

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

สารต้านออกซิเดชันจัดเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระด้วยคุณสมบัติที่สำคัญของสารประเภทนี้ ทำให้นักวิทยาศาสตร์พยายามค้นคว้าหาแหล่งของสารต้านออกซิเดชันใน พืช ผัก ผลไม้ ที่บริโภคกันเป็นประจำ เพื่อนำมาสกัดและประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ต่อไป ซึ่งงานวิจัยส่วนมากทำในผักและผลไม้จากต่างประเทศ เช่น แอปเปิล องุ่น แครนเบอร์รี่ และเชอร์รี่ เป็นต้น และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ส่งผลให้มูลค่าการตลาดผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในประเทศไทยสูงถึง 8,441 ล้านบาท (ฐานเศรษฐกิจ, 2549) จึงเกิดกระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังตัวอย่างการบริโภคผัก ผลไม้ ธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสี และพืชสมุนไพรต่าง ๆ ที่เป็นแหล่งอาหารสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิด โรคดังกล่าว เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคไขมันอุดตันเส้นเลือด โรคเบาหวาน และโรคไขข้ออักเสบ (โอภา, 2550) ทำให้เกิดงานค้นคว้าวิจัยหาสารต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งธรรมชาติเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะจากผักและผลไม้ เช่น การศึกษาวิธีการสกัดและประเมินคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากส่วนเนื้อและเมล็ดของมะขาม มะม่วง ขนุน และ ลำไย (Soong and Barlow, 2004) และการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงฟ้าลั่น (ปรารักษ์ทิพย์ และพรนิตร, 2551) เป็นต้น โดยสารสำคัญที่อยู่ในผักและผลไม้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการช่วยป้องกัน และชะลอการเกิดโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ ซึ่งระบบกำจัดอนุมูลอิสระที่เรียกว่าระบบต้านอนุมูลอิสระ (Robard *et al.*, 1995)

สำหรับสารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติได้แก่ วิตามินซี วิตามินเอ ซีลีเนียม แอนโทไซยานิน เบต้าแคโรทีน สารพฤกษเคมีต่างๆ (phytochemicals) เช่น สารประกอบฟีนอลิก (polyphenol) และไอโซฟลาโวน (isoflavones) เป็นต้น ซึ่งสารสำคัญข้างต้นมักพบในผักและผลไม้ที่มีสีเข้ม เช่น ผักสีเขียวทานตะวัน เช่น ตำลึง คื่นช่าย บล็อกโคลี่ ชะพลู และบวบ เป็นต้น เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ซึ่งเป็นสารที่พบได้ในส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช มีบทบาท เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดการดูดซึมของสารก่อมะเร็ง ช่วยสมานบาดแผล ช่วยยับยั้งการติดเชื้อจากแบคทีเรีย ช่วยกำจัดกลิ่นจากอวัยวะภายในร่างกาย (จรัสแท้, 2550) หรือในผักและผลไม้ที่มีสีแดง ส้ม และเหลือง เช่น มะละกอ แครอท เนื่องจากมีแคโรทีนอยด์ สารสีมีศักยภาพต้านอนุมูลอิสระตัวก่อมะเร็ง และโรคหัวใจ (นุรีदान, 2551) เช่นกัน

และแอนโทไซยานินซึ่งสามารถพบได้ในส่วนดอกและผลที่มีสีม่วงและแดง เช่น ผลองุ่น ดอกอัญชัน กะหล่ำม่วง ชมพู่มะเหมี่ยว แดงโม มะเขือเทศ มะเขือม่วง แบล็กเบอร์รี่ และบลูเบอร์รี่ เป็นต้น

มะม่วงมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระจากการที่มีวิตามินซีอยู่สูง ซึ่งมีมากกว่ามะนาวถึง 3 เท่า และยังมีคุณสมบัติ reducing glucids ซึ่งจะทำให้ผิวหนังเรียบลื่นนุ่มชุ่มชื้น ยังช่วยกำจัดเซลล์ที่ตายแล้ว จึงช่วยทำให้ผิวหนังสดใส ในมะม่วงยังมีสารจำพวกน้ำตาลร่วมกับพวกอะมิโนแอซิด ที่จะช่วยคงความชุ่มชื้นไว้ที่ชั้นของผิวหนัง วิตามินเอและซีในมะม่วงยังช่วยกำจัดเซลล์ที่ตายแล้วและทำให้ผิวหนังสภาพความอ่อนเยาว์ลบรอยเหี่ยวย่นได้ดี (สุกานดา ปานเพชร. 2533) แต่ขาดการศึกษาทางวิทยาศาสตร์อย่างจริงจัง โดยคุณสมบัติด้านสุขภาพที่ปรากฏอยู่ในตำราแพทย์แผนไทยสอดคล้องกับคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ต่างประเทศ จึงเป็นไปได้ว่าผลไม้ไทยหลายชนิด น่าจะมีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบโดยเฉพาะมะม่วงมหาชนกที่มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจน จากเขียวเป็นม่วงแดง และสีเหลืองตามลำดับ เป็นกลุ่มสารสีที่พบในพืช ซึ่งชนิดและปริมาณของสารสีจะแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด และช่วงอายุการบริบูรณ์ อีกทั้งในผลมะม่วงมหาชนกยังไม่มีการวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารสีในช่วงอายุการบริบูรณ์เพิ่มมากขึ้นในส่วนของเปลือกและเนื้อของมะม่วงมหาชนก รวมถึงปฏิกริยาการต้านออกซิเดชันของมะม่วงมหาชนก เมื่ออายุการบริบูรณ์เพิ่มมากขึ้น

การศึกษาดังกล่าวทำให้ทราบถึงปริมาณสารสี และคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน ที่พบในมะม่วงมหาชนกช่วงอายุเพิ่มการบริบูรณ์ต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษา และเลือกช่วงอายุการบริบูรณ์เพื่อใช้ประโยชน์จากมะม่วงมหาชนกให้ได้ประโยชน์สูงสุด ทั้งในการบริโภคสดหรือแปรรูป เช่น การนำมะม่วงมหาชนกไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หรือ เครื่องสำอางต้านออกซิเดชัน ซึ่งอาจช่วยชักจูงผู้บริโภคให้หันมาสนใจผลิตภัณฑ์จากมะม่วงมหาชนกเพิ่มมากขึ้น มีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ก่อให้เกิดรายได้แก่เกษตรกร จากที่ปลูกเพื่อเพียงให้ร่มเงา หรือบริโภคภายในครัวเรือน นอกจากนี้ยังอาจช่วยลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและผลไม้จากต่างประเทศ และสามารถส่งเสริมให้เป็นผลไม้ส่งออกอันดับต้น ๆ อีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษากิจกรรมการต้านปฏิกริยาออกซิเดชันในเนื้อและเปลือกในมะม่วงพันธุ์มหาชนกในระยะผลสีเขียว สีม่วงแดง และระยะผลสุกสีเหลือง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษากิจกรรมการต้านปฏิกริยาออกซิเดชันในเนื้อและเปลือกในมะม่วงพันธุ์มหาชนกในระยะผลสีเขียว สีม่วงแดง และระยะผลสุกสีเหลือง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ajila และคณะ (2007) ศึกษาองค์ประกอบที่มีคุณค่าในเปลือกมะม่วงดิบและสุกของมะม่วง 2 สายพันธุ์ คือพันธุ์ Raspuri และ Badami พบว่าเปลือกมะม่วงประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีความสำคัญคือ สารประกอบฟีนอลิก แคลโรทีนอยด์ วิตามินซี วิตามินอี และเส้นใยอาหาร โดยในส่วนของมะม่วงดิบเปลือกเขียวทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าในเปลือกมะม่วงสุก ในขณะที่ปริมาณแคลโรทีนอยด์ วิตามินซี วิตามินอี และปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำในเปลือกมะม่วงสุกมีมากกว่าเปลือกมะม่วงดิบ โดยเปลือกมะม่วงสุกพันธุ์ Badami มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด และเปลือกมะม่วงดิบพันธุ์ Raspuri มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดต่ำที่สุด

อุษาวดี และคณะ (2549) ศึกษาการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของเอนไซม์ POD ของผลมะเขือ 16 สายพันธุ์หลังการเก็บเกี่ยว พบว่าเมื่อนำผลมะเขือจำนวน 16 สายพันธุ์ ที่มีวางจำหน่ายในตลาดสด เขตอำเภอเมือง จ. เชียงใหม่ มาสกัดหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ศึกษากิจกรรมด้านการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลที่สกัดได้ และศึกษา กิจกรรมของเอนไซม์ POD จากผลมะเขือ โดยแบ่งมะเขือออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีผลสีเขียว ผลสีขาว และผลสีม่วง พบว่ามะเขือพวงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด (10.49 ± 0.47 mg gallic equivalent (mgGAE)) และมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด (3.05 ± 0.23 mgGAE) เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl) ปริมาณสารประกอบฟีนอลและ กิจกรรมต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของมะเขือในกลุ่มสีเขียวมีความสัมพันธ์กันสูงที่สุด ($r^2 = 0.97$) แต่ กิจกรรมของเอนไซม์ POD มีปริมาณสูงสุดในกลุ่มมะเขือสีม่วง ($150 \Delta OD/mg \text{ Protein}/min$) และ กิจกรรมของเอนไซม์ POD ที่ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุดในมะเขือกลุ่มสีม่วง ($r^2 = 0.91$) เช่นกัน

ชนาพรณ์ และคณะ (2549) ศึกษาผลของเอทีฟอนและกรดแอสไซซิกต่อปริมาณแอนโทไซยานินและแอกติวิตีของฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์มหาชนก พบว่าคุณสมบัติที่โดดเด่นของมะม่วงพันธุ์มหาชนก (*Mangifera indica* L. cv. Mahajanaka) คือเปลือกของผลแก่มีสีแดงสวยงาม หนา และมีกลิ่นหอม โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดสีแดง การสะสมแอนโทไซยานิน และแอกติวิตีของฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (Phenylalanine Ammonia-lyase; PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในผล วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของเอทีฟอนและกรดแอสไซซิก

ซิก (Abscisic acid; ABA) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินและ แอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลในระหว่างการเจริญของผล (98–133 วันหลังดอกบาน) เพื่อให้เปลือกผลมีสีแดงตามที่ต้องการ โดยการให้ผลบนต้นที่มีอายุ 98 วันหลังดอกบาน ได้รับเอทิลฟอนหรือ ABA ที่ระดับความเข้มข้น 200 และ 400 ppm พบว่าเอทิลฟอนและ ABA ไม่ได้มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินและแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ของเปลือกผล อย่างไรก็ตามชุดที่ได้รับ ABA มีปริมาณแอนโทไซยานินและแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ที่สูงกว่าชุดที่ได้รับเอทิลฟอน

อธิยา และคณะ (2550) ศึกษาผลอายุการเก็บเกี่ยวมะกอกน้ำต่อปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมสารต้านออกซิเดชัน พบว่าจากการศึกษามะกอกน้ำ (*Elaeocarpus hygrophilus* Kurz.) ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5, 6, 7 และ 8 เดือนหลังติดดอกพบว่าที่อายุ 6 เดือน มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด (345.8 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด) และมีปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด (49.0 มิลลิกรัมแคเทคินต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด) เมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่ามะกอกน้ำอายุ 6 เดือน มีกรดแกลลิกมากกว่าที่อายุการเก็บเกี่ยวอื่น (103.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด) อย่างไรก็ตามไม่มีการตรวจพบควอเซตินและแคมป์เฟอร์อลในทุกอายุการเก็บเกี่ยว ส่วนค่า total antioxidant activity (TAC) จากวิธี ORAC ที่อายุ 6 เดือนมีค่าสูงสุดเป็น 24.4 ไมโครโมล Trolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด และค่า antiradical efficiency (AE) จากวิธี DPPH ที่อายุ 6 เดือนมีค่าสูงสุดเช่นกัน คือมีค่า 0.014 จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่าค่า TAC มีค่าสหสัมพันธ์สูง ($r = 0.997$) กับปริมาณฟลาโวนอยด์ และค่า AE มีค่าสหสัมพันธ์สูง ($r = 0.992$) กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด มะกอกน้ำอายุ 6 เดือนหลังติดดอกมีปริมาณฟลาโวนอยด์ ฟีนอลิก และความสามารถต้านออกซิเดชันมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอายุการเก็บเกี่ยวอื่นๆ

ปรารักษ์ทิพย์ และคณะ (2551) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงฟ้าลั่น พบว่าเนื้อมะม่วงดิบมีค่า $1/EC_{50}$ ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.33 กรัม DPPH /กรัมตัวอย่าง และเมล็ดในของมะม่วงสุกมีค่า $1/EC_{50}$ สูงที่สุด เท่ากับ 80.20 กรัม DPPH/กรัมตัวอย่าง ซึ่งหมายความว่าเนื้อมะม่วงดิบมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำที่สุด และเมล็ดในของมะม่วงสุกมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด ซึ่งเมล็ดในของมะม่วงดิบและสุกมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือกและเนื้อตามลำดับ โดย เปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงฟ้าลั่นสุกมีแนวโน้มของความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าเปลือก เนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงฟ้าลั่นดิบเล็กน้อย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการประเมินคุณภาพหลังเก็บเกี่ยว ประกอบด้วย

- | | |
|--------------------------------------|--|
| - เครื่องวัดสี (Minolta color meter) | - เครื่อง Rotary evaporator |
| - เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล | - เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (penetrometer) |
| - Hand Refractometer | - เครื่อง Spectrophotometer |
| - อุปกรณ์สำหรับไตเตรต | - เครื่อง centrifuge |
| - เครื่องแก้ว | - เครื่องปั่นน้ำผลไม้ |

3.1.2 สารเคมี

- | | |
|---------------------------------------|--|
| - Sodium hydroxide (NaOH) | - Phenolphthalein |
| - Acetone ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ | - Hydrochloric (HCl) |
| - Ethanol | - 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) |
| - Alcohol | - Phosphate buffer pH 7.0 และ pH 7.3 |
| - Bovine serum albumin; BSA (A8531) | - Catechol |
| - Guaiacol | - Hydrogen peroxide) |
| - Sodium Acetate | - Acetic acid |
| - Coomassie Brilliant Blue G -250 | - Phosphoric acid |

3.2 วิธีการดำเนินงาน

ทำการคัดเลือกมะม่วงพันธุ์มหาชนก 3 ระยะคือระยะผลสีเขียว สีม่วง-แดง และระยะผลสุก โดยให้แต่ละระยะมีความสม่ำเสมอทั้ง ขนาด สีผล และอายุใกล้เคียงกัน และไม่มีโรค

วางแผนการทดลองแบบ 3×2 factorial in completely randomized design (CRD) 4 ทรีทเมนต์ที่ ทรีทเมนต์ละ 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ผล ทำการบันทึกผลดังนี้

ปัจจัย A คือ ระยะสีเปลือกของมะม่วงมะม่วง โดยแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

a_1 = ระยะผลสีม่วงแดง

a_2 = ระยะผลสีเหลือง

ปัจจัย B คือ เปลือกและเนื้อ มี 2 ส่วน คือ

b_1 = เปลือก

b_2 = เนื้อ

3.3 บันทึกข้อมูล

3.3.1 สีเปลือกและสีเนื้อ

ทำการวัดเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อผลมะม่วงมหาชนกแต่ละผล โดยใช้เครื่องวัดสี เป็นค่า $L^*a^*b^*$ color space โดยวัดสีเปลือกและเนื้อมะม่วงมหาชนก 4 จุด คือด้านขั้ว กลาง ปลาย และใต้ผลทั้งด้านขวาและซ้าย ด้วยเครื่องวัดสี ค่าที่ได้จะแสดงออกมาเป็นค่าความสว่างของสี (L) ค่าสีเขียว (-a) หรือค่าสีแดง (+a) ค่าสีน้ำเงิน (-b) หรือค่าสีเหลือง (-b)

3.3.2 ความแน่นเนื้อของเปลือกผล

ใช้เครื่อง penetrometer ซึ่งมีหัวกด (plunger) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.11 เซนติเมตร กดลงบนผิวเปลือกมะม่วงมหาชนก 0.5 เซนติเมตร จำนวน 2 ครั้ง ทั้งสองด้านของแก้มผล

3.3.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (total soluble solid, TSS)

นำเนื้อมะม่วงพันธุ์มหาชนกหนัก 5 กรัม มาปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียด แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง มาคั้นน้ำออกใส่ในบีกเกอร์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำการปรับเครื่อง Hand Refractometer ให้เป็น 0 ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นหยดตัวอย่างน้ำคั้น 1-2 หยด ลงบน Hand Refractometer แล้วอ่านค่าเป็นองศาบริกซ์

3.3.4 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA)

นำเนื้อมะม่วงพันธุ์มหาชนกหนัก 5 กรัม มาปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียด แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง ใส่ในบีกเกอร์ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำน้ำคั้นปริมาตร 1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร หยดสารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 หยด เพื่อใช้เป็น indicator จากนั้นนำไปไตเตรทด้วยสารละลายด่างมาตรฐาน (Sodium hydroxide; NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นิวตัน จนกระทั่งถึง end point (น้ำคั้นเปลี่ยนเป็นสีชมพูจาง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงภายใน ~30 วินาที) บันทึกปริมาตรของสารละลายด่างที่ใช้ เพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดที่ไตเตรทได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์กรดที่ไตเตรทได้} = \frac{(N \text{ base} \times \text{มิลลิลิตร Base} \times \text{meq.wt. ของกรดมาลิก}) \times 1}{\text{มิลลิลิตรของน้ำคั้น}}$$

$$\text{โดย } N \text{ base} = \text{normality ของ NaOH}$$

$$\text{มิลลิลิตร Base} = \text{จำนวนมิลลิลิตรของ NaOH ที่ใช้ไตเตรท}$$

$$\text{meq.wt. ของกรดมาลิก} = 0.067$$

3.3.5 ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการทำละลายอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในตัวอย่างเปลือกและเนื้อมะม่วงมหาชนก โดยวิธีของ (Murakami, 2004) ดังนี้

เตรียมสารสกัดจากตัวอย่างมะม่วง โดยนำเปลือก และเนื้อ มะม่วงปริมาตร 0.3 และ 3 กรัม ตามลำดับ เติมแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 30 มิลลิลิตร บดละเอียด จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง คนทุก 20 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman # 1 แล้วปรับปริมาตรเป็น 30 มิลลิลิตรด้วยแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นเปิด DPPH ที่ละลายแล้วมา 5 มิลลิลิตร เพื่อปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ในขวดปรับปริมาตร จะได้สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.08 มิลลิโมลาร์

เปิดสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.08 มิลลิโมลาร์ ลงในหลอดทดลองโดยให้ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.08 มิลลิโมลาร์ เติมแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ปรับปริมาตรในแต่ละหลอดให้เป็น 7 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีแล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และเตรียมปฏิกิริยาควบคุม (control) โดยใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แทนตัวอย่างสารสกัด จากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} = \frac{1 - [\text{DPPH}]_T}{[\text{DPPH}]_{T=0}} \times 100$$

โดยที่ $[\text{DPPH}]$ = ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ของตัวอย่างสารสกัด

$[\text{DPPH}]_{T=0}$ = ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ของปฏิกิริยาควบคุม (control)

จากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์การทำลายสารอนุมูลอิสระ DPPH 7 ค่า ที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่า $1/EC_{50}$ โดยใช้สมการจากการเขียนกราฟจากปริมาตรตัวอย่างสารสกัด (แกน x) และเปอร์เซ็นต์การทำลายสารอนุมูลอิสระ DPPH (แกน y) ซึ่งค่า EC_{50} หมายถึง ค่าความเข้มข้นหรือปริมาณของตัวอย่าง ณ จุดที่ทำให้ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ หรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยการคำนวณค่า EC_{50} นั้น คำนวณจากสมการเส้นตรงของกราฟคือ $y = ax + b$

$$\begin{aligned} \text{สมการ } EC_{50} &= (50 - b) / a \\ 1/EC_{50} &= [1/(50-b/a)] \\ \text{โดยที่ } a &= \text{ความชันของกราฟ} \\ b &= \text{จุดตัดแกน } y \end{aligned}$$

3.4 วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การเปลี่ยนแปลงสี

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ตารางที่ 1)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อในมะม่วงทั้งสองระยะพบว่ามะม่วงในระยะผลสุกเปลือกผลสีเหลืองมีค่าความสว่าง (L^*) ประมาณ 66.29 ส่วนมะม่วงในระยะผลสุกเปลือกผลสีเหลืองมีค่า L^* ประมาณ 64.97 เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่า a^* พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมะม่วงในระยะผลสุกเปลือกผลสีม่วงแดงมีค่า a^* ประมาณ 17.24 ส่วนมะม่วงในระยะผลสุกเปลือกผลสีเหลืองมีค่า a^* ประมาณ 16.36 เมื่อวัดค่า b^* พบว่ามะม่วงในระยะผลสุกเปลือกผลสีเหลืองมีค่ามากกว่าระยะผลสุกเปลือกผลสีม่วงแดง โดยมีประมาณ 59.30 และ 54.82 ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 1)

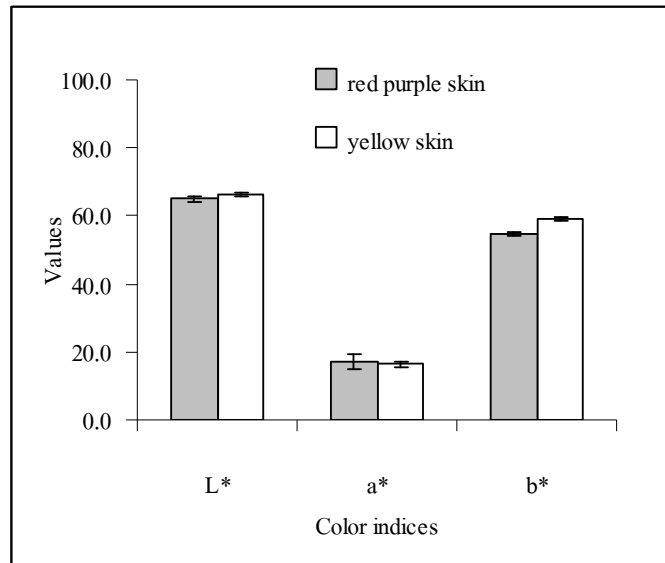
เมื่อวัดค่า chroma ของสีเปลือกในมะม่วงทั้งสองระยะการสุก พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในระยะสุกเปลือกผลสีเหลืองมีค่ามากกว่าระยะผลสุกเปลือกผลสีม่วงแดง โดยมีค่าเท่ากับ 61.52 และ 57.51 ตามลำดับ สำหรับค่า hue angle พบว่าในส่วนของเปลือกผลมะม่วงทั้งสองระยะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 72.54 และ 74.57 ในระยะสุกเปลือกผลสีม่วงแดง และระยะผลสุกเปลือกผลสีเหลือง ตามลำดับ (ภาพที่ 2)

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกในมะม่วงพันธุ์หาวชนกที่ระยะสุกแตกต่างกัน

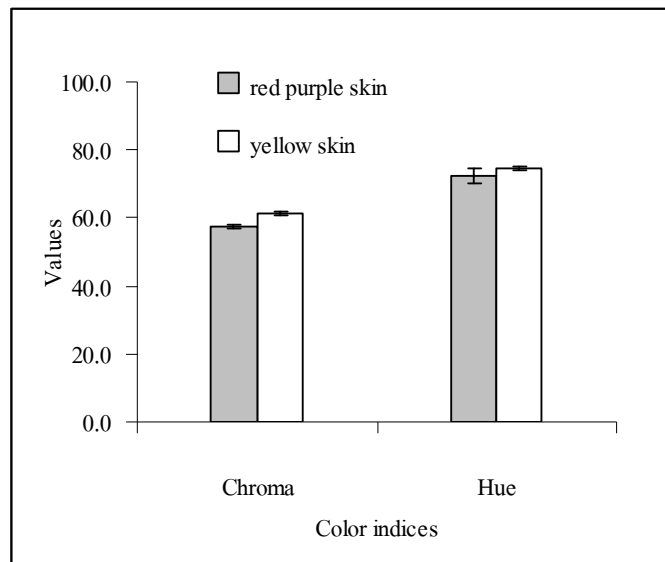
Ripeness stages (peel)	Color indices				
	L*value	a*value	b*value	Chroma value	Hue value
red purple skin	64.97±0.87b ^{1/}	17.24±2.07 ^{2/}	54.82±0.56b	57.51±0.37b	72.54±2.11
yellow skin	66.29±0.38a	16.36±0.79	59.30±0.48a	61.52±0.58a	74.57±0.67
t-test	*	ns	*	*	ns
C.V. (%)	1.06	9.32	0.91	0.81	2.12

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมาย ± คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

^{2/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษร ที่ไม่เหมือนกันในแนวคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติโดยเปรียบเทียบแบบ Tukey's Studentized Range (HSD) Test ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1 ค่า L*, a* และ b* ของสีเปลือกมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะการสุกแตกต่างกัน



ภาพที่ 2 ค่า Chroma และค่า hue ของสีเปลือกมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะการสุกแตกต่างกัน

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ (ตารางที่ 2)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อในมะม่วงทั้งสองระยะ พบว่ามะม่วงในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีค่าความสว่าง (L^*) ประมาณ 64.76 ส่วนมะม่วงในระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีค่า L^* ประมาณ 62.17 เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่า a^* พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมะม่วงในระยะผลสุกเนื้อผลสีม่วงแดงมีค่า a^* ประมาณ 20.62 ส่วนมะม่วงในระยะผลสุกเนื้อผลสีเหลืองมีค่า a^* ประมาณ 22.73 และเมื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของสีเนื้อ พบว่ามะม่วงในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีค่ามากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองโดยมีประมาณ 56.72 และ 56.32 ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในมะม่วงทั้งสองระยะ (ภาพที่ 3)

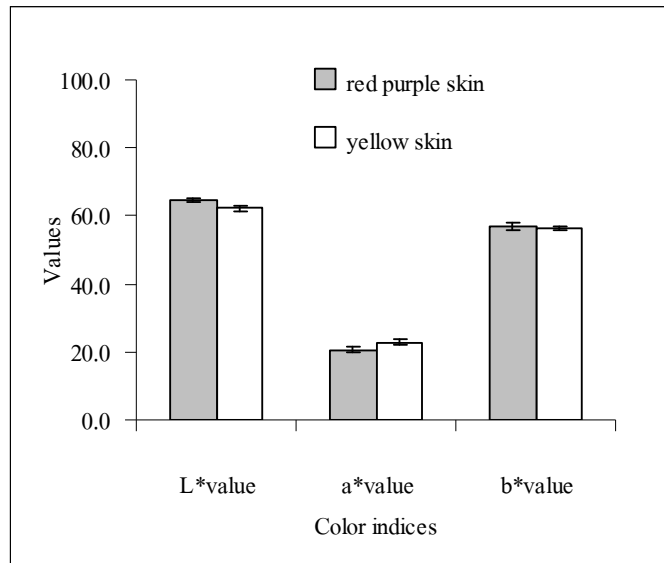
สำหรับค่า chroma ของสีเนื้อในมะม่วงทั้งสองระยะการสุกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในระยะสุกผิวผลสีม่วงแดงมีค่ามากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองโดยมีค่าเท่ากับ 70.03 และ 68.02 ตามลำดับ เมื่อวัดค่า hue angle พบว่าในส่วนของเนื้อทั้งสองระยะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 60.35 และ 60.74 ในเนื้อระยะสุกผิวผลสีม่วงแดง และระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองตามลำดับ (ภาพที่ 4)

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อในมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะสุกแตกต่างกัน

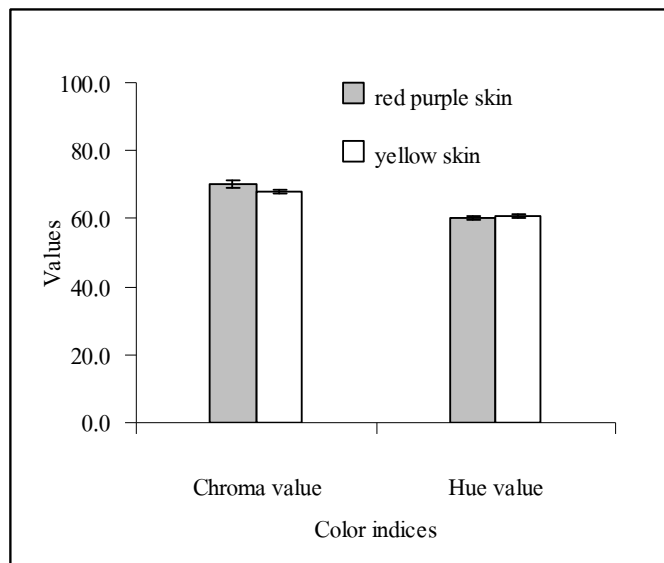
Ripeness stages (pulp)	Color indices				
	L*value	a*value	b*value	Chroma value	Hue value
red purple skin	64.76±0.67a ^{1/}	20.62±0.85b ^{2/}	56.72±1.03	70.03±1.24a	60.35±0.46
yellow skin	62.17±0.90b	22.73±0.87a	56.32±0.61	68.02±0.76b	60.74±0.70
t-test	*	*	ns	*	ns
C.V. (%)	1.24	3.97	1.49	1.7	0.86

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมาย ± คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

^{2/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษร ที่ไม่เหมือนกันในแนวคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติโดยเปรียบเทียบแบบ Tukey's Studentized Range (HSD) Test ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 3 ค่า L*, a* และ b* ของสีเนื้อมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะการสุกแตกต่างกัน



ภาพที่ 4 ค่า Chroma และค่า hue ของสีเนื้อมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะการสุกแตกต่างกัน

4.2 ปริมาณสารสี (ตารางที่ 3)

4.2.1 คลอโรฟิลล์

เมื่อทำการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในเปลือกและเนื้อที่มีระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีปริมาณ คลอโรฟิลล์เอน้อยกว่าระยะผลสุกผิวสีม่วงแดงโดยมีค่าประมาณ 0.09 g/100g FW และ 0.16 g/100g FW ขณะที่ในส่วนของเปลือกและเนื้อระยะผลสุกผิวสีม่วงแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอประมาณ 0.20 g/100g FW และ 0.36 g/100g FW และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์บี ในเนื้อระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีต่ำที่สุดโดยมีค่าประมาณ 0.15 g/100g FW และในส่วนของเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีประมาณ 0.25 g/100g FW ขณะที่ในส่วนของเปลือกระยะผลสุกผิวสีม่วงแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงที่สุด โดยมีค่าประมาณ 0.37 g/100g FW และในส่วนของเนื้อมะม่วงพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.29 g/100g FW (ภาพที่ 5)

4.2.2 แคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ ในเนื้อของมะม่วงมีปริมาณมากกว่าในเปลือก โดยในเนื้อระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีค่าประมาณ 8.2 g/100g FW ซึ่งมากกว่าในเนื้อระยะผลสุกผิวสีม่วงแดง ซึ่งมีประมาณ 6.0 g/100g FW ส่วนในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าในเปลือกระยะผลสุกผิวสีม่วงแดง โดยมีค่าประมาณ 5.67 และ 3.36 g/100g FW ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 6)

4.2.3 แอนโทไซยานิน

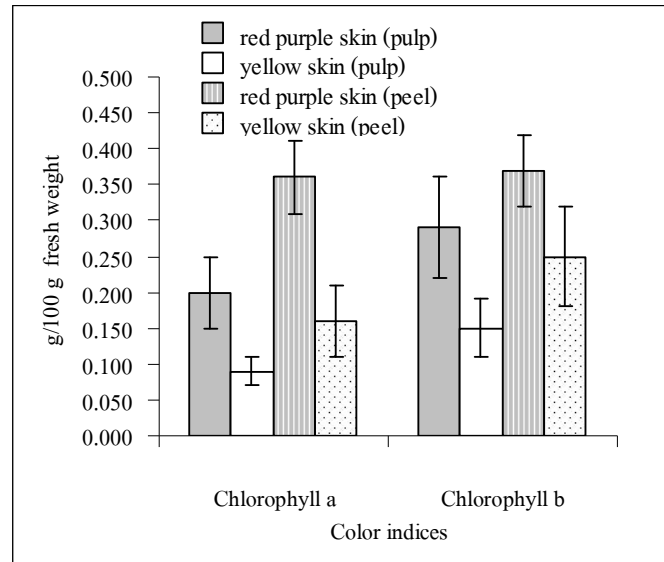
ปริมาณแอนโทไซยานิน ในผลที่ระยะผิวผลสีม่วงแดงและผิวผลสีเหลืองในส่วนของเปลือกมีค่ามากกว่าในเนื้อ และในระยะผลสุกผิวสีม่วงแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างส่วนของเนื้อและเปลือกในระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง โดยมีค่าประมาณ 11.53 mg/g FW และ 9.40 mg/g FW ในส่วนของเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองและผลสุกผิวสีม่วงแดงตามลำดับ ขณะที่ในเนื้อมีปริมาณแอนโทไซยานินประมาณ 0.23 และ 0.17 mg/g FW สำหรับระยะผลสุกผิวสีม่วงแดงและระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง ตามลำดับ (ภาพที่ 6)

ตารางที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินในมะม่วงพันธุ์
มหาชนกที่ระยะสุกแตกต่างกัน

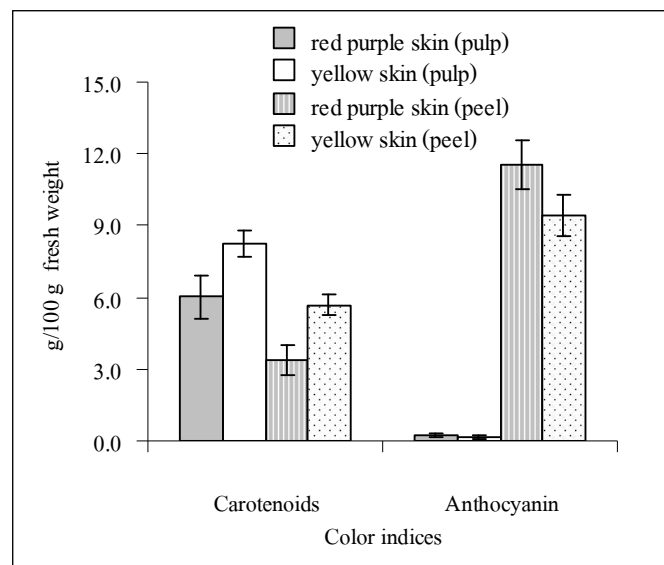
Ripening stage (Fruit tissue)	Pigments Content (g/100g FW)			
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoids	Anthocyanin
red purple skin (pulp)	0.20±0.05b ^{1/}	0.29±0.07ab ^{2/}	6.01±0.89b	0.23±0.11c
yellow skin (pulp)	0.09±0.02c	0.15±0.04c	8.22±0.55a	0.16±0.08c
red purple skin (peel)	0.36±0.05a	0.37±0.05a	3.37±0.60c	11.53±1.04a
yellow skin (peel)	0.16±0.05c	0.25±0.07b	5.68±0.44b	9.40±0.87b
<i>f</i> -test	*	*	*	*
C.V. (%)	22.27	21.5	11.02	12.74

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมาย ± คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

^{2/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษร ที่ไม่เหมือนกันในแนวคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติโดยเปรียบเทียบแบบ Tukey's Studentized Range (HSD) Test ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบีในเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะการสุกแตกต่างกัน



ภาพที่ 6 ปริมาณแคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานินในเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะการสุกแตกต่างกัน

4.3 กิจกรรมของเอนไซม์ (ตารางที่ 4)

4.3.1 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO

เมื่อทำการสกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในเปลือกของมะม่วงทั้งสองระยะมีกิจกรรมมากกว่าในเนื้อ โดยมีค่าเท่ากับ 0.816 และ 0.629 unit/mg protein ในเปลือกระยะผิวผลสีม่วงแดงและสีเหลืองตามลำดับ และส่วนของเนื้อและเปลือกระยะผิวผลสีม่วงแดงมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เท่ากับ 0.141 และ 0.816 unit/mg protein ซึ่งมากกว่าในส่วน of เนื้อและเปลือกในระยะผิวผลสีเหลืองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.075 และ 0.629 unit/mg protein และในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุดโดยมีค่าประมาณ 0.816 unit/mg protein g FW ซึ่งมีกิจกรรมมากกว่าที่พบในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง ขณะที่ในส่วน of เนื้อระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงและระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.141 และ 0.075 unit/mg protein g FW ตามลำดับ (ภาพที่ 7)

4.3.2 กิจกรรมของเอนไซม์ POD

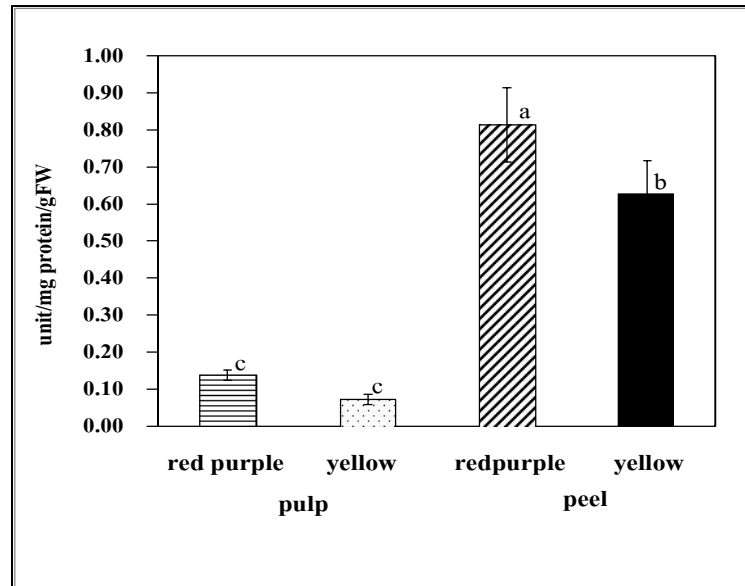
กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองทั้งในส่วน of เนื้อและเปลือกมีกิจกรรมมากกว่าในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดง และในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.086 unit/mg protein/g FW ขณะที่ในส่วน of เนื้อมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เท่ากับ 0.074 unit/mg protein/g FW และในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงในส่วน of เปลือกและเนื้อมีกิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ 0.036 และ 0.046 unit/mg protein/g FW ตามลำดับ และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างส่วน of เปลือกและเนื้อ (ภาพที่ 8)

ตารางที่ 4 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และ peroxidase (POD) ในมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะสุกแตกต่างกัน

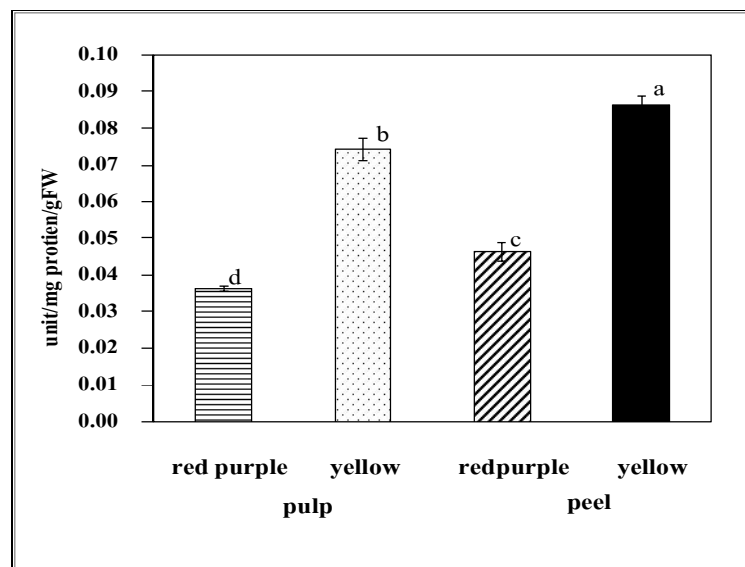
Ripening stages (Fruit tissues)	Enzyme activity (unit/mg protein/gFW)	
	PPO	POD
red purple skin (pulp)	0.141±0.013c ^{1/}	0.036±0.001d ^{2/}
yellow skin (pulp)	0.075±0.014c	0.074±0.003b
red purple skin (peel)	0.816±0.099a	0.046±0.003c
yellow skin (peel)	0.629±0.089b	0.086±0.003a
<i>f</i> -test	*	*
C.V. (%)	16.21	4.13

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมาย ± คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

^{2/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษร ที่ไม่เหมือนกันในแนวคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติโดยเปรียบเทียบแบบ Tukey's Studentized Range (HSD) Test ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนก ที่ระยะการสุกแตกต่างกัน



ภาพที่ 8 กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ในเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนก ที่ระยะการสุกแตกต่างกัน

4.4 เปรอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ (ตารางที่ 5)

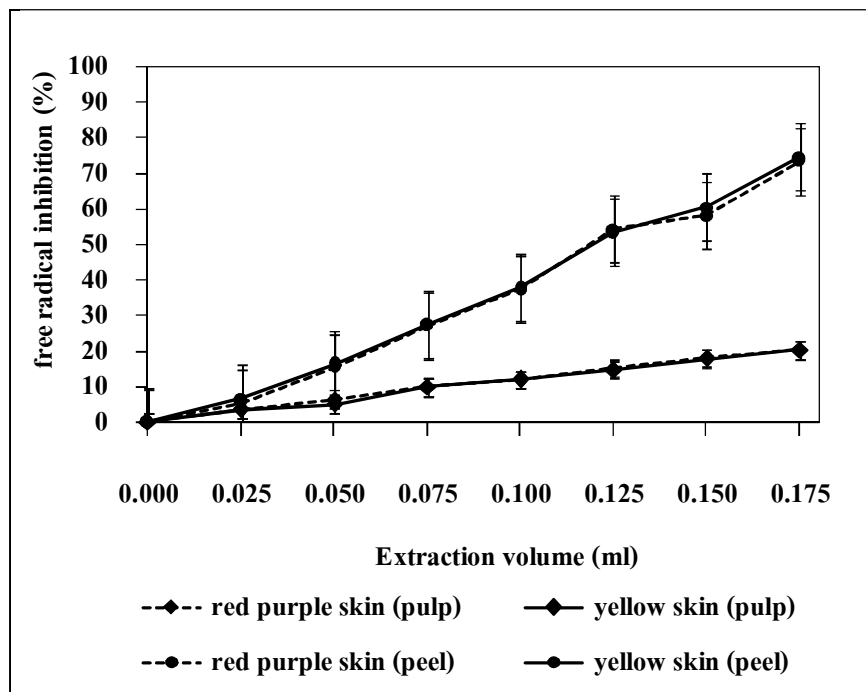
จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ พบว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารสกัดมากขึ้น โดยในเปลือกของมะม่วงทั้งสองระยะมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระมากกว่าในเนื้อประมาณ 4 เท่า เมื่อใช้สารสกัดปริมาตร 0.175 มิลลิลิตรและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างส่วนของเปลือกและส่วนของเนื้อ โดยในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 74.74% มากกว่าในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงที่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 73.45% และพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติระหว่างในเปลือกมะม่วงทั้งสองระยะ ขณะที่เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระในส่วนเนื้อของมะม่วงทั้งสองระยะเมื่อใช้สารสกัดปริมาตร 0.175 มิลลิลิตร มีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเท่ากับ 20.32% (ภาพที่ 9)

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระในมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะผิวผลสีม่วงแดงและผิวผลสีเหลือง เมื่อใช้ปริมาณสารสกัดที่แตกต่างกัน

Ripening stages (Fruit tissues)	Extraction Volume (ml)			
	0.025	0.075	0.125	0.175
red purple skin (pulp)	3.68±0.02c ^{1/}	9.95±0.12b	15.31±0.15b	20.32±0.09c
yellow skin (pulp)	3.64±0.09c	9.93±0.22b	14.93±0.13b	20.32±0.07c
red purple skin (peel)	5.55±0.17b	27.06±0.30a	54.51±0.18a	73.30±0.22b
yellow skin (peel)	6.49±0.58a	27.20±0.48a	53.85±1.62a	74.53±0.33a
<i>f</i> -test	*	*	*	*
C.V.	6.31	1.65	2.36	0.43

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมาย ± คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

^{2/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษร ที่ไม่เหมือนกันในแนวคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติโดยเปรียบเทียบแบบ Tukey's Studentized Range (HSD) Test ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 9 เปร้เซ้นต์การขั้บขั้งอนุมูลอิสระในเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยการ
 สุกแตกต่ากัน เมื่้ใช้ปริมาสารสกัดตั้งแต่ 0.025-0.175 มิลลิลิตร

4.5 กิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ตารางที่ 6)

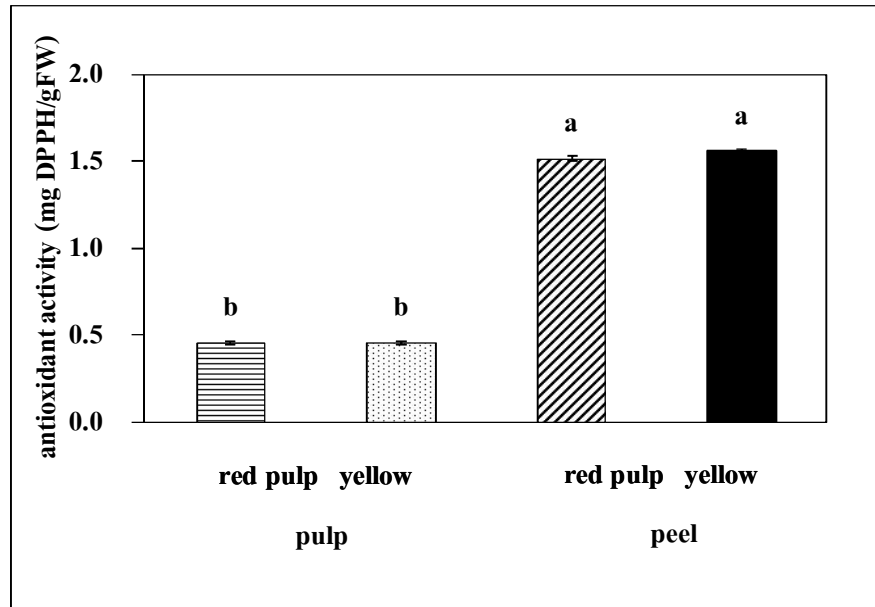
จากการศึกษากิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่ากิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของมะม่วงทั้งสองระยะในส่วนของเปลือกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับส่วนของเนื้อ โดยในเปลือกมีกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าในเนื้อทั้งสองระยะประมาณ 1.0 mg DPPH/g FW โดยในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.56 mg DPPH/g FW ซึ่งมีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในส่วนของเปลือกของมะม่วงระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงที่มีค่าเท่ากับ 1.52 mg DPPH/g FW ขณะที่ในส่วนเนื้อทั้งสองระยะพบว่ามีกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าประมาณ 0.46 mg DPPH/g FW (ภาพที่ 10)

ตารางที่ 6 กิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะสุกแตกต่างกัน

Ripening stage (Fruit tissue)	Antioxidant capacity (mg DPPH/gFW)
red purple skin (pulp)	0.46±0.01c ^{1/}
yellow skin (pulp)	0.46±0.01c
red purple skin (peel)	1.52±0.01b
yellow skin (peel)	1.55±0.01a
<i>f</i> -test	*
C.V. (%)	1.09

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมาย ± คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

^{2/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษร ที่ไม่เหมือนกันในแนวคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติโดยเปรียบเทียบแบบ Tukey's Studentized Range (HSD) Test ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 10 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่
ระยะการสุกแตกต่างกัน

4.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในการรับประทาน (ตารางที่ 7)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในการรับประทาน พบว่าในมะม่วงทั้งสองระยะมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงและระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 5.18 และ 4.54 N ตามลำดับ

ส่วนปริมาณ TSS พบว่าในมะม่วงทั้งสองระยะ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างการสุก โดยที่ในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงและระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีค่า TSS เท่ากับ 11.14 และ 11.39 %brix

สำหรับปริมาณ TA ที่ได้จากการไตเตรทน้ำคั้นของตัวอย่างมะม่วง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีค่า TA เท่ากับ 0.31% ซึ่งมากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองที่มีค่าเท่ากับ 0.16% ถึง 2 เท่า

เมื่อกำหนดค่าสัดส่วนปริมาณ TSS/TA ซึ่งเป็นค่าคุณภาพในการรับประทานโดยรวม พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมะม่วงระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง มีค่า TSS/TA มากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงถึง 2 เท่า โดยมีค่าเท่ากับ 68.81 ส่วนค่า TSS/TA ในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีค่าเท่ากับ 36.30

ตารางที่ 7 ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ ปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ และค่าสัดส่วน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำกับปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ในมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะ สุกแตกต่างกัน

Ripeness stages	Quality parameters			
	Firmness (N)	TSS (%brix)	TA (%)	TSS/TA ratio
red purple skin	5.18±0.72a ^{1/}	11.14±0.53a ^{2/}	0.31±0.04a	36.30±2.48b
yellow skin	4.54±0.75a	11.39±0.98a	0.16±0.02b	68.81±11.80a
<i>t</i> -test	ns	ns	*	*
C.V. (%)	16.12	7.85	14.01	17.38

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมาย ± คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

^{2/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษร ที่ไม่เหมือนกันในแนวคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติโดยเปรียบเทียบ แบบ Tukey's Studentized Range (HSD) Test ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ปริมาณสารสีและกิจกรรมการต้านปฏิบัติการ ออกซิเดชันในมะม่วงพันธุ์มหาชนกสรุปได้ว่า

1. ในเปลือกกระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี และแอนโทไซยานินมากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง ขณะที่ปริมาณแคโรทีนอยด์พบมากในเนื้อระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง
2. ในเปลือกทั้งสองระยะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มากกว่าในเนื้อประมาณ 4 เท่า และในระยะเวลาผลสุกผิวผลสีเหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD มากกว่าในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดง
3. ในเปลือกทั้งสองระยะมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระมากกว่าในเนื้อประมาณ 4 เท่า เมื่อใช้ปริมาณสารสกัด 0.175 มิลลิลิตร
4. ในเปลือกมะม่วงทั้งสองระยะมีกิจกรรมการต้านปฏิบัติการออกซิเดชันมากกว่าในส่วนของเนื้อ
5. ระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีค่าคุณภาพในการรับประทานโดยรวม (TSS/TA) มากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงถึง 2 เท่า

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ปริมาณของสารสีและกิจกรรมการต้านปฏิบัติการ ออกซิเดชันในเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดง และระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง พบว่าในเปลือกมะม่วงระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ส่วนค่าสีแดง (a^*) มีค่าลดลงแสดงให้เห็นว่าเปลือกมะม่วงเมื่อสุกจะมีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง ส่วนเนื้อมะม่วงมีค่า L^* ลดลง ค่า a^* และค่า b^* เพิ่มขึ้นแสดงว่าเนื้อมะม่วงสุกจะมีความสว่างลดลงมีค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้น โดยมะม่วงระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี มากกว่าในระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ พบว่าในระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีค่ามากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดง ขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินพบมากในเปลือกและไม่พบความแตกต่างระหว่างระยะการสุกของผล แต่มีแนวโน้มว่าระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่เห็นได้ด้วยตา (ปรากฏทิพย์ ไชยสรณะ และพินิตร์ พันธุ์สุวรรณ. 2551) ขณะที่ Tucker (1993) ได้รายงานว่ามีเปลือกและสีเนื้อของผลจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อมะม่วงมีอายุของผลเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการสุกของผลมะม่วงมีการสังเคราะห์เบต้าแคโรทีนมากขึ้น และเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งให้ผลการศึกษาคล้ายคลึงกับมะม่วงหลายพันธุ์ เช่น Carabao, Tommy Atkins (Lizada. 1991) และ Alphonso

(Mitra *et al.* 1997) เช่นเดียวกันกับ Ajila *et al.* (2007b) พบว่าเปลือกมะม่วงสุกพันธุ์ Raspuri และ Badami มีปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าในเปลือกมะม่วงดิบ

ในส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ PPO พบว่าในเปลือกมีกิจกรรมมากกว่าในเนื้อทั้งสองระยะ และในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุด ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ POD พบว่าในระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดง และในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุด สำหรับบทบาทของเอนไซม์ PPO และเอนไซม์ POD ที่มีอยู่ในเนื้อเชื้อผลไม้ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เมื่อผลไม้สุกเอนไซม์ POD จะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมของเอนไซม์อื่นๆ ซึ่งสามารถเป็นตัวบ่งชี้การสุกและการเสื่อมสภาพ (senescence) ของผลไม้ได้ (Selvaraj *et al.* 1989) สอดคล้องกับรายงานทดลองของกรกช ชันจิรกุล. (2553) ได้ศึกษาการเก็บสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่มีความบริบูรณ์สองระดับ พบว่า สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่มีผลสีเขียวอมเหลืองมีกิจกรรมเอนไซม์ PPO สูงกว่าในสับปะรดที่มีผลสีเขียว และมีกิจกรรมของเอนไซม์ก่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ขณะที่กิจกรรมเอนไซม์ POD ในสับปะรดทั้งสองสายพันธุ์ พบว่าระยะผลสุกมีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าระยะผลบริบูรณ์ และมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น และพบว่าสับปะรดในระยะผลสุกทั้งสองสายพันธุ์เหมาะแก่การนำไปบริโภคมากกว่าระยะบริบูรณ์ ขณะที่นิธิยา รัตนาปนนท์ และคณะ (2548) พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ POD และ PPO ของเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์มหาชนกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ส่วนเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์โฆคอนันต์มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นในเดือนแรก และลดลงมากที่สุดเมื่อเก็บรักษานาน 2 เดือน หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระในมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่มีระยะการสุกแตกต่างกันโดยแยกส่วนของเปลือกและเนื้อ พบว่าในเปลือกทั้งสองระยะการสุกมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระมากกว่าในเนื้อถึง 4 เท่า โดยที่ในเปลือกระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระมากกว่าในระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ในเนื้อทั้งสองระยะการสุกมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าในเปลือกของมะม่วงทั้งสองระยะการสุกมีกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าในเนื้อ ส่วนในเนื้อทั้งสองระยะการสุกมีกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับรายงานที่ว่าในเปลือกมะม่วงเป็นแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี โดย Larrauri *et al.* (1997) พบว่าเปลือกมะม่วงมีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าวิตามินอี (DL- α -tocopherol) ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกมะม่วง

ประกอบไปด้วยสารพฤกษเคมีหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอล แคลโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน (Ajila *et al.* 2007a) โดยสารแอนโทไซยานินและแคลโรทีนอยด์เป็นสารอาหารชนิดหนึ่งที่ถูกค้นพบว่ามีคุณสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระได้อย่างดี (นุรีदान คอแล. 2551) โดยพงศธร และคณะ. (2551) พบว่าในเปลือกมะม่วงสุก มีปริมาณสารประกอบแคลโรทีนอยด์ทั้งหมด เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงสุด สอดคล้องกับรายงานของ Ajila *et al.* (2007b) พบว่าเปลือกมะม่วงสุกมีปริมาณแคลโรทีนอยด์ และปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าในเปลือกมะม่วงระยะผลบรูณ์ และพบว่าสารสกัดจากเปลือกมะม่วงพันธุ์ Raspuri มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี และยังมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดี นอกจากนี้ Bernardini *et al.* (2005) ได้รายงานว่ากิจกรรมการต้านออกซิเดชันในเปลือกมะม่วงพันธุ์มหาชนกมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่าเปลือกมะม่วงพันธุ์มหาชนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด และยังมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดเช่นกันจึงทำให้ทราบว่าในส่วนของเปลือกมะม่วงมีกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าในเนื้อ แต่ทั้งสองระยะไม่มีความแตกต่างกันของกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และมีรายงานว่ากิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคไขมันอุดตันเส้นเลือด โรคเบาหวาน และโรคไขข้ออักเสบ เป็นต้น (โอภาวัระ คุปต์ และคณะ. 2549)

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพในการรับประทาน พบว่าปริมาณ TSS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงและระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง และเมื่อวัดปริมาณ TA พบว่าระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงมีปริมาณ TA(0.31%) มากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีเหลือง (0.16%) ถึง 2 เท่า และเมื่อคำนวณค่าสัดส่วนปริมาณ TSS/TA ซึ่งเป็นค่าคุณภาพในการรับประทานโดยรวม พบว่ามะม่วงระยะผลสุกผิวผลสีเหลืองมีค่า TSS/TA มากกว่าระยะผลสุกผิวผลสีม่วงแดงถึง 2 เท่า (68.81 และ 36.30) อาจเนื่องจากขณะที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น มะม่วงทุกระยะการสุกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น เพราะทำให้ผลเกิดการสุกเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช. 2549) ขณะที่ Lizada. (1993) รายงานว่ามะม่วงเป็นผลไม้ประเภทบ่มสุก (climacteric fruit) ซึ่งในระหว่างการสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในผลหลายอย่างเกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล ขณะที่ปริมาณกรดที่ไคเตรทได้นั้นจะมีการลดลงระหว่างการสุก โดยกรดส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจและสร้างน้ำตาล ดังนั้นจึงพบว่ากรดลดลงของกรดที่ไคเตรทได้เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลระหว่างการสุก (Medlicott and Thompson. 1985)

อย่างไรก็ตามงานวิจัยครั้งนี้ยังเป็นงานวิจัยเบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันที่พบในระยะเวลาการพัฒนารสของผล เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและเลือกระยะเวลาการ

สุกที่เหมาะสมเพื่อใช้ประโยชน์จากมะม่วงพันธุ์มหาชนกให้ได้ประโยชน์สูงสุด ทั้งในการบริโภคสดหรือแปรรูป เช่น การนำมะม่วงพันธุ์มหาชนกไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หรือ เครื่องสำอางต้านออกซิเดชั่น ซึ่งอาจช่วยช้กของผู้บริโภคให้หันมาสนใจผลิตภัณฑ์จากมะม่วงพันธุ์มหาชนกเพิ่มมากขึ้น มีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ก่อให้เกิดรายได้แก่เกษตรกร จากที่ปลูกเพื่อบริโภคภายในครัวเรือน นอกจากนี้ยังอาจช่วยลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและผลไม้จากต่างประเทศ และสามารถส่งเสริมให้เป็นผลไม้ส่งออกอันดับต้น ๆ อีกชนิดหนึ่งของประเทศไทยในอนาคต

บรรณานุกรม

- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2550. ชีวิตวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- ฐานเศรษฐกิจ. 2549. นุสกินเปิดตัว 3 เครื่องดื่มสุขภาพ ดันยอดขายโต 10%. [Online] Available: www.thannews.th.com/detailnews.php?id=M2221534&issue=2153,1-4, (17 มกราคม 2554)
- นุรีदान คอแล. 2551. เบต้าแคโรทีน พืชผักสีเหลือง. โปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. มหาชนก. [Online] Available: <http://www.thaihealth.or.th/healthcontent/article/6617> (17 พฤษภาคม 2553).
- ปรารักษ์ทิพย์ ไชยสรณะ และพนินิทร พันธุ์สุวรรณ. 2551. ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเปลือกเนื้อ และเมล็ดในของมะม่วงฟ้าลั่น. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- สุกานดา ปานเพชร. 2533. ต้อนรับเทศกาลมะม่วง ประโยชน์เหลือเชื่อ!. [Online] Available: <http://www.oknation.net/blog/sukanda/2010/01/31/entry-1>. (12 กรกฎาคม 2554).
- อธิตา เรื่องจักรเพ็ชร และธนະบุลย์ สัจจาอนันตกุล. 2550. ศึกษาผลอายุการเก็บเกี่ยวมะกอกน้ำต่อปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมสารต้านออกซิเดชัน. ว. วิทย เกษตร. 38: 5 (พิเศษ)
- อุษาวดี ชนสุด และนิธิตา รัตนานนท์. 2549. การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสของผลมะเขือ 16 สายพันธุ์หลังการเก็บเกี่ยว. ว. วิทย เกษตร. 38: 5 (พิเศษ).
- โอภา วัชรคุปต์ ปรีชา บุญจุง จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. 2550. สารต้านออกซิเดชัน. พิมพ์ครั้งที่ 2. นิวไทม์มิตรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- Ajila, C.M., Bhat, S.G. Pasada Rao, U.J.S. 2007. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. Food Chemistry. 102: 1006-1011.
- Murakami M., Yamaguchi T., Takamura H., Ana T. Mmtoba. 2004. Effects of Thermal Treatment on Radical-scavenging Activity of Single and Mixed Polyphenolic Compounds. Food Chemistry and Toxicology. Volume 69: FCT7-FCT10
- Robards K., Prenzler P.D., Tucker G., Swatsitang P. and Glover W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. Food Chemistry. 66: 401-436.
- Soong Yean Y., Barlow Philip J. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. Food Chemistry. 88: 411-417.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ Bradford. (1976)

การสร้างกราฟมาตรฐานปริมาณโปรตีน

ใช้ bovine serum albumin (BSA) เป็นสารละลายมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร และสร้างกราฟมาตรฐาน โดยมีสมการเส้นตรงคือ $y = ax + b$ สามารถคำนวณหาปริมาณโปรตีนได้จากตัวอย่างมะม่วง

ชั่งตัวอย่างเนื้อและเปลือกมะม่วงมหาชนกหนัก 2.5 กรัม เดิมสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.3) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ $12,000 \times g$ เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกเอาส่วนใสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

ปิเปตตัวอย่างส่วนใสปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย Dye stock (Coomassie reagent) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำมาวัดค่าดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโปรตีนได้จากสมการ

$$\text{โปรตีน (มิลลิกรัม)} = \frac{\text{Abs} \times V_{\epsilon} \times 10^{-3}}{\text{Slope}}$$

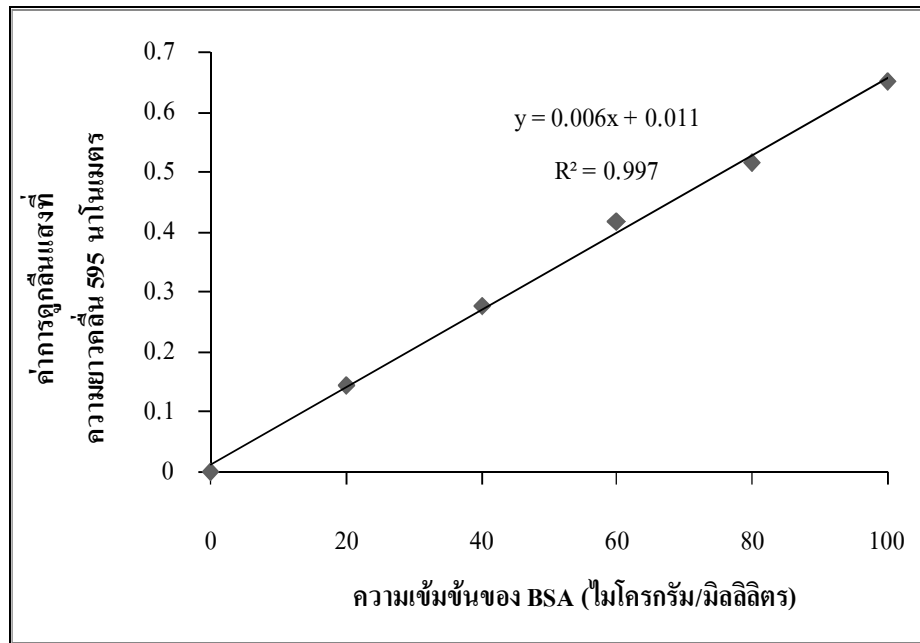
โดย Abs = ค่าการดูดกลืนแสงของสารใสที่ได้จากตัวอย่างมะม่วงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

Slope = ค่าความชันของเส้นกราฟ (ค่า a) จากสมการ $y = ax + b$

V_{ϵ} = ปริมาตรส่วนใสที่ได้จากตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร

การเตรียม Dye stock

ชั่ง Coomassie Brilliant Blue G-250 หนัก 10 มิลลิกรัม ละลายใน ethanol anhydrous ปริมาตร 4.7 มิลลิลิตร ละลายจนหมดแล้วเติม phosphoric acid ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ในขวดสีชาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ โปรตีน

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยวิธีของ Murakami. (2004) ดังนี้

1. การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH

เตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH จากความเข้มข้นเริ่มต้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยให้ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.08 มิลลิโมลาร์ ด้วยการเติมแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรในแต่ละหลอดให้เป็น 6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลาย DPPH (มิลลิโมลาร์)

ปีเปตสารสกัดตัวอย่างเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนก มาทำการเจือจางด้วยแอลกอฮอล์เป็น 7 ระดับ ตั้งแต่ 0.025-0.175 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 5.4 มิลลิลิตร ด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ลงไปผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที และเตรียมปฏิกิริยาควบคุม (control) โดยใช้แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ แทนตัวอย่างสารสกัด นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH} = \left[1 - \left[\frac{[\text{DPPH}]_T}{[\text{DPPH}]_{T=0}} \right] \right] \times 100$$

โดยที่ $[\text{DPPH}]_T$ = ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ของตัวอย่างสารสกัด
 $[\text{DPPH}]_{T=0}$ = ความเข้มข้นของสารละลาย DPPH ของปฏิกิริยาควบคุม (control)

2. การวัดกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant activity)

จากการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การทำลายสารอนุมูลอิสระ DPPH ทำการบันทึกค่าความเข้มข้นของปริมาณตัวอย่างที่ทำให้ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระมีค่าเท่ากับ 50% (ค่า EC_{50}) มาคำนวณค่า $1/EC_{50}$ โดยใช้สมการเส้นตรง จากการเขียนกราฟระหว่างปริมาตรตัวอย่างสารสกัด (แกน x) และเปอร์เซ็นต์การทำลายสารอนุมูลอิสระ DPPH (แกน y) ซึ่งค่า $1/EC_{50}$ จะใช้ในการประเมินศักยภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ กล่าวคือหากตัวอย่างหรือทริตเมนต์ใดที่มีค่า $1/EC_{50}$ สูง แสดงว่ามีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าทริตเมนต์ที่มีค่า $1/EC_{50}$ ต่ำ

นำค่าเปอร์เซ็นต์การทำลายอนุโมลิสระ DPPH ทั้ง 7 ระดับ ที่ได้มาหาค่า $1/EC_{50}$ โดยใช้สมการจากการเขียนกราฟจากปริมาตรตัวอย่างสารสกัด (แกน x) และเปอร์เซ็นต์การทำลายสารอนุโมลิสระ DPPH (แกน y) ซึ่งค่า EC_{50} หมายถึง ค่าความเข้มข้นหรือปริมาณของตัวอย่าง ณ จุดที่ทำให้ความสามารถในการทำลายอนุโมลิสระ หรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยการคำนวณค่า EC_{50} จากสมการเส้นตรงของกราฟเท่ากับ $y = ax + b$

โดย $a =$ ความชันของกราฟ

$b =$ จุดตัดแกน y

สมการ EC_{50}

$$EC_{50} = (50 - b) / a$$

$$1/EC_{50} = [1/(50-b/a)]$$

ตัวอย่างเช่น

จากสมการเส้นตรง $y = 112.9x + 3.515$; $R^2 = 0.974$

เมื่อ $a = 112.9$, $b = 3.515$, $x =$ เปอร์เซ็นต์การทำลายสารอนุโมลิสระ DPPH (สมมติ $x = 15.43$)

$$\text{สมการ } EC_{50} = (50 - b)/(a \times x)$$

$$\text{แทนค่า } EC_{50} = (50 - 3.515) / 112.9 \times 15.43$$

$$= 0.027 \text{ มิลลิลิตร สารสกัดตัวอย่าง}$$

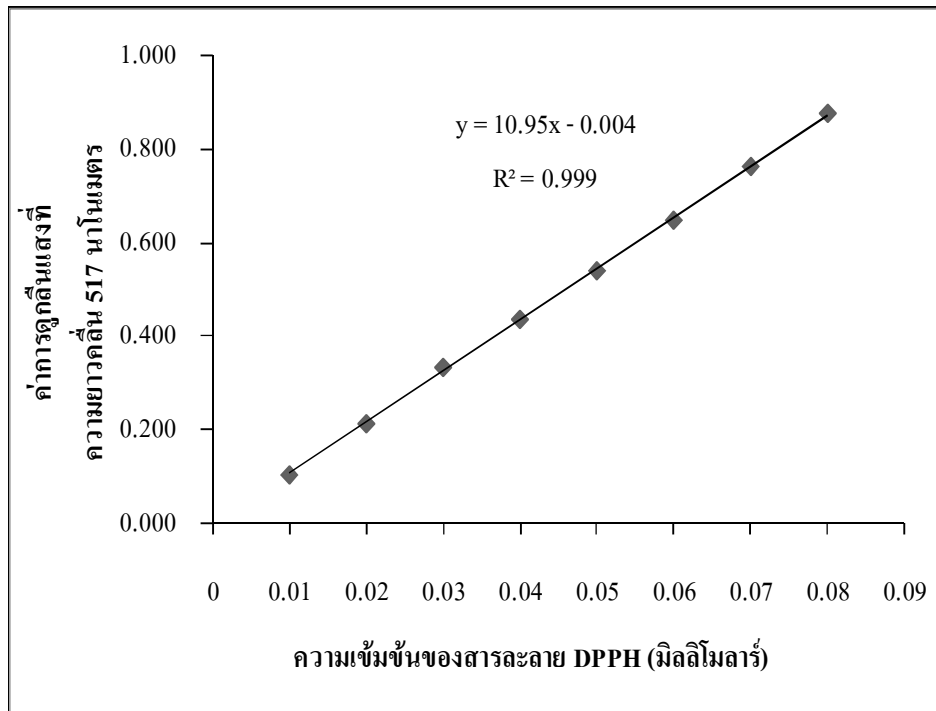
3. การคำนวณหาค่า $1/EC_{50}$ ในหน่วยกรัม DPPH / กรัมตัวอย่างดังนี้

สารละลาย DPPH 50 มิลลิลิตร มี DPPH ละลายอยู่ 1.58×10^{-2} กรัม จากนั้นเปิดสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร มี DPPH ละลายอยู่ 0.18 มิลลิกรัม ดังนั้นในสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร มีจำนวน DPPH ละลายอยู่ 0.19 มิลลิกรัม แต่เนื่องจากในสารสกัด 30 มิลลิลิตร มีตัวอย่างเปลือกมะม่วง 0.3 กรัม ดังนั้นสารสกัดตัวอย่าง 2.7×10^{-2} มิลลิลิตร มีตัวอย่างเปลือกมะม่วง 0.27 มิลลิกรัม (0.27 มิลลิกรัม / 0.19 มิลลิกรัม DPPH)

จากตัวอย่างเปลือกมะม่วง 0.27 มิลลิกรัม สามารถทำลายอนุโมลิสระได้เท่ากับ 0.19 มิลลิกรัม ดังนั้น ตัวอย่างเปลือกมะม่วง 1.40 กรัม สามารถทำลายอนุโมลิสระได้ 1 กรัม (1.40 กรัมตัวอย่าง/กรัม DPPH) ทำให้อยู่ในรูป $1/EC_{50}$ ได้เท่ากับ $1/1.40 = 712$ มิลลิกรัม DPPH/กรัมตัวอย่าง หรือ 712 มิลลิกรัม DPPH/กรัมตัวอย่าง

ตารางภาคผนวกที่ 1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานของสารละลาย DPPH

หลอดที่	ความเข้มข้นของ สารละลาย DPPH (mM)	ปริมาณของสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.08 mM (mL)	ปริมาตรของอานอล 95% (mL)
1	0.01	0.75	5.25
2	0.02	1.50	4.50
3	0.03	2.25	3.75
4	0.04	3.00	3.00
5	0.05	3.75	2.25
6	0.06	4.50	1.50
7	0.07	5.25	0.75
8	0.08	6.00	0.00



ภาพผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย DPPH และค่าดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร



ก. ระยะเวลาสุกผิวผลมีสีม่วงแดง



ข. ระยะเวลาสุกผิวผลมีสีเขียว

ภาพผนวกที่ 3 สีเปลือกมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ใช้ในการทดลอง



ก. ระยะเวลาสุกผิวผลมีสีม่วงแดง



ข. ระยะเวลาสุกผิวผลมีสีเขียว

ภาพผนวกที่ 4 สีเนื้อมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นางสาวลำแพน ขวัญพูล

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ประวัติการศึกษา

ปีพ.ศ.ที่จบ	วุฒิการศึกษา	สาขาที่จบ	สถาบัน
2541	ปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2550	ปริญญาเอก	วิทยาศาสตร์คุษฎีบัณฑิต (พืชสวน)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา):

- สรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชสวน

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2543	โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก	สกว.
2552	ทุนพัฒนาอาจารย์รุ่นใหม่	สกว.
2553	ทุนวิจัยและพัฒนาฝ่ายเกษตร	สกว.
2553-2554	การเปลี่ยนแปลงสารสีและกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสในมะละกอพันธุ์แจกด้าและพันธุ์ฮอลแลนด์	สจล. (เงินรายได้ ตุลาคม 2553- กันยายน 2554)
2554-2555	กิจกรรมการด้านปฏิบัติการออกซิเดชันในเปลือกและเนื้อของมะม่วงพันธุ์มหาชนก	สจล. (เงินรายได้ ตุลาคม 2554- กันยายน 2555)

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

ระดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเรื่อง	ชื่อวารสาร	ปีที่พิมพ์/ หน้าที่พิมพ์
ชาติ	นวลอนงค์ ปุเรนเด และลำแพน ขวัญพูล	การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและ กิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันใน มะม่วงพันธุ์มหาชนก	เกษตรพระจอม เกล้า	2555/30(2): 68-77
	วัชรชัย พรหมทับ และ ลำแพน ขวัญพูล	การลดการช้ำและการเกิดสีน้ำตาลในผล ละมุดพันธุ์มะกอกโดยใช้กรดแอสคอบิก	ว. วิทย เกษตร (พิเศษ)	2555/43 (3): 335-338
	กันต์ธีร์ สิริเวชพันธุ์ และลำแพน ขวัญพูล	ผลของสาร 1-MCP ต่อการเปลี่ยนแปลงสี ผิวและคุณภาพของมะละกอพันธุ์แขกดำ และพันธุ์ปลักไม้ลาย	ว. วิทย เกษตร (พิเศษ)	2555/43(3): 436-439
	พรพรรณ นุชโพธิ์ พันธุ์ ลำแพน ขวัญพูล และธิดิมา วงษ์ ชิริ	การเปลี่ยนแปลงปริมาณและการกระจาย ตัวโมเลกุลของเพคตินของฝักวานิลลา	ว. วิทย เกษตร (พิเศษ)	2555/43(3): 490-493
	จุฑามาศ แสงสว่าง และลำแพน ขวัญพูล	ผลของ 1-methyl cyclopropene ต่อการ เปลี่ยนแปลงปริมาณและการกระจาย ขนาดโมเลกุลของเพคตินในผลมะละกอที่ เกิดการช้ำ	ว. วิทย เกษตร (พิเศษ)	2555/43(3): 532-535
	จุฑามาศ แสงสว่าง และลำแพน ขวัญพูล	ผลของระยะเวลาบริบูรณ์ต่อความรุนแรง ของการช้ำในผลมะละกอพันธุ์ปลักไม้ลาย	ว. วิทย เกษตร (พิเศษ)	2555/43(3): 556-563
นานาชาติ	L. Khurnpoon and J. Siriphanich	2012. Changes in cell wall polysaccharides in bruised papaya. Acta. Hortic.	Acta Hortic.	2012/945: 381-389
	L. Khurnpoon and O. Rungnoi	The correlation between total phenol and antioxidant in sweet potato (<i>Ipomea batatas</i>) with varying flesh color.	Acta Hortic.	2012/945: 413-419

การเสนอผลงานวิชาการ

ระดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเรื่อง	ชื่องานประชุม	สถานที่/ วัน-เวลา
ชาติ				
นานาชาติ	N. Parintawong, K. Chantasee and L. Khurnpoon	The Effect of Salicylic Acid on Growth and Development of Infected and Non-Infected PRSV in 'Khak Dum' Papaya	III International symposium on papaya	Chiang Mai, Thailand/December 19-22, 2011
	L. Khurnpoon, N. Parintawong, P. Khemthong and P. Dolokoslem	Methyl jasmonate on induction of systemic resistance against PRSV in 'Khak dam' papaya (<i>Carica papaya</i> Linn.)	V International symposium on tropical and subtropical fruits	Guangzhou, China/ June 18-22, 2012
	L. Khurnpoon, K. Sirivejabandhu and P. Sangwanangkul	Changes in pigments and fruit quality in papaya harvested from different growing seasons	V International symposium on tropical and subtropical fruits	Guangzhou, China/ June 18-22, 2012

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

- ยังไม่มี

อื่นๆ

- ยังไม่มี