงว่า กล้องสามารถถ่ายภาพอินฟราเรดได้ แต่ถ้าไม่มีแสงออกมาเลย แสดงว่า กล้องนั้นไม่ไวต่ออินฟราเรด ต้องนำกล้องไปดัดแปลงโดยการถอดฟิลเตอร์ สำหรับกั้นรังสีอินฟราเรดออกเสียก่อนจึงสามารถนำมาถ่ายอินฟราเรดได้ (ชวาล คูร์พิพัฒน์, ม.ป.ป.)

ฟิลเตอร์ที่ยอมให้เฉพาะอินฟราเรดผ่านมีจำหน่ายอยู่หลายแบบ ที่นิยมใช้กัน คือ IR72 ซึ่งยอมให้รังสีอินฟราเรดที่ 720 นาโนเมตรขึ้นไปผ่านไปได้ (คิด ประสิทธิภาพที่ร้อยละ 50) อย่างไรก ตามการถ่ายภาพอินฟราเรดใกล้ควรระมัดระวังการถ่ายโดยตรงกับแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะเมื่อนำ ฟิลเตอร์อินฟราเรดหรืออัลตร้าไวโอเลตของกล้องออกแล้ว อาจส่งผลทำให้ตาบอดได้ (ชวาล คูร์พิพัฒน์, ม.ป.ป.) ภาพอินฟราเรดใกล้ที่นำมาใช้วิเคราะห์เป็นภาพที่ใช้เปรียบเทียบกับภาพสี ดังนั้นจะมี การปรับภาพด้วยการกำจัดสีสันและความอิ่มตัวของสีออก หรือการกำจัดส่วนรบกวน (noise) ของ ภาพออกก่อน เพื่อการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB (Evers et al. 2018)

การใช้ภาพ RGB-IR ใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ ดัชนีพืชพรรณ (Nomalized Difference Vegetation Index, NDVI) เป็นดัชนีที่ใช้วิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของป่าไม้จาก ภาพถ่ายดาวเทียม โดยอาศัยข้อมูลภาพในแชลแนลสีแดง (R) จากภาพ RGB และข้อมูลของภาพ อินฟราเรดใกล้ (NIR) ตามสมการที่ (4)

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \qquad \text{.....(4)}$$

หลักการของ NDVI ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า ต้นไม้จะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงที่สายตา มนุษย์ มองเห็นที่ 400 นาโนเมตร – 700 นาโนเมตร เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง โดยคลอโรฟิลล์จะ ดูดกลืนแสงได้ดี ในช่วงคลื่นแสงสีแดงและน้ำเงิน ในขณะที่ โครงสร้างของใบไม้นั้นสามารถสะท้อน แสงในช่วง อินฟราเรดใกล้ (NIR - 700 นาโนเมตร – 1100 นาโนเมตร) ได้ดี ดังนั้นหากใน ภาพถ่าย ดาวเทียมปรากฏว่ามีจุด สว่างในช่วง NIR และ ณ ตำแหน่งเดียวกัน จึงทำให้เกิดมืดในช่วงคลื่นสีแดง แสดงว่า บริเวณนั้นมีความเป็นไปได้สูงที่จะมีใบไม้อยู่ NDVI นั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 โดยทั่วไปต้นไม้มีค่า NDVI มากกว่า 0 (Normalized difference vegetation index. (2022, June 6) เทคนิคการหาดัชนีจากภาพ RGB-IR ยังมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของปะการัง โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่แปลงให้มีช่วงความไวแสงมากกว่าที่ตามองเห็นไปจนถึง UV และ IR และเมื่อนำภาพมาวิเคราะห์หาดัชนีที่เหมาะสม ทำให้สามารถระบุถึงสุขภาพของปะการังที่เกิดการ ฟอกขาวได้ (Sa-Ngadsup et al., 2019) ดังนั้น การระบุการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงน้ำดอกไม้สี ทองเมื่อมีอายุมากขึ้น สามารถหาดัชนีที่เหมาะสมที่สัมพันธ์กับความหวานจากภาพ RGB-IR ได้เช่นกัน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบฐานข้อมูลของผัก ผลไม้

งานวิจัยที่พบเป็นงานวิจัยที่นำข้อมูลภาพผักหรือผลไม้มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและผลผลิต อาทิ ความสุก ผลผลิต ดังนี้

2.6.1 การใช้หุ่นยนต์หรือแขนกลหรือเครื่องจักรกลอัตโนมัติในการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืช มีเซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพและปริมาณของผลผลิต สามารถตรวจสอบคุณภาพภายในและภายนอกของผลผลิตพืชเพื่อการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชในช่วงเวลาที่เหมาะสม หรือตรวจวัดปริมาณของผลผลิต โดยเซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพและปริมาณผลผลิตมีความจำเพาะตามชนิดของพืช เช่น การใช้กล้องทำอิมเมจโปรเซสซิ่งเพื่อทำแผนที่ผลผลิต (yield mapping) และเซนเซอร์ตรวจวัดความสุกแก่ของผลผลิตพืช เป็นต้น และมีระบบสั่งการให้หุ่นยนต์หรือแขนกลหรือเครื่องจักรกลอัตโนมัติทำงานอย่างถูกต้องด้วยซอฟต์แวร์ที่ผ่านการกำหนดหรือจดจำลักษณะผลผลิตที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ ตัวอย่างเช่น หุ่นยนต์ Virgo 1 ของบริษัทสตาร์ตอัพ Root AI สามารถใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการเก็บผลผลิตพืช เช่น มะเขือเทศ แตงกวา และราสเบอร์รี่ เป็นต้น โดยเซนเซอร์ของหุ่นยนต์จะสามารถมองเห็นผลไม้ได้แบบสามมิติ วิเคราะห์ระดับความสุกแบบตามเวลาจริง และตัดสินได้เลือกผลที่ต้องการด้วยซอฟต์แวร์ที่ผ่านการฝึกฝนด้วยการป้อนข้อมูลภาพลักษณะผลที่ต้องการเป็นหลายล้านภาพเพื่อให้ระบบรู้จักหน้าตาผลที่พร้อมเก็บเกี่ยว จากนั้นชิฟประมวลผลวิดีโอที่รันอยู่ซอฟต์แวร์ปัญญาประดิษฐ์และบังคับแขนกลให้ทำหน้าที่เก็บเกี่ยวผล ซึ่งหุ่นยนต์ตัวนี้จะเก็บราสเบอร์รี่ได้ 25,000 ผลต่อวัน มากกว่าแรงงานคนที่เก็บได้เฉลี่ย 15,000 ผลต่อวัน (TNN Tech Reports, 2563)

2.6.2 การประเมินภาพถ่ายทางอากาศในช่วงระยะข้าวตั้งท้อง สำหรับการประมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle: UAV) ที่ติดตั้งกล้องเซนเซอร์ RGB ความละเอียด 12 ล้านพิกเซล บินถ่ายภาพที่ความสูง 90 เมตร การประมวลผลภาพดำเนินการด้วยคอมพิวเตอร์ และใช้อัลกอริทึมตัวแบบเชิงเส้น ในการวิเคราะห์แบบจำลองประมาณผลผลิตข้าว จากข้อมูลค่าการสะท้อนแสงและความสูงต้นข้าวที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับข้อมูลผลผลิตข้าวจากการวัดจริง (รัฐพงษ์ ม่วงประโคน พีระยศ แข็งขัน และศิวา แก้วปลั่ง, 2564)

2.6.3 การประเมินภาพถ่ายทางอากาศเพื่อดูผลผลิตของไร่กาแฟ ด้วยการใช้กล้องจับภาพแบบเซนเซอร์ตัวเดียวที่ต้องถอดฟิลเตอร์กั้นรังสีอินฟราเรดออกเทียบกับกล้องที่มีเซนเซอร์หลายตัวรวมทั้งฟิลเตอร์อินฟราเรดด้วย ซึ่งเป็นกล้องที่มีราคาสูง ในการจับภาพอาร์จีบีและภาพอินฟราเรดใกล้ จากนั้นคำนวณค่า NDVI ของผลผลิตกาแฟเพื่อเทียบกับการใช้กล้องทั้งสองแบบในการประมวลผลภาพ พบว่า ผลที่ได้มีค่า NDVI ใกล้เคียงกัน (Gomes et.al., 2021) ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้

เห็นว่า สามารถนำกล้องดิจิทัลแบบเซนเซอร์เดียวมาใช้ในการจับภาพเพื่อการประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบคุณภาพและผลผลิตของผักผลไม้ได้