



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1
ระหว่างการเก็บรักษาและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่า
**Study of Quality Changes of Sirindhorn No.1 Purple Yard Long Bean
between Storage and Product Development for Enhance Value**

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวกัญญารัตน์ เหลืองประเสริฐ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

นางสาวณัฐนิชา ทวีแสง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นายไกรยศ แซ่ลิ้ม คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 256109A1080061

สัญญาเลขที่ 107 /2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1
ระหว่างการเก็บรักษาและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่า
**Study of Quality Changes of Sirindhorn No.1 Purple Yard Long Bean
between Storage and Product Development for Enhance Value**

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวกัญญารัตน์ เหลืองประเสริฐ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

นางสาวณัฐนิชา ทวีแสง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นายไกรยศ แซ่ลิ่ม คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤศจิกายน 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษาและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่า ได้ผลงานที่เป็นประโยชน์โดยสามารถเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลผลิตในระหว่างการเก็บรักษาและได้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่า โดยคณะผู้วิจัยสามารถนำความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่ทางวิชาการและแก่ชุมชน ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 107/2561 สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย และเปิดโอกาสให้ศึกษาหาความรู้ในครั้งนี้ มา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา และผู้ร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

มีนาคม พ.ศ.2562

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ต่ำ เป็นเวลา 14 วัน พบว่าสามารถรักษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีได้เป็นอย่างดีเมื่อ เก็บในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมคือ ถุงซิปล โดยลดการสูญเสียน้ำหนักสด ความแน่นเนื้อ และการ เปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a^* value) ค่าสีเหลือง (b^* value) และค่าความเข้มสี (C^* value) ของฝัก ลดลงน้อยกว่าการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู ตามลำดับ ความสว่าง (L^* value) และค่าสี (H° value) ของฝักถั่วฝักยาว มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการ เก็บรักษา ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าลดลงน้อยที่สุดเมื่อ เทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู ตามลำดับ ปริมาณแอนโทไซยา- นินของฝักถั่วฝักยาวที่เก็บรักษาในถุงซิปลมีค่ามากที่สุดและผกผันกับค่า pH ที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าบรรจุ ภัณฑ์ชนิดอื่นๆ

การประเมินการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของถั่วฝักยาวสีม่วงได้รับการประเมินในช่วง 12 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 85 ± 3 เปอร์เซ็นต์ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ไม่พบในทุกการทดลอง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (APC) และยีสต์และราทั้งหมด (Y&M) มีจำนวนเพิ่มขึ้นในทุกการทดลองเมื่อเวลาในการเก็บรักษา เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามตามแนวทางทางจุลชีววิทยาของผลไม้พร้อมรับประทานที่ออกโดย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์พบว่าถั่วฝักยาวสีม่วงที่เก็บรักษาในถุง PE แบบเจาะรู และถุงซิปล ยังคง ยอมรับได้ทางจุลชีววิทยาตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 4 วัน ในทางตรงกันข้ามปริมาณยีสต์และรา ทั้งหมดพบว่าเกินที่ยอมรับได้ทางจุลชีววิทยาในถั่วฝักยาวสีม่วงที่เก็บรักษาในถุง PE ตลอดระยะเวลา การเก็บรักษา

ในการศึกษาปริมาณน้ำเสาวรส (ร้อยละ 21.1 23.3 และ 25) และปริมาณเพคติน (ร้อยละ 0.5 1 และ 1.5) ที่เหมาะสมในการผลิตแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 นำแยมไปวิเคราะห์คุณภาพด้าน ต่างๆ พบว่าแยมสูตรที่ 1 (21.1:0.5) มีค่า pH สูงที่สุด และมีค่า Rupture Strength ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) ค่า a_w และปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของแยมทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แยม สูตรที่ 3 (25:1.5) มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) คะแนน ความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะด้านต่างๆ พบว่าสูตรที่ 1 (21.1:0.5) มีคะแนนความชอบด้าน กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัวบนขนมปัง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกปริมาณน้ำเสาวรสร้อยละ 21.1 และปริมาณเพคตินร้อยละ 0.5 มาศึกษาการทดแทน ปริมาณน้ำตาลด้วยไซลิทอลและซูคราโลสที่ร้อยละ 0 35 45 และ 55 พบว่าไซลิทอลและซูคราโลส เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีแนวโน้มลดลง แยม ฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่เติมไซลิทอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.02-3.52 แยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่เติมซูคราโลสทั้ง 3 ระดับ มีค่า a_w เพิ่มขึ้นขณะที่ปริมาณของที่ละลาย

ได้ทั้งหมดและค่า Rupture Strength ลดลง เมื่อเทียบกับแยมที่เติมสูตรควบคุมและสูตรที่เติมไซลิทอล ($P \leq 0.05$) ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับแยมฝักยาวสีม่วงสีรินธเบอร์ 1 สูตรที่ 2 (20:35) มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัว ความหวาน และความชอบโดยรวม และมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าแยมผลิตเชิงการค้า และมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$)

คำสำคัญ: ฝักยาวสีม่วงสีรินธเบอร์ 1 แอนโทไซยานิน ศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา แยม

Abstract

The quality changes of Sirindhorn No.1 purple yard long bean between low temperature storage were investigated for 14 days, which could be great to maintain physicochemical change for appropriate packaging was zip seal PE bag. It was analyzed to found that the reducing weight loss, firmness and color changes; red values (a^* value), yellow values (b^* value) and chroma value (C^* value) of pod were less than other packaging types as PE and punch hole PE bags, respectively. The brightness (L^* value) and Hue value (H° value) of yard long bean pod were increased slightly during storage. Antioxidant capacity and total phenolic compounds were lowest decreased when compare with other packaging types as PE and punch hole PE bags, respectively. Anthocyanin content of yard long bean pod to stored in zip seal PE bag was the highest value and inversely proportional to the less increased pH value than other packaging types.

Microbial change of purple yard long bean was evaluated during 12 days of storage at $5\pm 2^\circ\text{C}$ and a relative humidity of $85\pm 3\%$. *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were not detected in all experiments. Aerobic plate count (APC) and yeast and mold (Y&M) populations increased in all experiments as storage time increased. However, according to the microbiological guidelines for ready-to-eat fruit issued by the Department of Medical Science, it was found that purple yard long beans stored in punch hole PE and zip seal PE bags were remained under microbiological acceptable limit throughout 4 days storage period. In contrast, Y&M count exceeded microbiological acceptable limit in purple yard long beans stored in PE bag throughout storage period.

The study of the amounts of passion fruit juice (21.1, 23.3 and 25%) and the amounts of pectin (0.5, 1 and 1.5%) optimum to produce Purple Yard Long Bean jam (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*) cv. Sirindhorn No.1. The results showed that jam with 21.1% of passion fruit juice and 0.5% of pectin had the highest pH value and the lowest Rupture Strength ($P\leq 0.05$). The water activity value and total soluble solids of 3 formulas jam were not statistically different. Jam with 25% of passion fruit juice and 1.5% of pectin had increasing of L^* value and decreasing of a^* value ($P\leq 0.05$). Sensory evaluation showed that the jam with 21.1% of passion fruit juice and 0.5% of pectin gained the highest hedonic score in terms of odor, taste, texture, spreadability

and overall preference ($P \leq 0.05$). Therefore the referred amounts of passion fruit juice (21.1%) and pectin (0.5%) were chosen and used in the later steps of this study. For study used to substitute sugar with xylitol and sucralose at 0 35 45 and 55%. It was found that jam addition of increasing amount of xylitol and sucralose were L^* value increasing and a^* value decreased. Jam with the amount of xylitol and sucralose at 3 levels were the pH range of 3.02-3.52 and jam addition of sucralose at 3 levels were a_w value increasing whereas decreasing total soluble solid and rupture Strength compared to the control formula ($P \leq 0.05$). The panelists accepted jam with 20% of sugar and 35% of xylitol were in terms of color, odor, taste, texture, spreadability and overall preference. And higher fiber content than in commercial products and anthocyanin content higher than the control formula ($P \leq 0.05$).

Keywords: Purple yard long bean cv. Sirindhorn No.1 , Anthocyanin, Antioxidant capacity, Microbial change, Jam

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	43
บทที่ 4 ผลการวิจัย	62
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย	85
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	92
ผลผลิต (Output)	94
บรรณานุกรม	95
ภาคผนวก ก	103
ภาคผนวก ข	111
ภาคผนวก ค	121
ภาคผนวก ง	123
ภาคผนวก จ	125
ประวัตินักวิจัย	127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	พันธุ์ถั่วฝักยาวที่นิยมปลูก	8
2.2	โครงสร้างของแอนโทไซยานินที่มีหมู่ต่างๆ เข้าแทนที่ในโครงสร้างหลักมีผลให้เกิดสีของแอนโทไซยานินที่แตกต่างกัน	16
2.3	การเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในส่วนประกอบต่างๆ ของพืช	19
2.4	คุณค่าทางโภชนาการของเสาวรส	38
2.5	เปรียบเทียบความหวานและพลังงานของสารให้ความหวานกับน้ำตาลซูโครส	39
4.1.1	ผลการตรวจวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของถั่วฝักยาว	76
4.2.1	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า water activity (a_w) ของแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1	78
4.2.2	ค่าสีของแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1	79
4.2.3	ค่า Rupture Strength และค่า Brittleness ของแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1	79
4.2.4	คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะด้านต่างๆ ของแยมถั่วฝักยาวสิรินธร เบอร์ 1	80
4.2.5	ค่าสีของแยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่เติมไซลิทอล และซูคราโลสที่ระดับต่างๆ	81
4.2.6	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า water activity (a_w) ของแยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่เติมไซลิทอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ	81
4.2.7	ค่า Rupture Strength และค่า Brittleness ของแยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่เติมไซลิทอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ	82
4.2.8	คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะด้านต่างๆ ของแยมที่เติมไซลิทอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ	83
4.2.9	องค์ประกอบทางเคมีของแยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไซลิทอล	84
4.2.10	ปริมาณแอนโทไซยานินของแยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไซลิทอล	84

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	5
2.2	7
2.3	12
2.4	13
2.5	15
2.6	16
2.7	17
2.8	17
2.9	18
2.10	22
2.11	22
2.12	23
2.13	23
2.14	25
2.15	25
2.16	26
2.17	27
2.18	28
2.19	38
2.20	40
3.1	43
3.2	45
3.3	46
3.4	47

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.5	การบรรจุถั่วฝักยาวในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ; ถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู (A), ถุง PE แบบไม่เจาะรู (B) และถุงซีป (C)	48
3.6	L*, C* and H° color space	50
3.7	กระบวนการผลิตแยมผลไม้	59
4.1.1	การสูญเสียน้ำหนักสด (%) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน	65
4.1.2	ความแน่นเนื้อ (N) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน	65
4.1.3	ค่าความสว่าง (L* value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน	66
4.1.4	ค่าสีแดงและสีเขียว (a* value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน	66
4.1.5	ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b* value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน	67
4.1.6	ค่าความเข้มของสี (chroma value; C* value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน	67
4.1.7	ค่าสี (Hue angle value; H° value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน	68
4.1.8	ฝักของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดการทดลอง (T1 = ถุง PE เจาะรู, T2 = ถุง PE และ T3 = ถุงซีป) ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 0 (D0), 2 (D2), 4 (D4) และ 6 (D6), 8 (D8), 10 (D10), 12 (D12) และ 14 (D14) วัน	69
4.1.9	ฝักของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดการทดลอง (T1 = ถุง PE เจาะรู, T2 = ถุง PE และ T3 = ถุงซีป) ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 8 (D8), 10 (D10), 12 (D12) และ 14 (D14) วัน	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.1.10	ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity; mmole Trolox equivalent/100 g FW) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน	72
4.1.11	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds; mg/100g FW) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน	72
4.1.12	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin contents; mg/100g FW) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน	74
4.1.13	pH ของสารละลายของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน	74
4.1.14	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่บรรจุใส่ภาชนะบรรจุต่างๆ	76
4.1.15	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณยีสต์และราทั้งหมดของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่บรรจุใส่ภาชนะบรรจุต่างๆ	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* cv. Sirindhorn No.1) เป็นถั่วฝักยาวลูกผสมมีลักษณะเด่นประจำพันธุ์คือฝักสีม่วงอมแดง ปลายฝักมีสีเขียว และเมล็ดมีสีแดงลายขาว สีขั้วเมล็ดสีขาวหรือครีม โดยมีสายพันธุ์แม่ซึ่งเป็นถั่วฝักยาวพันธุ์เนื้อ ฝักสีเขียว ให้ผลผลิตสูงผสมกับสายพันธุ์พ่อซึ่งมีฝักยาวสีแดง แต่ให้ผลผลิตต่ำ ซึ่งได้รับพระราชทานนามมาจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ เมื่อ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 (ฐานข้อมูลพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2557) และได้รับการขึ้นทะเบียนพันธุ์ช่วงต้นปี พ.ศ. 2558 เป็นถั่วฝักยาวสายพันธุ์ใหม่ที่มีสีสันสะดุดตา มีความโดดเด่นเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2558) ในผลิตผลที่มีสีม่วงแดงส่วนใหญ่มีการสะสมสารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ ได้แก่ แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกและมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถพบได้ในผลิตผลหลายชนิด ได้แก่ ทับทิม ลิ้นจี่ เบอร์รี่ต่างๆ แอปเปิ้ล องุ่นม่วง มะม่วงมหาชนก มะเขือม่วง กะหล่ำปลีม่วง เป็นต้น (Lueangprasert *et al.*, 2010; Chumyam *et al.*, 2013) ซึ่งการพัฒนาสีม่วงอมแดงของฝักถั่ว และเมล็ดถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 การสะสมแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) รวมทั้งการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ระหว่างการเจริญเติบโต ได้มีการศึกษาเพื่อนำความรู้ไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกกระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว แต่ยังมีข้อมูลไม่มากนักระหว่างการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยว

โดยจากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าอัตราการบริโภคน้ำตาลของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากปี พ.ศ. 2540 อัตราการบริโภคน้ำตาลของคนไทยคิดเป็น 28.1 กิโลกรัมต่อคนต่อปี และในปี พ.ศ. 2553 อัตราการบริโภคน้ำตาลของประชากรไทย เพิ่มขึ้นเป็น 33.8 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (ชนิษฐ์, 2555) ซึ่งการบริโภคน้ำตาลปริมาณสูงเป็นประจำ ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ เมื่ออายุเพิ่มขึ้น เช่น การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัว และทำให้อ้วน เนื่องจากการสะสมพลังงานส่วนเกินไว้ในร่างกาย เมื่อเกิดภาวะอ้วนส่งผลให้ร่างกายมีความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ได้แก่ โรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น (ประไพศรี, 2549) ในปัจจุบันผู้บริโภคนิยมสุขภาพและเลือกบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น รวมทั้งการรณรงค์ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) และองค์การอาหารและยา (อย.) เพื่อเปลี่ยนพฤติกรรมผู้บริโภคให้ทานน้ำตาลแต่พอดี ทำให้อุตสาหกรรมอาหารหลายๆ ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น แยม เยลลี่ เครื่องดื่ม เป็นต้น มีการนำสารให้ความหวานชนิดอื่นมาแทนน้ำตาล เพื่อลดปริมาณการบริโภคน้ำตาลลงสำหรับผู้ที่ต้องการลดหรือจำกัดปริมาณแคลอรีจากอาหาร และอาหารที่ต้องการความหวานบางชนิด แต่ไม่ต้องการให้มีคาร์โบไฮเดรต

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษาและเพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรภายหลังการเก็บเกี่ยว จึงทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มขึ้น ในรูปของผลิตภัณฑ์แยมจากถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่ใช้สารให้ความหวานชนิดอื่นๆ แทนน้ำตาล ซึ่งความรู้ที่ได้จะนำไปเป็นข้อมูลในการเผยแพร่ให้ความรู้แก่ผู้สนใจและเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แยมที่มีปริมาณน้ำตาลลดลง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคต่อไป

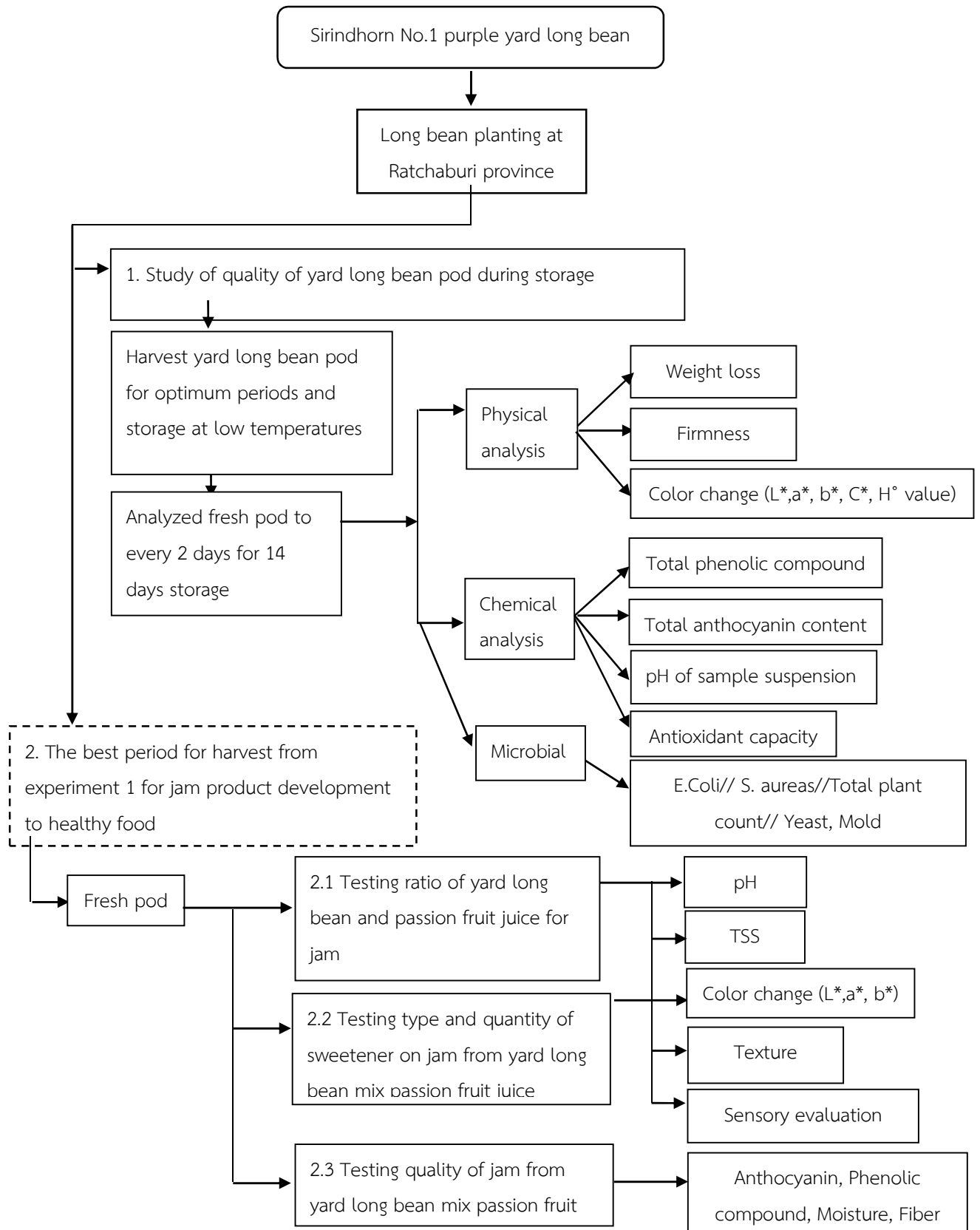
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา
2. เพื่อศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมเพื่อสุขภาพจากถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา โดยเลือกระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม บรรจุในภาชนะแตกต่างกันและนำผลผลิตไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสี การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และค่า pH ของฝักถั่วฝักยาว รวมทั้งคุณภาพทางจุลชีววิทยา และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บรักษาถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเก็บรักษาผลผลิตเพื่อนำไปแปรรูปในการทดลองต่อไป โดยเก็บเกี่ยวถั่วฝักยาวในระยะที่เหมาะสม นำมาศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเพิ่มมูลค่าและดีต่อสุขภาพในรูปแบบแยม โดยใช้สารให้ความหวานชนิดอื่นๆ แทนน้ำตาล ซึ่งมีการผสมน้ำเสาวรส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แยมที่มีปริมาณน้ำตาลลดลง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยศึกษาอัตราส่วนของถั่วฝักยาวต่อปริมาณน้ำเสาวรสที่เหมาะสมในการผลิตแยม ศึกษาชนิดและปริมาณสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์แยมผสมน้ำเสาวรส รวมทั้งศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์แยมผสมน้ำเสาวรส

1.4 กรอบแนวความคิดของการวิจัย



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัยต่อไป และถ่ายทอดความรู้ให้เกษตรกรหรือผู้สนใจทราบรวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ปรับปรุงการเรียนการสอน

2. ได้ผลิตภัณฑอาหารเพื่อสุขภาพจากถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลผลิตทางการเกษตรและสร้างประโยชน์ให้แก่สังคมและชุมชนโดยสามารถนำไปเผยแพร่ให้ความรู้แก่ผู้สนใจนำไปเพิ่มรายได้หรือนำไปรับประทานในครัวเรือนต่อไป

3. นำผลงานวิจัยที่ได้เสนอผลงานในระดับชาติ และ/หรือ ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วฝักยาว

2.1.1 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ (ฐานข้อมูลพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ฯ, 2557)

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*

จัดอยู่ในวงศ์: LEGUMINOSAE

สกุล: *Vigna*

ชนิด: *V. unguiculata*

ชื่อสามัญ: Yard long bean, Asparagus bean, String bean, Snake bean, Bodie bean



ภาพที่ 2.1 ถั่วฝักยาวฝักสีแดง (A) และ ฝักสีเขียว (B) (เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย, 2560; Specialty Produce, 2017)

ถั่วฝักยาว (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*) เป็นพืชผักในวงศ์ถั่ว มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศจีน และอินเดีย นิยมบริโภคฝักสดที่อ่อน มีคุณค่าทางอาหารสูง และยังสามารถใช้ในการปรับปรุงดินโดยระบบรากมีการตรึงไนโตรเจน ถั่วฝักยาวสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีในทุกภาคของประเทศไทย แต่จะให้ผลดีในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤศจิกายน (วรรณรีย์, 2551)

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วฝักยาว (เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย, 2560)

ลำต้น:

ลำต้นถั่วฝักยาวมีลักษณะเลื้อยพันต้องการสิ่งค้ำจุน มีข้อปล้อง มีตายอดที่พัฒนาเป็นใบและกิ่งก้าน มีมือเกี่ยวสำหรับเกี่ยวพันเพื่อยึดลำต้น มีลักษณะการเกี่ยวพันแบบทวนเข็มนาฬิกา

ราก:

ราก มีทั้งรากแก้วและรากแขนงในระดับที่ไม่ลึกมากนัก รากแขนงมีปมของแบคทีเรียไรโซเบียมที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศสะสมไว้สำหรับต้นถั่วนำไปใช้ประโยชน์

ใบ:

ใบเป็นใบประกอบแบบสามใบ เกิดสลักบนต้นหรือกิ่ง ใบจริงคู่แรกเกิดด้านบนใบเลี้ยงและใบที่เกิดต่อๆ ไปเป็นแบบใบประกอบ ใบมีขนาดเล็ก ค่อนข้างแหลมถึงกลมรี รูปร่างของใบเป็นรูปไข่หรือรูปหอก ใบมีสีเขียวถึงเขียวเข้ม ก้านใบยาว ที่โคนใบมีหูใบ 2 อัน

ดอก:

ถั่วฝักยาวออกดอกเป็นช่อกระจุก แหว่งออกตามซอกมุมใบ แต่ละช่อมี 1-6 ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-3 เซนติเมตร ด้านล่างดอกมีกลีบเลี้ยงสีเขียว ตัวดอกที่เป็นกลีบดอก ประกอบด้วยกลีบชั้นนอก เรียกว่า standards ทำหน้าที่ห่อหุ้มกลีบดอกชั้นใน และกลีบชั้นใน 2 กลีบ กลีบชั้นในกลีบแรก เรียกว่า wings และกลีบชั้นในสุด เรียกว่า keel มีลักษณะเป็นกรวย ทำหน้าที่ห่อหุ้มเกสรตัวเมียและเกสรตัวผู้ ส่วนเกสร มีเกสรตัวผู้มี 10 อัน เกสรตัวผู้ 9 อัน ล้อมรอบรังไข่ส่วนอีก 1 อัน อยู่ตัวแยกเป็นอิสระ ส่วนเกสรตัวเมียเป็นรังไข่ยาว สีเขียว มีก้านชูเกสร และยอดเกสร มีขนฟูสีขาว

ดอกถั่วฝักยาวจะออกดอกโดยไม่ขึ้นกับช่วงแสง มีอายุการออกดอกแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ ได้แก่

- พันธุ์เบา ดอกบาน 50% เมื่ออายุ 33-42 วัน
- พันธุ์ปานกลาง ดอกบาน 50% เมื่ออายุ 43-52 วัน
- พันธุ์หนัก ดอกบาน 50% เมื่ออายุ 53-60 วัน

ดอกของถั่วฝักยาวจะบานในช่วงเช้าและหุบในช่วงบ่ายในวันเดียวกัน มีการผสมเกสรในวันที่ดอกบานและหลังจากผสมเกสรแล้วกลีบดอกจะร่วงและมีการพัฒนาของฝัก คุณภาพฝักสดที่ดีจะอยู่ในช่วงวันที่ 6-8 หลังดอกบาน มีความกรอบ รสชาติหวาน และมีสารอาหารสูง ฝักยาว 20-60 เซนติเมตร มีสีเขียวอ่อนถึงสีเขียวเข้ม ปลายฝักมีสีเขียวหรือสีม่วง

ฝัก:

ฝักมีลักษณะทรงกลม ผิวขรุขระ มีหลายสี ได้แก่ สีเขียว สีม่วงแดง สีแดง-ขาว ยาวประมาณ 20-60 เซนติเมตรขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ มีร่องแบ่งสีของฝักตรงกลางผล 2 เส้น อยู่คนละฝั่งตลอดแนว ความยาวผล ด้านในมีเมล็ดตลอดความยาวเป็นช่วงๆ

เมล็ด:

เมล็ดมีรูปร่างคล้ายไต มีหลายสี เช่น สีขาว น้ำตาล ดำ และสีสลับน้ำตาล-ขาว, ดำ-ขาว และแดง-ขาว



ภาพที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วฝักยาว (เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย, 2560)

2.1.3 พันธุ์กล้วยที่นิยมปลูก (เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย, 2560)

ตารางที่ 2.1 พันธุ์กล้วยที่นิยมปลูก

ชนิดของพันธุ์กล้วย	ชื่อพันธุ์ของกล้วย
พันธุ์ของทางราชการ	1. พันธุ์ ก 2-1A พัฒนาโดยกรมวิชาการเกษตร 2. พันธุ์ มก. 8 พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พันธุ์ของบริษัทเอกชน	1. พันธุ์ RW 24 2. พันธุ์สองสี 3. พันธุ์เขียวดก 4. พันธุ์กรีนพอท 5. พันธุ์แอร์โรว์ 6. พันธุ์เอเชียนนิโกร 7. พันธุ์เกาชุง
พันธุ์พื้นเมือง	1. พันธุ์กล้วยด่าง จ.สระบุรี 2. พันธุ์ดำเนิน จ.ราชบุรี 3. พันธุ์พื้นเมืองตรัง 4. พันธุ์พื้นเมืองหนองคาย
พันธุ์แบ่งตามสีเมล็ด	1. พันธุ์เมล็ดสีแดง (ออกดอกสีม่วง ฝักสีเขียว) 2. พันธุ์เมล็ดสีแดงเข้ม (ออกดอกสีม่วง ฝักสีม่วงเข้ม) 3. พันธุ์เมล็ดสีขาว (ออกดอกสีครีม ฝักสีเขียว) 4. พันธุ์เมล็ดสีดำ (ออกดอกสีม่วง ฝักสีเขียวเข้ม) 5. พันธุ์เมล็ดสีแดงต่างขาว (ออกดอกสีม่วง ฝักสีเขียว)

2.1.4 ประโยชน์ของกล้วย (เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย, 2560)

• ฝักอ่อนใช้รับประทานสดหรือเป็นผักจิ้มน้ำพริก ทานกับอาหารจำพวกลาบ น้ำตก ซุป หน่อไม้ เป็นต้น

- ฝักอ่อนใช้ประกอบอาหาร เช่น ตำถั่ว แกงเลียง ผัดถั่ว เป็นต้น
- ยอดอ่อนจากการเพาะเมล็ด นำมาประกอบอาหารจำพวกผัด ให้รสหวานกรอบ
- เมล็ดกล้วยชนิดสีแดงหรือแดงเข้มนิยมนำมาทำของหวาน
- เมล็ดกล้วยชนิดสีแดงหรือแดงเข้มใช้บดเป็นแป้งสำหรับผสมอาหารหรือทำขนมหวาน
- เมล็ด ยอด และลำต้นใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนสูง

2.1.5 หลักการปลูกถั่วฝักยาว (เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย, 2560)

ถั่วฝักยาวสามารถเติบโตได้ดีในทุกสภาพดินและปลูกได้ตลอดปี เป็นพืชที่ชอบดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินร่วนปนทราย ดินระบายน้ำดี ไม่ชอบดินชื้นแฉะมาก แต่ไม่ทนต่อดินที่แห้งแล้ง ต้องการดินชั้นพอสมควร

การเตรียมดิน

การเตรียมดินปลูกด้วยการไถพรวนดินลึกประมาณ 30 เซนติเมตร และตากดินนาน 5-7 วัน พร้อมกำจัดวัชพืช หลังจากนั้นทำการโรยปุ๋ยหมัก อัตรา 2-4 ตันต่อไร่ หากพื้นที่ปลูกมีดินเป็นกรด โดยเฉพาะแปลงปลูกในพื้นที่ภาคกลางตอนล่าง และแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ควรโรยปูนขาวร่วมด้วย อัตรา 300-500 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากนั้น ไถพรวนดินอีกครั้ง และตากดินนาน 3-5 วัน และทำการไถยกร่องแปลง โดยการปลูกแถวเดี่ยวให้ยกร่องแปลงกว้างประมาณ 80 เซนติเมตร แถวคู่กว้างประมาณ 150 เซนติเมตร เว้นทางเดินประมาณ 50 เซนติเมตร ในระหว่างแถว

การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์

เมล็ดพันธุ์สามารถหาซื้อจากตลาด มีให้เลือกหลายพันธุ์ แต่หากเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ได้จากแปลงปลูกของตนเองจำเป็นต้องคัดแยกเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูกด้วยการนำเมล็ดแช่น้ำ โดยเมล็ดที่ลอยน้ำให้คัดทิ้ง ส่วนเมล็ดที่จมน้ำถือเป็นเมล็ดที่ดี และให้แช่น้ำที่ผสมยาฆ่าเชื้อรา นาน 60 นาที ก่อนลงหยอดในแปลงปลูก

การปลูก

การปลูกจะใช้วิธีหยอดเมล็ด เตรียมขุดดินเป็นหลุมหรือขุดเป็นร่องลึกประมาณ 3-5 เซนติเมตร โรยรองพื้นด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หยอดเมล็ดหลุมละ 3-4 เมล็ด ระยะห่างระหว่างหลุม 40-50 เซนติเมตร แล้วกลบด้วยหน้าดินและรดน้ำ หลังจากนั้น เมล็ดจะงอกประมาณวันที่ 5-7 หลังการปลูก

การถอนต้นอ่อน

เมื่อต้นอ่อนมีใบจริง 3-4 ใบ หรือสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ให้เลือกถอนต้นที่เล็กทิ้ง ให้เหลือเพียง 2 ต้นต่อหลุม พร้อมพรวนดินรอบหลุม

การให้น้ำ

หลังจากการปลูกจะให้น้ำพุ่มวันละ 1 ครั้ง และหลังถอนต้นแล้วจะให้น้ำ 2-3 วันต่อครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพดิน และฤดูกาลปลูก โดยพิจารณาจากความชื้นของดินเป็นหลัก

การใส่ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยจะใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในระยะก่อนออกดอก อัตราปุ๋ย 30 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ให้ห่างจากโคนต้น 8-10 เซนติเมตร พร้อมพรวนดินกลบ และรดน้ำ

การทำค้าง

การทำค้างจะเริ่มเมื่อต้นถั่วมีความสูงประมาณ 15-20 เซนติเมตร ซึ่งต้นถั่วจะเริ่มมีมือเกาะ โดยการใช้ไม้ปักกระหว่างหลุม ความสูงประมาณ 2-3 เมตร ปักระยะห่าง 2-3 เมตร แล้วมัดขึงด้วยเชือกหรือลวดตามความสูงเป็นชั้นๆ ห่างกัน 30-40 เซนติเมตร หรืออาจใช้ปลายไม้ไผ่ที่มีแขนงปักเป็นช่วงๆ ตามระยะความกว้างของแขนงไม้ไผ่

การกำจัดวัชพืช

การกำจัดวัชพืชต้องทำอย่างสม่ำเสมอในระยะ 1 เดือนแรก ควรทำอย่างน้อย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง จนต้นถั่วมีความสูงมากกว่า 30-50 เซนติเมตรจึงหยุด ซึ่งต้นถั่วสามารถเติบโตแข่งกับวัชพืชอื่นได้

การเก็บเกี่ยว

ถั่วฝักยาวจะเริ่มเก็บฝักอ่อนได้ ประมาณ 60-80 วัน หลังปลูก หรือหลังจากออกดอก ประมาณ 15-20 วัน โดยทยอยเก็บฝักอ่อนเป็นระยะทุกๆ 2-4 วัน สามารถเก็บฝักได้นานประมาณ 1-2 เดือน หรือเก็บได้ 20-40 ครั้ง ขึ้นอยู่กับการดูแล

โรค และแมลง

1. โรคที่เกิดจากเชื้อรา *Cercospora* sp.

อาการ

พบบริเวณใต้ใบของใบส่วนล่างก่อน ใบมีจุดสีสนิมสีน้ำตาลแดง แล้วลุกลามขึ้นส่วนบนของลำต้น ทำให้ใบแห้ง และลำต้นเหี่ยวตาย มักเกิดในระยะออกดอก

การป้องกันกำจัด

หากพบการระบาดของเชื้อให้ฉีดพ่นด้วยยากำจัดเชื้อรา เช่น ไดเทนเอ็ม 45 หรือ เบนเลท ทุกๆ 5-7 วัน

2. โรคที่เกิดจากเชื้อรา *Uromyces fabae*

อาการ

พบมีผงแป้งจับที่ใบด้านบน หากเป็นมากผงแป้งจะเคลือบใบทำให้ใบสังเคราะห์แสงไม่ได้ ใบเหี่ยว และต้นเหี่ยวตายตามมา

การป้องกันกำจัด

– ใช้กำมะถันละลายน้ำ 30-40 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่น 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ไม่ควรฉีดพ่นขณะแดดร้อน

– ฉีดพ่นด้วยแพลนท์แวกซ์ (Plantvax) ละลายน้ำ 10-20 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทุกๆ 5-7 วัน

3. โรคที่เกิดจากเชื้อรา *Oidium* sp.

อาการ

พบใบมีจุดต่างเหลืองหรือเหลืองอ่อนแกมขาวสลับกับสีเขียวของใบ หากเป็นมากใบจะเป็นคลื่น ใบม้วนงอ ใบเหี่ยวแห้งทำให้ลำต้นเหี่ยวตาย

การป้องกันกำจัด

– ใช้กำมะถันผงละลายน้ำฉีดพ่น

– ใช้คาร์ราเทนหรือซาพรอน ฉีดพ่นทุกๆ 7-10 วัน

4. หนอนเจาะต้นถั่วและหนอนเจาะฝัก

อาการ

หนอนของแมลงวันขนาดเล็ก สีดำ ทำการไขไ่ว้ตามใบ มักพบระบาดในทุกระยะของต้นถั่ว ตั้งแต่ระยะใบงอกจนถึงออกฝัก ชอบกัดกินใบอ่อนทำให้ใบแห้ง จนลำต้นตาย และชอบกินฝักอ่อน ทำให้ผลผลิตเสียหาย ฝักลีบ เป็นรู

การป้องกันกำจัด

สำหรับหนอนเจาะต้นถั่ว ให้ใช้ฟูราดานรองกันหลุม 2 กรัมต่อหลุม ไม่ควรใช้ในกรณีที่ต้นถั่วเติบโตแล้ว เพราะอาจทำให้มีพิษตกค้างบนต้นถั่ว หากพบระบาดหลังถั่วเติบโตแล้วให้ใช้ ไดเมทโทเอท ฉีดพ่นทุกๆ 5-7 วัน

5. เพลี้ยอ่อน

อาการ

เป็นเพลี้ยที่มีระบาดในทุกระยะ ชอบดูดกินน้ำเลี้ยงของยอดอ่อน ใบ และฝักถั่ว ทำให้ใบเหี่ยวตาย ลำต้นแคระแกร็น หากดูดกินฝักอ่อนจะทำให้ฝักลีบ บิดงอ

การป้องกันกำจัด

เมื่อพบระบาดให้ใช้ทามารอน หรือ โชนาด้ามอลต้า ผสมน้ำฉีดพ่น

2.2 ถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ประจำพันธุ์ของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (ฐานข้อมูลพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ฯ, 2557)

ชนิด/ประเภท	ถั่วฝักยาวสำหรับบริโภค
ต้น	ลักษณะการเจริญเติบโตแบบขึ้นค้าง (Indeterminate)
ใบ	รูปใบหอกค่อนข้างกว้าง (ovate-lanceolate) ขนาดใบย่อยส่วนปลาย ความกว้างใบ 11.14 เซนติเมตร ความยาวใบ 17.16 เซนติเมตร ก้านใบสีเขียว
ดอก/ช่อดอก	กลีบกลางดอก (color of standard) สีม่วงอ่อน กลีบคู่ข้าง (color of wing) สีม่วงอ่อน
ฝักและเมล็ด	ฝักสดเป็นสีม่วงอมแดง สีปลายฝักเป็นสีเขียว ปลายฝักมีลักษณะมน (obtuse) ความยาวฝักประมาณ 58.39 เซนติเมตร ความกว้างฝักประมาณ 0.65 เซนติเมตร น้ำหนักฝักประมาณ 20.19 กรัม ความหนาเนื้อประมาณ 0.13 มิลลิเมตร ผิวฝักมีลักษณะย่น (wrinkle) รูปร่างเมล็ดเป็นรูปไต (kidney shape) สีเมล็ดแดงลายขาว สีขั้วเมล็ด (white or cream) สีขาวหรือครีม เมล็ดมีจำนวน 11.56 เมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 100 เมล็ดเท่ากับ 23.65 กรัม



ภาพที่ 2.3 ลักษณะเมล็ด (A) และดอก (B) ของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (ฐานข้อมูลพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ฯ, 2557)



ภาพที่ 2.4 ลักษณะฝักของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

ถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* cv. Sirindhorn No.1) เป็นถั่วฝักยาวที่ได้จากการผสมข้ามสายพันธุ์แม่ Y007 มีลักษณะเป็นถั่วฝักยาวพันธุ์เนื้อ ฝักสีเขียว ให้ผลผลิตสูง ผสมกับสายพันธุ์พ่อ Y009 ซึ่งเป็นถั่วฝักยาวที่มีฝักยาวสีแดง แต่ผลผลิตต่ำ ทำการผสมข้ามในปี 2551 ทำการคัดเลือกพันธุ์ ณ สำนักฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ. เชียงใหม่ จำนวน 6 รอบ ได้ถั่วฝักยาวที่มีลักษณะต่างจากเดิมและมีความคงที่ทางพันธุกรรม จากนั้นทำการปลูกทดสอบและเก็บข้อมูลลักษณะประจำพันธุ์ร่วมกับสายพันธุ์อื่นๆ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามมกุฎราชกุมารี ทรงคัดเลือกพันธุ์ดังกล่าว เมื่อวันที่ 21 มิถุนายน 2555 ณ สำนักฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากนั้นทำการปลูก ณ ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ อ.แม่สาย จ. เชียงราย พร้อมทั้งถวายรายงานข้อมูลลักษณะประจำพันธุ์ ทรงพระราชทานนามว่า "ถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1" เมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2557 โดยถั่วฝักยาวพันธุ์นี้มีลักษณะที่โดดเด่นเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างมากคือสีฝักสดเป็นสีม่วงอมแดงและสีเมล็ดแดงลายขาว เนื้อหนา และฝักยาว ปัจจุบันเริ่มแจกเมล็ดพันธุ์ให้เกษตรกรนำไปทดลองปลูก (ฐานข้อมูลพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ฯ, 2557)

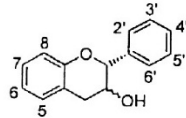
2.3 การเกิดสีแดงและสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ในผลิตผล

สีม่วงแดงของผลิตผลส่วนใหญ่เกิดจากสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) (ภาพที่ 2.5) ซึ่งเป็นสารกลุ่มสำคัญในการเกิดสีต่างๆ ในพืช ได้แก่ flavones มีสีเหลือง, chalcones มีสีเหลืองสดไป

จนถึงสีส้ม และ anthocyanidin มีสีน้ำเงินม่วงและแดง โดย anthocyanidin เมื่อรวมกับโมเลกุลของน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นแอนโทไซยานิน (ภาพที่ 2.6) แอนโทไซยานินที่สร้างขึ้นมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่ hydroxyl ภายในโมเลกุล ชนิดและจำนวนของน้ำตาลที่เกาะกับโครงสร้างของ anthocyanidin รวมทั้งตำแหน่งที่เข้าเกาะจับของน้ำตาลในโมเลกุล บริเวณ B ring ทำให้เกิดชนิดและสีของแอนโทไซยานินที่แตกต่างกันไป (ตารางที่ 2.2) ซึ่งในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีชนิดของแอนโทไซยานินหลักที่สำคัญแตกต่างกันได้แก่ ในผลลีนจี่พันธุ์ Brewster แอปเปิ้ลพันธุ์ Winesap, Red Delicious, Girmes Golden และ Jonathan มังคุดของเอเชียใต้ และ black chokeberry ของอเมริกาเหนือมีแอนโทไซยานินชนิดหลัก คือ cyanidin ในขณะที่ผลเสาวรสทางตอนใต้ของ บราซิล และ Java plum มีแอนโทไซยานินชนิดหลัก คือ delphinidin และ petunidin ตามลำดับ (Mazza and Miniati, 2000) โดยการเปลี่ยนแปลงสีและความคงตัวของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารที่ผันแปรตามค่า pH ซึ่งความเป็นด่างที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้แอนโทไซยานินเปลี่ยนเป็นสคาร์บินอลเบส เป็นรูปที่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยเอนไซม์ (Jurd, 1972; Pifferi and Cultrera, 1974) (ภาพที่ 2.7) สอดคล้องกับการศึกษาในเปลือกลีนจี่พันธุ์ “Hong Huay” pH ในสารละลายภายในเปลือกผลต่ำกว่า 3.0 สามารถรักษาความคงตัวของสีแดงในเปลือกผลได้ดี (Saengnil *et al.*, 2006)

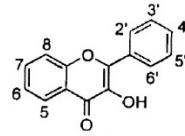
ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน มี phenylalanine เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญ ซึ่งเปลี่ยนแปลงเป็น cinnamic acid โดยอาศัยเอนไซม์ที่สำคัญในการเร่งปฏิกิริยา คือ เอนไซม์ฟีนิลอลานีน แอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia-lyase; PAL) cinnamic acid ที่เกิดขึ้นสามารถนำไปสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารตัวกลางมากมายระหว่างการสร้างสารแอนโทไซยานิน ได้แก่ chalcone, flavanone, dihydroflavonol และ anthocyanidin ตามลำดับ (Mazza and Miniati, 2000; Cheng and Breen, 1991)

ในเปลือกของผลิตภัณฑ์นอกจากประกอบด้วยแอนโทไซยานิน ยังพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นๆ ในปริมาณสูงด้วย สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่เกิดจากเมแทบอลิซึมกรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรตของพืช หรือ เรียกว่าเป็นสารขั้นแรกของการสันดาป (primary metabolites) และผ่านกระบวนการ methylation, hydroxylation, หรือ glycosylation ซึ่งได้สารประกอบที่เรียกว่า secondary metabolites ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืช secondary metabolites แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มพอลิฟีนอล กลุ่ม terpenes และกลุ่มสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (อัญชลี, 2555) โดยมีสูตรโครงสร้างหลักทางเคมีประกอบด้วย aromatic ring จำนวน 1 ring คือ A ring โดยมี hydroxyl substituent อย่างน้อยจำนวน 1 กลุ่มหรือมากกว่านั้น (ภาพที่ 2.8) ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง substituent ที่เข้าจับกับโครงสร้างหลัก ทำให้เกิดเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกัน สารประกอบกลุ่มนี้มีมักอยู่ในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ที่รวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล จึงสามารถละลายน้ำได้ (ศิริวรรณ และ สุวรรณ, 2527)



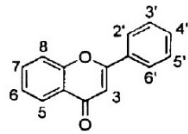
Flavanols

Catechin (2R, 3S) 5=7=3'=4'=OH
 Epicatechin (2R, 3R) 5=7=3'=4'=OH
 Epigallocatechin (2R, 3R) 5=7=3'=4'=5'=OH
 Epicatechin gallate (2R, 3R) 5=7=3'=4'=OH,
 3-gallic acid ester
 Epigallocatechin gallate (2R, 3R) 5=7=3'=4'=5'=OH,
 3-gallic acid ester



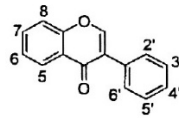
Flavonols

Fisetin 7=3'=4'=OH
 Kaempferol 5=7=4'=OH
 Morin 5=7=2'=4'=OH
 Herbacetin 5=7=8=4'=OH
 Quercetin 5=7=3'=4'=OH
 Robinetin 7=3'=4'=5'=OH
 Isorhamnetin 5=7=4'=OH, 3'=OCH₃
 Myricetin 5=7=3'=4'=5'=OH
 Gossypetin 5=7=8=3'=4'=OH



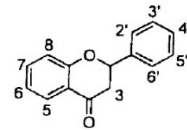
Flavones

Apigenin 5=7=4'=OH
 Luteolin 5=7=3'=4'=OH
 Diosmetin 5=7=3'=OH, 4'=OCH₃
 Tricin 5=7=4'=OH, 3'=5'=OCH₃
 Sinensetin 5=6=7=3'=4'=OCH₃
 Tangeretin 5=6=7=8=4'=OCH₃
 Nobiletin 5=6=7=8=3'=4'=OCH₃
 Isovitexin 5=7=4'=OH, 6 = Glucose



Isoflavones

Daidzein 7=4'=OH
 Genistein 5=7=4'=OH

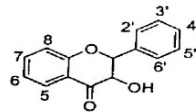


Flavanones

Naringenin 5=7=4'=OH
 Isosakuranetin 5=7=OH, 4'=OCH₃
 Eridictyol 5=7=3'=4'=OH
 Hesperitin 5,7,3'=OH, 4'=OCH₃

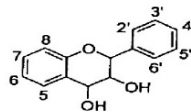
Flavanone glycosides

Prunin naringenin 7-glucoside
 Naringin naringenin 7-neohesperidoside
 Narirutin naringenin 7-rutinoside
 Hesperidin hesperitin 7-rutinoside

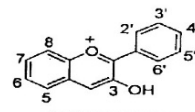


Flavanonols

Taxifolin 5=7=3'=4'=OH
 (dihydroquercetin)



Flavan-3,4-diols (leucoanthocyanidins)

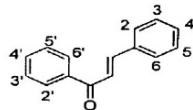


Anthocyanidins

Pelargonidin 5=7=4'=OH
 Cyanidin 5=7=3'=4'=OH
 Peonidin 5=7=4'=OH, 3'=OCH₃
 Delphinidin 5=7=3'=4'=5'=OH
 Petunidin 5=7=4'=5'=OH, 3'=OCH₃
 Malvidin 5=7=4'=OH, 3'=5'=OCH₃

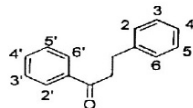
Anthocyanins

Cyanidin 3-glucoside
 Cyanidin 3-galactoside
 Cyanidin 3-arabinoside
 Cyanidin 3-rutinoside
 Malvidin 3-glucoside
 Malvidin 3,5-diglucoside



Chalcones

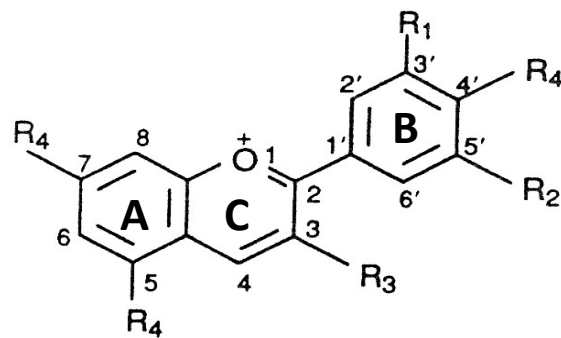
Butein 2'=4'=3=4=OH
 Licochalcone B 4'=3=4=OH, 2=OCH₃
 Okanin 2'=3'=4'=3=4=OH
 Chalconarigenin 2'=4'=6'=4=OH



Dihydrochalcones

Phloridzin 4'=6'=4=OH, 2'= O-glucosyl

ภาพที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Swain, 1976)

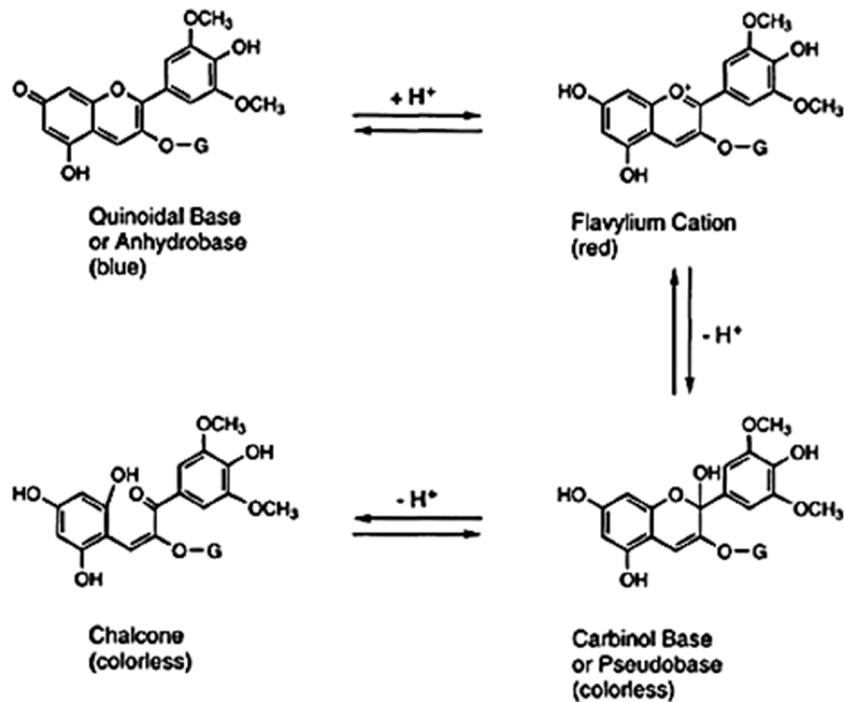


R ₁	H, OH or OCH ₃
R ₂	H, OH or OCH ₃
R ₃	H or Glycosyl
R ₄	OH or Glycosyl

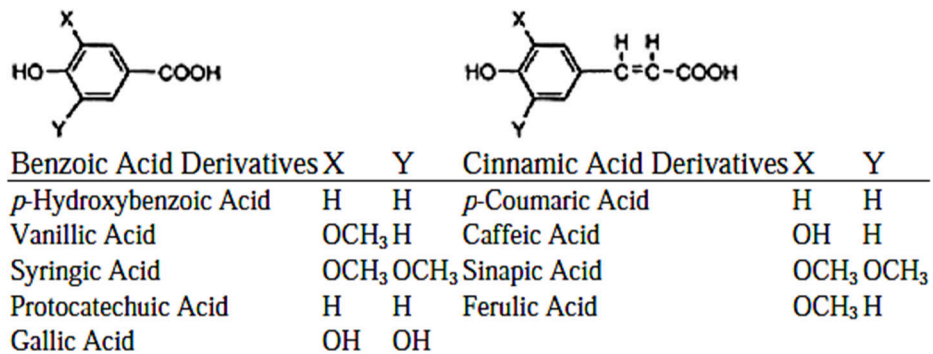
ภาพที่ 2.6 สูตรโครงสร้างหลักของสารแอนโทไซยานิน (Mazza and Miniati, 2000)

ตารางที่ 2.2 โครงสร้างของแอนโทไซยานิดินที่มีหมู่ต่างๆ เข้าแทนที่ในโครงสร้างหลักมีผลให้เกิดสีของแอนโทไซยานินที่ต่างกัน (Mazza and Miniati, 2000)

Name	Substitution Pattern						Color
	3	5	7	3'	4'	5'	
Aurantidin	OH	OH	OH	H	OH	H	Orange
Cyanidin	OH	OH	OH	OH	OH	H	Orange-red
Delphinidin	OH	OH	OH	OH	OH	OH	Bluish-red
Malvidin	OH	OH	OH	OMe	OMe	OMe	Bluish-red
Pelargonidin	OH	OH	OH	H	OH	H	Orange
Peonidin	OH	OH	OH	OMe	OH	H	Orange-red
Petunidin	OH	OH	OH	OMe	OH	OH	Bluish-red
Rosinidin	OH	OH	OMe	OMe	OH	H	Red
Tricetinidin	H	OH	OH	OH	OH	OH	Red



ภาพที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินในสีต่างๆ (Shahidi and Naczka, 2004)



ภาพที่ 2.8 สูตรโครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิก (Shahidi and Naczka, 2004)

สารประกอบฟีนอลิกมีหลายชนิด ได้แก่ แคตคอลล (catechol) กรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) แคตชิน (catechin) 3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-dihydroxyphenylalanine; DOPA) ไทโรซีน (tyrosine) และเอสเทอร์ของกรดซินนามิก (cinnamic acid ester) เป็นต้น (นิธิยา, 2543) (ภาพที่ 2.9) โดยชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช และส่วนประกอบต่างๆ ของพืช (Pratt and Hudson, 1990) (ตารางที่ 2.3)

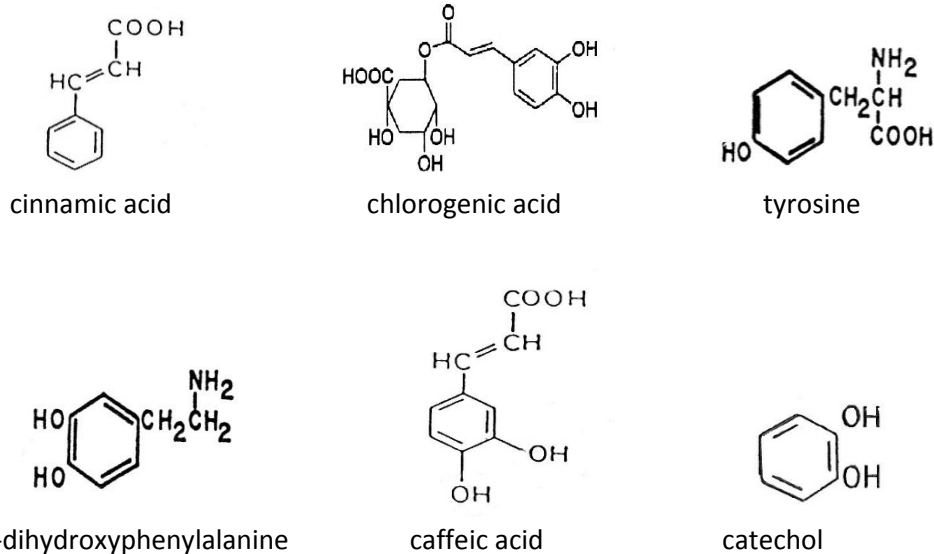
ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกแบ่งตามจำนวนคาร์บอนอะตอมในโครงสร้าง ซึ่งพบในพืชส่วนใหญ่ ดังนี้

1. กรดฟีนอลิก ประกอบด้วย กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) และกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acid)

- กรดไฮดรอกซีซินนามิก มักพบในพืช ได้แก่ กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดพาราคูมาริก (p- coumaric acid) กรดซินแนปิก (sinapic acid) และกรดเฟอร์ูริก (ferulic acid) ซึ่งเป็นกรดฟีนอลิกชนิดหลักที่พบในพืช เช่น ธัญพืช ผลไม้และผัก

- กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก พบปริมาณน้อยในพืช เช่น กรดแกลลิก (gallic acid) กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-hydroxybenzoic acid) และกรดวานิลลิก (vanillic acid) กรดไฮดรอกซีเบนโซอิกที่สามารถพบได้ทั่วไป กรดแกลลิก 2 โมเลกุล สามารถรวมตัวกันกลายเป็นกรดแอลลาจิก (ellagic acid) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดมะเร็ง และการต้านการเกิดออกซิเดชันได้

2. ฟลาโวนอยด์ เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากที่สุด พบทั่วไปในพืชที่มีสีเขียว และพบในทุกส่วนของพืช เช่น ราก ใบ เนื้อไม้ ดอก ผล เมล็ด โครงสร้างหลักเป็นฟลาเวน (flavan) หรือ 2-phenylbenzopyran ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม



ภาพ 2.9 สูตรโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกชนิดต่างๆ (Robards *et al.*, 1999)

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในส่วนประกอบต่างๆ ของพืช (Pratt and Hudson, 1990)

เนื้อเยื่อ	ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก
ผล	Cinnamic acids > Catechins ~ Leucoanthocyanins (Flavan-3,4-diols) > Flavonols
ใบ	Flavonols ~ Cinnamic acids > Catechins ~ Leucoanthocyanins
เนื้อไม้	Catechins ~ Leucoanthocyanins > Flavonols > Cinnamic acids
เปลือกไม้	As for wood but greater concentrations

2.4 แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ในผลิตภัณฑ์

แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นสารประกอบกลุ่มใหญ่ มีสูตรโครงสร้างคือ -C6-C3-C6- หรือ -C6-C1-C6- หรือ -C6-C2-C6- (C6 คือ หมู่ฟีนอล) พบมากในชา มะนาว ไวน์ ผิวของผลไม้ต่างๆ ผักสีม่วงแดง ผักใบเขียว สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ quercetin, kaempferol, quercetin, kaempferol, rutin, luteolin, epicatechin, epigallocatechin, cyanidin และ delphinidin (Rice-Evans *et al.*, 1996) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในปฏิกิริยาลูกโซ่ของชั้นตอนอินิทิเอชันและพรอพาเกชัน จึงสามารถยับยั้งหรือป้องกันอนุมูลอิสระที่ทำอันตรายแก่เซลล์ได้ (Radical scavenging antioxidants) สารเหล่านี้ได้แก่ วิตามินซี กรดยูริก bilirubin albumin วิตามินอี ubiquinol (reduced coenzyme Q10) แคลโรทีนอยด์ และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Papadimitrakou, 1999)

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างๆ โดยการดักจับอนุมูลอิสระโดยตรงหรือยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะ (เจนจิวรา และประสงค์, 2554; ขวัญใจ, 2552) สารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในเซลล์ต่างๆ รวมทั้งป้องกันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในร่างกายที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ของมนุษย์ สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติพบได้ทั้งในจุลินทรีย์ สัตว์ และพืช เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แซนโทน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) (เจนจิวรา และประสงค์, 2554)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มที่ดีที่สุดในการต้านออกซิเดชันโดยให้ electron หรือ hydrogen atom แก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระเสถียรและสารประกอบฟีนอลิกจะกลายเป็น phenoxy radical ไปจับกับ phenoxy radical อีกตัวหนึ่งเพื่อให้โมเลกุลเสถียรและไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปได้ หรือ phenoxy radical สูญเสีย electron หรือ hydrogen atom เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระตัวอื่น นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระยังขึ้นอยู่กับหมู่ hydroxyl หรือ methoxyl ซึ่งสามารถให้ electron หรือ hydrogen atom ได้หลายๆ ครั้ง ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระมากขึ้น (Shahidi and Naczk, 2004)

2.4.1 สารต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

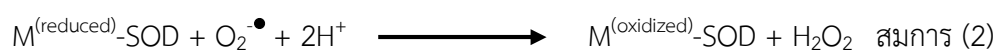
1. กลุ่มที่เป็นเอนไซม์ (enzymatic): มีหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ สามารถสร้างขึ้นภายในเซลล์ ซึ่งมีเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิดดังนี้

1.1 Superoxide dismutase (SOD): เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน superoxide anion radical ($O_2^{\bullet-}$) ให้เป็น hydrogen peroxide (H_2O_2) และ oxygen (O_2) ดังสมการ (3) พบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิต (Culotta *et al.*, 2006)

กลไกการต้านออกซิเดชันของ SOD มี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรก: กลุ่ม oxidized metal cofactor จะให้ electron 1 ตัวแก่ ($O_2^{\bullet-}$) กลายเป็น O_2 ดังสมการ (1)

ขั้นตอนที่ 2: reduced metal co-factor จะรับ electron 1 ตัวจาก ($O_2^{\bullet-}$) และทำปฏิกิริยาร่วมกับ 2 proton ได้เป็น H_2O_2 ดังสมการ (2)

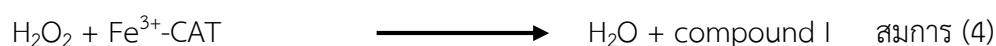


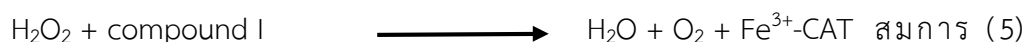
1.2 Catalase (CAT): เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน hydrogen peroxide (H_2O_2) ให้เป็นน้ำและออกซิเจน ดังสมการ (6) พบบริเวณ glyoxysome หรือ peroxisome, mitochondria, chloroplast, cytosol และ endoplasmic reticulum (ER) ภายในเซลล์ของพืช สัตว์ สาหร่ายและแบคทีเรีย

กลไกการต้านออกซิเดชันของ CAT มี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรก: co-factor ของเอนไซม์ (Fe^{3+} -CAT) จะรับ electron 2 ตัว จาก hydrogen peroxide เป็นน้ำและ compound I ($O=Fe^{5+}$ -CAT) ดังสมการ (4)

ขั้นตอนที่ 2: hydrogen peroxide จะให้ electron 2 ตัว แก่ compound I เพื่อให้ได้เป็นน้ำ oxygen และเอนไซม์กลับคืนมา ดังสมการ (5) (Halliwell and Gutteridge, 1999)



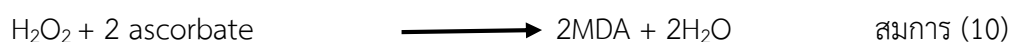


1.3 Ascorbate peroxidase (APX): มีหมู่ ferric เป็น co-factor เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน hydrogen peroxide (H_2O_2) ร่วมกับ ascorbate ให้เป็นน้ำและ monodehydroascorbate (MDA) ดังสมการ (10) พบบริเวณ thylakoid membrane และ stoma ของ chloroplast mitochondria และ cytosol ในพืช สัตว์และสาหร่าย (Mittler and Poulos, 2005; Halliwell and Gutteridge, 1999)

กลไกการต้านออกซิเดชันของ APX มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนแรก: hydrogen peroxide จะให้ electron 2 ตัวแก่ co-factor ของเอนไซม์ (Fe^{3+} P-APX) ได้เป็น compound I ($\text{O}=\text{Fe}^{4+}\text{P}^\bullet\text{-APX}$) และน้ำ ดังสมการ (7)

ขั้นตอนที่ 2 และ 3: นำเอนไซม์กลับมา โดย ascorbate ให้ electron 1 ตัวแก่ compound I ได้เป็น monodehydroascorbate (MDA) และ compound II ($\text{O}=\text{Fe}^{4+}\text{P-APX}$) ดังสมการ (8) และขั้นตอนสุดท้าย ascorbate อีกตัวหนึ่งให้ electron 1 ตัวแก่ compound II ได้เป็น monodehydroascorbate (MDA) น้ำและเอนไซม์กลับคืนมาดังสมการ (9)

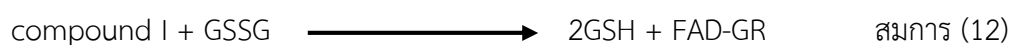
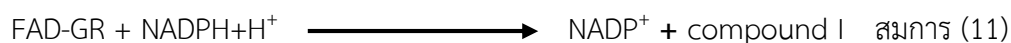


1.4 Glutathione reductase (GR): มีหมู่ co-enzyme เป็น FAD เปลี่ยนรูปของ oxidized form glutathione (GSSG) ให้เป็น reduced form (GSH) ดังสมการ (13) เพื่อใช้ในการเปลี่ยนรูปให้ dihydroascorbate (DHA) กลับไปเป็น ascorbate เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นของ APX หรือกำจัดอนุมูลอิสระอื่นโดยตรงต่อไป พบบริเวณ chloroplast, mitochondria และ cytosol ในพืช สัตว์และสาหร่าย (Halliwell and Gutteridge, 1999)

กลไกการต้านออกซิเดชันของ GR มี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรก: $\text{NADPH}+\text{H}^+$ จะให้ proton 2 ตัวแก่เอนไซม์ (FAD-GR) ได้เป็น compound I ($\text{FADH}_2\text{-GR}$) ดังสมการ (11)

ขั้นตอนที่ 2: oxidized form glutathione (GSSG) จะรับ proton 2 ตัวจาก compound I ได้เป็น reduced form (GSH) ดังสมการ (12)

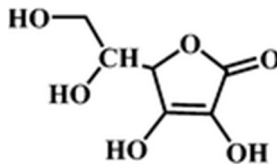


2. กลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic): เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์หรือสังเคราะห์ขึ้นเอง มีหน้าที่กำจัดหรือยับยั้งอนุมูลอิสระ ซึ่งมีหลากหลายชนิดที่น่าสนใจ ได้แก่

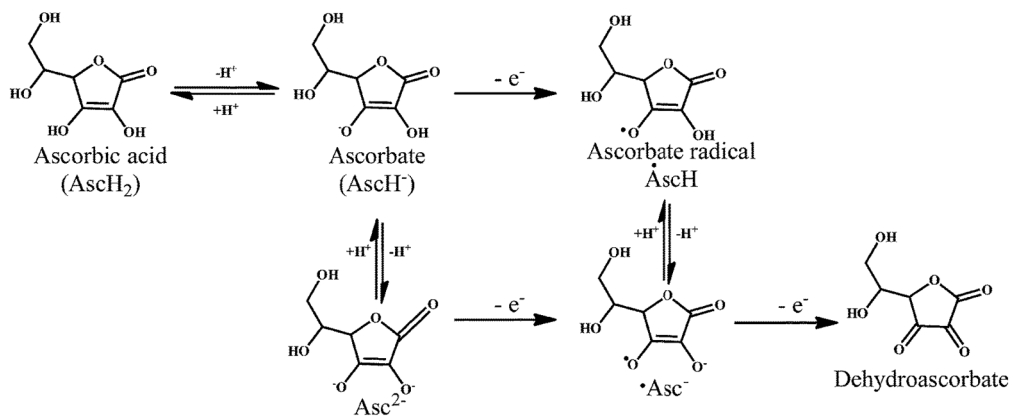
2.1 วิตามินซี (ascorbic acid) (ภาพที่ 2.9)

เป็นสารที่มีหน้าที่มากมายในกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต เป็นสารต้านออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพสูง เป็น co-factor ของเอนไซม์ในปฏิกิริยา เป็นสารที่สามารถกำจัดหรือยับยั้งอนุมูลอิสระเกือบทุกชนิดแบบไม่จำเพาะเจาะจง และสามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ภายในเซลล์ของพืชและสัตว์บางชนิด ยกเว้นในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (กลุ่มคนและลิง) ซึ่งไม่มีเอนไซม์ตัวสุดท้ายในการเปลี่ยนเป็น L-ascorbic acid จึงต้องรับวิตามินนี้จากภายนอก การสังเคราะห์วิตามินซีเกิดขึ้นบริเวณ inner membrane ของ mitochondria โดยมีสารตั้งต้นคือน้ำตาล glucose หรือ fructose และเข้าสู่วิถีสังเคราะห์จนได้เป็น L-ascorbic acid (Halliwell and Gutteridge, 1999)

กลไกการต้านออกซิเดชัน: มีการให้ electron แก่อนุมูลอิสระได้ 2 ตัว เมื่อเป็นสารละลายจะอยู่ในรูปไอออนลบเรียกว่า ascorbate ทำหน้าที่ให้ electron ตัวแรกแก่อนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ กลายเป็น semidehydroascorbate (SDA) หรือ ascorbyl radical หรือ MDA (ภาพที่ 2.10) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระแต่มีความเสถียรมากเนื่องจาก radical unpair electron delocalization หรือ unpair electron เกิด resonance เคลื่อนที่ไปรอบๆ โมเลกุลทำให้ semidehydroascorbate มีความเสถียรและสามารถให้ electron ตัวที่ 2 แก่อนุมูลอิสระตัวถัดไปได้เป็น dehydroascorbate (DHA) (ภาพที่ 2.11) (Nimse and Pal, 2015)



ภาพที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของวิตามินซี (Nimse and Pal, 2015)

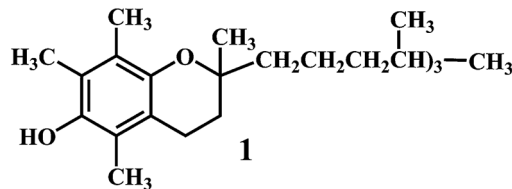


ภาพที่ 2.11 กลไกการต้านออกซิเดชันของวิตามินซี (Nimse and Pal, 2015)

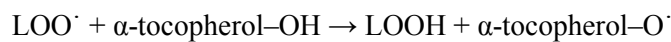
2.2 วิตามินอี (tocopherol) (ภาพที่ 2.12)

เกิดขึ้นจากกระบวนการ lipid peroxidation บริเวณ membrane ของเซลล์หรือ organelle ต่างๆ เช่น thylakoid membrane ของ chloroplast, inner และ outer membrane ของ mitochondria เป็นต้น มีหน้าที่กำจัดหรือยับยั้ง peroxy radicals และอนุมูลอิสระอื่นๆ ในปฏิกิริยา โดยสังเคราะห์ได้จากพืช เช่น ปาล์ม รำข้าว มะพร้าว ถั่วเหลือง เป็นต้น และสัตว์บางชนิดเท่านั้น ได้แก่ เนื้อและไข่ โดยมีสารตั้งต้นมาจาก 2 วิธีการสังเคราะห์ได้แก่ shikimic acid pathway คือ homogentistic acid (HGA) และ mevalonic acid pathway คือ phytyl-diphosphate (PDP) ทำปฏิกิริยาได้เป็น 2-methyl-6-phytylplastoquinol (MPBQ) และเข้าสู่วิถีสังเคราะห์วิตามินอี (tocochromanol pathway) ใน plastid ต่อไป

กลไกการต้านออกซิเดชัน (tocochromanol): ซึ่ง α -tocopherol มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดีที่สุด โดยให้ hydrogen radical ทางด้าน tocochromanol ring hydroxyl แก่อนุมูลอิสระ 1 ตัว ในกลุ่ม lipid peroxy radical (LOO^\bullet) หรืออนุมูลอิสระอื่นๆ ให้เปลี่ยนเป็นสารที่เสถียรและ tocopherol จะเปลี่ยนเป็น tocopherol radical จากนั้น electron ที่เหลืออยู่ของ tocopherol radical จะเคลื่อนย้ายภายในโมเลกุลทำให้ tocopherol radical เสถียร (ภาพที่ 2.13) (Nimse and Pal, 2015)



ภาพที่ 2.12 สูตรโครงสร้างของวิตามินอี (Nimse and Pal, 2015)



ภาพที่ 2.13 กลไกการต้านออกซิเดชันของวิตามินอี (Nimse and Pal, 2015)

2.3 แคโรทีนอยด์ (carotenoid)

ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระในกลุ่ม reactive oxygen species (ROS) ในกระบวนการต่าง ๆ เช่น photosynthesis, respiration และ lipid peroxidation เป็นต้น แคโรทีนอยด์พบมากในพืชพวกข้าว ผักและผลไม้ โดยเฉพาะส่วนที่มีสีแดง เหลือง หรือส้ม และอาจพบในสัตว์ เช่น กุ้งทะเล (lobster) และแบคทีเรียบางชนิด สังเคราะห์ใน plastid จาก mevalonic acid pathway ผ่านทาง isopentenylpyrophosphate (IPP) ได้สารตัวกลางคือ geranylgeranyl diphosphate (GGDP)

แล้วสังเคราะห์ต่อจนได้เป็นแคโรทีนอยด์ (ภาพที่ 2.14) ซึ่งชนิดของแคโรทีนอยด์ที่สำคัญได้แก่ β -carotene, lycopene, zeaxanthin เป็นต้น (ภาพที่ 2.15) (Nimse and Pal, 2015)

กลไกการต้านออกซิเดชัน (carotenoid; CAR): สามารถให้ electron แก่อนุมูลอิสระเช่น superoxide anion radical ($O_2^{\bullet-}$) ให้เป็น O_2 และ carotenoid radical (CAR^{\bullet}) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่เสถียรตั้งสมการ (14) นอกจากนี้ยังสามารถเกิดปฏิกิริยา addition of radical เกิดเป็นสารเชิงซ้อนซึ่งเสถียรตั้งสมการ (15) ส่วนในการกำจัด singlet oxygen (1O_2) นั้น CAR จะทำหน้าที่รับพลังงานส่วนที่เกินของ 1O_2 และกลายเป็น ground single oxygen (3O_2) ซึ่งเสถียรและไม่สามารถทำอันตรายแก่เซลล์ได้และ triplet carotenoid ซึ่งมีพลังงานสูงอยู่ภายในโมเลกุล ดังนั้นจึงต้องปลดปล่อยออกมาในรูปของความร้อนเพื่อให้ได้แคโรทีนอยด์กลับคืนมา ตั้งสมการ (16) และ (17)



2.4 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound)

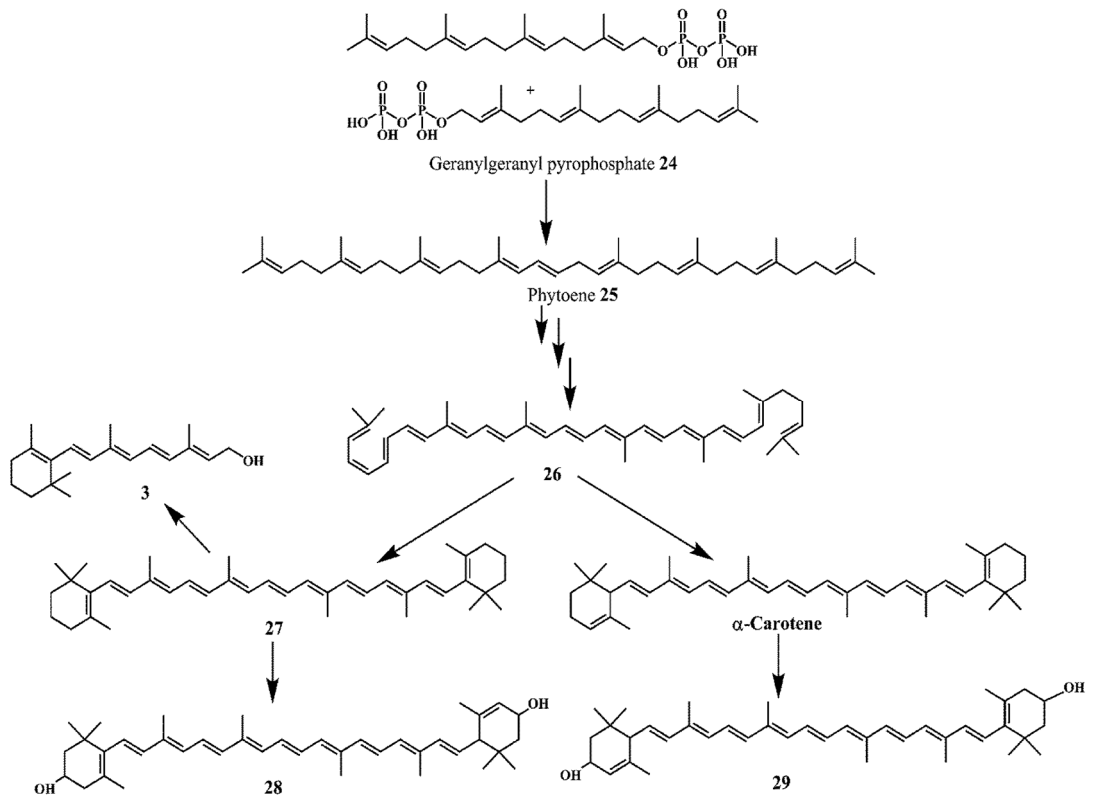
ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ ภายในเซลล์และพบเฉพาะในพืชเท่านั้น โดยสังเคราะห์จาก shikimic acid pathway ได้เป็นสารประกอบฟีนอลิกต่าง ๆ เกิดขึ้นที่ cytosol, endoplasmic reticulum และ vacuole (ภาพที่ 2.16) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (ศิริวรรณ และ สุวรรณ, 2527)

2.4.1 ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid)

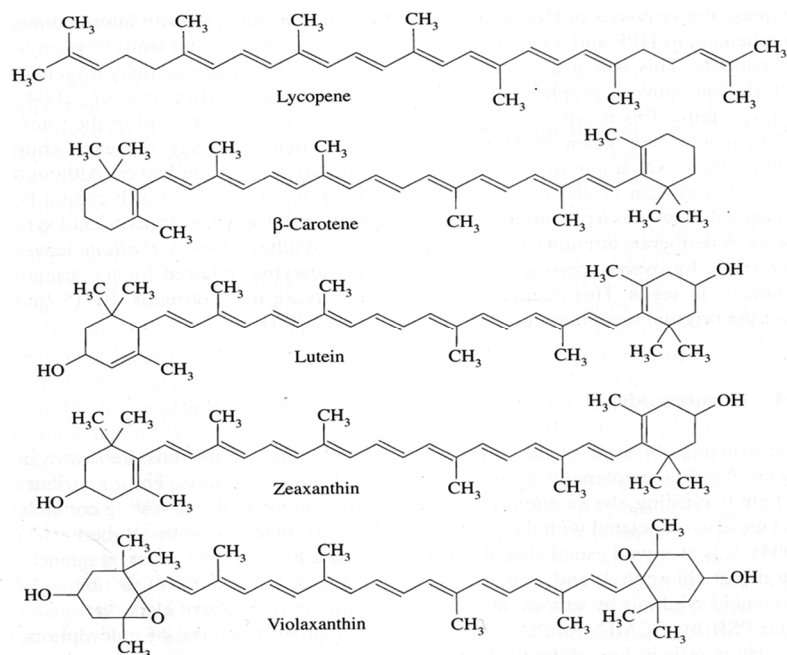
เป็นสารที่มีองค์ประกอบของวงแหวนเบนซีนต่อกับสายของคาร์บอนอีก 3 อะตอม ส่วนมากเป็นองค์ประกอบของลิกนิน ช่วยควบคุมการเจริญเติบโตและการต้านทานโรค พบมากในข้าว ธัญพืช อุ่น แอปเปิล เป็นต้น เช่น p-coumaric acid, caffeic acid, ferulic acid, eugenol และ isoeugenol (Rice-Evans, 1996)

2.4.2 โพลีฟีนอล (polyphenol)

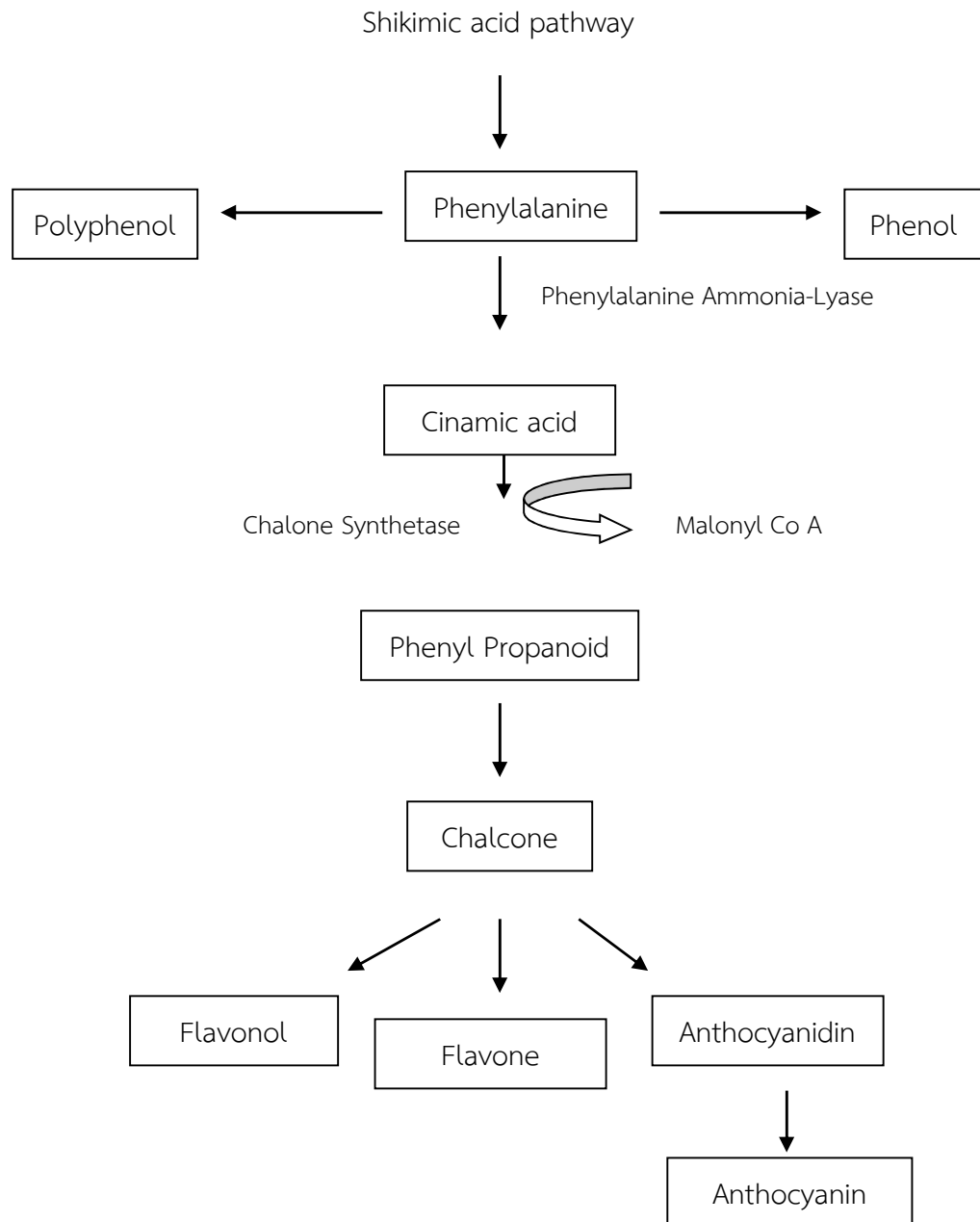
เป็นสารที่มีโครงสร้างของฟีนอลหรือฟีนิลโพรพานอยด์หลายๆ วงมาต่อกัน $(-C_6-C_3-C_6-)_n$ และ $(-C_6-C_3-)_n$ ตามลำดับ สามารถยับยั้งโลหะ (ตัวกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ) โดยเป็นตัวให้ proton หรือ electron แก่โลหะ (Rice-Evans, 1996) สารในกลุ่มนี้ได้แก่ ลิกนินและแทนนิน พบมากในชาเขียว ชาดำ กาแฟ โกโก้ กวี เป็นต้น (Shahidi and Naczki, 2004)



ภาพที่ 2.14 วิธีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ มีสารต่างๆ ดังนี้ lycopene (24), phytoene (25), vitamin A (3), carotenoid (26-29) (Nimse and Pal, 2015)



ภาพที่ 2.15 สูตรโครงสร้างของแคโรทีนอยด์บางชนิด (Nimse and Pal, 2015)



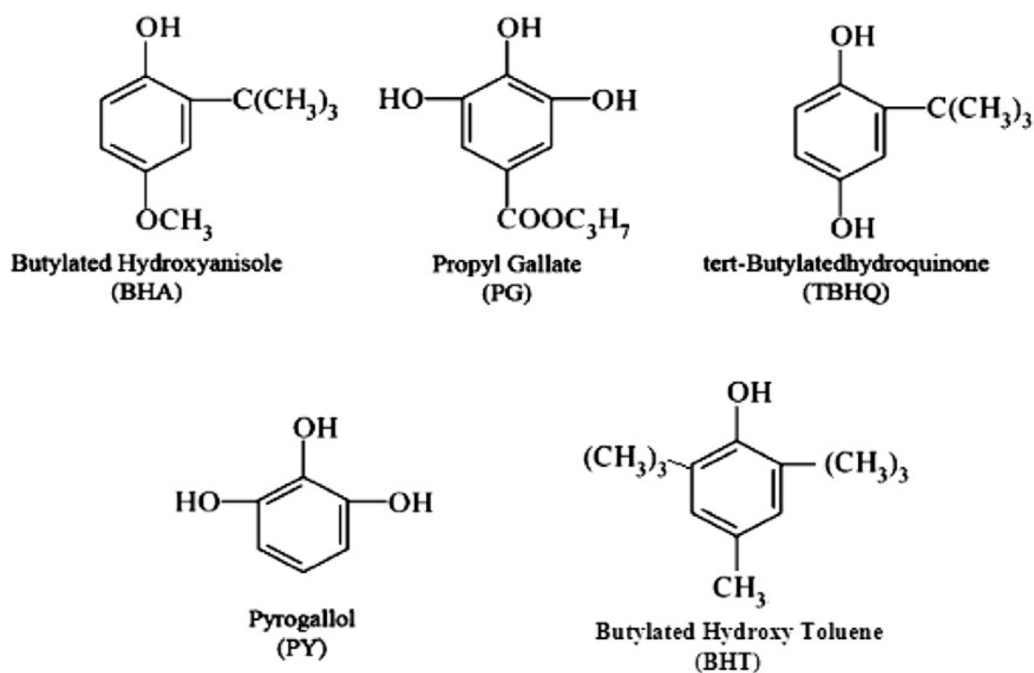
ภาพที่ 2.16 วิธี การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานิน (ดัดแปลงจาก Shahidi and Nacz, 2004; Rice-Evans, 1996)

2.4.3 ฟลาโวนอยด์ (flavonoid)

เป็นสารประกอบกลุ่มใหญ่ (-C6-C3-C6- หรือ -C6-C1-C6- หรือ -C6-C2-C6- (C6 คือ หมู่ฟีนอล)) สารในกลุ่มนี้ได้แก่ quercetin, kaempferol, quercetin, kaempferol, rutin, luteolin, epicatechin, epigallocatechin, cyanidin และ delphinidin (Rice-Evans, 1996; Shahidi and Naczk, 2004) พบมากในชา มะนาว ไวน์ ผิวของผลไม้ต่างๆ และผักใบเขียว

2.5 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidant)

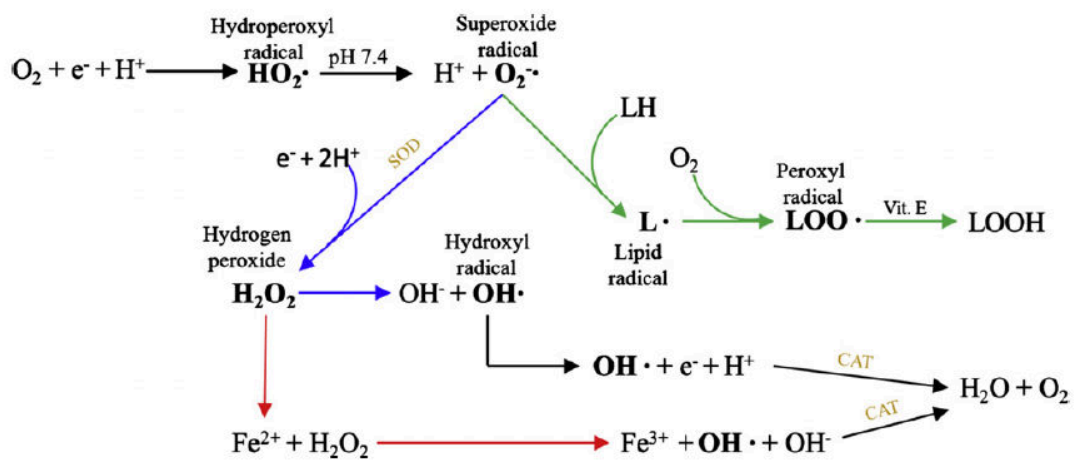
เป็นสารที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยใช้โครงสร้างสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในธรรมชาติมาดัดแปลง ให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีขึ้น (โอภา, 2550) สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์นี้ได้แก่ ได้แก่ propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylate hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) และ tertiary butylhydroquinone (ภาพที่ 2.17) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติที่เปลี่ยนไป (เจนจิรา และประสงค์, 2554)



ภาพที่ 2.17 โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Agarwal and Khurana, 2013)

2.6 อนุมูลอิสระ (free radical)

อนุมูลอิสระ เป็นอะตอมหรือโมเลกุล ที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ (unpaired electron) อยู่น้อย 1 ตัวโคจรรอบวงนอกสุด เป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยอนุมูลอิสระจะดึงหรือให้อิเล็กตรอนโมเลกุลข้างเคียงเพื่อให้ตัวเองเสถียร ทำให้โมเลกุลข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) (Cornelli, 2009) โดยทั่วไปจะได้จากธาตุ 3 ชนิด คือ ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ดังนั้น การเกิดอนุมูลอิสระจะเกิดจากการถ่ายโอนธาตุทั้งสาม (ภาพที่ 2.18)



ภาพที่ 2.18 รูปแบบปฏิกิริยาโดยรวมที่ทำให้เห็นรูปแบบของ ROS โดย ลูกศรสีเขียว แทน lipid peroxidation ลูกศรสีน้ำเงิน แทน Haber–Weiss reactions ลูกศรสีแดง แทน Fenton reactions (Marcio *et al.*, 2013)

อนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย เช่น บกพร่องของเซลล์ประสาท ระบบสื่อประสาทในสมอง หัวใจ สมอง และการเกิดโรคเมเร็ง ระดับความเป็นอันตรายของอนุมูลอิสระต่อร่างกายนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการออกซิไดซ์ (oxidized) สารชีวโมเลกุลในร่างกาย ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ reactive oxygen species (ROS) และยังพบในรูปของ reactive chlorine species และ reactive nitrogen species (Lockwood, 2007) ชีวโมเลกุลที่สำคัญในร่างกายที่ไวต่อการถูกออกซิไดส์ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และดีเอ็นเอ เป็นชีวโมเลกุลที่ถูกอนุมูลอิสระทำให้เกิดความเสียหาย เนื่องจากชีวโมเลกุลเหล่านี้มีอิเล็กตรอน หรืออะตอมไฮโดรเจนที่หลุดออกได้ง่าย และถูกออกซิไดซ์โดยอนุมูลอิสระ ทำให้คุณสมบัติและการทำงานของชีวโมเลกุลเปลี่ยนไปเกิดความบกพร่อง หรือถูกทำลาย อันเป็นเหตุของการเกิดโรคต่างๆ (โอภา, 2550)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tsai *et al.* (2002) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแอนโทไซยานินและสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากกลีบดอกของกระเจี๊ยบพันธุ์ F141 พบว่าศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงสัมพันธ์กับแอนโทไซยานินซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัด โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่พบขึ้นกับเวลาในการสกัดและปริมาณของกลีบดอกกระเจี๊ยบ นอกจากนี้อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษายังเป็นปัจจัยสำคัญในการรักษาปริมาณแอนโทไซยานินและสารต้านอนุมูลอิสระ

Shiri *et al.* (2011) ศึกษาในผลองุ่นพันธุ์ Shahaneh ที่บรรจุในถุง 2 ชนิด ได้แก่ polyethylene terephthalate (PET) และ polyvinylchloride (PVC) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบการเก็บรักษาผลผลิตในภาชนะบรรจุสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าชุดควบคุมระหว่างการเก็บรักษา

Agulheiro-Santos *et al.* (2014) ศึกษาในผล sweet cherry โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (1 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุและเก็บรักษาในสภาวะควบคุมบรรยากาศ พบว่าเก็บรักษาในภาชนะบรรจุและในสภาวะควบคุมบรรยากาศสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

Rinaldi *et al.* (2017) ศึกษาในผลเสาวรสพันธุ์ BRS Pérola do Cerrado ที่เก็บรักษาในถุง 2 ชนิด คือ ถุง LDPE ที่มีความหนา 100 และ 200 ไมโครเมตร, ถุง PVC ที่มีความหนา 12 และ 13 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกับไม่บรรจุภาชนะ (ชุดควบคุม) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 2 อุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (21.3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 77.8 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 14 วัน พบว่าการเก็บรักษาผลผลิตในภาชนะบรรจุสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าสีและการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าชุดควบคุม

2.7 เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของถั่วฝักยาว

สำหรับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของถั่วฝักยาวในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจน แต่มีเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของของผักและผลไม้ตัดแต่งที่กำหนดโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข จากประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 ลงวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2560 ข้อที่ 2.1.1 ผักและผลไม้ตัดแต่ง สลัดผัก เช่น ผักและผลไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดหรือถุงพลาสติก เป็นต้น

จำนวนจุลินทรีย์ CFU/กรัม

น้อยกว่า 1×10^6

จำนวนยีสต์ CFU/กรัม

น้อยกว่า 1,000

จำนวนรา CFU/กรัม	น้อยกว่า 500
<i>Escherichia coli</i> MPN/กรัม	น้อยกว่า 100
<i>Staphylococcus aureus</i> CFU/กรัม	น้อยกว่า 100
<i>Salmonella</i> sp. /25 กรัม	ไม่พบ
<i>Listeria monocytogenes</i> /25 กรัม	ไม่พบ

2.7.1 *Staphylococcus aureus*

เป็นเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นที่พบได้ในบริเวณผิวหนัง เยื่อของคนและพบในสิ่งแวดล้อมทั่วไป ถ้าร่างกายมีความผิดปกติเกิดขึ้น เช่น เกิดบาดแผลที่ผิวหนังภูมิคุ้มกันอ่อนแอ แผลจากการผ่าตัด เชื้อก็จะบุกรุกเข้าสู่เนื้อเยื่อชั้นใน และเข้าสู่กระแสเลือด แพร่กระจายไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกายและก่อให้เกิดโรคได้

ลักษณะของเชื้อ *S. aureus* มีรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ไมโครเมตร ลักษณะการเรียงตัวอาจอยู่เดี่ยวๆ หรืออยู่เป็นคู่ๆ ได้ แต่ส่วนมากมักอยู่รวมกันเป็นกลุ่มๆ กลุ่มใหญ่บ้าง เล็กบ้าง ไม่แน่นอน เชื้อติดสีแกรมบวก แต่ถ้าเลี้ยงไว้นานอาจติดสีแกรมลบได้ เชื้อไม่สร้างสปอร์ และไม่เคลื่อนที่ *S. aureus* เจริญได้ดีบนอาหารเลี้ยงเชื้อธรรมดาเกือบทุกชนิดที่ pH ระหว่าง 4.8-7.4 และ เจริญได้ในภาวะที่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แต่จะสร้างรงควัตถุได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง แบคทีเรีย *S. aureus* เป็นจุลินทรีย์ในวงศ์ Micrococcaceae ตระกูล *Staphylococcus* ซึ่งมีคุณสมบัติย้อมติดสีแกรมบวก แบคทีเรียมีลักษณะกลม 0.5–1.0 ไมครอน เรียงตัวเป็นกลุ่มคล้าย พวงองุ่น หรือเป็นคู่ หรือเป็นสายสั้นๆ ไม่เคลื่อนที่ โคโลนีมีสีเหลืองหรือสีทอง ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์เมมเบรน รวมถึงอุณหภูมิ อาหารเลี้ยงเชื้อ และสภาวะแวดล้อมที่ทำให้เชื้อเจริญ เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศที่มีออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 6–46 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเติบโต คือ 35-40 องศาเซลเซียส ทนความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที สามารถสร้างสารพิษที่อุณหภูมิมากกว่า 10 องศาเซลเซียส ช่วง pH หรือความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเติบโตอยู่ที่ 7-7.5 ส่วนค่า a_w (ปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการเติบโตต่ำสุดสำหรับการเติบโตในสภาพมีออกซิเจนประมาณ 0.86 สภาพไม่มีออกซิเจน 0.90 *S. aureus* บางสายพันธุ์ผลิตสารพิษ ที่เรียกว่า Enterotoxin ทำให้อาหารเป็นพิษ ซึ่งเอนเทอโรทอกซินที่ผลิตมีหลายชนิด แต่ชนิดที่พบว่าทำให้เกิดอาหารเป็นพิษบ่อย คือ ชนิดเอ และ ดี โดยช่วง อุณหภูมิที่เชื้อชนิดนี้จะผลิตเอนเทอโรทอกซิน อยู่ระหว่าง 15.6-46.1 องศาเซลเซียส และผลิตได้ดีที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

แหล่งที่พบเชื้อ แหล่งที่พบเชื้อ *S. aureus* เป็นเชื้อที่สามารถพบได้ ที่ผิวหนัง โพรงงุมก เยื่อ บูด ทางเดินหายใจ ทางเดินอาหารและบาดแผลที่เป็นฝีหนองรวมถึงในดิน ฝุ่นละออง เชื้อไม่สร้างรงคว

วัตถุ ในภาวะที่ร้อออกซิเจนหรือในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว โคโลนีบนอาหารวุ้นมีลักษณะกลม นูน เป็นมันเงา ขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และมีสีต่างๆ กัน เช่น *S. aureus* มีโคโลนีสีเหลืองทอง *S. epidermidis* และ *S. saprophyticus* มีโคโลนีสีขาว บางสายพันธุ์สามารถสร้างแคปซูลทำให้โคโลนีเป็นเมือก (Slime) ช่วยให้เชื้อมีความทนทานต่อการทำลายของยาปฏิชีวนะและภูมิคุ้มกันของร่างกาย เชื้อสามารถเจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียทั่วไป เช่น Nutrient agar (NA), Tryptic soy agar (TSA) และ Brain heart infusion agar (BHI) เป็นต้น อาหารที่มักพบเชื้อ *S. aureus* ปนเปื้อน ได้แก่ เนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อ สัตว์ปีก และผลิตภัณฑ์จากไข่ อาหารประเภทสลัด เช่น ไข่ นู่น่า เนื้อไก่ มันฝรั่ง มักกะโรนี ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ครีม พาย เอแคลร์ ช็อกโกแลต แซนวิช และผลิตภัณฑ์นม ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม และเก็บไว้เป็นเวลานานก่อนรับประทาน *S. aureus* ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษซึ่งเกิดจากการรับประทาน อาหารที่มีการปนเปื้อนสารพิษแม้ในปริมาณน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม ก็สามารถทำให้เกิดอาการเจ็บป่วย ได้สารพิษชนิดนี้จะมีปริมาณสูงมากเมื่อมีเชื้อ *S. aureus* ปนเปื้อนอยู่ในอาหาร 100,000 เซลล์ต่อกรัม อาหารทำให้เกิดโรค Acute infection (ฝีหนองแผลติดเชื้อ septicemia) และ Acute toxaemias (heat stable enterotoxin)

ลักษณะของการก่อโรค

1. การติดเชื้อที่ผิวหนัง การติดเชื้อ Staphylococcus ทำให้เกิดฝีอาจเกิดที่ส่วนใดของร่างกายก็ได้ ส่วนใหญ่เกิดที่ผิวหนัง ซึ่งเริ่มต้นจากการติดเชื้อที่ต่อมน้ำมันบริเวณที่เกิดฝีจะเกิดการอักเสบ มีการสะสมเม็ดเลือดขาว เกิดการตายของเนื้อเยื่อ เมื่อฝีเจริญเต็มที่บริเวณเนื้อเยื่อที่ตายจะเต็มไปด้วยเม็ด เลือดขาวที่ตายแล้วรวมทั้งแบคทีเรียที่เม็ดเลือดขาวไปกิน และมีไฟบรินมาล้อมรอบซึ่งภายในบริเวณ ฝินี้จะไม่มีเลือดมาเลี้ยง

ฝีและฝีฝักบัว (furuncles and carbuncles) การติดเชื้อมักเกิดที่ผิวหนัง โดยเกิดที่ผิวหนังชั้นนอกทำให้เกิดการอักเสบ เช่นรู ขุมขนอักเสบ เชื้อจะแพร่กระจายเข้าเนื้อเยื่อใต้หนังทำให้เกิดหนองกลายเป็นฝี (boil, furuncle) ส่วนฝีฝักบัว (carbuncle) คล้ายกับฝี แต่จะมีจำนวนมากกว่าและแพร่กระจายลึกลงในเนื้อเยื่อเส้นใย (fibrous tissue) ฝีฝักบัวมักเกิดที่คอหรือหลังส่วนบนซึ่งมีผิวหนังหนากว่า รูขุมขนอักเสบมักไม่ค่อยเจ็บ แต่เมื่อการติดเชื้อแพร่กระจายลึกลงในเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังจะเกิดการอักเสบ และฝีจะอ่อนนุ่ม ฝีส่วนใหญ่จะหายเองได้ใน 3-5 วัน โดยหนองจะไหลออกมา ความเจ็บปวดลดลงและหายไปเอง แต่ก็อาจติดเชื้อซ้ำในบริเวณใกล้เคียง

2. โรคผิวหนังหลุดลอก (scalded skin syndrome) หรือโรคริตเตอร์ (Ritter' disease) เป็นโรคผิวหนังที่เกิดจากเอกซ์โฟลิเอทีฟทอกซิน ซึ่งผิวหนังชั้นหนังกำพวด จะแยกออกและหลุดลอกออก กลายเป็นผิวหนังที่มีขอบม้วน และเห็นผิวหนังข้างใต้เป็นมันเยิ้ม จะมีอาการเจ็บปวดมาก ผิวหนังร้อนแดงและมีเลือดคั่ง พื้นที่ผิวหนังส่วนใหญ่มีการลอกออกเป็นเกล็ด หรือเป็นสะเก็ดโรคนี้นักพบในเด็กแรกเกิดและเด็กอายุต่ำกว่า 4 ปี ในผู้ใหญ่ไม่ค่อยเกิดยกเว้นผู้ป่วยที่มีภาวะภูมิคุ้มกันถูกกดไว้

3. โรคปอดบวม (Staphylococcal pneumonia) เป็นโรคที่สำคัญมากเพราะมีอัตราการตายสูง อาจเกิดขึ้นทันทีทันใดหรือติดเชื้อภายหลังจากเป็นโรคอื่นมาก่อน เช่นเมื่อป่วยเป็นไข้หวัดใหญ่ เด็กอายุต่ำกว่า 1 ปี มีความไวต่อโรคนี้นี้มาก การติดเชื้อมักเกิดในคนไข้ที่ระบบการป้องกันร่างกายบกพร่อง เด็กที่เป็นหัด คนที่เป็นไข้หวัดใหญ่คนไข้ในโรงพยาบาลที่รักษาด้วยยาปฏิชีวนะและสเตอโรยด์ คนที่กำลังรักษามะเร็งหรือ ได้รับยากดภูมิคุ้มกัน การติดเชื้อจะมีการตายของเนื้อเยื่อพร้อมกับเกิดฝีจำนวนมาก

4. ไชกระดูกอักเสบ (osteomyelitis) และโพรงข้อต่อมีหนอง (pyoarthrosis) ไชกระดูกอักเสบ (osteomyelitis) *S. aureus* เป็นสาเหตุสำคัญของไชกระดูกอักเสบ โรคนี้นี้มักเกิดในเด็กชายอายุต่ำกว่า 12 ปี ส่วนใหญ่จะเกิดตามหลังเมื่อมีการกระจายของเชื้อเข้ากระแสเลือดเมื่อเกิดบาดแผลหรือฝี เชื้อจะอาศัยอยู่ที่ไดอะไฟซิส (diaphysis) ของกระดูกยาว (long bones) ซึ่งอาจเป็นเพราะการหมุนเวียนเลือดเข้ามาในบริเวณนี้ เมื่อการติดเชื้อเกิดมากขึ้นจะมีการสะสมหนองและมากขึ้นจนไหลขึ้นมาที่ผิวของกระดูกเกิดเป็นหนองใต้เยื่อหุ้มกระดูก อาการของการเกิดไชกระดูกอักเสบจะมีไข้หนาวสั่น เจ็บปวดที่กระดูก มีการหดเกร็งของกล้ามเนื้อรอบๆ บริเวณนั้น เมื่อเกิดการติดเชื้อใกล้กับข้อต่อจะมีโรคแทรกเกิดขึ้นคือโพรงข้อต่อมีหนอง โพรงข้อต่อมีหนอง (pyoarthrosis) ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของผู้ป่วยที่เป็นโรคข้ออักเสบจากแบคทีเรียเกิดจากเชื้อ *S. aureus* โรคโพรงข้อต่อมีหนองอาจเกิดหลังจากการทำศัลยกรรมกระดูกร่วมกับการเกิดไชกระดูกอักเสบหรือเกิดการติดเชื้อที่ผิวหนังเฉพาะแห่ง หรือเกิดการติดเชื้อในข้อต่อระหว่างการฉีดสารบาง 15 ชนิดเข้าไปในข้อต่อ โดยเฉพาะในคนไข้ที่เป็นข้ออักเสบรูมาตอยด์ที่ได้รับสารคอร์ติโคสเตอโรยด์ การติดเชื้อ *Staphylococcus* ในข้อต่อจะทำลายกระดูกอ่อนในข้อต่อ และมีผลทำให้เกิดความพิการของข้อต่ออย่างถาวรตลอดไป

5. การติดเชื้อแบคทีเรียในกระแสเลือดและเยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ (bacteremia and endocarditis) การติดเชื้อแบคทีเรียในกระแสเลือดอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการติดเชื้อโดยเฉพาะที่ เช่นที่ผิวหนัง ทางเดินหายใจ หรือทางเดินระบบสืบพันธุ์และปัสสาวะ และมักพบในคนไข้ที่เป็นโรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด ความผิดปกติของเม็ดเลือดขาวแกรนูโลไซต์ (granulocyte) และภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง นอกจากนี้สิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่กระแสเลือดเช่นการสวนหัวใจ ก็เป็นสาเหตุให้เชื้อเข้าหลอดเลือดจนเกิดภาวะติดเชื้อในกระแสเลือด อาการที่เกิดจากการติดเชื้อในกระแสเลือด มีไข้ หนาวสั่น มีภาวะเกิดเป็นพิษ (systemic toxicity) และเกิดโรคแทรกคือเยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ เกิดการทำลายลิ้นหัวใจอย่างเฉียบพลัน และร้ายแรงจนถึงตายได้ ภายใน 2-3 วัน นอกจากจะรักษาด้วยยาปฏิชีวนะทัน เยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ เนื่องจาก *S. aureus* มีอัตราการตายสูงมากตั้งแต่ 40-80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับอายุคนไข้ และขึ้นอยู่กับความต้านทานของเชื้อต่อยาเพนิซิลลินด้วย

6. อาหารเป็นพิษ (food poisoning) สาเหตุเกิดจากการกินอาหารที่มีท็อกซินของเชื้อ *S. aureus* สายพันธุ์ที่สร้างเอนโทโรท็อกซิน อาหารนั้นมักถูกปนเปื้อนโดยผู้ประกอบอาหารที่มีเชื้ออยู่ในมือ และอาหารนั้นมักเก็บไว้ในตู้เย็นที่ไม่เย็นพอจึงทำให้เชื้อเจริญเติบโตและสร้างท็อกซินได้ อาหาร

ที่มักมีเชื้อปะปน ได้แก่อาหารพวกคัสตาร์ดหรือขนมปังที่มีครีม อาหารพวกแฮม เนื้อที่ผ่านกรรมวิธี การปรุงแล้ว ไอศกรีม เนยแข็ง (cottage cheese) และสลัดไก่ อาหารที่มีเอนเทอโรทอกซินปะปนมัก มีกลิ่น รส และสภาพของอาหารเป็นปกติ ปริมาณทอกซินที่มากพอจะทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษจะ สร้างขึ้นภายใน 4-6 ชั่วโมงที่ 30 องศาเซลเซียส อาการของโรคจะเกิดภายใน 2-6 ชั่วโมงหลังจากกิน อาหารเข้าไป โดยมีอาการเป็นตะคริวรุนแรง ปวดท้อง อาเจียน คลื่นเหียน ท้องร่วง อาจมีอาการเหงื่อ แดงและปวดศีรษะ แต่มักไม่มีไข้ อาการของโรคจะหายได้เร็วภายใน 6-8 ชั่วโมง

7. ซ็อก (toxic shock syndrome, TSS) *S. aureus* สายพันธุ์ที่สร้างทอกซิน (toxic shock syndrome toxin-1, TSST1) ทำให้เกิดโรคซ็อก TSS ซึ่งมักเกิดในหญิงสาวที่ใช้ผ้าอนามัยแบบสอด แต่บุคคลอื่นๆ รวมทั้งเด็ก และผู้ชายที่เป็นฝี หรือผู้ติดเชื้อ *Staphylococcus* ก็อาจเป็นโรค TSS ได้ อาการของโรคมีไข้ความดันต่ำ ท้องร่วง เยื่อบุตาอักเสบ ปวดกล้ามเนื้อ และเกิดผื่นแดงของไข้ดำแดง หลังจากนั้นมีการลอกของ ผิวหนังออกเป็นแผ่นหรือสะเก็ด

2.7.2 *Escherichia coli*

Bacteria เป็นเซลล์เดี่ยวมีขนาดเล็ก มีรูปร่างหลายแบบ ทั้งทรงกลม (Coccus) แท่ง (Rod) และเป็นเกลียว (Spiral) เซลล์อาจเรียงตัวเป็นสาย (Chain) หรือเกาะกันเป็นกลุ่ม ใน 1 มิลลิลิตรจะมี แบคทีเรียได้สูงถึง 10^{12} เซลล์ แบคทีเรียจะแบ่งตัวได้อย่างรวดเร็วจาก 1 เป็น 2 เซลล์ทุกๆ 20 นาที (โดยประมาณขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย) ดังนั้นเมื่อมีแบคทีเรียเพียง 1 เซลล์ บนลงอาหารเพียง 8-10 ชั่วโมงจะมีแบคทีเรียมากกว่า 1 ล้านเซลล์ แบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้างแคปซูล บางชนิดสร้าง สปอร์ หรือบางพวกจะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้แบคทีเรียพวกนี้สามารถทนความร้อนได้สูงเกิน อุณหภูมิน้ำเดือด ยากที่จะทำลายให้เชื้อหมดไปได้ บางชนิดสามารถสร้างสีได้ แบคทีเรียถูกแบ่ง ออกเป็น 2 กลุ่มตามการติดสีย้อมด้วยวิธีแกรม คือ แกรมลบสีแดง และแกรมบวกสีน้ำเงิน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

1. สารอาหาร แบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้ดีอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ซึ่งมีสารอาหาร ต่างๆ สูง
2. ความเป็นกรดต่าง (pH) ของอาหาร ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงในการเจริญและ ทำลายจุลินทรีย์ แบคทีเรียโดยทั่วไปจะไม่ทนต่อสภาวะที่เป็นกรดส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีในช่วง pH 5.5-7.0 และแบคทีเรียที่อยู่ในอาหารที่มีความเป็นกรดสูง จะทนต่อความร้อนได้น้อยกว่าในขณะที่อยู่ในอาหารที่มีความเป็นกรดน้อยกว่า
3. a_w แบคทีเรียต้องการความชื้นและปริมาณน้ำที่ไ้มากกว่าราและยีสต์ ดังนั้นอาหาร ที่มีค่า a_w สูง ตั้งแต่ 0.9 ขึ้นไปจะเกิดการเน่าเสียได้ง่ายโดยแบคทีเรีย
4. ปริมาณออกซิเจน แบคทีเรียแต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณออกซิเจนในการ เจริญเติบโตต่างกัน ดังนี้ 4.1 Aerobic bacteria คือ แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต เช่น เชื้อ *Escherichia coli* และ *Pseudomonas* 4.2 Anaerobic bacteria คือ แบคทีเรียสามารถ

เจริญได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน เช่น Clostridium 4.3 Facultative bacteria คือ แบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน เช่น Staphylococcus, Lactic acid bacteria

5. อุณหภูมิ แบคทีเรียแต่ละประเภทมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญต่างกัน สามารถแบ่งกลุ่มแบคทีเรียตามอุณหภูมิที่เจริญได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ 5.1 Psychrophile หมายถึง แบคทีเรียที่ชอบความเย็นสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส และเจริญได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 15-20 องศาเซลเซียส 5.2 Mesophile หมายถึง แบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 10-50 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับอาหารจะอยู่ในประเภทนี้ 5.3 Thermophile หมายถึงแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 50-55 องศาเซลเซียส

Escherichia coli เป็นแบคทีเรียจัดอยู่ในวงศ์ Enterobacteriaceae มีลักษณะรูปร่างท่อน มีขนาดกว้าง 1.1-1.5 ไมโครเมตร และยาว 2-6 ไมโครเมตร แกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ เคลื่อนที่ได้โดยแฟลกเจลลารอบเซลล์ สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มี และไม่มีออกซิเจน ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งคาร์บอนแต่ไม่ใช้ซิเตรท อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตคือ 37 องศาเซลเซียส และสามารถเจริญในช่วงความเป็นกรดต่างที่พีเอช 4.4-9.0 และวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) 0.95 *E. coli* จัดเป็นพวกแบคทีเรียโคลิฟอร์มที่สร้างสารพิษได้ ซึ่งก่อให้เกิดอาหารเป็นพิษ (food poisoning) เป็นเชื้อแบคทีเรียที่พบในทางเดินอาหารของสัตว์เลือดอุ่น และคน สามารถตรวจพบได้ในอุจจาระ มักปนเปื้อนสู่อาหารโดยมากับน้ำและวัตถุดิบประเภทเนื้อสัตว์ และผักสด (Bacon and Sofos, 2003) ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สุขลักษณะของอาหาร และน้ำ โดยปกติเชื้อ *E. coli* ที่อยู่ประจำถิ่นจะเป็นสายพันธุ์ที่ไม่ก่อให้เกิดโรค แต่อาจฉวยโอกาสก่อโรคในคนที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่องได้ ดังนั้นหากพบเชื้อชนิดนี้ในอาหารก็แสดงถึงการปนเปื้อนของเสียจากกระบวนการผลิต และการบรรจุไม่สะอาด และการเก็บรักษาที่ไม่มีคุณภาพ แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ 1. Enterotoxigenic *E. coli* (ETEC) 2. Enteropathogenic *E. coli* (EPEC) 3. Enteroinvasive *E. coli* (EIEC) 4. Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC)

1. Enterotoxigenic *E. coli* (ETEC) เป็น *E. coli* ซึ่งทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ อาการทั่วไปคือ ท้องร่วง ปวดท้อง ไข้ต่ำ คลื่นไส้ และ อ่อนเพลีย การติดเชื้อหรือแสดงอาการต่อเมื่อได้รับเชื้อเข้าไปประมาณ 100 ล้าน ถึง 10 พันล้านเซลล์ โดยระหว่างการเจริญจะสร้าง สารพิษที่ทำให้เกิดการหลั่งของของเหลว (fluid secretion) การแพร่เชื้อ เกิดจากการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนเชื้อหรือจากน้ำแต่พบได้น้อยกว่า ถ้ารับเชื้อเข้าไปมาก จะมีอาการภายใน 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ การระบาดมีไม่บ่อยนัก หากมีการปฏิบัติทาง สุขลักษณะที่ดี ปัจจุบันการวิเคราะห์เชื้อตัวนี้ในอาหารทำได้โดยใช้ gene probe ซึ่งใช้ เวลา 3 วัน หรือใช้วิธีทดสอบพิษโดยทั่วไป ซึ่งใช้เวลาอย่างน้อยที่สุด 7 วัน 18

2. Enteropathogenic *E. coli* (EPEC) เป็น *E. coli* ที่ส่วนใหญ่มักก่อโรคในเด็กอายุต่ำกว่า 1 ขวบ โดยมีอาการถ่ายเป็นน้ำ มีมูก ไข่ และเกิดอาการขาดน้ำ โดย EPEC สามารถทำให้ microvilli หลุดลอกจากเซลล์ลำไส้ได้ อาการท้องร่วงในเด็กเล็กอาจรุนแรงและเป็นได้นานจนอาจชีวิตได้ง่าย ปริมาณเชื้อที่ก่อโรค อาจในปริมาณต่ำหรือมากกว่า 10⁶ เซลล์ EPEC แพร่ไปในคนและสัตว์หลายชนิด เช่น วัวควาย และหมู อาหารที่มัก พบเชื้อนี้คือ เนื้อวัวและเนื้อไก่ดิบและจากน้ำเชื้อ EPEC อาจตรวจได้จากการตกตะกอน (Agglutination) กับ antiserum ที่จะตรวจหา EPEC O serogroup แต่การตรวจยืนยัน ต้องทำทั้ง O และ H typing

3. Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC) เชื้อ *E. coli* กลุ่มนี้เป็นที่รู้จักกันตั้งแต่ ค.ศ. 1982 หลังจากตรวจพบว่าเป็นสาเหตุการระบาดของ hemorrhagic colitis ในอเมริกา โดย serotype ส่วนใหญ่ที่เป็นสาเหตุ ได้แก่ O157: H7 และอาจมีบาง serotype ที่ตรวจพบได้เช่น O26 : H11 และ O111 : H8 โดยเชื้อนี้ สามารถ สร้าง Shiga-like toxin ที่คล้ายคลึงกับ toxin ของ *S. dysenteriae* เรียกว่า verotoxin ทำให้เกิด ความเสียหายให้แก่เยื่อของลำไส้ ความรุนแรงคือทำให้เกิดลำไส้ใหญ่ อักเสบ จนตกเลือด (hemorrhagic colitis) อาการคือ ปวดท้องรุนแรง อุจจาระร่วงเป็นตอนแรก แต่กลายเป็นมูกเลือด ต่อมา อาจมีอาการเวียนบ้าง และมีไข้ต่ำหรือไม่มี บางครั้งคนไข้มีอาการจากการมีสารในปัสสาวะ ปะปนในเลือด (Hemolytic uremic syndrome: HUS) ที่มีลักษณะพิเศษคืออาจทำให้ไตวายถาวร ได้ อาหารที่มักปนเปื้อนเชื้อนี้ได้แก่ เนื้อบด หรือแฮมเบอร์เกอร์ดิบหรือไม่ค่อยสุก นอกจากนี้ยังอาจ พบใน น้ำผลไม้ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ไส้กรอกหมูปนเนื้อวัว ผักกาดหอม เนื้อสัตว์ป่า และนมดิบ

4. Enteroinvasive *E. coli* (EIEC) เชื้อสายพันธุ์นี้ จะเกิดพยาธิสภาพที่ลำไส้ชั้น mucosa และ submucosa มีลักษณะคล้ายคลึงกับที่เกิดจากเชื้อ Shigella โดยที่เชื้อนี้มีคุณสมบัติในการบุกรุกเข้าไปในเซลล์เยื่อ รวมทั้ง แบ่งตัวได้ อาการทางคลินิกมีลักษณะแบบโรคบิด (dysentery) อาการเจ็บป่วย จะเริ่มจากอาการ ปวดบิดในท้อง ถ่ายเป็นน้ำ ปวดเบ่ง ไข่ ต่อมาจะเริ่มถ่ายอุจจาระบ่อย มีลักษณะเป็นมูกปนเลือดครั้ง ละน้อยๆ EIEC อาจวินิจฉัยหรือสงสัยได้ในอุจจาระ ผู้ป่วยที่ถ่ายเป็นมูกชัดเจน และมีเม็ดเลือดขาว จำนวนมาก แหล่งรังโรคพบได้ในคนการแพร่เชื้อกลุ่มนี้ พบหลักฐานน้อยมากที่แสดงว่ามี การแพร่กระจายเชื้อโรคนี้อาหารที่ปนเปื้อนเชื้อ

2.8 แยม

แยม มาร์มาเลด แยมทำจากผักและผลไม้แยม หรือสมุนไพรรชนิดเดียวหรือตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ผสมกับสารให้ความหวาน อาจผสมกรดซิตริก เพคติน น้ำผักหรือน้ำผลไม้เข้มข้นด้วยก็ได้ แล้วทำให้มีความ ชื้นหนืดพอเหมาะ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547) วิธีการทำแยมนำผัก ผลไม้ มาปั่นหรือหั่นให้เป็นชิ้นเล็กนำมาต้มจากนั้นเติมน้ำตาลหรือสารให้ความหวาน เติมกรดซิตริก จากนั้นเคี่ยวให้ข้นหนืด จะได้แยมที่มีลักษณะเป็นเจล มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าร้อยละ 65-70

องศาบริกซ์ มีค่า pH 2.8-3.5 รสเปรี้ยวอมหวาน หรือสามารถตรวจสอบและควบคุมการเกิดเจลของ แยมโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 103-105 องศาเซลเซียส (ดรุณี เอ็ดเวิร์ดส์ และคณะ, 2556)

2.8.1 ส่วนประกอบในการทำแยม (วิศนี วรรณนิม, 2552)

1.1 เนื้อผลไม้ ผลไม้ที่นำมาใช้ในการทำแยมสามารถใช้ได้ทั้งเนื้อผลไม้ และน้ำผลไม้ ควรเป็นผลไม้ที่แก่จัดหรือสุกเต็มที่ ไม่ควรใช้ผลไม้ที่สุกงอมเกินไป เนื่องจากเอนไซม์ตามธรรมชาติที่มี จะทำลายโครงสร้างของสารประกอบเพคติน อาจทำจากผลไม้ชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกัน

1.2 สารให้ความหวาน เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตแยม ช่วยให้มีความหวาน และให้เนื้อแก่ผลิตภัณฑ์ สารให้ความหวานที่นิยมใช้คือน้ำตาลซูโครส น้ำตาลจะช่วยให้เพคติน สามารถเกิดเป็นโครงร่างในการเกิดเจล ปริมาณน้ำตาลที่ใช้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณเพคติน หากใช้ปริมาณเพคตินสูงจะใช้ปริมาณน้ำตาลต่อน้ำหนักของผลไม้สูง และหากผลไม้ที่ใช้มีความเป็น กรดค่า pH ต่ำ (มีรสเปรี้ยว) จะใช้ปริมาณน้ำตาลต่อน้ำหนักผลไม้หรือน้ำผลไม้ต่ำ ปริมาณน้ำตาลแยม และเยลลี่ไม่ควรสูงกว่า 70 องศาบริกซ์ (นงลักษณ์ งามพิระพงศ์, 2557)

1.3 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่า pH มีความสำคัญต่อความคงตัวของเจล ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้แยมคงตัวมากที่สุดคือ pH 3.2 หากค่า pH ลดลงจะให้เจลมีความแข็งเพิ่มขึ้น หากค่า pH สูงกว่า 3.5 เจลที่ได้จะมีลักษณะอ่อนตัวหรืออาจจะไม่เกิดเจล โดยกรดที่นิยมใช้เติมใน ผลิตภัณฑ์แยม เช่น กรดซิตริก กรดแลกติก และ กรด มาลิก เป็นต้น หรืออาจจะใช้พืชที่รสเปรี้ยว เช่น เสาวรส มะนาว ส้ม กระเจี๊ยบ เป็นต้น

1.4 เพคติน เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่ได้จากการแตกตัวของโปรโตเพคติน เป็น พอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ ตำแหน่ง β 1-4 หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในโมเลกุลของกรดกาแล็กทูโรนิกบางส่วนจะถูกเอสเทอร์ ไฟด์ด้วยหมู่เมทิลได้เป็นเมทอกซิลเอสเทอร์ และมีบางส่วนยังคงเหลือเป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ เพคตินเป็นสารที่ทำให้เกิดโครงร่างแหทำให้เกิดเป็นเจล เพิ่มความข้นหนืดและความคงตัว นิยมใช้ใน ผลิตภัณฑ์ แยม มาร์มาเลด ปริมาณเพคตินที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-1.5 –ขึ้นอยู่กับ ชนิดของผลไม้ ปริมาณน้ำตาล และค่า pH (กันยารัตน์ บรรจงแจ่ม, 2552)

2.8.2 ขั้นตอนการทำแยม

ในขั้นตอนการทำแยมการเตรียมผลไม้ นำผลไม้บางชนิดต้องมาปั่นให้ละเอียดและ กรองแยกน้ำและกาก (อาจจะไม่กรองขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้) จากนั้นนำน้ำผลไม้ไปให้ความร้อน แบบพาสเจอร์ไรซ์ และเนื้อหรือกากสามารถนำมาใช้เติมในการทำแยมได้ ที่มีปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมดให้ได้ประมาณ 65-68 องศาบริกซ์ บรรจุขวดแก้วที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 85 องศา เซลเซียส

2.9 เสาวรส (Passion Fruit)

ในปัจจุบันการรับประทานผักและผลไม้เป็นที่ยอมรับว่าเป็นอาหารที่สามารถป้องกันโรคได้ โดยเฉพาะโรคร้ายแรงหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจและมะเร็ง เนื่องจากผักและผลไม้อุดมไปด้วยวิตามินซี วิตามินอี แคโรทีนอยด์ (เบต้าแคโรทีน ไลโคปีน ลูทีนและ ซีแซนทีน) ซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ คุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน สร้างภูมิคุ้มกันและป้องกันการเกิดโรคต่างๆ ในมนุษย์ (Pertuzatti *et al.*, 2015)

เสาวรส เป็นผลไม้เพื่อสุขภาพชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดในแถบทวีปอเมริกาใต้ ผลมีลักษณะกลม ผลอ่อนจะมีสีเขียว มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Passiflora edulis Sims* เสาวรสมีสองชนิด คือ ชนิดผลสีม่วงและผลสีเหลือง แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย น่าน เพชรบูรณ์ ระยอง ตราด ปราจีนบุรี บุรีรัมย์ ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรี ชุมพร นราธิวาสและสุราษฎร์ธานี เป็นต้น (พิเชษฐ์ ชุ่มใจ, 2555)

2.9.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลักษณะดอกเป็นดอกเดี่ยวสมบูรณ์เพศ ต้น ดอกเสาวรสจะเกิดที่ข้อบริเวณโคนก้านใบของเถาใหม่พร้อมกับการเจริญของเถา พันธุ์ผลสีเหลืองส่วนใหญ่ผสมตัวเองไม่ติดต้องผสม ผลเสาวรสเป็นผลเดี่ยว สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 50-70 วัน หลังติดผล ผลมีลักษณะ กลม รูปไข่ หรือผลรียาว ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ภายในผลมีเมล็ดสีน้ำตาลเข้มหรือดำเป็นจำนวนมากแต่ละเมล็ดจะถูกหุ้มด้วยรกซึ่งบรรจุน้ำสีเหลืองมีลักษณะเหนียวข้น ชนิดและพันธุ์เสาวรสสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังนี้ (พิเชษฐ์ ชุ่มใจ, 2555)

1.1 เสาวรสชนิดผลสีม่วง ผลจะเป็นสีม่วงผลมีลักษณะ กลมหรือรูปไข่ ดอกสามารถผสมตัวเองได้ติดดอกจะบานในตอนเช้าผลสุกมีรสหวานและกลิ่นหอม เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 4-5 เซนติเมตร น้ำหนัก 50-60 กรัมต่อผล

1.2 เสาวรสชนิดผลสีเหลือง ผลจะมีสีเหลืองผลมีขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 6 เซนติเมตร น้ำหนัก ประมาณ 80-120 กรัมต่อผล เนื้อในให้ความเป็นกรดสูง จึงมีรสเปรี้ยวมาก

2.9.2 คุณค่าทางโภชนาการของเสาวรส

เสาวรสเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุรวมอยู่หลายชนิด ซึ่งได้แก่ วิตามินซี วิตามินเอ วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 กรดโฟลิก ธาตุแคลเซียม ธาตุเหล็ก ธาตุแมกนีเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโพแทสเซียม ธาตุสังกะสี และมีสารแคโรทีนอยด์ จึงช่วยบำรุงสายตาและผิวพรรณ ช่วยชะลอการเกิดริ้วรอยแห่งวัยด้วยสารต่อต้านอนุมูลอิสระ และช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรง ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการด้านอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของเสาวรส

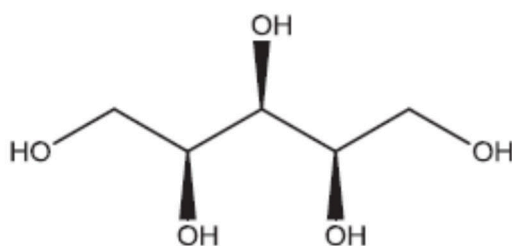
คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ/100 g เสาวรส
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	64
โปรตีน (กรัม)	1.8
ไขมัน (กรัม)	0.4
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	15.2
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	20
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	48
วิตามิน บี 1 (มิลลิกรัม)	10.01
วิตามิน บี 2 (มิลลิกรัม)	0.06
วิตามิน บี 3 (มิลลิกรัม)	1.4
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	15

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2546)

2.10 สารให้ความหวาน

สารให้ความหวาน (sweetener) มีคุณสมบัติให้รสหวานคล้ายน้ำตาลแต่ให้พลังงานน้อยกว่า สารให้ความหวานมีหลายชนิดและมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ในปัจจุบันสารให้ความหวานถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิด เพื่อลดปริมาณการบริโภคน้ำตาล สำหรับผู้ที่ต้องการลดหรือจำกัดปริมาณแคลอรีจากอาหาร สารให้ความหวานสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้ (กันยรัตน์ บรรจงแจ่ม, 2552; นงลักษณ์ งามพิระพงศ์, 2557)

2.10.1 สารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ (nutritive sweeteners) เป็นกลุ่มน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) หรือโพลีออล (polyols) เป็นสารที่ให้พลังงาน มีผลต่อระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด สารให้ความหวานในกลุ่มนี้ ได้แก่ เช่น sorbitol, mannitol, xylitol, maltitol, isomalt, lactitol



ภาพที่ 2.19 โครงสร้างไซลิทอล

ที่มา : Albuquerque (2014)

1.1 ไชลิทอล เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม สูตรโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2.19 ไชลิทอลสามารถละลายได้ใกล้เคียงซูโครส อุณหภูมิสูงไชลิทอลจะละลายได้ดีกว่าซูโครส พบได้จากผักผลไม้และเปลือกไม้ เช่น ต้นเบิร์ช พลับ แพร์ กากอ้อย ชั่งข้าวโพด ถั่วเชสนัท และถั่ววอลนัท เป็นต้น ไชลิทอลเป็นสารให้ความหวานให้พลังงานต่ำ ซึ่งให้พลังงานน้อยกว่า น้ำตาลซูโครสถึงร้อยละ 40 และถูกดูดซึมช้า จึงถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน และถูกนำมาใช้อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้แก่ หมากฝรั่ง ลูกอม แยม เยลลี่ น้ำยาบ้วนปาก ยาสีฟัน เป็นต้น การบริโภคในปริมาณมากอาจทำให้เกิดปกติในระบบทางเดินอาหาร และเกิดอาการท้องร่วง สำหรับเด็กไม่ควรบริโภคเกินวันละ 30 กรัม สำหรับผู้ใหญ่สามารถบริโภคได้วันละไม่เกิน 200-300 กรัม (Albuquerque, 2014; ลลิตา พานิชผล, 2550)

ไชลิทอลให้ความใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครส จึงทำให้สามารถไชลิทอลในปริมาณที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกับน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ได้ ปริมาณความหวานและการให้พลังงานของสารให้ความหวานชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำตาลซูโครสแสดงดังตารางที่ 2.5 ไชลิทอลดูดความชื้นได้ดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 77 และในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดน้ำก็จะเพิ่มขึ้นแม้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (ลลิตา พานิชผล, 2550)

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบความหวานและพลังงานของสารให้ความหวานกับน้ำตาลซูโครส

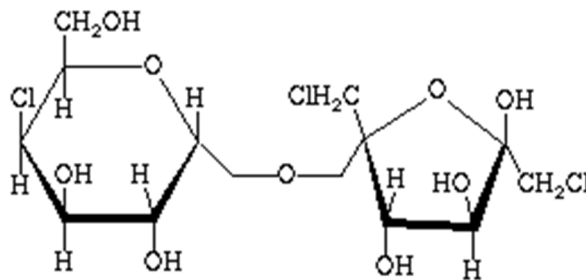
สารให้ความหวาน	ปริมาณความหวาน (ให้ซูโครสมีความหวานเท่ากับ 1)	พลังงาน (กิโลแคลอรี/กรัม)
ซูโครส	1.0	4.0
กลูโคส	0.6	4.0
ฟรักโทส	2.0	4.0
แลคโตส	0.3	4.0
กาแลคโตส	0.6	4.0
แอสปาร์แทม	200.0	4.0
ซอร์บิทอล	0.6	2.6
ไชลิทอล	1.0	2.4
มอลทิทอล	0.9	2.1
ไอโซมอลต์	0.5	2.0
แลคติตอล	0.4	2.0
แมนนิทอล	0.6	1.6
ซูคราโลส	600.0	0.0
แซ็กคาริน	300.0	0.0
อะซิซัลเฟมเค	200.0	0.0

ที่มา : ADA Report (2004) ; กัณยารัตน์ บรรจงแจ่ม (2552)

2.10.2 สารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ (non-nutritive sweeteners)

เป็นสารให้ความหวานเทียม (artificial sweetening agent) เป็นสารที่ไม่ให้พลังงานจึงไม่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด ได้แก่ saccharin, cyclamate, aspartame, sucralose, stevioside

2.1 ซูคราโลส (sucralose) มีความหวานประมาณ 400-800 เท่าของน้ำตาลซูโครส มีลักษณะเป็นผลึกแข็งสีขาว มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงและในสภาวะที่เป็นกรดได้ดี ไม่เกิดรสขมหลังบริโภคและร่างกายจะไม่ดูดซึม จึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย (Miller, 1991) นอกจากนี้ The Calorie Control Council (2002) กล่าวถึงซูคราโลสว่ามีรสชาติคล้ายน้ำตาลทราย สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มพลังงานต่ำหลายชนิด เช่น แยม เยลลี่ หมากฝรั่ง คุกกี้ เค้ก ใส่นมและพาย ซูคราโลสถูกสร้างจากการใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารตั้งต้น แล้วแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิล 3 ตำแหน่งด้วยอะตอมสารคลอไรด์ ทำให้มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับน้ำตาล (ดังภาพที่ 2.20) แต่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้แต่ยังคงให้รสหวานและไม่มีรสขมติดลิ้นใกล้เคียงน้ำตาล (กรรณิกา โปธินันทวงศ์ และคณะ, 2549)



ภาพที่ 2.20 โครงสร้างโมเลกุลของซูคราโลส

ที่มา : เจนจิรา ตันติพิริยะ นริศรา แซ่ลื้อ และชญานันท์ ทองวานิช (2549)

2.11 สารแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินพบในผักและผลไม้ มีช่วงสีที่กว้างตั้งแต่สีแดงถึงสีน้ำเงิน แอนโทไซยานินพบได้มากหลายแหล่ง เช่น องุ่น เรดเคอร์แรนท์ แบลคเคอร์แรนท์ ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ แอปเปิ้ลเชอร์รี่ กะหล่ำแดง มะเขือม่วง ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งจัดเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ รงควัตถุที่ละลายอยู่ในแซปแวคิวโอล (vacuolar sap) ของพืช สามารถละลายน้ำได้ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภทชนิดไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Non-hydroxyl solvent) (Peter and Noble, 2012)

2.11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน

1.1 อุณหภูมิและแสงสว่าง แอนโทไซยานินมีความคงทนต่อความร้อนได้ดีและเพียงพอสำหรับการใช้ในกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น แยม การต้มน้ำตาล และผลไม้กระป๋อง การเกิด acylation กับโมเลกุลน้ำตาลจะเพิ่มความคงทนต่อความร้อนและแสงมากขึ้น เช่น กะหล่ำปลี

แดง ประกอบด้วย Mono- และ Di-acylated anthocyanin มาก จึงทำให้มีความคงทนต่อความร้อน และแสงดี อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิและความร้อนจะทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน กลไกของการสลายตัวของแอนโทไซยานินด้วยความ ร้อนมี 3 ทาง คือ (Damodaran *et.al.*, 2008)

1.1.1 Flavylum cation เปลี่ยนเป็น quinonoidal base และสุดท้ายจะกลายเป็นอนุพันธ์ของ coumarinc และส่วนประกอบเหมือนกับ B-ring

1.1.2 Flavylum cation เปลี่ยนเป็น cabinal base ซึ่งไม่มีสี แล้วจะเปลี่ยนไปสู่ chalcone สุดท้ายจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาล

1.1.3 แบบที่สามจะคล้ายกันกับแบบอื่น ยกเว้น chalcone ในผลิตภัณฑ์มีกลไกการสลายตัวของแอนโทไซยานินด้วยความร้อนขึ้นอยู่กับประเภทของแอนโทไซยานินและอุณหภูมิที่จะสลาย

1.2 ออกซิเจนและกรดแอสคอร์บิก ออกซิเจนมีส่งผลต่อแอนโทไซยานินภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือสภาวะบรรยากาศที่มีไนโตรเจน แอนโทไซยานินจะมีความคงตัวกว่าสภาวะที่มีออกซิเจน ไอออนของโลหะและกรดแอสคอร์บิกก็มีส่วนในการทำให้เกิดการออกซิเดชันสารประกอบแอนโทไซยานินเช่นกัน (Skrede and Wrolstad, 2002)

1.3 ความเป็นกรดต่าง (pH) แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติของการบอกค่า pH ได้โดยสารละลายแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 1 ไปยัง 4 6 8 12 ถึง 13 ค่า pH เพื่อให้ได้ระดับสีที่สีจึงควรใช้แอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ไม่ควรเกิน 4

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กันยารัตน์ บรรจงแจ่ม (2552) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมมะเขือเทศลดพลังงาน โดยใช้น้ำตาลแอลกอฮอล์ 2 ชนิด (ซอร์บิทอลและไซลิทอล) ในการทดแทนน้ำตาลบางส่วน 3 ระดับร้อยละ 25, 30 และ 35 ในแยมมะเขือเทศ พบว่า เมื่อระดับการลดพลังงานมากขึ้น ความแข็งแรงของเจลมีค่าลดลงและแตกต่างจากแยมสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) และน้ำตาลแอลกอฮอล์ทั้งสองชนิดให้ค่าความแข็งแรงของเจลไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และจากการลดพลังงานในแยมมะเขือเทศโดยใช้ซอร์บิทอลร่วมกับน้ำตาล 3 ระดับร้อยละ 25, 30 และ 35 ร่วมกับคาราจีแนน 3 ระดับร้อยละ 1.2, 1.4 และ 1.6 ของน้ำหนักสูตร พบว่าระดับการลดพลังงาน และปริมาณคาราจีแนนมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของเจล ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน โดยแยมที่มีระดับการลดพลังงานร้อยละ 35 และใช้คาราจีแนนร่วมในปริมาณร้อยละ 1.6 สามารถเซทตัวเป็นเจลได้ดี ไม่แตกต่างกับแยมสูตรควบคุม ($p > 0.05$) ผลิตภัณฑ์แยมมะเขือเทศลดพลังงานที่พัฒนาได้ประกอบด้วย น้ำมะเขือเทศร้อยละ 50.33 ซอร์บิทอลร้อยละ 40 ขึ้นมะเขือเทศแช่อิ่มร้อยละ 7 คาราจีแนนร้อยละ 1.6 กรดซิตริกร้อยละ 0.7 แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0. อะซิซัลเฟมแคร์ร้อยละ 0.0 มีค่า pH 3.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 65.0 องศาบริกซ์ ค่า a_w 0.81 ไม่มีโคลิฟอร์ม ยีสต์ และเชื้อรา ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

Basu *et al.* (2013) ศึกษาผลของการทดแทนสตีวีโอไซด์ และซูคราโลสต่อลักษณะรีโพลีสเปกตรัม สี และลักษณะทางจุลภาคของแยมมะม่วง พบว่า สามารถทดแทนสตีวีโอไซด์ และซูคราโลส แทนน้ำตาลทรายได้เพียงร้อยละ 25 เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณของสตีวีโอไซด์ และซูคราโลสทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของแยมมะม่วงลดลงทำให้ค่า yield stress ของแยมลดลงซึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งของเจลลดลงด้วย ส่วนค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าโครมา (C) เพิ่มขึ้นเมื่อทดแทนน้ำตาลทรายด้วยสตีวีโอไซด์และซูคราโลส

Belovic *et al.* (2017) ศึกษาการพัฒนาแยมพลังงานต่ำ ด้วยการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจากกากมะเขือเทศ โดยทำการผลิตแยม 4 สูตร ดังนี้ สูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) เติมซูโครสและไม่เติมเพคติน สูตรที่ 2 และ 3 ทดแทนซูโครสด้วยสารสกัดหญ้าหวานร้อยละ 50 และสูตรที่ 4 ทดแทนโดยใช้ฟรุคโตสและสารสกัดหญ้าหวาน พบว่าแยมสูตรที่ 1 และ 2 ที่เตรียมโดยไม่มีส่วนผสมของเพคตินจะมีความคงตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25-90 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นแยมที่มาจากน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลจากผลไม้จึงทำให้มีความคงตัวอยู่ได้ ส่วนแยมสูตรที่ 3 และ 4 การประเมินด้านประสาทสัมผัสผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการกระจายตัวสูงกว่า เนื่องจากกากมะเขือเทศสามารถจับกับโครงสร้างของเพคตินได้ดี แยมทั้ง 4 สูตรมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 17.23-43.81 และมีค่าพลังงานอยู่ในช่วง 87.1-193.7 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งต่ำกว่าแยมทางการค้า

Abid *et al.* (2018) ศึกษาการผลิตแยมทับทิมที่ใช้น้ำตาลทรายที่ร้อยละ 10 20 และ 30 และใช้เพคตินเมทที่มีเมทอกซิลต่ำร้อยละ 0.2 0.7 และ 1.2 พบว่า แยมทับทิมสูตรที่ใช้น้ำตาลร้อยละ 30 และเพคตินร้อยละ 0.2 ได้รับความชอบสูงสุด และมีค่า pH ของแยมทับทิมที่ใช้เพคตินเชิงการค้าอยู่ในช่วง 2.88-3.11 และแยมที่ใช้เพคตินที่สกัดจากเปลือกทับทิมร้อยละ 0.2 มีคะแนนการยอมรับด้านความหวาน ด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัสมากกว่าตัวอย่างอื่น

จากรายงานการศึกษาข้างต้นเกี่ยวกับแอนโทไซยานิน สารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงสารประกอบฟีนอลิก ในพืชชนิดต่างๆ น่าจะเป็นแนวทางในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษาและเพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยพัฒนาในรูปแบบของผลิตภัณฑ์แยมจากถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่ใช้สารให้ความหวานชนิดอื่นๆ แทนน้ำตาล เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แยมที่มีปริมาณน้ำตาลลดลง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งความรู้ที่ได้จะนำไปเป็นข้อมูลในการเผยแพร่ให้ความรู้แก่ผู้สนใจต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

การทดลองที่ 2 ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

3.2 พืชตัวอย่าง

พืชตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ ถั่วฝักยาวสีม่วงพันธุ์สิรินธรเบอร์ 1 (ภาพที่ 3.1) ทำการเก็บเกี่ยวในระยะแก่ทางการค้า (commercial maturity) ในแปลงทดลอง จังหวัดราชบุรี



ภาพที่ 3.1 ดอกถั่วฝักยาว (A) และฝักถั่วฝักยาว (B) สีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่ใช้ในการทดลอง

3.3 การเตรียมตัวอย่างพืช

นำเมล็ดถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 จากสาขาพืชผัก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ นำมาปลูกทดสอบในแปลงทดลอง จังหวัดราชบุรี

3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์

1. สารเคมี

- 1.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ยี่ห้อ RCI Labscan ประเทศไทย
- 1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
- 1.3 สารมาตรฐาน โทรลอกซ์ (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid; Trolox) ยี่ห้อ Aldrich ประเทศเยอรมัน
- 1.4 เอทานอล (Ethanol) ยี่ห้อ Apex Alco ประเทศไทย
- 1.5 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
- 1.6 กรดแกลลิก (Gallic acid) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
- 1.7 สารมาตรฐาน 2,2-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮดราซิล (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl radical; DPPH) ยี่ห้อ Aldrich ประเทศเยอรมัน
- 1.8 โพลินฟินอล (Folin Ciocalteu's phenol reagent) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
- 1.9 กรดอะซิติก (Acetic acid) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
- 1.10 โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1 เครื่องวัดสี (Chroma meter) ยี่ห้อ Minolta Camera รุ่น CR – 400, Japan
- 2.2 เวอร์เนียร์
- 2.3 เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge) ยี่ห้อ Thermo รุ่น Sorvall Legend X1R, Germany
- 2.4 pH meter ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น S20 seveneasy™ pH, USA
- 2.5 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น ML204/01 ยี่ห้อ Mettler Toledo
- 2.6 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204/01 ยี่ห้อ Mettler Toledo
- 2.7 เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง UV-VIS spectrophotometer (UV-Vis Spectronic)
- 2.8 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ยี่ห้อ pyrex
- 2.9 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ยี่ห้อ pyrex
- 2.10 บีกเกอร์ (Beaker) ยี่ห้อ pyrex
- 2.11 ไมโครปิเปตต์ (Micropipette)
- 2.12 กระบอกตวง (cylinder) ยี่ห้อ pyrex

การเตรียมผลิตพืชตัวอย่าง

การปลูกและการดูแลรักษา นำเมล็ดพันธุ์ถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ปลูกในแปลงทดลอง ในช่วงปลายของฤดูหนาว (มกราคม-มีนาคม) โดยหยอดเมล็ด จำนวน 3-5 เมล็ดต่อหลุม แล้วถอนแยกให้ เหลือหลุมละ 2 ต้น ใช้ระยะระหว่างแถว 1 เมตร ระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ก่อนปลูกมีการเตรียมดิน โดยใส่ปุ๋ยคอกอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ การให้น้ำหลังจากปลูกจะให้น้ำช่วงเช้าและเย็นพอชุ่ม การใส่ ปุ๋ย หลังจากเมล็ดงอกเป็นเวลา 10 วัน ใส่ปุ๋ยยูเรีย (40% N) ทุกๆ 7 วัน จำนวน 2 ครั้ง และใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตราส่วน 50 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 2 ครั้ง คือเมื่ออายุ 30 และ 35 วันหลังปลูก และใส่ปุ๋ยต่อเนื่อง ในปริมาณเหมาะสมจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต การปักค้ำ ทำเป็นรูปประจําสูง 2 เมตร กำจัดวัชพืชเมื่อ ถั่วฝักยาวอายุ 18 และ 37 วันหลังปลูก (ภาพที่ 3.2 และ 3.3)



ภาพที่ 3.2 ถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระยะใบจริงคู่แรกเจริญเติบโตเต็มที่ในแปลงทดลอง



ภาพที่ 3.3 การปักค้ำในแปลงทดลองของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

การติดฉลากดอกของถั่วฝักยาว จะทำการติดฉลากดอกถั่วฝักยาวภายหลังดอกบาน โดยใช้ป้ายขนาดเล็กคล้องที่โคนของดอกถั่วฝักยาวเพื่อบอกอายุของฝักถั่วฝักยาวระหว่างการพัฒนาของฝักในแปลงทดลองและเก็บเกี่ยวได้ระยะเดียวกัน (ภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 การติดฉลากของดอกถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแปลงทดลอง

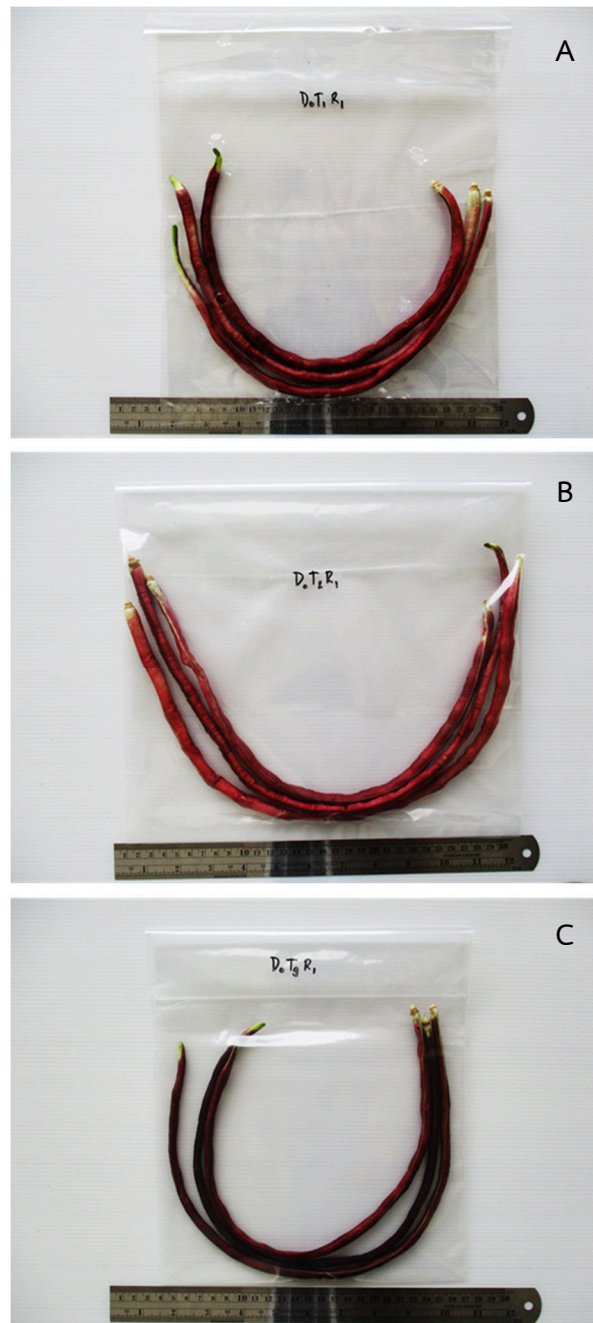
การเก็บเกี่ยว

เริ่มเก็บเกี่ยวฝักสดได้ตั้งแต่อายุเฉลี่ย 46 วันหลังปลูก จนถึง 66 วันหลังปลูก โดยมีความสูงของต้นในสัปดาห์ที่ 2 หลังปลูกต้นมีค่าเฉลี่ย 29.67 เซนติเมตร และมียึดตัวอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งมีความสูงเฉลี่ย 325.9 เซนติเมตร ที่ระยะเก็บเกี่ยวฝักสดครั้งแรก และหลังจากนั้นถั่วฝักยาวจะเน้นการเจริญด้านการสืบพันธุ์มากกว่า อายุฝักของถั่วฝักยาวประมาณ 9-11 วันหลังดอกบานเป็นระยะที่ฝักยึดตัวอย่างเต็มที่ สามารถเก็บเกี่ยวฝักสดเพื่อบริโภค เมื่อฝักเจริญเต็มที่ที่มีความยาวฝักเฉลี่ย 59.2 เซนติเมตร ความกว้างฝักเฉลี่ย 0.87 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยต่อฝัก 33.5 กรัม หลังจากวันที่ 11 เมล็ดเริ่มเข้าสู่ระยะสุกแก่ เห็นเมล็ดพองชัดเจน ฝักไม่เรียบ ความยาวฝักคงที่ โดยทยอยเก็บฝักอ่อนเป็นระยะทุกๆ 2-4 วัน สามารถเก็บฝักได้นานประมาณ 1 เดือน ขึ้นอยู่กับการดูแลในแต่ละรอบของการปลูก

ตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

ทำการเก็บตัวอย่างถั่วฝักยาวที่มีอายุ 10-11 วันหลังดอกบาน จำนวน 480 ฝัก คัดเลือกจากขนาดสีภายนอกของเปลือกผล ไม่มีรอยช้ำและตำหนิจากโรคและแมลงเพื่อใช้ในการทดลอง การทดลองจะดำเนินการด้วยการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized designs; CRD) นำฝักมาทำความ

สะอาด และบรรจุใส่ภาชนะบรรจุ 3 แบบได้แก่ ถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู, ถุง PE แบบไม่เจาะรู และถุงซิปล จำนวนถุงละ 3 ฟัก รวมจำนวน 20 ฟักต่อภาชนะบรรจุ (ภาพที่ 3.5) นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5 ± 2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 14 วัน ทำการวิเคราะห์ผลในแต่ละชุดการทดลองทุกๆ 2 วัน โดยวิเคราะห์ผลต่างๆ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.5 การบรรจุถั่วฝักยาวในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ; ถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู (A), ถุง PE แบบไม่เจาะรู (B) และถุงซิปล (C)

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.1 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (Fresh Weight; g/pod)

ชั่งน้ำหนักฝักสดในแต่ละชุดการทดลองที่เก็บรักษา จำนวนชุดละ 20 ฝัก บันทึกผลการทดลองและนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

1.2 ความแน่นเนื้อของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (Firmness; N)

นำฝักสดในแต่ละชุดการทดลองที่เก็บรักษา จำนวนชุดละ 20 ฝัก นำมาวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่องวัดวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness tester) จะใช้ cone probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หัวตัด บันทึกแรงกดที่วัดได้ มีหน่วยเป็นนิวตัน นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

1.3 การเปลี่ยนแปลงสี (L^* , a^* , b^* , C^* และ H° value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 โดยใช้เครื่องวัดสี (Chroma meter)

การวัดสีทำการสุ่มวัดในแต่ละชุดการทดลองที่ทำการเก็บรักษาของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 โดยใช้เครื่องวัดสี บันทึกค่าสีที่วัดได้ในรูปของ L^* , a^* , b^* , C^* และ H° (ภาพที่ 3.6)

ค่า L^* เป็นค่าที่แสดงสีดำและสีขาวของวัตถุ มีค่าตั้งแต่ 0-100

ถ้าค่า L^* ที่มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง วัตถุมีสีดำ หากค่า L^* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึง วัตถุมีสีขาว

ค่า a^* เป็นค่าที่แสดงสีแดงและสีเขียว

ถ้าค่า a^* มีค่าเป็นบวก หมายถึง วัตถุมีสีแดง หากค่า a^* มีค่าเป็นลบ หมายถึง วัตถุมีสีเขียว

ค่า b^* เป็นค่าที่แสดงสีเหลืองและสีน้ำเงิน

ถ้าค่า b^* มีค่าเป็นบวก หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง หากค่า b^* มีค่าเป็นลบ หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน

เมื่อทั้ง a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีเทา

นำค่า a^* และ b^* มาคำนวณหาค่า Chroma (C^*) และ Hue angle (H°) ได้จากสมการ

$$\text{Chroma } (C^*) = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\text{Hue angle } (H^\circ) = \arctangent (b^*/a^*)$$

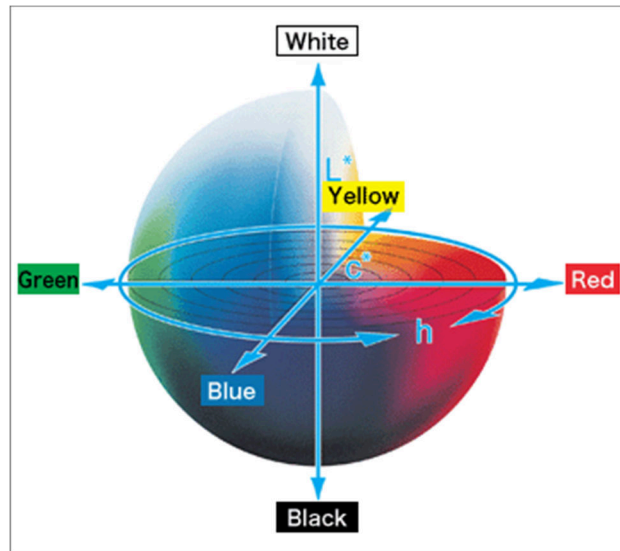
ค่า chroma หรือค่า C^* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มของสีที่ปรากฏ

ค่า C^* ที่สูงเข้าใกล้ 60 แสดงว่าความเข้มของสีนั้นจะยิ่งมากขึ้น

ค่า hue angle หรือค่า H° เป็นค่าที่บอกถึงสีที่แท้จริงของวัตถุ

ถ้าค่า hue มีค่าเข้าใกล้ 0 องศา แสดงว่าวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีแดง ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 90 องศา แสดงว่าวัตถุอยู่ในกลุ่มสีเหลือง

หากมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา แสดงว่าวัตถุอยู่ในกลุ่มสีเขียว และหากมีค่าเข้าใกล้ 270 องศา แสดงว่าวัตถุอยู่ในกลุ่มสีน้ำเงิน



ภาพที่ 3.6 L^* , C^* and H^0 color space (Konicaminolta, 2015)

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

1.4 ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity; mmole Trolox equivalent/ 100 g Fresh Weight (FW)) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสีรินทรเบอร์ 1

วิเคราะห์ศักยภาพรวมในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity โดยทำการดัดแปลงวิธีสกัดของ Ahmed and Osama (2008) และวิเคราะห์ฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ ดัดแปลงวิธีของ Muñim *et al.* (2003) ทำการวิเคราะห์ในแต่ละชุดการทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ จากตัวอย่างของฝักถั่วฝักยาวจำนวน 20 ฝัก

การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ

นำตัวอย่างฝักถั่วฝักยาวจำนวน 20 ฝัก ของแต่ละชุดการทดลอง นำแต่ละส่วนหั่นละเอียดน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ในโถรงบดที่แช่เย็น สกัดด้วย 80% ethanol ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารผสมที่ได้จากการบดไปเหวี่ยงตกตะกอนด้วยความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำเฉพาะส่วนของเหลวใสซึ่งเป็น crude extract ไปใช้วิเคราะห์ศักยภาพรวมในการต้านอนุมูลอิสระต่อไป

การวิเคราะห์ศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ

ทำการวิเคราะห์ศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย 0.1 mM DPPH ซึ่งละลายใน 95% ethanol ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และ 0.3 M acetate buffer pH 5.5 ปริมาตร 400 μ l และทำปฏิกิริยาด้วย crude extract ปริมาตร 100 ไมโครลิตรในชุดทดลอง ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง mixer วางทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (UV-Vis Spectronic) แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox (ภาคผนวก ก ภาพที่ 1) มีหน่วยเป็นไมโครโมลเทียบกับ Trolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด คำนวณหาศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ดังนี้

$$\text{ศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ (}\mu\text{mole Trolox equivalent/100g Fresh Weight)} = 75x$$

กำหนดให้ x = ค่าปริมาณสาร Trolox ในสารละลายตัวอย่างเมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐาน

1.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compounds; mg/100 g Fresh Weight(FW)) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

ทำการดัดแปลงวิธีสกัดของ Ketsa and Atantee (1998) และการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีของ Singleton and Rossi (1965) ทำการวิเคราะห์ในแต่ละชุดการทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ จากตัวอย่างของฝักถั่วฝักยาวจำนวน 20 ฝัก

การสกัดหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ทำการสกัดโดยดัดแปลงวิธีของ Ketsa and Atantee (1998) โดยนำตัวอย่างแต่ละส่วนหนึ่งละเอียดย่นน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ในโกร่งบดที่แช่เย็น เติม 80 % ethanol ที่เย็นลงไปปริมาตร 25 มิลลิลิตร บดให้เข้ากัน แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวใสมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ทำการวิเคราะห์โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Singleton and Rossi (1965) โดยนำสารละลายใส่ที่สกัดได้ปริมาตร 2 มิลลิลิตร มาใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลาย 10 % Folin – Ciocalteu's reagent ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 8 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลาย 7.5 % Na_2CO_3 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยปริมาณ

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐาน gallic acid (ภาคผนวก ก ภาพที่ 2) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg/100 g Fresh Weight)} = 2,500Y$$

กำหนดให้ Y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

1.6 การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin content; mg/100g Fresh Weight (FW)) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

การหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีการของ Ranganna (1977) ทำการวิเคราะห์ในแต่ละชุดการทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ จากตัวอย่างของฝักถั่วฝักยาวจำนวน 20 ฝัก

การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

ทำการวิเคราะห์ จำนวน 5 ซ้ำ โดยนำตัวอย่างแต่ละส่วนหั่นละเอียดน้ำหนัก 2.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลาย ethanolic HCl (เตรียมจาก 95 % ethanol : 1.5 N HCl ในอัตราส่วน 85 : 15) ปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายที่สกัดได้กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และนำมาปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย ethanolic HCl นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดตามสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด} = \frac{\text{ค่าดูดกลืนแสงที่ } 535 \text{ nm} \times \text{ปริมาตรสารละลายทั้งหมด (ml)} \times 100}{\text{น้ำหนักของเปลือกผล (g)} \times 98.2}$$

1.7 การวัดค่า pH ของสารละลายในฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

ทำการวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ในแต่ละชุดการทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ จากตัวอย่างของฝักถั่วฝักยาวจำนวน 20 ฝัก

การวิเคราะห์หาค่า pH ของสารละลายในตัวอย่าง

วัดค่า pH ของสารละลายในตัวอย่าง โดยดัดแปลงจากวิธี Underhill and Critchley (1993) นำตัวอย่างแต่ละส่วนนำมาหั่นละเอียดหนัก 4 กรัม มาบดกับน้ำกลั่นปริมาตร 40 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที

แล้ววัดค่า pH ของสารละลายที่สกัดได้ด้วยเครื่อง pH - meter (Mettler Toledo, S20 seveneasy™ pH, USA)

การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา

1.8 การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

1.8.1 การตรวจหาเชื้อ *Staphylococcus aureus*

การตรวจหาเชื้อ *Staphylococcus aureus* นำตัวอย่างแคนตาลูปตัดแต่ง 25 กรัม ผสมกับ peptone water ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำมาเจือจางแบบ ten-fold serial dilution 6 ระดับ จากนั้นนำตัวอย่างแคนตาลูปที่ความเจือจาง 10^{-1} ถึง 10^{-6} ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มา spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Baird Parker Agar Base (BP) โดยทำ 3 ซ้ำต่อความเจือจาง บ่มที่ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45-48 ชั่วโมง (ลักษณะโคโลนีของ *Staphylococcus aureus* บน อาหารเลี้ยงเชื้อ Baird Parker Agar Base (BP) จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-1.5 มิลลิเมตร ลักษณะเยิ้มหนูน สีดำขอบขาว และมีโซนใสรอบโคโลนี) หากโคโลนีมีลักษณะดังกล่าว ใช้ลูปเขี่ยเชื้อจาก อาหารเลี้ยงเชื้อ Baird Parker Agar Base (BP) ลงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ Brain Heart Infusion (BHI) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบดังนี้

1) Coagulase test ทดสอบโดยถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ Brain Heart Infusion (BHI) 0.2-0.3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (หลอดควบคุมไม่ต้องเติมเชื้อ) จากนั้นปิเปตพลาสมา (Coagulase plasma) ลงไป 0.5 มิลลิลิตร บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส ตรวจสอบทุกชั่วโมง รวมเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หากคว่ำหลอดแล้วพลาสมาสามารถแข็งตัวได้ แสดงว่าได้ผล 4+ ซึ่งจะสามารถรับรองได้ว่าเชื้อที่ ตรวจเป็น *Staphylococcus aureus* หากได้ผล 3+ หรือ 2+ ให้ย้อมแกรมและทดสอบในหัวข้ออื่นต่อไป

2) Catalase Test โดยเขี่ยเชื้อจากหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase soy agar (TSA) ลง บนสไลด์แล้วหยด ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ สังเกตการเกิดแก๊ส โดย *Staphylococcus aureus* จะสามารถสร้างเอนไซม์คะตะเลสได้ เมื่อหยด ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ลงไปจะเกิดฟองแก๊สและให้ผลการทดลองเป็นบวก

1.8.2 การตรวจเชื้อ *Escherichia coli*

นำตัวอย่างแคนตาลูปตัดแต่ง 25 กรัม ผสมกับ peptone water ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำมาเจือจางแบบ ten-fold serial dilution 6 ระดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่เจือจาง แล้วไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

การทำ “Completed” Test เพื่อตรวจหา *Escherichia coli* ขั้นแรกเริ่มทำ presumptive test for coliform ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Laury Tryptose Broth (LST) โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างแคนตาลูปที่ระดับเจือจาง 10^{-1} ถึง 10^{-6} ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Laury Tryptose Broth

(LST) ซึ่งจะมีหลอดดักแก๊ส (Durham tube) อยู่ภายในหลอดทดลอง ระดับความเงือจางละ 3 หลอด บ่มที่ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง บันทึกผลหลอดทดสอบที่เกิดแก๊สในแต่ละระดับความเงือจาง เพื่อเปิดตาราง MPN ซึ่งนำมารายงานผลเป็น presumptive MPN of coliform bacteria ต่อกรัมหรือมิลลิลิตรของตัวอย่างอาหาร จากนั้นทำ Confirmed test for coliforms โดยเขย่าหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ Laury Tryptose Broth (LST) ที่มีการสร้างแก๊สเบาๆ แล้วใช้ลูปถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ Laury Tryptose Broth (LST) ที่เกิดแก๊สลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Bile Broth (BGLB) ซึ่งจะมีหลอดดักแก๊ส (Durham tube) อยู่ภายในหลอดทดลอง บ่มที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง บันทึกผลหลอดที่มีการสร้างแก๊สในแต่ละระดับความเงือจาง เพื่อเปิดตาราง MPN ซึ่งนำมารายงานผลเป็น confirmed MPN of coliform bacteria ต่อกรัมหรือมิลลิลิตรของตัวอย่างอาหาร แล้วใช้ลูปถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Bile Broth (BGLB) ที่เกิดแก๊สลงในอาหาร EC Broth ซึ่งจะมีหลอดดักแก๊ส (Durham tube) อยู่ภายในหลอดทดลอง บ่มที่ 44.5 ± 0.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง จากนั้นบันทึกผลหลอดที่มีการสร้างแก๊สในแต่ละระดับความเงือจาง เพื่อเปิดตาราง MPN ซึ่งนำมารายงานผลเป็น Fecal coliform MPN ต่อกรัมหรือมิลลิลิตรของตัวอย่างอาหาร เสร็จแล้วใช้ลูปถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ EC Broth ที่มีการสร้างแก๊สมาเพาะเลี้ยงด้วยวิธี streak plate ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ L-EMB agar plate เพื่อให้ได้โคโลนีเดี่ยว บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง จากนั้นตรวจสอบหาโคโลนีต้องสงสัยว่าเป็น *Escherichia coli* โดยสังเกตโคโลนีที่มีลักษณะแบน (flat) มีจุดดำกลางโคโลนี และอาจสร้างหรือไม่สร้าง metallic sheen จากนั้นใช้ลูปเขี่ยเชื้อจากโคโลนีที่ต้องสงสัยว่าเป็น *Escherichia coli* (เขี่ยเชื้อเฉพาะกลางโคโลนีเท่านั้น) จาก L-EMB agar plate ละ 2 โคโลนี ลงใน PCA slant บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง

จากนั้นทำ Confirmation of *Escherichia coli* โดยใช้ลูปถ่ายเชื้อที่เจริญบน PCA slant ลงในอาหารต่อไปน้เพื่อจำแนกเชื้อจุลินทรีย์โดยการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

- 1) Luaryl Sulfate Tryptose (LST Broth) บ่มเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง แล้วสังเกตการสร้างแก๊ส
- 2) ย้อมสีแกรม โดยใช้เชื้อที่เจริญบน PCA slant ในช่วงเวลา 18-24 ชั่วโมง
- 3) การทดสอบทางชีวเคมี (IMViC Test)
 - a. Tryptone Broth บ่มเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง แล้วทดสอบการสร้าง Indole โดยเติม Kovac's reagent 0.2-0.3 มิลลิลิตร ลงไป ถ้าเกิดสีแดงบริเวณชั้นบนของอาหารเลี้ยงเชื้อแสดงว่ามีการสร้าง Indole
 - b. MR-VP medium บ่มเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบต่อไปน้

นำอาหาร MR-VP medium ที่บ่มครบ 48 ชั่วโมง มา 1 มิลลิลิตร ถ่ายลงในหลอดทดสอบขนาด 13×100 มิลลิเมตร แล้วเติมสารละลาย Voges-Proskauer 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าแล้วพักไว้ 10-15

นาที่ หากเกิดสีชมพูจะให้ผลเป็นบวกซึ่งแสดงว่าเชื้อมีการสร้าง acetyl methyl carbinol เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากกระบวนการหมักกลูโคส

MR-VP culture ที่เหลือ นำมาบ่มต่อ 24 ชั่วโมง แล้วทดสอบโดยการหยด methyl red indicator ลงไป 5 หยด เพื่อทดสอบว่าเชื้อมีการสร้างกรดเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากกระบวนการหมักกลูโคสหรือไม่ ถ้าเกิดสีแดงจะให้ผลบวกและถ้าเกิดสีเหลืองจะให้ผลลบ

c. Koser's citrate broth (หรือใช้ Simmon's slant แทนได้) บ่มเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 96 ชั่วโมง หากสังเกตพบความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อแสดงว่ามีการใช้ citrate ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ผลการทดสอบเป็นบวก

การคำนวณ MPN *Escherichia coli* ต่อกรัมหรือมิลลิลิตรอาหาร จากการนับจำนวนหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ EC Broth ที่มีการสร้างแก๊สและมีโคลนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ L-EMB agar พบว่าเป็นแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ สร้างแก๊สในอาหารที่มีน้ำตาลแลคโตสและให้ผลการทดสอบ IMViC เป็น *Escherichia coli* คือ + /+/-/- (Biotype I) หรือ -/+/-/- (Biotype II) (ดัดแปลงจาก BAM, 2002)

1.9 การหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธี Aerobic plate count (APC)

ตัวอย่างแคนตาลูปตัดแต่ง 25 กรัม ผสมกับ peptone water ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เจือจางแบบ ten-fold serial dilution 6 ระดับ จากนั้นนำตัวอย่างอาหารที่เจือจาง 10^{-1} ถึง 10^{-6} ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาทำการ pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Pate count agar (PCA) ตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งวันแข็งตัว บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

1.10 การตรวจเชื้อยีสต์และเชื้อราทั้งหมด

ตัวอย่างแคนตาลูปตัดแต่ง 25 กรัม ผสมกับ peptone water ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 225 มิลลิลิตร แล้วเจือจางแบบ ten-fold serial dilution 3 ระดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่เจือจาง 10^{-1} ถึง 10^{-3} ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มา spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Broth (PDA) โดยทำ 3 ซ้ำต่อความเจือจาง บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลอง

การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรม Statistical Packages for the Social Science (SPSS) version 23 ภายใต้การวางแผนแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple rang test และหาค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($P < 0.05$)

สถานที่ทำงานวิจัย

แปลงทดลองจังหวัดราชบุรีและห้องปฏิบัติการ อาคารวิจัยฯ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา

การทดลองที่ 2 ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากถั่วฝักยาวสีม่วงสีรินธเบอร์ 1

สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์

1. สารเคมี

- 1.1 เพคตินที่มีเมทอกซิลสูง (high methoxyl pectin)
- 1.2 โซลิทอล (Sorbital) Food grade
- 1.3 ซูคราโลส (sucralose) Food grade
- 1.4 กรดซิตริก (Citric acid) Food grade
- 1.5 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid: H_2SO_4) ยี่ห้อ Analytical univar reagent

ประเทศออสเตรีย

- 1.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 1.7 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) ยี่ห้อ RCI Labscan limited ประเทศไทย
- 1.8 เอทานอล (Ethanol) บริษัท VWR ประเทศอเมริกา
- 1.9 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride : KCL) บริษัท Merck KGaA

ประเทศเยอรมนี

- 1.10 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid : HCL) บริษัท VWR ประเทศอเมริกา
- 1.11 โซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต (Sodium acetate trihydrate : $CH_3COONa \cdot 3H_2O$)

บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส

- 1.12 ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein indicator) บริษัท Gammaco co Ltd.

ประเทศไทย

- 1.13 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ยี่ห้อ RCI Labscan ประเทศไทย
- ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) ยี่ห้อ RCI Labscan ประเทศไทย
- 1.14 กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid) ยี่ห้อ Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
- 1.15 เม็ดเจลแทบ (Kjeltabs) ยี่ห้อ Foss Analytical ประเทศสวีเดน
- 1.16 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ยี่ห้อ Merck KGaA ประเทศเยอรมัน
- 1.17 กรดบอริก (Boric acid) ยี่ห้อ Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
- 1.18 โบโรโครีซอลกรีน (Bromocresol green) ยี่ห้อ Suvehem ประเทศอินเดีย
- 1.19 เมทิลเรด (Methyl red) ยี่ห้อ Suvehem ประเทศอินเดีย
- 1.20 เมทานอล (Methanol) ยี่ห้อ RCI Labscan ประเทศไทย

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1 เครื่องวัดสี Hunter Lab ยี่ห้อ Colorflex
- 2.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204/01 ยี่ห้อ Mettler Toledo
- 2.3 เครื่องวัดค่า water activity รุ่น serie 4TE ยี่ห้อ AQUA LAB
- 2.4 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture Analyzer รุ่น TA.XT Express Enhanced
บริษัท จาร์พา เทคโนโลยี จำกัด
- 2.5 เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง UV-VIS spectrophotometer รุ่น 250P บริษัท Analytik-
Jena AG ประเทศเยอรมัน
- 2.6 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) รุ่น Technical
specifications Rotavapor R-215
- 2.7 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (Fibretherm) รุ่น FT12 ของบริษัท ไฮแอนติฟิค
ประเทศเยอรมนี
- 2.8 เตาเผาเถ้า (Muffle furnace) รุ่น LEF-103S ยี่ห้อ Lab Tech
- 2.9 ชุดสกัดแบบ soxhlet extraction เตาหลุมให้ความร้อน (Heating mantle)
รุ่น EME6 0250/CEBX6
- 2.10 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น S220 ของบริษัท Mettler Toledo
ประเทศสวีตซ์เซอร์แลนด์
- 2.11 เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) ยี่ห้อ Veeps scientifica ประเทศยุโรป
- 2.12 กระดาษกรอง (Filter paper) เบอร์ 1 ของบริษัท Whatman ประเทศอังกฤษ
- 2.13 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 2.14 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
- 2.15 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 2.16 ปีกเกอร์ (Beaker)
- 2.17 ถ้วยชูดหาความชื้น (Moisture Can)
- 2.18 Fiber bag รุ่น model FT12 ของบริษัท ไฮแอนติฟิค โปรโมชั่น จำกัด
- 2.19 ถ้วยครุชิวเบล (Crucible)

3. วัตถุดิบ

- 3.1 ฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1
- 3.2 น้ำเสาวรส

วิธีการดำเนินการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 ฝักยาวสีม่วงสีริชเบอร์ 1 นำมาล้างให้สะอาด จากนั้นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปปั่นด้วยเครื่องน้ำผลไม้ ให้ละเอียด ได้ถั่วฝักยาวบดละเอียดเพื่อใช้ในการผลิตแยม

1.2 เสาวรส นำมาล้างให้สะอาด ฝ่าครึ่งใช้ช้อนตักเอาเมล็ดและส่วนที่เป็นน้ำสีส้ม จากนั้นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้น้ำเสาวรสำหรับในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำเสาวรและปริมาณเพคตินที่เหมาะสมในการผลิตแยมถั่วฝักยาวสีริชเบอร์ 1

การศึกษาการผลิตแยมถั่วฝักยาวสีริชเบอร์ 1 โดยแปรปริมาณน้ำเสาวรที่ร้อยละ 21.1 23.3 และ 25 และปริมาณเพคตินที่ร้อยละ 0.5 1 และ 1.5 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตแยมแสดงดังภาคผนวก ค และขั้นตอนการผลิตแยมแสดงดังภาพที่ 3 จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- การวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE Lab โดยแสดงค่าสีในรูป L^* a^* และ b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสีระบบ CIE Lab บริษัท คัลเลอ โกลบอล จำกัด

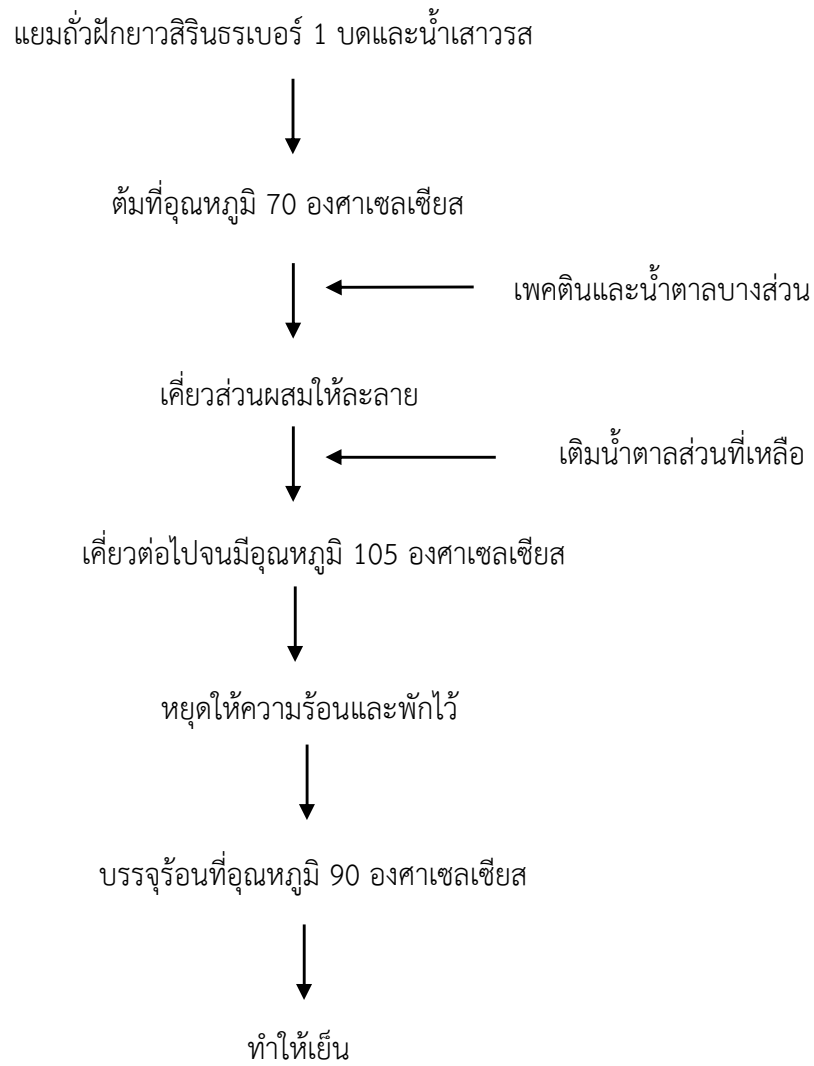
- วิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้แก่ Rupture Strength และ Brittleness ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก

- ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง water activity

- ปริมาณกรดต่างด้วยเครื่อง pH meter

- ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ ตามวิธี AOAC (2005) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข

- ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมประเภททั่วไปจำนวน 30 คน ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัวและความชอบโดยรวม โดยใช้วิธี 9-points hedonic scale ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมากและ 9 = ชอบมากที่สุด)



ภาพที่ 3.7 กระบวนการผลิตแยมผลไม้
ที่มา : กัญยรัตน์ บรรจงแจ่ม (2552)

ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1

ในขั้นตอนนี้ทำการคัดเลือกสูตรเลือกแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 จากการทดลองข้อที่ 2 จากนั้นนำมาศึกษาปริมาณน้ำตาลร้อยละ 55 20 และ 10 ต่อไซลิทอล และซูคราโลสที่ร้อยละ 0 35 45 และ 55 จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- การวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE Lab โดยแสดงค่าสีในรูปแบบ L^* a^* และ b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสีระบบ CIE Lab บริษัท คัลเลอ โกลโบล จำกัด

- วิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้แก่ Rupture Strength และ Brittleness ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก

- ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง water activity

- ปริมาณกรดต่างด้วยเครื่อง pH meter

- ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ ตามวิธี AOAC (2005) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ข

- ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมประเภททั่วไปจำนวน 30 คน ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัวและความชอบโดยรวม โดยใช้วิธี 9-points hedonic scale ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบมากที่สุด)

จากนั้นเลือกแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 สูตรที่เหมาะสมที่สุดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแอนโทไซยานิน และใช้คัดเลือกสูตรเลือกแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 จากการทดลองข้อที่ 2 เป็นสูตรควบคุม

- ปริมาณแอนโทไซยานิน ตามวิธี AOAC (2005) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก

- ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005) รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข

- ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005) รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข

- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005) รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข

- ปริมาณเส้นใยอาหาร (AOAC, 2005) รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข

ข้อที่ 5

- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2005) รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลอง

สำหรับการทดลองนี้จะวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการตรวจสอบทางด้านกายภาพและเคมี และวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 20 ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ treatment combinations โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ในการทดลองขั้นนี้จะทำการทดลอง 2 ซ้ำ

สถานที่ทำงานวิจัย

ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร อาคารแปรรูปอาหาร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

บทที่ 4 ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

ตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.1 การสูญเสียน้ำหนักสดของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (%)

จากผลการทดลองพบว่าถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 มีการสูญเสียน้ำหนักสดของฝักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าเพิ่มสูงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบการสูญเสียน้ำหนักสดเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 14.58 เปอร์เซ็นต์ และรองลงมาคือการเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 226.38 และ 50.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน (ภาพที่ 4.1.1 และภาคผนวก ก ตารางที่ 1)

1.2 ความแน่นเนื้อของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (Firmness; N)

จากผลการทดลองพบว่าฝักของถั่วฝักยาวมีความแน่นเนื้อของฝักลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน พบว่าความแน่นเนื้อของฝักมากที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 13.12 นิวตัน รองลงมาคือการเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 12.34 และ 10.68 นิวตัน ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่าความแน่นเนื้อของฝักมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 10.88 นิวตัน รองลงมาคือการเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 9.25 และ 8.04 นิวตัน ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.2 และภาคผนวก ก ตารางที่ 2)

1.3 การเปลี่ยนแปลงสีของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (L^* , a^* , C^* และ H° value)

จากผลการทดลองพบว่าฝักของถั่วฝักยาว มีค่าความสว่าง (L^* value) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาของฝักสดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษา

เป็นเวลา 14 วัน และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่าความสว่างของฝักน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 35.78 รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 36.82 และ 39.86 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่าค่าความสว่างของฝักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าความสว่างน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 38.00 รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 39.04 และ 43.18 ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.3 และ 4.1.8-4.1.9 และภาคผนวก ก ตารางที่ 3)

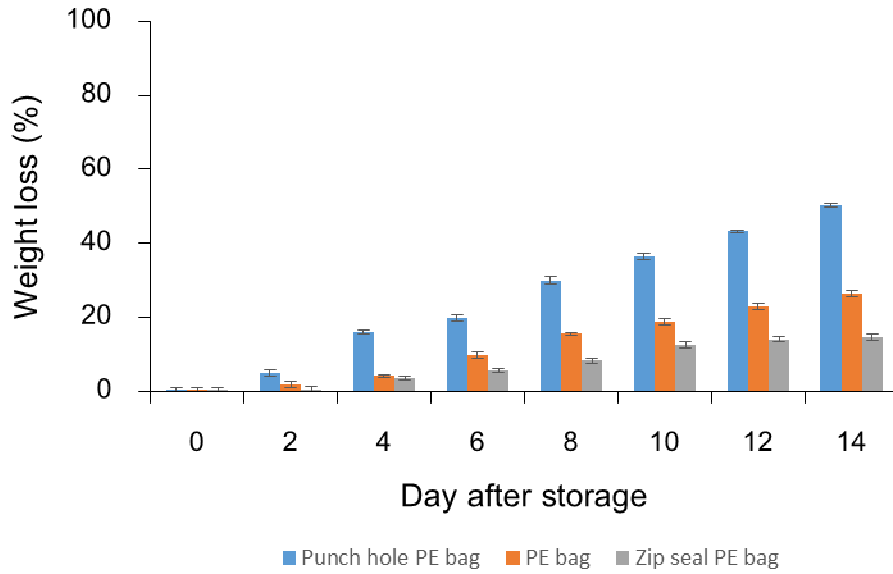
ในฝักของถั่วฝักยาว มีค่าสีแดง (a^* value) ลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาของฝักสดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่าสีแดงของฝักมากที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 24.32 รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 21.87 และ 19.04 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่าค่าสีแดงของฝักมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยสามารถรักษาค่าสีแดงให้มีค่ามากที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 18.91 รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 17.20 และ 14.10 ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.4 และ 4.1.8-4.1.9 และภาคผนวก ก ตารางที่ 4)

จากการทดลองพบว่าฝักของถั่วฝักยาวมีค่าสีเหลือง (b^* value) ลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาของฝักสดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน (แสดงถึงค่าสีเหลืองลดลงและมีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น) และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่าสีเหลืองของฝักเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 8.24 รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 9.51 และ 10.91 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่าค่าสีเหลืองของฝักมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าสีเหลืองน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 2.31 รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 3.61 และ 4.83 ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.5 และ 4.1.8-4.1.9 และภาคผนวก ก ตารางที่ 5)

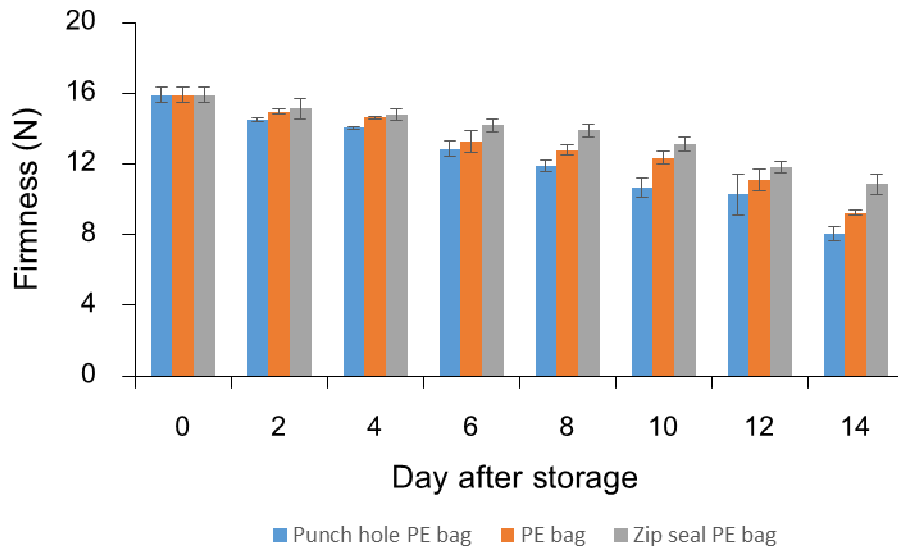
ในฝักของถั่วฝักยาวมีค่าความเข้มสี (C^* value) ลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาของฝักสดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่าความเข้มสีของฝักเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 25.20 รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 24.11 และ 21.75 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่าค่าความเข้มสีของฝักมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าความเข้มสีเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.96 รองลงมาคือ การเก็บ

รักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 15.00 และ 10.92 ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.6 และ 4.1.8-4.1.9 และภาคผนวก ก ตารางที่ 6)

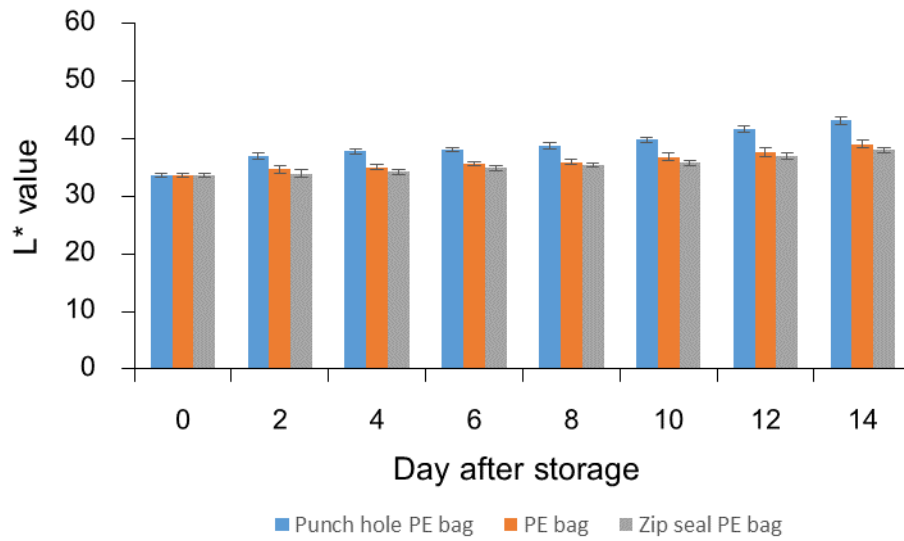
จากการศึกษาพบว่าฝักของถั่วฝักยาวมีค่าสี (H° value) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาของฝักสดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่าสีของฝักมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด (แสดงถึงค่าสีแดง) เมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 27.33 รองลงมาคือการเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 28.17 และ 30.86 ตามลำดับ (ค่าสีสูงขึ้นแสดงถึงค่าสีแดงปนเหลืองมากขึ้น) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่าค่าสีของฝักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าสีเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 30.35 รองลงมาคือการเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 32.51 และ 37.86 ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.7 และ 4.1.8-4.1.9 และภาคผนวก ก ตารางที่ 7)



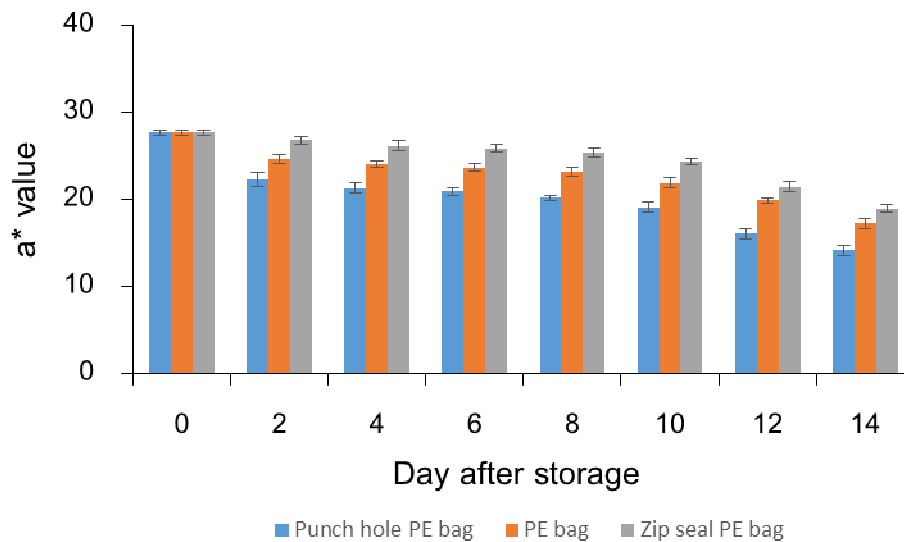
ภาพที่ 4.1.1 การสูญเสียน้ำหนักสด (%) ของฝักกล้วยฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



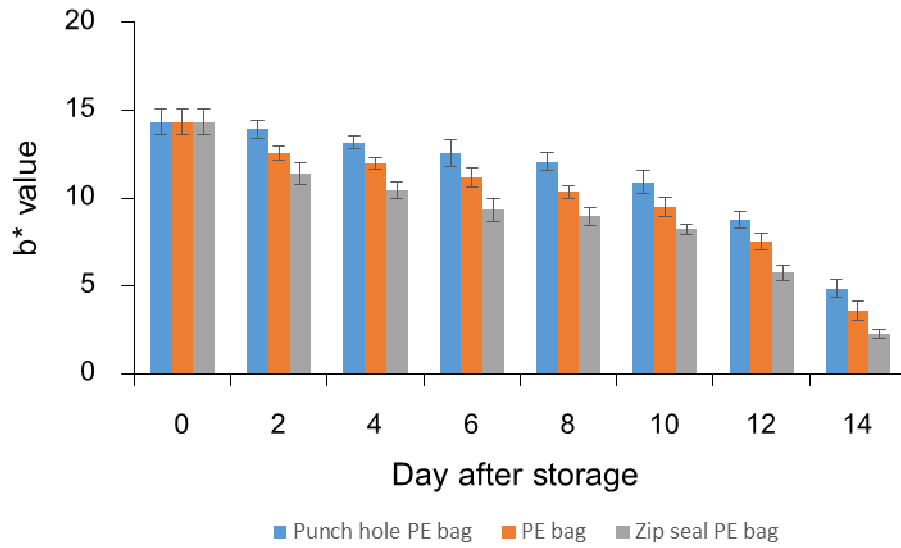
ภาพที่ 4.1.2 ความแน่นเนื้อ (N) ของฝักกล้วยฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



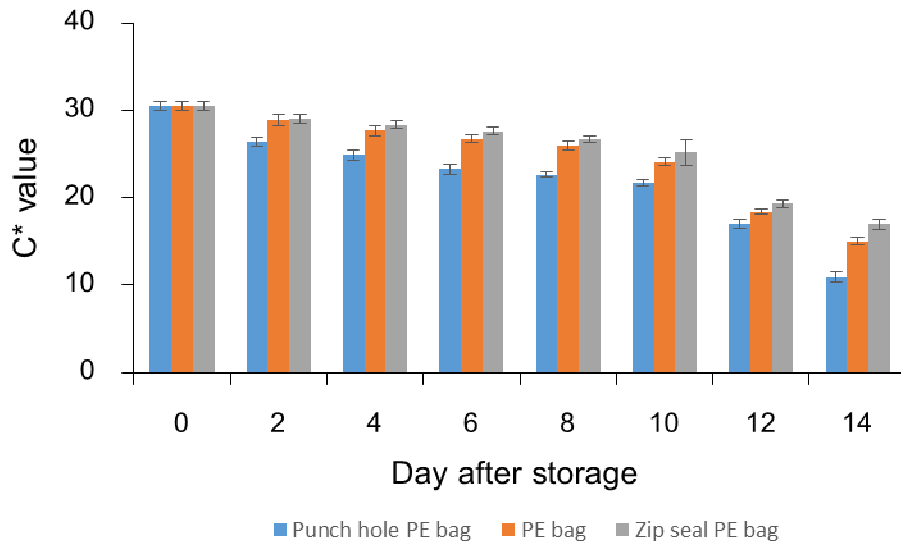
ภาพที่ 4.1.3 ค่าความสว่าง (L^* value) ของผักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



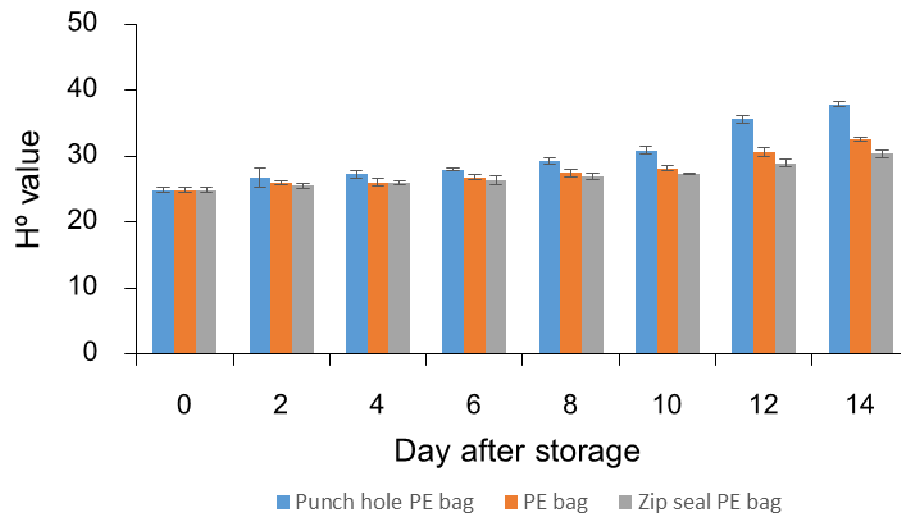
ภาพที่ 4.1.4 ค่าสีแดงและสีเขียว (a^* value) ของผักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



ภาพที่ 4.1.5 ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b^* value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



ภาพที่ 4.1.6 ค่าความเข้มของสี (chroma value; C^* value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



ภาพที่ 4.1.7 ค่าสี (Hue angle value; H° value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



ภาพที่ 4.1.8 ฝักของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดการทดลอง (T1 = ถุง PE เจาะรู, T2 = ถุง PE และ T3 = ถุงซีป) ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 0 (D0), 2 (D2), 4 (D4) และ 6 (D6), 8 (D8), 10 (D10), 12 (D12) และ 14 (D14) วัน



ภาพที่ 4.1.9 ฝักของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดการทดลอง (T1 = ถุง PE เจาะรู, T2 = ถุง PE และ T3 = ถุงซีป) ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 8 (D8), 10 (D10), 12 (D12) และ 14 (D14) วัน

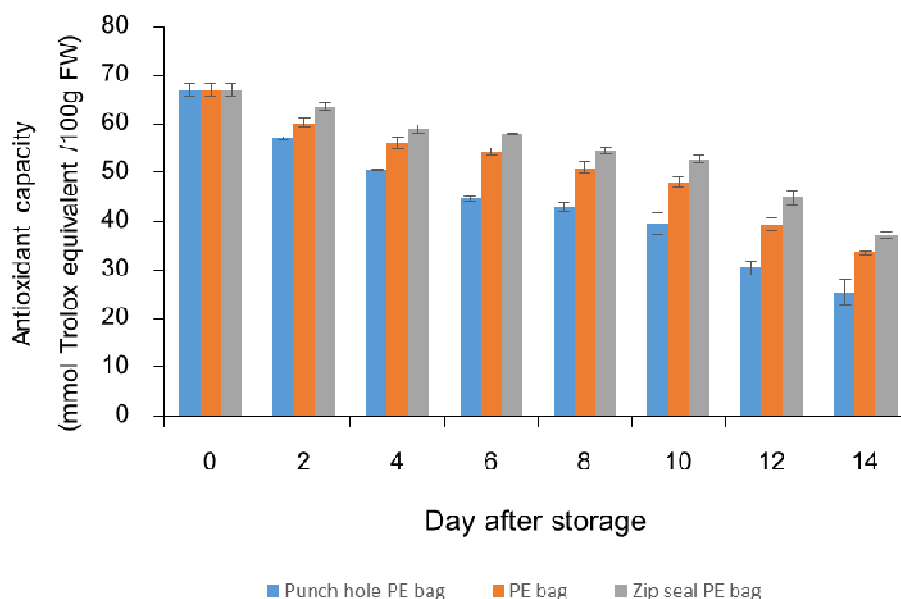
การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

1.4 ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงลิวโนลีนเบอร์ 1 (Antioxidant capacity; mmole Trolox equivalent/100g FW (Fresh Weight))

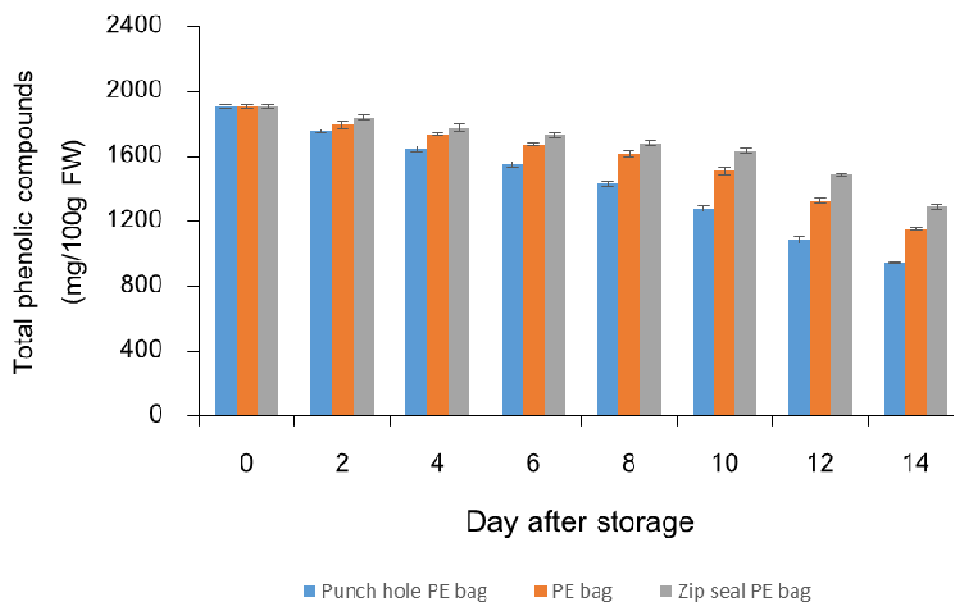
จากผลการทดลองพบว่าฝักของถั่วฝักยาวมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน การเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวที่สามารถรักษาศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดคือ การเก็บรักษาในถุงซิปล ซึ่งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 52.83 mmole /100g FW รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 47.99 และ 39.58 mmole /100g FW ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่าศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฝักมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 37.24 mmole /100g FW รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 33.58 และ 25.41 mmole /100g FW ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.10 และภาคผนวก ก ตารางที่ 8)

1.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงลิวโนลีนเบอร์ 1 (Total phenolic compounds; mg/100g FW (Fresh Weight))

จากผลการทดลองพบว่าฝักของถั่วฝักยาวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน การเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวที่สามารถรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ดีที่สุดคือ การเก็บรักษาในถุงซิปล ซึ่งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1,633.63 mg/100g FW รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 1,511.26 และ 1,277.03 mg/100g FW ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของฝักมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาในถุงซิปล มีค่าเท่ากับ 1,290.54 mg/100g FW รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 1,150.15 และ 940.69 mg/100g FW ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.11 และภาคผนวก ก ตารางที่ 9)



ภาพที่ 4.1.10 ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity; mmole Trolox equivalent/100 g FW) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



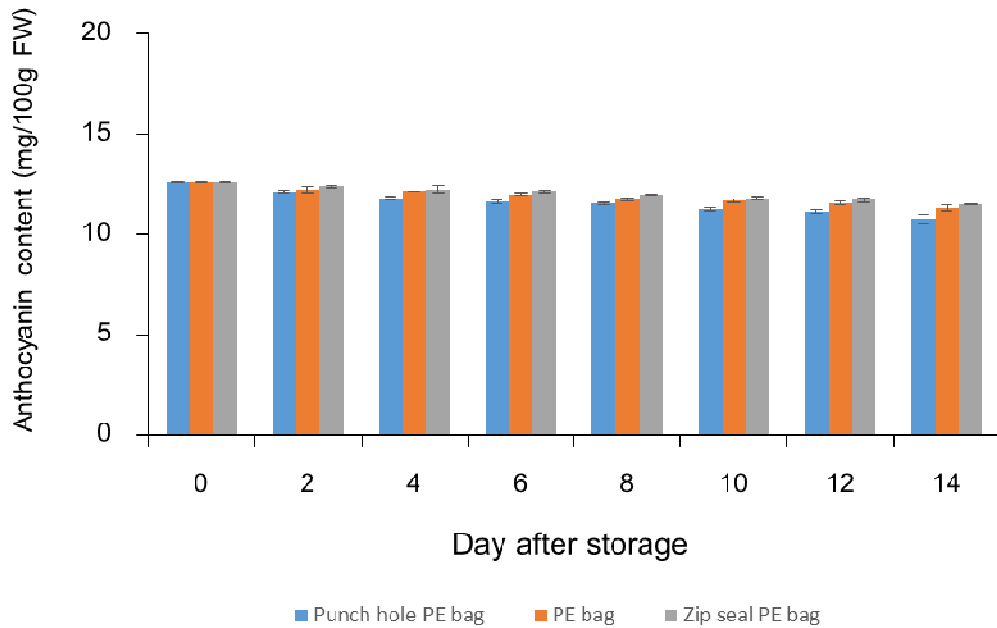
ภาพที่ 4.1.11 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds; mg/100g FW) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)

1.6 ปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมดของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 (Total anthocyanin contents; mg/100g FW (Fresh Weight))

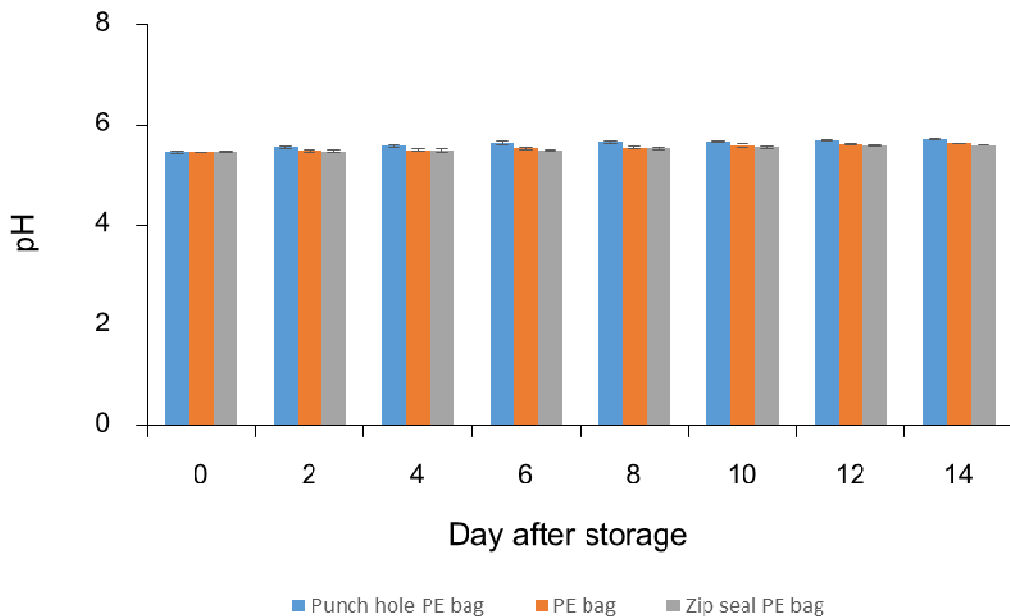
จากผลการทดลองพบว่าฝักของถั่วฝักยาวมีปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน การเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวที่สามารถรักษาปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมดได้ดีที่สุดคือ การเก็บรักษาในถุงซิปล ซึ่งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 11.500 mg/100g FW รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 11.337 และ 10.774 mg/100g FW ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน การเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวในถุงซิปลและถุง PE มีค่าปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.12 และภาคผนวก ก ตารางที่ 10)

1.7 pH ของสารละลายจากฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

จากผลการทดลองพบว่าฝักของถั่วฝักยาวมีค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน การเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวที่สามารถรักษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ได้ดีที่สุดคือ การเก็บรักษาในถุงซิปล ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 5.598 (มีความเป็นกรดสูงที่สุด) รองลงมาคือ การเก็บรักษาในถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู มีค่าเท่ากับ 5.626 และ 5.718 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน การเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวในถุงซิปลและถุง PE มีค่า pH ไม่แตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับการเก็บรักษาในถุง PE แบบเจาะรู แต่ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน การเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวในถุงซิปลและถุง PE มีค่า pH แตกต่างกันทางสถิติในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.1.13 และภาคผนวกตารางที่ 11)



ภาพที่ 4.1.12 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin contents; mg/100g FW) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)



ภาพที่ 4.1.13 pH ของสารละลายของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน (Error bars = Standard errors of means)

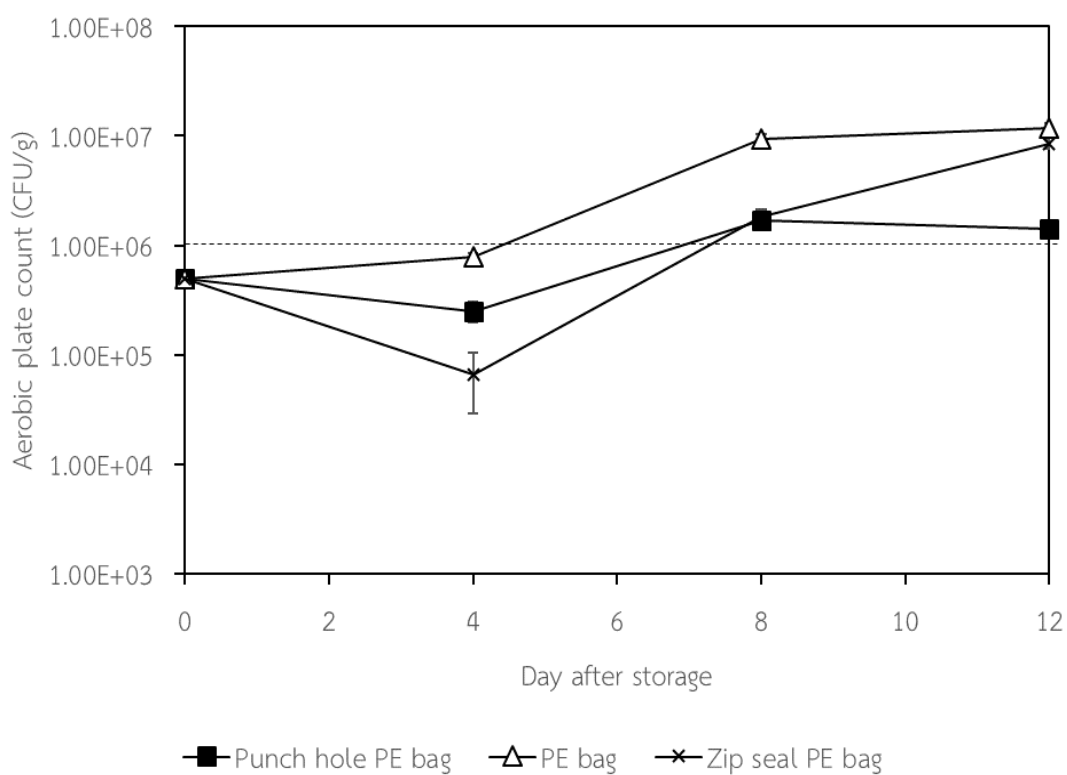
การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา

จากการตรวจวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่บรรจุใส่ภาชนะบรรจุ 3 แบบ ได้แก่ ถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู (Punch hole PE bag), ถุง PE แบบไม่เจาะรู (PE bag) และถุงซิปล (Zip seal PE bag) และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5 ± 2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ± 2 เปอร์เซ็นต์ ตามเกณฑ์ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 ลงวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2560 ข้อที่ 2.1.1 ผักและผลไม้ตัดแต่ง สลัดผัก เช่น ผักและผลไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดหรือถุงพลาสติก เป็นต้น ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ จำนวนยีสต์และรา *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* พบว่าตัวอย่างถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ทุกชุดการทดลอง และในแต่ละระยะเวลาไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *E. coli* และ *S. aureus* (ตารางที่ 4.1.1) แต่จากการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Aerobic plate count: APC) ของถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่ในระหว่างการเก็บรักษา ที่บรรจุใส่ภาชนะบรรจุ 3 แบบ แสดงในภาพที่ 4.1.14 พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (APC) ของถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 มีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดสอบเมื่อเก็บในระยะเวลาสั้นขึ้น อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5 ± 2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ± 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลานานกว่า 4 วัน จะพบว่ามีค่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินกว่ามาตรฐานกำหนดในทุกชุดการทดลอง (จำนวนจุลินทรีย์ ต้องน้อยกว่า 1×10^6 CFU/g) และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 12 วัน ชุดที่เก็บรักษาในถุง PE แบบไม่เจาะรู พบจุลินทรีย์ทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1.18×10^7 CFU/g รองลงมาคือ ชุดที่เก็บรักษาในถุงซิปล และถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู พบจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 8.37×10^6 และ 1.40×10^6 CFU/g ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1.1 ผลการตรวจวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของถั่วฝักยาว

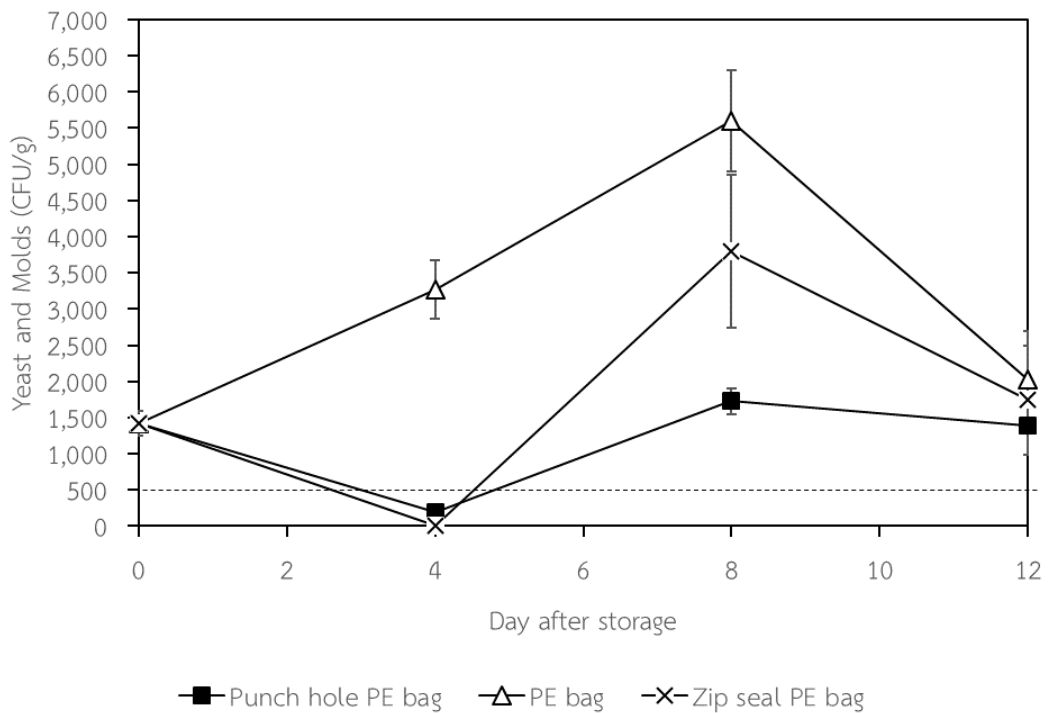
Microorganisms	Types	Day after storage			
		0	4	8	12
<i>E. coli</i>	Punch hole PE bag	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	PE bag	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Zip seal PE bag	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<i>S. aureus</i>	Punch hole PE bag	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	PE bag	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Zip seal PE bag	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = not detected หรือตรวจไม่พบในตัวอย่าง



ภาพที่ 4.1.14 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่บรรจุใส่ภาชนะบรรจุต่างๆ

การศึกษาจำนวนยีสต์และราทั้งหมดของของถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่ในระหว่างการเก็บรักษาที่บรรจุใส่ภาชนะบรรจุ 3 แบบ แสดงในภาพที่ 4.1.15 จากผลการทดลองพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่แยกได้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้นคล้ายเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงใช้เกณฑ์มาตรฐานจำนวนราต้องน้อยกว่า 500 CFU/g จากการทดลองพบว่าถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เก็บรักษาในถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู และในถุงซิปล สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5 ± 2 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ± 3 เปอร์เซ็นต์ ได้นานสูงสุด 4 วัน ในขณะที่ถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เก็บรักษาในถุง PE แบบไม่เจาะรูพบจำนวนของเชื้อราเกินค่ามาตรฐานกำหนดในทุกช่วงเวลา นอกจากนี้พบว่าเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 12 วัน ชุดที่เก็บรักษาในถุง PE แบบไม่เจาะรู พบจำนวนเชื้อราทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 2.03×10^3 CFU/g รองลงมาคือ ชุดที่เก็บรักษาในถุงซิปล และถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู พบจำนวนเชื้อราทั้งหมดเท่ากับ 1.74×10^3 และ 1.40×10^3 CFU/g ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1.15 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณยีสต์และราทั้งหมดของถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ในระหว่างการเก็บรักษา ที่บรรจุใส่ภาชนะบรรจุต่างๆ

การทดลองที่ 2 ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำเสาวรและปริมาณเพคตินที่เหมาะสมในการผลิตแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1

จากการศึกษาการผลิตแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 โดยแปรปริมาณน้ำเสาวรที่ร้อยละ 21.1 23.3 และ 25 และปริมาณเพคตินที่ร้อยละ 0.5 1 และ 1.5 จากนั้นนำแยมมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.2.1-4.2.4

ตารางที่ 4.2.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า water activity (a_w) ของแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำเสาวรทำให้ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง โดยแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 3 (25: 1.5) มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) และแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 1 (21.1: 0.5) มีปริมาณกรดทั้งหมดสูงที่สุด เนื่องจากน้ำเสาวรที่นำไปใช้ในการทดลองมีค่า pH เท่ากับ 2.78 และมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 1.10 ค่า pH มีผลต่อการเกิดเจลของแยมโดยค่า pH ที่เหมาะสมกับการเกิดเจลและเจลมีความคงตัวอยู่ที่ 3.2 แยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 มีค่า a_w ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่า a_w อยู่ในช่วง $0.58 \pm 0.00 - 0.64 \pm 0.02$ ซึ่งอยู่ในช่วงต่ำกว่าที่จุลินทรีย์เจริญได้ โดยยีสต์จะเริ่มเจริญได้เมื่ออาหารมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.70-0.80 ราเจริญได้เมื่อค่า a_w มากกว่า 0.70 และแบคทีเรียจะเจริญได้เมื่อค่า a_w มากกว่า 0.80 ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 มีไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง $64.40 \pm 0.70 - 65.50 \pm 0.70$ °brix

ตารางที่ 4.2.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า water activity (a_w) ของแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1

สูตร (ร้อยละเสาวร:เพคติน)	ค่าความเป็น กรดต่าง (pH)	ปริมาณกรด ทั้งหมด (%)	Water activity (a_w)	ปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมด (brix)
1 (21.1: 0.5)	3.22 ± 0.01^a	0.33 ± 0.03^a	0.61 ± 0.01^a	65.50 ± 0.70^a
2 (23.3: 1)	3.21 ± 0.00^a	0.15 ± 0.00^b	0.64 ± 0.02^a	65.50 ± 0.70^a
3 (25: 1.5)	3.18 ± 0.00^b	0.10 ± 0.00^b	0.58 ± 0.00^a	64.40 ± 0.70^a

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2.2 แสดงค่าสีของแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 พบว่าปริมาณน้ำเสาวรเพิ่มขึ้นค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 3 (25: 1.5) มีค่า

ความสว่าง (L*) สูงที่สุด เนื่องจากน้ำเสาวรสมีสีเหลืองและมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 53.33 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) แยมถั่วฝักยาวสีรินทรเบอร์ 1 ทั้ง 3 สูตร มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่ต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.2.2 ค่าสีของแยมถั่วฝักยาวสีรินทรเบอร์ 1

สูตร (ร้อยละเสาวรส:เพคติน)	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
1 (21.1: 0.5)	21.45±0.62 ^c	19.80±0.49 ^{ab}	19.49±0.28 ^a
2 (23.3: 1)	25.75±0.86 ^b	20.32±0.59 ^a	19.56±0.73 ^a
3 (25: 1.5)	29.39±0.57 ^a	18.35±0.48 ^b	18.14±0.71 ^a

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.3 ค่า Rupture Strength และค่า Brittleness ของแยมถั่วฝักยาวสีรินทรเบอร์ 1

สูตร (ร้อยละเสาวรส:เพคติน)	ค่า Rupture Strength (g)	ค่า Brittleness (mm)
1 (21.1: 0.5)	407.63±40.23 ^c	16.81±0.38 ^a
2 (23.3: 1)	684.07±4.57 ^b	16.99±0.11 ^a
3 (25: 1.5)	992.91±53.40 ^a	17.96±0.80 ^a

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.3 แสดงค่า Rupture Strength และค่า Brittleness (mm) ของแยมถั่วฝักยาวสีรินทรเบอร์ 1 พบว่าเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ค่า Rupture Strength และค่า Brittleness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แยมถั่วฝักยาวสีรินทรเบอร์ 1 สูตรที่ 3 มีค่า Rupture Strength สูงที่สุด ($P \leq 0.05$) ปริมาณกรดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง มีค่า Brittleness ของแยมถั่วฝักยาวสีรินทรเบอร์ 1 ทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ค่า Brittleness คือ ระยะที่ตกลงไปก่อนที่เจลจะแตกค่า Brittleness น้อยแสดงว่าเจลมีความเปราะมาก

ตารางที่ 4.2.4 คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะด้านต่างๆ ของแยมถั่วฝักยาวสิรินธร เบอร์ 1

สูตร ที่	สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะเนื้อ สัมผัส	การกระจาย ตัวบนขนมปัง	ความชอบ โดยรวม
1	6.90±1.49 ^a	6.43±1.67 ^a	6.93±1.85 ^a	6.80±1.58 ^a	7.26±1.20 ^a	7.53±1.35 ^a
2	6.40±1.81 ^a	5.57±2.28 ^b	6.17±2.06 ^b	6.07±1.59 ^{ab}	6.30 ^d ±1.64	6.73±1.52 ^b
3	6.50±1.54 ^a	5.53±1.90 ^b	6.83±1.34 ^a	5.53±1.54 ^b	5.43±1.77 ^c	6.66±1.24 ^b

b

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เสารส: เพคติน : สูตรที่ 1 (21.1: 0.5) ; สูตรที่ 2 (23.3: 1) ; สูตรที่ 3 (25: 1.5)

ตารางที่ 4.2.4 แสดงคะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะด้านต่างๆ ของแยมถั่วฝักยาว สิรินธรเบอร์ 1 พบว่า แยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 ทั้ง 3 สูตร มีคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกันทางสถิติ แยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 1 (21.1: 0.5) มีคะแนนความชอบด้าน กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัวบนขนมปัง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) จากผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 1 มีปริมาณน้ำเสารสร้อยละ 21.1 และปริมาณเพคตินร้อยละ 0.5 เป็นสูตรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์แยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

การศึกษาในขั้นตอนนี้ได้เลือกแยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 1 มีปริมาณน้ำเสารสร้อยละ 21.1 และปริมาณเพคตินร้อยละ 0.5 ใช้เป็นสูตรควบคุม นำมาศึกษาชนิดและปริมาณของสารให้ความหวานแทนน้ำตาลโดยสารให้ความหวานที่ใช้ คือ โซลิตอล และซูคราโลสที่ร้อยละ 0 35 45 และ 55 จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2.5-4.2.10

จากตารางที่ 4.2.5 พบว่าการเติมโซลิตอลและซูคราโลสทำให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 7 (0: ซูคราโลส 55) มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดและแยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 4 (0: โซลิตอล 55) ค่าความสว่าง (L^*) ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณโซลิตอลและซูคราโลสเพิ่มขึ้น แยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 7 (0: ซูคราโลส 55) มีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซูคราโลส ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.5 ค่าสีของแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมโซลิตอล และซูคราโลสที่ระดับต่างๆ

สูตรที่ (น้ำตาล:โซลิตอล/ซูคราโลส)	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
1 (55:0) ควบคุม	20.74±0.63 ^f	18.95±0.72 ^a	19.82±0.04 ^d
2 (20: โซลิตอล 35)	21.29±0.19 ^{ef}	18.05±0.44 ^a	20.23±0.08 ^{cd}
3 (10: โซลิตอล 45)	23.15±0.76 ^d	18.77±0.31 ^a	21.12±0.84 ^c
4 (0: โซลิตอล 55)	21.98±0.55 ^e	16.20±0.38 ^b	19.44±0.72 ^d
5 (20: ซูคราโลส 35)	28.97±0.24 ^c	15.17±0.12 ^c	19.76±0.02 ^d
6 (10: ซูคราโลส 45)	35.51±0.48 ^b	13.55±0.10 ^d	23.09±0.44 ^b
7 (0: ซูคราโลส 55)	40.33±0.14 ^a	12.13±0.01 ^e	24.70±0.04 ^a

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.6 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า water activity (a_w) ของแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมโซลิตอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ

สูตรที่	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	ค่า a_w	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(brix)
1 (55:0) ควบคุม	3.29±0.00 ^{ab}	0.33±0.03 ^a	0.57±0.01 ^c	65.00±0.00 ^a
2 (20: โซลิตอล 35)	3.37±0.04 ^a	0.15±0.01 ^e	0.49±0.00 ^d	65.50±0.70 ^a
3 (10: โซลิตอล 45)	3.44±0.01 ^a	0.14±0.00 ^e	0.47±0.00 ^e	66.00±0.00 ^a
4 (0: โซลิตอล 55)	3.52±0.00 ^a	0.17±0.00 ^e	0.46±0.00 ^e	66.00±0.00 ^a
5 (20: ซูคราโลส 35)	3.33±0.01 ^{ab}	0.21±0.05 ^{cd}	0.65±0.00 ^b	45.50±0.70 ^b
6 (10: ซูคราโลส 45)	3.02±0.36 ^b	0.24±0.00 ^{bc}	0.68±0.01 ^a	31.50±0.70 ^c
7 (0: ซูคราโลส 0)	3.28±0.00 ^{ab}	0.29±0.01 ^{ab}	0.69±0.00 ^a	15.50±0.70 ^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2.6 พบว่า แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมโซลิตอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.02-3.52 แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 สูตรที่ 6 (10: ซูคราโลส 45) มีค่า pH ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมโซลิตอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ ปริมาณกรดทั้งหมดมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$) ซูคราโลสมีให้ปริมาณความหวาน 600 ของซูโครสอาจจะมีผลทำให้ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดของแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 เพิ่มขึ้น แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมซูคราโลสทั้ง 3 ระดับ มีค่า a_w สูงกว่าแยมที่เติม

สูตรควบคุมและโซลิตอลที่ระดับต่างๆ เนื่องจากการปริมาณน้ำตาลถูกทดแทนด้วย ซูคราโลสจึงทำให้ค่า a_w เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม แยมถั่วฝักยาวสีม่วงสีริชเบอร์ 1 ทั้ง 7 สูตร มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.86 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยยีสต์จะเริ่มเจริญได้เมื่ออาหารมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.70-0.80 ส่วนราเจริญได้เมื่อค่า a_w มากกว่า 0.70 และแบคทีเรียจะเจริญได้เมื่อค่า a_w มากกว่า 0.80

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแยมฝักยาวสีม่วงสีริชเบอร์ 1 แสดงดังตารางที่ 4.2.6 พบว่าแยมที่เติมปริมาณซูคราโลสเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงและต่ำกว่าแยมที่เติมโซลิตอลและสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.7 ค่า Rupture Strength และค่า Brittleness ของแยมถั่วฝักยาวสีม่วงสีริชเบอร์ 1 ที่เติมโซลิตอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ

สูตรที่ (น้ำตาล:โซลิตอล/ซูคราโลส)	ค่า Rupture Strength (g)	ค่า Brittleness (mm)
1 (55:0) ควบคุม	405.44±48.50 ^c	16.20±0.48 ^b
2 (20: โซลิตอล 35)	507.89±10.29 ^b	15.84±1.04 ^b
3 (10: โซลิตอล 45)	577.94±29.04 ^b	15.34±0.10 ^b
4 (0: โซลิตอล 55)	668.17±41.88 ^a	14.82±0.53 ^b
5 (20: ซูคราโลส 35)	19.73±0.57 ^d	15.96±0.44 ^b
6 (10: ซูคราโลส 45)	20.60±0.07 ^d	15.79±0.54 ^b
7 (0: ซูคราโลส 55)	36.35±2.86 ^d	18.60±0.86 ^a

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.7 แสดงค่า Rupture Strength และค่า Brittleness ของแยมที่เติมโซลิตอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ พบว่า แยมถั่วฝักยาวสีม่วงสีริชเบอร์ 1 ที่เติมซูคราโลสทั้ง 3 ระดับ มีค่า Rupture Strength ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) และแยมถั่วฝักยาวสีม่วงสีริชเบอร์ 1 ที่เติมโซลิตอลทั้ง 3 ระดับ มีค่า Rupture Strength สูงกว่าสูตรควบคุม แยมถั่วฝักยาวสีม่วงสีริชเบอร์ 1 ที่เติมซูคราโลสร้อยละ 55 มีค่า ค่า Brittleness สูงที่สุด ($P \leq 0.05$) ค่า Brittleness คือ ระยะที่ตกลงไปก่อนที่เจลจะแตก ถ้าค่า Brittleness น้อยแสดงว่าเจลมีความเปราะมาก

ตารางที่ 4.2.8 คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะด้านต่างๆ ของแยมที่เติมไซลิทอล และซูคราโลสที่ระดับต่างๆ

สูตร ที่	สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะ เนื้อสัมผัส	การกระจาย ตัว	ความหวาน	ความชอบ โดยรวม
1	6.93±1.46 ^a	6.30±1.66 ^a b	6.90±1.60 ^a	6.67±1.6 6 ^a	6.70±1.46 ^a	6.43±1.65 ^a	7.60±1.06 ^a
2	6.57±1.75 ^a b	6.67±1.58 ^a	7.03±1.60 ^a	6.68±1.5 8 ^a	6.60±1.81 ^a	6.43±2.19 ^a	7.10±1.39 ^a b
3	6.63±1.44 ^a b	6.17±1.28 ^a b	6.47±1.69 ^a b	6.47±1.6 3 ^a	6.20±1.68 ^a b	6.07±1.79 ^a	6.53±1.96 ^b
4	6.03±1.60 ^b	5.77±1.61 ^b c	6.67±1.39 ^a	6.47±1.6 1 ^a	6.73±1.36 ^a	6.50±1.54 ^a	6.87±1.63 ^a b
5	4.73±1.81 ^c	5.63±1.47 ^b c	5.80±1.73 ^b c	5.43±1.9 0 ^b	5.77±2.14 ^b	5.80±1.82 ^a	6.43±1.77 ^b
6	4.13±2.01 ^c	5.23±2.07 ^c	5.07±2.19 ^c	4.90±2.2 1 ^b	4.80±2.15 ^c	4.97±2.20 ^b	5.57±2.17 ^c
7	2.83±1.08 ^d	3.00±0.90 ^d	3.00±0.74 ^d	3.07±1.4 9 ^c	3.17±0.91 ^d	3.13±0.97 ^c	3.13±0.93 ^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มนี้เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

น้ำตาล:ไซลิทอล : สูตรที่ 1 สูตรควบคุม (55:0) ; สูตรที่ 2 (20:35) ; สูตรที่ 3 (10:45) ;
สูตรที่ 4 (0:55) ;

น้ำตาล:ซูคราโลส : สูตรที่ 5 (20:35) ; สูตรที่ 6 (10:45) ; สูตรที่ 7 (0:55)

ตารางที่ 4.2.8 แสดงคะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะด้านต่างๆ ของแยมที่เติมไซลิทอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ พบว่า แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมซูคราโลสที่ระดับต่างๆ มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัว ความหวาน และความชอบโดยรวมต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 สูตรที่ 2 (20:35) มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัว ความหวาน และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสูตรควบคุม

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ คณะผู้วิจัยได้เลือกแยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 สูตรที่ 1 สูตรควบคุม (55:0) และสูตรที่ 2 น้ำตาลร้อยละ 20 และโซลิตอลร้อยละ 35 เพื่อไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแอนโทไซยานินได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2.9-4.2.10

ตารางที่ 4.2.9 องค์ประกอบทางเคมีของแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 สูตรควบคุม และสูตรทดแทนน้ำตาลทรายด้วยโซลิตอลร้อยละ 35 พบว่า แยมทั้ง 2 สูตร มีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร ใย และปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แยมสูตรที่ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยโซลิตอลร้อยละ 35 มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$) และแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ทั้ง 2 สูตร มีปริมาณใยอาหารสูงกว่าแยมผลิตขายในท้องตลาด

ตารางที่ 4.2.9 องค์ประกอบทางเคมีของแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยโซลิตอล

สูตร	โปรตีน (ร้อยละ)	ความชื้น* (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	ใยอาหาร (ร้อยละ)	ใย (ร้อยละ)	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)
1	1.38±0.28	29.34±0.03	0.08±0.02	25.18±1.01	0.47±0.00	43.54±1.06
2	1.29±0.23	28.82±0.09	0.05±0.00	26.09±0.04	0.48±0.01	43.26±0.02

หมายเหตุ : น้ำตาล:โซลิตอล : สูตรที่ 1 (55:0) ควบคุม ; สูตรที่ 2 (20:35) ;

: * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2.10 ปริมาณแอนโทไซยานินของแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยโซลิตอล

สูตร (น้ำตาล:โซลิตอล)	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/L)
1 (55:0) ควบคุม	3.48±0.08
2 (20:35)*	4.07±0.32

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2.10 พบว่าแยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยโซลิตอลร้อยละ 35 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$)

บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

ตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

จากผลการทดลองภายหลังการเก็บรักษาฝักของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่อุณหภูมิ ต่ำ พบว่าการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวคือ ถุงซิปป จะสามารถรักษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีได้เป็นอย่างดี โดยมีการสูญเสียน้ำหนักสด การลดลงของความแน่นเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a^* value) ค่าสีเหลือง (b^* value) และค่าความเข้มสี (C^* value) ของฝักลดลงน้อยกว่าการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู ตามลำดับ ความสว่าง (L^* value) และค่าสี (H^* value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษา ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดมีค่าลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู ตามลำดับ ปริมาณแอนโทไซยานินของฝักถั่วฝักยาวที่เก็บรักษาในถุงซิปปมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู ตามลำดับ ซึ่งผกผันกับค่า pH ที่เพิ่มขึ้น น้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ

ในระหว่างการเก็บรักษาฝักของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในภาชนะบรรจุที่สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักของฝักถั่วได้ดีที่สุดคือถุงซิปป เนื่องจากถุงซิปปมีประสิทธิภาพในการควบคุมการสูญเสียของผลผลิตจากภายในบรรจุภัณฑ์ การระเหยของกลิ่น รวมไปถึงสภาวะการเกิดไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งภาชนะบรรจุแบบนี้สามารถป้องกันการแลกเปลี่ยนก๊าซในปริมาณที่เพียงพอต่อการเก็บรักษาในการวางจำหน่าย (Oliveira *et al.*, 2014) รวมทั้งการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำจะช่วยควบคุมคุณภาพของผลผลิตโดยช่วยลดอัตราการหายใจของผลผลิตให้ต่ำลง ลดการคายน้ำออกจากผลผลิต ส่งผลให้การทำงานภายในกระบวนการเมตาบอลิซึมลดต่ำลงด้วย (Chitarra and Chitarra, 2005) สอดคล้องกับการศึกษาในผลเสาวรสปันธุ์ BRS Pérola do Cerrado ของบลาซิลที่บรรจุในถุง LDPE ความหนาขนาด 200 และ 100 μm เป็นเวลา 14 วัน สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีทั้งสองสภาวะที่เก็บรักษาคือ อุณหภูมิห้อง (21.3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 77.8 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิต่ำ (10 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการใช้ภาชนะพลาสติกเหล่านี้จะช่วยลดอัตราการหายใจและลดการสูญเสียจากผลผลิตได้เป็นอย่างดี (Rinaldi *et al.*, 2017) และ สอดคล้องกับการทดลองของ Çandir *et al.* (2019) ในผลทับทิมที่บรรจุในถุงชนิดต่างๆ นำไปเก็บ

รักษาที่อุณหภูมิต่ำ (6 องศาเซลเซียส) ในสภาพัดแปลงบรรยากาศ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าการบรรจุในถุงระหว่างการเก็บรักษาจะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าไม่ได้บรรจุในถุง ส่งผลให้การคายน้ำจากผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญในการเกิดการเหี่ยวของผล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของภาชนะบรรจุในการควบคุมการสูญเสียน้ำได้แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงสีของฝักถั่วฝักยาวระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยฝักถั่วที่บรรจุในถุงซิปลสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของฝักได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากบรรจุภัณฑ์มีประสิทธิภาพในการรักษาสีของผลิตภัณฑ์ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงช้าลง ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น ดังการศึกษาในผลเสาวรสีที่เก็บรักษาในถุง LDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าสี (Hue angle) ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องถึง 3 เท่า และดีกว่าที่ไม่บรรจุในภาชนะถึง 4 เท่า เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน (Rinaldi *et al.*, 2017) และสอดคล้องกับการทดลองของ Candir *et al.* (2019) ในผลทับทิมที่บรรจุในถุงชนิดต่างๆ นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (6 องศาเซลเซียส) ในสภาพัดแปลงบรรยากาศ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าระหว่างการเก็บรักษา การบรรจุผลในถุงสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลได้ดีกว่าไม่บรรจุในถุงโดยลดการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a^* value) ของเปลือกผลระหว่างการเก็บรักษาได้ระยะเวลานาน เนื่องจากถุงที่บรรจุช่วยลดการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ โดยลดการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของแอนโทไซยานินให้ทำงานได้ช้าลง ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีแดงของเปลือกผลช้าลงตามไปด้วย (Artés *et al.*, 2000; Meighani *et al.*, 2015) นอกจากนี้ยังลดการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (L^* value) และค่าความเข้มสี (C^* value) ของเปลือกผลระหว่างการเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษาของฝักถั่วฝักยาวมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษา สัมพันธ์กับการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระของฝักและผลไม้สร้างมาจากสารประกอบฟีนอลิก โดยมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและบริเวณที่สะสม ซึ่งในบริเวณเปลือกของพืชประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกปริมาณสูง รวมทั้งแอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์มากกว่าบริเวณอื่นๆ (Tomás-Barberán *et al.*, 2001; Jang *et al.*, 2010) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะมีปริมาณลดลงระหว่างการเก็บรักษาซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนการเมทาบอลิซึมต่างๆ ได้แก่ กระบวนการหายใจ กระบวนการสร้างเอทิลีน และการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ (Altunkaya and Gökmen, 2008) นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) ซึ่งเกิดออกซิเดสสารประกอบฟีนอลิกที่ทำหน้าที่เป็นสับสเตรท ได้แก่ catechin, quercetin 3-galactoside and quercetin เป็นต้น สอดคล้องกับการศึกษาในผลองุ่นพันธุ์ Shahaneh ที่พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงระหว่างการเก็บรักษาในถุง PE และ PVC ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Shiri *et al.*, 2011) สารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วย แทนนิน ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก คูมาริน ควิโนน และสารประกอบอื่นๆ โดยฟลาโวนอยด์

เป็นหนึ่งในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่มี OH ใน A ring และ B ring ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นสถานะและระยะเวลาในการเก็บรักษาจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการลดลงของฟลาโวนอยด์ซึ่งสัมพันธ์กับศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ สอดคล้องกับการศึกษาของ Shiri *et al.* (2011) ในผลองุ่นพันธุ์ Shahaneh พบความสัมพันธ์ของศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระและฟลาโวนอยด์ ซึ่งการบรรจุในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยยืดอายุในการวางจำหน่ายและควบคุมคุณภาพขององุ่นตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยชะลอการลดลงของฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระได้ดี

การลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสัมพันธ์กับการลดลงของสีผลิตผลที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้เกิดจากการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นๆ ดังการศึกษาในผล sweet cherry (Agulheiro-Santos *et al.*, 2014) แอนโทไซยานินเป็นสารกลุ่มใหญ่ในสารประกอบฟีนอลิกในพืชอาหารและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญต่อสุขภาพ โดยพบสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของแอนโทไซยานินได้ในผลบลูเบอร์รี่ เชอร์รี่ หอมแดง ทานตะวันม่วง และมันฝรั่งม่วง ซึ่งมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Velioglu *et al.*, 1998)

ปริมาณแอนโทไซยานินที่ลดลงสัมพันธ์กับศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงตามไปด้วยระหว่างการเก็บรักษาในถุงซิปล ทั้งนี้เนื่องจากการบรรจุผลิตผลในภาชนะที่เหมาะสมระหว่างการเก็บรักษาช่วยชะลอการลดลงของแอนโทไซยานิน โดยภายในของภาชนะบรรจุระหว่างการเก็บรักษาจะมีการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นน้อย ส่งผลให้ชะลอการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ซึ่งทำให้ปริมาณของแอนโทไซยานิน สารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกลดลงน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ (Holcroft *et al.*, 1998) และสารในกลุ่มของแอนโทไซยานินบางชนิดมีหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณลดลงสอดคล้องกัน โดยชนิดของสารในกลุ่มของแอนโทไซยานินแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของพืช เช่น สาร delphinidin-3-O-glucoside, cyaniding-3-O-sambubioside, cyanidin-3-O-glucoside, pelargonidin-3-O-glucoside และ peonidin-3-O-glucoside ในฝักถั่วฝักยาวสีม่วง (Ha *et al.*, 2010)

ปริมาณแอนโทไซยานินระหว่างการเก็บรักษาของฝักถั่วฝักยาวมีค่าลดลงผกผันกับ pH ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานินคือ flavylium (2-phenylbenzopyrylium) cation โดยรวมกับกลุ่มของ hydroxyl หรือ methoxyl หากกลุ่ม hydroxyl มีจำนวนมากทำให้สีน้ำเงินเพิ่มขึ้น ขณะที่กลุ่มของ methoxyl เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดสีแดงเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานินจะขึ้นกับ pH ซึ่งมีผลต่อ hydroxyl ion ในสารละลายที่เพิ่มมากขึ้นในระหว่างการรักษา (Shahidi and Naczk, 2004) การเพิ่มขึ้นของ pH ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินจากเดิมที่เป็น flavylium cation ที่มีสีแดง เป็น carbinol base หรือ chalcone ที่มีสีซีดจางลง (Timberlake, 1980; Wong, 1989)

ถุง PE แบบไม่เจาะรู พบจำนวนเชื้อราทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ ชุดที่เก็บรักษาในถุงซิปล และถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู ทั้งนี้เนื่องจากภาชนะบรรจุแบบ PE แบบไม่เจาะรู ควบคุมการสูญเสีย น้ำจากฝักกล้วยได้ดีกว่าถุง PE แบบเจาะรู แต่ควบคุมการสูญเสียน้ำได้น้อยกว่าถุงซิปล ดังนั้นจึงพบน้ำที่ สะสมในภาชนะบรรจุมากที่สุด ส่งผลให้สนับสนุนการเจริญของเชื้อราในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับการศึกษาในผลเสาวรสที่เก็บรักษาในถุง PE และ PVC แบบต่างๆ ภายหลังจากการเก็บ รักษาเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบการเจริญของเชื้อรา *Fusarium* spp. มากกว่า ชุดควบคุมที่ไม่บรรจุในภาชนะบรรจุ (Shiri *et al.*, 2011) นอกจากนี้การเก็บรักษาในภาชนะที่ เหมาะสม ภาชนะบรรจุจะช่วยเก็บรักษาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีปริมาณสูงเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการ ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Fusarium* spp. ได้ดี (Samapundo *et al.*, 2007)

การทดลองที่ 2 ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากกล้วยฝักยาวสีม่วงสิรินธร เบอร์ 1

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำเสาวรสและปริมาณเพคตินที่เหมาะสมในการผลิตแยม กล้วยฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1

ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า water activity (a_w) ของแยมกล้วยฝักยาว สิรินธรเบอร์ 1 พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำเสาวรสทำให้ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ค่าความแข็งของเจลจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงและค่า pH สูงกว่า 3.5 ความแข็งเจลจะลดลงหรือ อาจจะไม่เกิดเจล (กันยารัตน์ บรรจงแจ่ม, 2552; นงลักษณ์ งามพิระพงศ์, 2557) สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Abid *et al.* (2018) รายงานว่าค่า pH ของแยมทับทิมที่ใช้เพคตินเชิงการค้าอยู่ในช่วง 2.88-3.11 ซึ่งค่า pH เป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการผลิตแยม มีต่อคุณภาพของเจลและลักษณะ เนื้อสัมผัสและคุณภาพโดยรวมของแยม ค่า a_w ที่พบในแยมกล้วยฝักยาวสอดคล้องกับการรายงานของ Besbes *et al.*, (2009) ผลิตภัณฑ์แยมที่ถือว่าปลอดภัยจากแบคทีเรียควรมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.86 ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แยมกล้วยอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเกิดเจลของแยม CODEX (2009) รายงานว่าปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ควรจะอยู่ในช่วง 60-65 °brix หรือมากกว่า ปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์แยมมาจากผลไม้และน้ำตาลที่เติมลงไป ใน กระบวนการทำแยมมีการให้ความร้อนที่มีสถานะที่เป็นกรดจะเกิดการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสเป็น น้ำตาลอินเวิร์ส 2 ชนิด คือ กลูโคส และฟรุคโตส ซึ่งสามารถจับกับน้ำได้ดี ทำให้ป้องกันการเกิดผลึก ในผลิตภัณฑ์แยมได้ (นงลักษณ์ งามพิระพงศ์, 2557)

สีของแยมกล้วยฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเพิ่มสัดของผลไม้ไม่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดงลดลง และเนื่องจากแอนโทไซยานินสลายตัวในระหว่างให้ความร้อน แอนโทไซยานินมีบทบาทในสำคัญในการเกิดสีของของผลไม้หลายชนิด ซึ่งแอนโทไซยานินไม่คงตัวในระหว่าง การแปรรูปและการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Abid *et al.* (2018) รายงานว่าแยมที่ใช้

เปลือกทับทิมที่มีใยอาหารทำให้ค่าความเป็นสีแดงลดลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Igual *et al.* (2014) รายงานว่าแยมองุ่นที่เติมใยอาหารจากเส้นใยไฟเบอร์มีความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ต่ำกว่าแยมที่ใช้ผลสดอย่างเดียว

เมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ค่า Rupture Strength และค่า Brittleness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Abid *et al.* (2018) ศึกษาปริมาณเพคตินร้อยละ 0.2- 1.2 ในผลิตภัณฑ์แยมทับทิม พบว่าค่า firmness ของแยมทับทิมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเพคตินเพิ่มขึ้น Basu and Shivhare (2010) รายงานว่าค่าความแข็ง (hardness) ของเจลแยมขึ้นกับค่า pH และปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล ค่าความแข็งจะลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวน H^+ จะถูกแทนที่ด้วยหมู่เมทิลที่มาจากโครงสร้างของเพคติน ในสถานะที่เป็นกรดเพิ่มขึ้นโครงข่ายของในลูกตัดออกกันทำให้เพคตินและน้ำตาลจับกันได้ง่ายขึ้นเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายที่หนาแน่นจึงทำให้เจลมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น นงลักษณ์ งามพิระพงศ์ (2557) รายงานว่า เมื่อเพคตินขึ้นอยู่ในสถานะที่มีปริมาณของน้ำตาลและกรดที่เหมาะสม น้ำตาลจะทำให้เกิดเจลด้วยการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเพคติน ซึ่งน้ำตาลมีหมู่ไฮดรอกซิลทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของเพคตินเป็นอิสระสามารถที่จะสร้างพันธะไฮดรอกซิลกับโมเลกุลอื่นได้ ความแข็งของเจลขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตาล ปริมาณน้ำตาลสูงจะช่วยคูดน้ำออกจากโมเลกุลของเพคติน ทำให้เพคตินละลายน้อยลง ส่งผลให้เจลมีความแข็งแรงขึ้น

ตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์แยมฝักยาวสีม่วงสตรอเบอร์รี่ 1

การเติมไซลิทอลและซูคราโลสทำให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแยมฝักยาวสีม่วงสตรอเบอร์รี่ 1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Basu *et al.* (2013) ศึกษาการผลการใช้หญ้าหวานและซูคราโลสต่อลักษณะ rheological สี และโครงสร้างของแยมมะม่วง พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เมื่อเพิ่มปริมาณของหญ้าหวานและซูคราโลส กระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนเป็นเวลานานจะเป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยเฉพาะปฏิกิริยาน้ำตาลและการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของอาหาร

แยมฝักยาวสีม่วงสตรอเบอร์รี่ 1 ที่เติมไซลิทอลและซูคราโลสที่ระดับต่างๆ มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.02-3.52 สอดคล้องกับงานวิจัยของนงลักษณ์ งามพิระพงศ์ (2557) รายงานว่าแยมกระเจี๊ยบลดพลังงานโดยใช้สตีวีโอไซด์และซูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครส พบว่าแยมกระเจี๊ยบมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.22-3.31 ค่า pH ที่เหมาะสมที่ทำให้เจลของแยมมีความคงตัวดีที่สุดคือ 3.2 อย่างไรก็ตาม การเกิดเจลของแยมจะขึ้นอยู่กับค่า pH โดยค่าความแข็งของเจลแยมจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง และค่า pH สูงกว่า 3.5 เจลที่ได้จะมีลักษณะอ่อน (กันยาร์ตัน บรรจงแจ่ม, 2552; นงลักษณ์ งามพิระพงศ์, 2557) ปริมาณกรดทั้งหมดมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cadena *et al.* (2013) รายงานว่าน้ำมะม่วงเข้มข้นที่เติมสตีวีโอไซด์และซูคราโลสมีปริมาณกรด

ทั้งหมดเท่ากับ 0.1538 และ 0.1565 ตามลำดับ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Belovic *et al.* (2017) รายงานว่าแยมกากมะเขือที่ใช้สตีวีโอไซด์และฟรักโทสปริมาณกรดทั้งหมดและค่า pH สูงกว่า แยมสูตรควบคุม ปริมาณน้ำตาลถูกทดแทนด้วยซูคราโลสในแยมทำให้ค่า a_w เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกันยาร์ตัน บรรจงแจ่ม (2552) รายงานว่าผลิตภัณฑ์แยมมะเขือลดพลังงานโดยใช้สารทดแทนความหวานมีค่า a_w เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม

แยมที่เติมปริมาณซูคราโลสเพิ่มขึ้นปริมาณของที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง เนื่องจากซูคราโลสมีให้ปริมาณความหวาน 600 ของซูโครส ทำให้ปริมาณของซูคราโลสที่ในสูตรการทำแยมน้อยกว่าไซลิทอล มีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Basu *et al.* (2013) รายงานว่า ปริมาณของที่ละลายได้ทั้งหมดของแยมมะม่วงลดเมื่อปริมาณสตีวีโอไซด์และซูคราโลสเพิ่มขึ้น แยมที่เตรียมด้วยสตีวีโอไซด์มากกว่าร้อยละ 25 และซูคราโลสมีลักษณะเป็นของเหลวและไม่สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นแยม ซึ่งลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่าการเกิดโครงสร้างเจลของเพคตินไม่แข็งแรง

แยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมซูคราโลสทั้ง 3 ระดับ มีค่า Rupture Strength ต่ำที่สุดเนื่องจากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ช่วยให้เพคตินเกิดโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรง เมื่อลดปริมาณน้ำตาลลงจึงมีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Basu *et al.* (2013) รายงานว่าผลิตภัณฑ์แยมมะม่วงที่ใช้ซูคราโลสและสตีวีโอไซด์ร้อยละ 100 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง แยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมไซลิทอลทั้ง 3 ระดับ มีค่า Rupture Strength สูงกว่าสูตรควบคุม Basu and Shivhare (2010) รายงานว่าค่าความแข็ง (hardness) ของเจลเพิ่มขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล โดยน้ำตาลจะจับกับเพคตินได้ดีขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่แน่นขึ้นจึงทำให้เจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และการเพิ่มปริมาณเพคตินมีผลทำให้ค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากปริมาณเพคตินทำให้เพิ่มสายพอลิเมอร์ที่จะจับกับน้ำตาลทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่ในเจลทำให้เจลแข็งขึ้น

แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ที่เติมซูคราโลสที่ระดับต่างๆ มีคะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Basu *et al.* (2013) รายงานว่าแยมมะม่วงที่ใช้ซูโครสหรือซูโครสมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าแยมมะม่วงที่ใช้ซูโครส

องค์ประกอบทางเคมีของแยมถั่วฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 มีปริมาณใยอาหารสูงกว่าแยมผลิตขายในท้องตลาด สอดคล้องกับการศึกษาของณัฐนิชา ทวีแสง และกัญญารัตน์ เหลืองประเสริฐ (2561) รายงานว่า คูกี้ที่เติมแป้งถั่วฝักยาวสิริธร เบอร์ 1 มีปริมาณใยอาหาร ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของคูกี้เพิ่มขึ้น Belovic *et al.* (2017) ศึกษาการผลิตแยมแคลอรีต่ำโดยใช้ใยอาหารจากกากมะเขือเทศและใช้สตีวีโอไซด์และฟรักโทสทดแทนซูโครส พบว่า แยมที่เติมกากมะเขือเทศเพิ่มขึ้นมีปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นและปริมาณคาร์โบไฮเดรตและให้พลังงานลดลง และพบว่าแยมกากมะเขือเทศมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าแยมที่ผลิตเชิงการค้า เส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ในพืช ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุล

เชิงซ้อน ได้แก่ เซลลูโลส, เพกติน, เฮมิเซลลูโลส เป็นต้น เส้นใยอาหารยังช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติการทำงานบางอย่างในผลิตภัณฑ์อาหาร ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยป้องกันการแยกชั้นของของเหลวจากการหดตัวของเจล และใยอาหารเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ แยม เป็นต้น (Mudgil and Barak, 2013; Elleuch *et al.*, 2011)

แยมฝักยาวสีม่วงสิริธรเบอร์ 1 ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยไซลิทอล มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าสูตรควบคุม เนื่องจากเกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการแปรรูป อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาที่ให้ความร้อนนานขึ้นนั้นทำให้แอนโทไซยานินสลายตัวสูงขึ้น แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ พบในผัก ผลไม้ที่มีสีม่วงสีแดง และสีน้ำเงิน เป็นต้น แอนโทไซยานินในเซลล์พืชมีความคงตัวค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยเฉพาะด้านสีและคุณค่าทางโภชนาการ Kovacevic *et al.* (2015) รายงานว่าในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์พวเร่ (puree) และแยมสตรอเบอร์รี่ ปริมาณแอนโทไซยานินเฉลี่ยลดลงร้อยละ 28 และจากการศึกษาอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์แยมสตรอเบอร์รี่ และเชอร์รี่น้ำตาลมีการสูญเสียแอนโทไซยานินถึงร้อยละ 92-93

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

ตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

การใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 อายุประมาณ 9-11 วันหลังดอกลูกบาน ภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำคือ ถุงซิปป ซึ่งสามารถรักษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีได้เป็นอย่างดี โดยลดการสูญเสียน้ำหนักสด ความแน่นเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a^* value) ค่าสีเหลือง (b^* value) และค่าความเข้มสี (C^* value) ของฝักลดลงน้อยกว่าการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู ตามลำดับ ความสว่าง (L^* value) และค่าสี (H° value) ของฝักถั่วฝักยาว มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการเก็บรักษา ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ถุง PE และ ถุง PE แบบเจาะรู ตามลำดับ ปริมาณแอนโทไซยานินของฝักถั่วฝักยาวที่เก็บรักษาในถุงซิปปมีค่ามากที่สุดและผกผันกับค่า pH ที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ

ถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ทุกชุดการทดลอง และในแต่ละระยะเวลาไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *E. coli* และ *S. aureus* ตลอดการเก็บรักษา จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (APC) ของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 มีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดสอบเมื่อเก็บในระยะเวลาสั้นขึ้น ถุง PE แบบไม่เจาะรู พบจำนวน APC และเชื้อราทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ ชุดที่เก็บรักษาในถุงซิปป และ ถุงพลาสติก PE แบบเจาะรู

ข้อเสนอแนะ

ในการเลือกภาชนะบรรจุระหว่างการเก็บรักษาคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 พบว่าการใช้ถุงซิปปสามารถรักษาคุณภาพทางกายภาพทั้งการลดการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี และความแน่นเนื้อของฝักได้เป็นอย่างดี และรักษาคุณภาพทางเคมีทั้งปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินได้สูงมากที่สุด แต่เนื่องด้วยถุงซิปปมีราคาสูงกว่าถุง PE ค่อนข้างมาก หากนำมาใช้ในการบรรจุผลิตผลในปริมาณมาก อาจเป็นการเพิ่มต้นทุนให้แก่ผลิตผลมากยิ่งขึ้น ดังนั้นหากเกษตรกรจะนำไปบรรจุผลิตผลในปริมาณมาก แนะนำให้สามารถเลือกใช้ถุง PE เพื่อรักษาคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมี

รองลงมาจากการใช้ถุงซิปลี่ที่ให้ผลในการรักษาคุณภาพที่ดีกว่า แต่สามารถลดต้นทุนให้แก่ผู้ผลิตได้และยังคงรักษาคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้ถุงซิปลี่มากที่สุด

การทดลองที่ 2 ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธร เบอร์ 1

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำเสาวรและปริมาณเพคตินที่เหมาะสมในการผลิตแยม ถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1

แยมสูตรที่ 1 (21.1:0.5) มีค่า pH สูงที่สุด และมีค่า Rupture Strength ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) ค่า a_w และปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของแยมทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แยมสูตรที่ 3 (25:1.5) มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะด้านต่างๆ พบว่าสูตรที่ 1 (21.1:0.5) มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัวบนขนมปัง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($P \leq 0.05$)

ตอนที่ 2 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์แยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1

แยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 7 (0: ซูคราโลส 55) มีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด ค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณไซลิทอลและซูคราโรสเพิ่มขึ้น แยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่เติมไซลิทอลและซูคราโลสมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.02-3.52 เติมซูคราโลสทั้ง 3 ระดับ มีค่า a_w สูงกว่าแยมที่เติมสูตรควบคุมและไซลิทอล แยมที่เติมปริมาณซูคราโลสเพิ่มขึ้นปริมาณของที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำกว่าแยมที่เติมไซลิทอลและสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$) เติมซูคราโลสทั้ง 3 ระดับ มีค่า Rupture Strength ต่ำที่สุด ($P \leq 0.05$) แยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 สูตรที่ 2 (20:35) มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส การกระจายตัว ความหวาน และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสูตรควบคุม แยมฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ที่เติมไซลิทอลร้อยละ 35 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$) และมีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร ใยอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคและอายุการเก็บรักษาแยมถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1 ในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ
2. ควรศึกษาชนิดสารให้ความหวานแทนน้ำตาลชนิดอื่นๆ เช่น ซอร์บิทอล สตีวียอไซด์ และ แอสปาแตม

ผลผลิต (Output)

บทความวิจัย

1. Lueangprasert, K., Thaweeseang, N. and Saelim, K. 2019. Effect of Planting Season on Growth and Development of Purple Yard Long Bean cv. Sirindhorn No.1 at Ratchaburi Province, Thailand. In Proceeding of “Seoul International Conference on Applied Science and Engineering 2019”, Courtyard by Marriott Seoul Times Square Seoul, South Korea. May 21-23, 2019.

บรรณานุกรม

- กรรณิกา โพธิ์นันทวงศ์ กิจกุล จินดา และสาวิตรี เอี่ยมศรีเพชร. 2549. งานวิจัยเรื่องการทดแทนน้ำตาลซูโครสบางส่วนด้วยซูคราโลสในขนมทองหยิบ. นครปฐม : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- กันยารัตน์ บรรจงแจ่ม. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมมะเขือเทศลดพลังงาน. การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนิษฐ์ รัตน์รังสีมา. 2555. สถานการณ์การบริโภคน้ำตาลของประชากรไทย ปี 2540-2553. วิทยาสารทันตสาธารณสุข. กรกฎาคม-ธันวาคม 17(2): 23-29.
- ขวัญใจ แซ่ลิ้ม. 2552. ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของส้ตอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหนาม. 2554. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา Oxidants and antioxidants: Sources and mechanism. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. 1(1): 59-70.
- เจนจิรา ตันติพิริยะ นริศรา แซ่ลือ และชญานันท์ ทองวานิช. 2549. งานวิจัยเรื่องการใช้สารให้ความหวาน “ซูคราโลส” ทดแทนน้ำตาลบางส่วนในผลิตภัณฑ์แยมส้มโอ. นครปฐม : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- ฐานข้อมูลพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2557. ถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://portal.rae.mju.ac.th/dbplant/index.php/horticulture/vegetable/item/vigna-unguiculata>. ค้นเมื่อ : 10 กุมภาพันธ์ 2560.
- ณัฐนิชา ทวีแสง และกัญญารัตน์ เหลืองประเสริฐ. 2561. การทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธร เบอร์ 1 ในคุกกี้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 26 ฉบับที่ 7 (ฉบับเสริม): 1222-1233.
- ดรุณี เอ็ดเวิร์ดส์ เทวี โพธิ์ผละ งามชื่น คงเสรี และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2556. เอกสารประกอบการสอนชุด : ผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- นงลักษณ์ งามพีระพงศ์. 2557. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมกระเจี๊ยบแดงลดน้ำตาล. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิตยา รัตน์ापนนท์. 2543. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

- ประไพศรี ศรีจักรวาล. 2549. น้ำตาลทำไม่ต้อง 6 ซ่อนชา. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- พิเชษฐ์ ชุ่มใจ. 2555. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดเสาวรสโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มูลนิธิชัยพัฒนา. 2558. สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงตรวจเยี่ยมการดำเนินงาน โครงการของมูลนิธิชัยพัฒนา อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย. แหล่งที่มา: http://www.chaipat.or.th/site_content/961-2558/7673-2015-dec-10-04-08-28.html. ค้นเมื่อ 1 กันยายน 2559.
- ลลิตา พานิชผล. 2550. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมว่านหางจระเข้ผสมกระเจี๊ยบลดพลังงาน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วรรณรีย์ คนขยัน. 2551. ถั่วฝักยาว: คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.
- เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย. 2560. ถั่วฝักยาวและการปลูกถั่วฝักยาว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://puechkaset.com/ถั่วฝักยาว/>. ค้นเมื่อ: 27 กุมภาพันธ์ 2560.
- ศิริวรรณ สุทธิจิตต์ และ สุวรรณ เวชอภิกุล. 2527. สารประกอบฟีนอลิก. เอกสารประกอบการสอน กระบวนวิชาเภสัชเวทชั้นสูง2. ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2546. เสาวรส. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.acfs.go.th/thaifruits/fruits.php>. ค้นเมื่อ: 20 มกราคม 2561.
- อัญชลี ศรีจำเริญ. 2555. อาหารเพื่อสุขภาพ: สารอาหารเชิงพันธุภาพและกลไกการทำงาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โอภา วัชรคุปต์. 2550. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์.
- Abid, M., Yaich, H., Hidouri H., Attia, H. and Ayadi, M.A. 2018. Effect of substituted gelling agents from pomegranate peel on colour, textural and sensory properties of pomegranate jam. *Food Chem.*, 239: 1047–1054.
- Agarwal, A.K. and Khurana, D. 2013. Long-term storage oxidation stability of Karanja biodiesel with the use of antioxidants. *Fuel Process. Technol.*, 106: 447–452.
- Agulheiro-Santos, A.C., Vieira, F., Gonzalez, D., Lozano, M., Palma, V. and Rato, A.E. 2014. Effect of storage on physical-chemical properties and phenolics of sweet cheery from São region. [Online]. Available Source: https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/.../Artigo_AgulheiroSantos_Valencia.pdf. Accessed Data: 27 March 2019.

- Ahmed, H.A. and Osama, Y.A. 2008. Antioxidant activity of some Jordanian medicinal plants used traditionally for treatment of diabetes. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 11: 351-358.
- Albuquerque, T.L., Silva, J.I.J., Macedo, G.R. and Rocha, M.V.P. 2014. Biotechnological production of xylitol from lignocellulosic wastes: A review *Process Biochem.*, 49: 1779–1789.
- Altunkayaand, A. and Gökmen, V. 2008. Effects of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenolic content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chem.*, 107: 1173-1179.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis of AOAC international. 18th ed. AOAC international.
- Artés, F., Villaescusa, R. and Tudera, J.A. 2000. Modified atmosphere packaging of pomegranate. *J. Food Sci.*, 65: 1112-1116.
- Basu, S. and Shivhare, U.S. 2010. Rheological, textural, micro-structural and sensory properties of mango jam. *J. Food Eng.*, 100: 357–365.
- Basu, S., Shivhare, U.S. and Singh, T.V. 2013. Effect of substitution of stevioside and sucralose on rheological, spectral, color and microstructural characteristics of mango jam. *J. Food Eng.*, 114: 465–476.
- Belovic, M., Torbica, A., Pajic, I. and Mastilovic, J. 2017. Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. *Food Chem.*, 237: 1226–1233.
- Besbes, S., Drira, L., Blecker, C., Deroanne, C., and Attia, H. 2009. Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera* L.): Compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food Chem.*, 112: 406–411.
- Cadena, R.S., Cruz, A.G., Netto, R.R., Castro, W.F., Fonseca Faria, J.d.A. and Bolini, H.M.A. 2013. Sensory profile and physicochemical characteristics of mango nectar sweetened with high intensity sweeteners throughout storage time. *Food Res. Int.*, 54: 1670–1679.
- Çandir, E., Özdemir, A.E. and Aksoy, M.C. 2019. Effects of Modified atmosphere packaging on the storage and shelf life of Hicaznar pomegranate fruits. *Turk. J. Agric For.*, 43: 1-13.
- Cheng, G.W. and Breen, P.J. 1991. Activity of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 116: 865-869.

- Chitarra, M.I.F. and Chitarra, A.B. 2005. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. Ed. Lavras: UFLA, pp. 783.
- Chumyam, A., Whangchai, K., Jungklang, J., Faiyue, B. and Saengnil, K. 2013. Effects of heat treatments on antioxidant capacity and total phenolic content of four cultivars of purple skin eggplants. *ScienceAsia*, 39: 246-251.
- Cornelli, U. 2009. Antioxidant Use in Nutraceuticals. *Clinics in Dermatology*. 27(2): 175-94.
- CODEX, Codex standard 296: Standard for jams, jellies and marmalades. 2009. [Online]. Available Source: <http://www.codexalimentarius.net>>. Accessed Data: 16 January 2017.
- Culotta, V.C, Yang, M. and O'Halloran, T.V. 2006. Activation of superoxide dismutases: putting the metal to the pedal. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1763: 747-758.
- Damodaran, S., Parkin, K.L. and Fennema, O.R. 2008. *Fennema's Food Chemistry*. 4thed.CRC press, New York.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. and Attia, H. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review, *Food Chem.*, 124: 411-421.
- Ha, T.J., Lee, M.H., Park, C.H., Pae, S.B., Shim, K.B., Ko, J.M., Shin, S.O., Baek, I.Y. and Park, K.Y. 2010. Identification and characterization of anthocyanins in yard-long beans (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis* L.) by high-performance liquid chromatography with diode array detection and electrospray ionization/mass spectrometry (HPLC-DAD-ESI/MS) analysis. *J. Agric. Food Chem.*, 58: 2571-2576.
- Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C. 1999. *Free Radicals in Biology and Medicine*: Oxford University Press.
- Holcroft, D.M., Gil, M.I. and Kader, A.A. 1998. Effect of carbon dioxide on anthocyanins, phenylalanine ammonia lyase and glucosyltransferase in the arils of stored pomegranates. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 123: 136-140.
- Igual, M., Contreras, C. and Martínez-Navarrete, N. 2014. Colour and rheological properties of non-conventional grapefruit jams: Instrumental and sensory measurement *LWT - Food Sci. Technol.*, 56: 200-206.

- Jang, I.C., Jo, E.K., Bae, M.S., Lee, H.J., Jeon, G.I., Park, E., Yuk, H.G., Ahn, G.H. and Lee, S.C. 2010. Antioxidant and antigenotoxic activities of different parts of persimmon (*Diospyros kaki* cv. *Fuyu*) fruit. *J. Med. Plant Res.*, 4: 155-160.
- Jurd, L. 1972. Some Advances in the chemistry of anthocyanin type plant pigments. *In*: Chichester, C.O. (ed.). *The Chemistry of Plant Pigments*. (pp.123-142), New York: Academic Press.
- Kamiloglu, S., Pasli, A. A., Ozcelik, B., Camp, J.V. and Capanoglu, E. 2015. Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chem.*, 186: 74–82.
- Ketsa, S. and Atantee, S. 1998. Phenolic, lignin, peroxidase activity and increased firmness of damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. *Postharvest Biol. Technol.*, 14: 117-124.
- Konicaminolta. 2015. L*, C* and H° color space. [Online]. Available Source: http://www.konicaminolta.com/about/research/instruments/instrument_001.html, Accessed Data: 1 April 2016.
- Kovacevic, D.B, Putnik, P., Dragovic-Uzelac, V., Vahcic, N., Babojelic, M.S. and Levaj, B. 2015. Influences of organically and conventionally grown strawberry cultivars on anthocyanins content and color in purees and low-sugar jams. *Food Chem.*, 181: 94–100.
- Lockwood, B. 2007. *Nutraceuticals: A Guide for Healthcare Professionals*. Second ed. London: Pharmaceutical Press.
- Lueangprasert, K., Uthaibutra, J., Saengnil, K. and Arakawa, O. 2010. The effects of sugar application on the concentrations of anthocyanin and flavonol of “Mahajanaka” mango (*Mangifera indica* Linn. cv. *Mahajanaka*) Fruit. *Chiang Mai J. Sci.*, 37(2): 355-362.
- Mazza, G. and Miniati, E. 2000. *Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains*. CRS. Press, Florida, pp. 1-28.
- Meighani, H., Ghasemnezhad, M. and Bakhshi, D. 2015. Effect of different coatings on post-harvest quality and bioactive compounds of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits. *J. Food Sci. Technol.*, 52: 4507-4514.
- Mittler, R. and Poulos, T.L. 2005. Ascorbate peroxidase. *In*: Smirnoff, N. (ed). *Antioxidant and Reactive Oxygen Species in Plants*. (pp. 87-100), Black well, Oxford.

- Mudgil, D, and Barak, S. 2013. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *Int. J. Biol. Macromol.*, 61: 1-6.
- Mun'im, A., Negishi, O. and Ozawa, T. 2003. Antioxidative compounds from *Cratalaria sessiliflora*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 67: 410-414.
- Nimse, S.B. and Pal, D. 2015. Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC.*, 5: 27986-28006.
- Oliveira, J. Silva, I.G., Silva, P.P. and Spoto, M.H.F. 2014. Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita de camu-camu. *Ciência Rural.*, 44(6): 1126-1133.
- Papas, A.M. 1999. Isoflavone metabolism and bio-availability. *In: Papas, A.M. (ed.). Antioxidant Status, Diet, Nutrition, and Health.* (pp. 211-231), CRC Press, London, New York, Washington.
- Pertuzatti, P.B., Sganzerla, M., Jacques, A.C, Barcia, M.T. and Zambiasi, R.C. 2015. Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. *LWT – Food Sci. Technol.*, 64 : 259-263.
- Peters, R.D., and Noble, S.D. 2012. Using Spectral Measurements to Differentiate Between Anthocyanin and Betacyanin Containing Plant Species. *CIGR-AGENG 2012.* [Online]. Available Source: http://www2.atbpotsdam.de/cigrimageanalysis/images/images12/tabla_137_C1775.pdf. Accessed Data: 30 November 2018.
- Pifferi, P.G. and Cultrera, R. 1974. Enzymatic degradation of anthocyanins-the role of cherry polyphenol oxidase. *J. Food Sci.*, 39: 786-791.
- Pratt, D.E. and Hudson, P.J.F. 1990. Natural antioxidant not exploited commercially. *In: Hudson, B.J.F. (ed). Food Antioxidant.* (pp. 171-191), London: Elsevier.
- Ranganna, S. 1977. Plant pigments. *In: Ranganna, S. (ed.). Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products.* (pp. 72-93), New Delhi : TaTa McGraw-Hill publishing Co., Ltd.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. and Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic. Biol. Med.*, 20(7): 933-956.

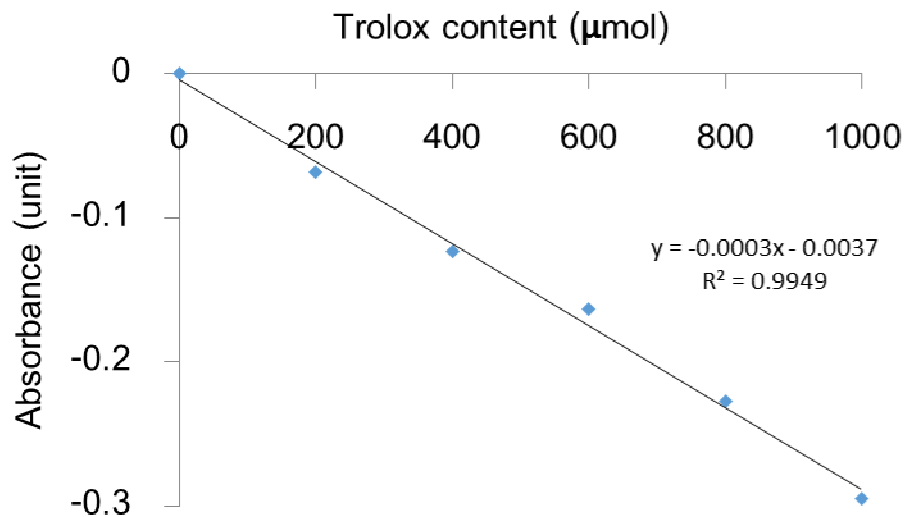
- Rinaldi, M.M., Dianese, A. de C., Costa, A.M., Sussel, A.A.B., Faleiro, F.G. and Junqueira, N.T.V. 2017. Effect of different packaging materials on the shelf life of passion fruits during ambient and low temperature storage. *J. Postharvest Technol.*, 05(1): 7-16.
- Robards, K., Prenzler, P.D., Tucker, G., Swatsitang, P. and Glover, W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chem.*, 66: 401-436.
- Saengnil, K., Lueangprasert, K. and Uthaibutra, J. 2006. Control of enzymatic browning of harvested 'Hong Huay' litchi fruit with hot water and oxalic acid dips. *ScienceAsia*. 32: 345-50.
- Samapundo, S., Meulenaer, B., Atukwasea, A., Debeverea, J. and Devliegherea, F. 2007. The influence of modified atmospheres and their interaction with water activity on the radial growth and fumonisin B₁ production of *Fusarium verticillioides* and *F. proliferatum* on corn. Part I: the effect of initial headspace carbon dioxide concentration. *Int. J. Food Microbiol.*, 114(2): 160-167.
- Shahidi, F. and Naczk, M. 2004. *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. CRC Press LLC, New York Washington, D.C. 575 p.
- Shiri, M.A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D. and Dadi, R. 2011. Changes in phenolic compounds and antioxidant capacity of fresh-cut table grape (*Vitis vinifera*) cultivar 'Shahaneh' as influence by fruit preparation methods and packaging. *Aust. J. Crop Sci.*, 5(12): 1515-1520.
- Singleton, V.L. and Rossi, Jr.J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybic-phosphotungstic acid reagent. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 16: 144-157.
- Skrede, G., and Wrolstad, R. E. 2002. Chapter 3 : Flavonoids from berries and grapes. In J. Shi, G. Mazza, and M. L. Maguer (eds.), *Functional foods: Biochemical and processing aspects*. New York: CRC Press LLC. pp. 71-133.
- Specialty Produce. 2017. China Long Purple Beans. [Online]. Available Source: http://www.specialtyproduce.com/produce/China_Long_Purple_Beans_3653.php. Accessed Data: 27 February 2017.
- Swain, T. 1976. Nature and Properties of Flavonoids. *In*: Goodwin, T.W. (ed.). *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigment*. (pp. 425-463), London: Academic Press.

- Timberlake, C.F. 1980. Anthocyanins—occurrence, extraction and chemistry. *Food Chem.*, 5: 69-90.
- Tomás-Barberán, F.A., Gil, M.I., Cremin, P., Waterhouse, A.L., Hess-Pierce, B. and Kader, A.A. 2001. HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *J. Agric. Food Chem.*, 49: 4748-4760.
- Tsai, P.J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden, B. and Jordan, B.R. 2002. Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) extract. *Food Res. Int.*, 35: 351-356.
- Underhill, S.J.R. and Critchley, C. 1993. Physiological, biochemical and anatomical changes in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp during storage. *J. Hort. Sci.*, 68: 327-335.
- Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L. and Oomah, B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *J. Agric. Food Chem.*, 46: 4113-4117.
- Wong, D.W.S. 1989. Colorants. *In: Mechanism and Theory in Food Chemistry*, AVI Publishing Co., Westport, CT, 147-189.

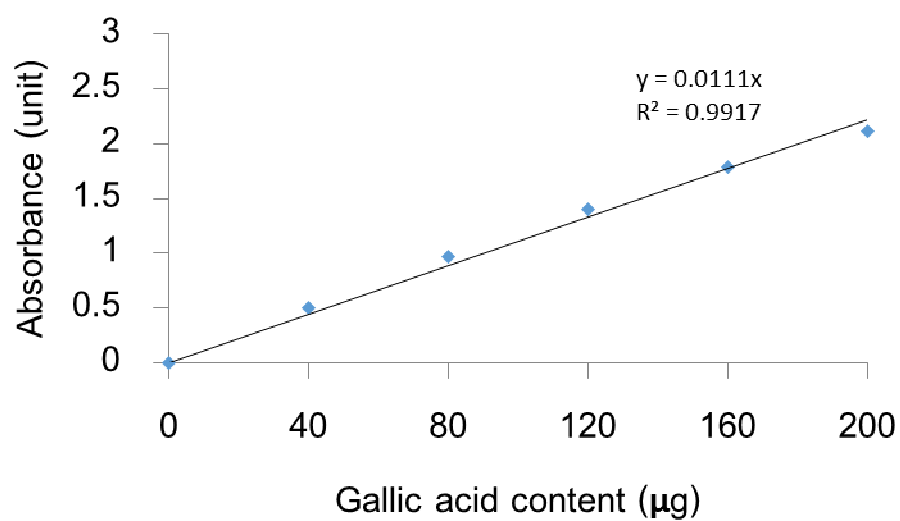
ภาคผนวก ก

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา

ตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตรกับปริมาณสารประกอบในการต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตรกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน

ตารางที่ 1 การสูญน้ำหนักร้อย (%) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	Weight loss of pod (%)							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	0.00±0.00a	4.89±0.28a	16.01±0.33a	19.72±0.51a	29.99±0.84a	36.43±0.62a	43.27±0.51a	50.34±0.96a
PE bag	0.00±0.00a	1.89±0.49b	4.22±0.64b	9.93±0.41b	15.50±0.62b	18.85±0.63b	22.91±0.42b	26.38±0.43b
Zip seal PE bag	0.00±0.00a	0.50±0.53c	3.43±0.40c	5.65±0.36c	8.28±0.42c	12.58±0.76c	14.05±0.52c	14.58±0.49c

ตารางที่ 2 ความแน่นเนื้อ (N) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	Firmness of pod (%)							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	15.92±0.45a	14.50±0.09b	14.04±0.09b	12.87±0.44b	11.90±0.32c	10.68±0.57c	10.28±1.15c	8.04±0.39c
PE bag	15.92±0.45a	14.97±0.17a	14.62±0.09a	13.27±0.60b	12.79±0.30b	12.34±0.35b	11.07±0.62b	9.25±0.18b
Zip seal PE bag	15.92±0.45a	15.12±0.57a	14.78±0.34a	14.21±0.36a	13.92±0.37a	13.12±0.37a	11.82±0.33a	10.88±0.58a

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; n=20

ตารางที่ 3 ค่าความสว่าง (L* value) ของผักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	L* value							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	33.67±0.39a	36.99±0.62a	37.78±0.52a	38.06±0.33a	38.77±0.50a	39.86±0.44a	41.65±0.62a	43.18±0.65a
PE bag	33.67±0.39a	34.75±0.67b	35.04±0.48b	35.57±0.31b	35.91±0.47b	36.82±0.68b	37.64±0.75b	39.04±0.66b
Zip seal PE bag	33.67±0.39a	33.96±0.61c	34.24±0.41c	34.89±0.51c	35.42±0.28c	35.78±0.45c	36.89±0.56c	38.00±0.49c

ตารางที่ 4 ค่าสีแดงและสีเขียว (a* value) ของผักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	a* value							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	27.63±0.29a	22.27±0.82c	21.26±0.61c	20.86±0.49c	20.16±0.28c	19.04±0.61c	16.03±0.63c	14.10±0.65c
PE bag	27.63±0.29a	24.66±0.52b	24.06±0.36b	23.62±0.39b	23.13±0.55b	21.87±0.56b	19.89±0.29b	17.20±0.60b
Zip seal PE bag	27.63±0.29a	26.77±0.45a	26.13±0.57a	25.84±0.38a	25.27±0.51a	24.32±0.33a	21.42±0.57a	18.91±0.45a

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวนอนแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; n=20

ตารางที่ 5 ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (b* value) ของฝักกล้วยฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	b* value							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	14.32±0.72a	13.91±0.54a	13.16±0.35a	12.55±0.74a	12.07±0.52a	10.91±0.68a	8.79±0.47a	4.83±0.51a
PE bag	14.32±0.72a	12.57±0.40b	11.97±0.35b	11.16±0.55b	10.35±0.36b	9.51±0.56b	7.52±0.48b	3.61±0.55b
Zip seal PE bag	14.32±0.72a	11.40±0.62c	10.44±0.45c	9.34±0.65c	8.95±0.53c	8.24±0.30c	5.75±0.45c	2.31±0.25c

ตารางที่ 6 ค่าความเข้มของสี (chroma value; C* value) ของฝักกล้วยฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	C* value							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	30.45±0.52a	26.37±0.53b	24.86±0.60c	23.25±0.55c	22.62±0.33c	21.75±0.36c	17.02±0.49c	10.92±0.54c
PE bag	30.45±0.52a	28.82±0.65a	27.65±0.55b	26.72±0.41b	25.95±0.49b	24.11±0.47b	18.39±0.30b	15.00±0.42b
Zip seal PE bag	30.45±0.52a	29.03±0.50a	28.32±0.45a	27.60±0.48a	26.72±0.38a	25.20±1.46a	19.31±0.45a	16.96±0.61a

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวนอนแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; n=20

ตารางที่ 7 ค่าสี (Hue angle value; H° value) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	H° value							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	24.89±0.45a	26.69±1.43a	27.26±0.55a	27.99±0.28a	29.25±0.51a	30.86±0.56a	35.62±0.59c	37.86±0.42c
PE bag	24.89±0.45a	25.89±0.28b	26.06±0.58b	26.79±0.40b	27.43±0.53b	28.17±0.40b	30.55±0.67b	32.51±0.30b
Zip seal PE bag	24.89±0.45a	25.53±0.39b	25.96±0.39b	26.41±0.70b	26.92±0.51c	27.33±0.17c	28.97±0.59c	30.35±0.64c

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวนอนแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; n=20

ตารางที่ 8 ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5±2°C) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	Antioxidant capacity (mmol Trolox equivalent/100g FW)							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	66.99±1.23a	56.99±0.38c	50.66±0.14c	44.66±0.38c	42.92±0.96c	39.58±2.18c	30.49±1.38c	25.41±2.60c
PE bag	66.99±1.23a	60.24±1.01b	56.08±1.15b	54.33±0.66b	50.99±1.26b	47.99±1.04b	39.33±1.32b	33.58±0.50b
Zip seal PE bag	66.99±1.23a	63.58±0.66a	58.99±0.76a	57.99±0.14a	54.49±0.72a	52.83±0.90a	44.91±1.38a	37.24±0.63a

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวนอนแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; n=5

ตารางที่ 9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compounds) ของฝักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	Total phenolic compounds (mg/100g FW)							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	1909.91 \pm 9.82 a	1755.25 \pm 9.10 c	1644.14 \pm 17.00 c	1551.80 \pm 18.02 c	1429.43 \pm 14.48 c	1277.03 \pm 18.44 c	1086.34 \pm 22.56 c	940.69 \pm 4.69 c
PE bag	1909.91 \pm 9.82 a	1796.54 \pm 20.19 b	1735.73 \pm 8.53 b	1677.93 \pm 8.12 b	1613.36 \pm 17.49 b	1511.26 \pm 21.49 b	1325.82 \pm 13.76 b	1150.15 \pm 9.10 b
Zip seal PE bag	1909.91 \pm 9.82 a	1837.84 \pm 12.54 a	1780.03 \pm 25.61 a	1730.48 \pm 13.76 a	1684.68 \pm 15.77 a	1633.63 \pm 12.40 a	1488.74 \pm 9.01 a	1290.54 \pm 12.54 a

ตารางที่ 10 ปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมด (anthocyanin content) ของผักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	Anthocyanin content (mg/100g FW)							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	12.593±0.04a	12.125±0.06b	11.799±0.10b	11.609±0.09c	11.275±0.04c	11.242±0.07b	11.134±0.09b	10.774±0.22b
PE bag	12.593±0.04a	12.240±0.17ab	12.152±0.01a	11.996±0.60b	11.758±0.10b	11.663±0.08a	11.561±0.10a	11.337±0.15a
Zip seal PE bag	12.593±0.04a	12.396±0.07a	12.247±0.16a	12.145±0.04a	11.962±0.03a	11.806±0.08a	11.711±0.11a	11.500±0.05a

ตารางที่ 11 pH ของสารละลายของผักถั่วฝักยาวสีม่วงสิรินธรเบอร์ 1 ในแต่ละชุดทดลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ($5\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน

Treatment	pH							
	Day0	Day2	Day4	Day6	Day8	Day10	Day12	Day14
Punch hole PE bag	5.452±0.03a	5.552±0.02a	5.580±0.03a	5.630±0.03a	5.658±0.03a	5.664±0.01a	5.680±0.01a	5.718±0.01a
PE bag	5.452±0.03a	5.476±0.02b	5.496±0.03b	5.526±0.02b	5.547±0.03b	5.590±0.03b	5.618±0.01b	5.626±0.01b
Zip seal PE bag	5.452±0.03a	5.470±0.03b	5.488±0.04b	5.496±0.02b	5.526±0.03b	5.556±0.03b	5.592±0.01c	5.598±0.01c

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; n=5

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี และกายภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนไนโตรเจน (AOAC, 2005)

วัสดุอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อย (Digester)
2. หลอดย่อย (Digestion Tube)
3. Exhaust Manifold และ aspirator
4. ขาตั้งยึดหลอด (Tube stand)
5. หน่วยกลั่นเจล์เทค (Kjeltec 1002 Distilling Unit)
6. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask 250 ml)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. Sulphuric acid)
2. เม็ดเจล์แทบซึ่งเป็นแคตตาลิสต์ของการย่อย (Kjeltabs)
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 40 ซึ่งเตรียมได้โดยละลาย NaOH 400 กรัมในน้ำ 1 ลิตร

4. สารละลายกรดบอริก (Boric acid) เข้มข้นร้อยละ 4 ผสมรวมกับอินดิเคเตอร์ (Indicator) ซึ่งเตรียมได้โดยการละลายกรดบอริก 40 กรัมในน้ำกลั่นปริมาณ 1 ลิตร นำไปตั้งบน hot plate ต้มจนสารละลายหมด จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 9 ลิตร ทิ้งให้เย็น อินดิเคเตอร์ สารโบโรโมครีซอลกรีนและเติมสารละลายเมทิลเรด (Methyl red) จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร ตูดสารละลายกรดบอริก (Boric acid) ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ หยดอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างโบโรโมครีซอลกรีนและเมทิลเรด (Methyl red) 1-2 หยด

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างอาหารให้ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5 กรัม ห่อด้วยกระดาษแล้วใส่ลงในหลอดย่อย
2. เติมเม็ดเจล์แทบ (Kjeltabs) และ กรดซัลฟูริกเข้มข้นประมาณ 15-25 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเบาๆ
3. ตั้งหลอดย่อยบนเครื่องให้ความร้อน (heat shield) ซึ่งได้ตั้งอุณหภูมิไว้ที่
4. ย่อยต่อเป็นเวลา 45-60 นาที จนได้สารละลายใส นำหลอดย่อยออกมาจากเครื่องให้ความร้อน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. ทำการกลั่นโดยใช้เครื่อง Kjeltec โดยเติมสารละลายกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์แล้วปริมาณ 25 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร กลั่นจนได้สารละลายใส (Distillate) 150 มิลลิลิตร
6. นำสารละลายใส (Distillate) มาไทเทรตกับ สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอลจนได้สารละลายสีเทา (จุดยุติ)

การคำนวณปริมาณโปรตีน

1 มิลลิลิตรของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล = ไนโตรเจน 0.014 กรัม

$$\text{ร้อยละปริมาณไนโตรเจน} = \frac{1.401 \times (A-B) \times C}{W}$$

ร้อยละของปริมาณโปรตีน = ร้อยละปริมาณไนโตรเจน × Conversion factor

เมื่อ A = ปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (ml)

B = ปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรตกับ bank (ml)

C = ความเข้มข้นของ HCl (M)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง

Conversion factor ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และอาหารทั่วไป = 6.25

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 2005)

วัสดุอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง (porcelain crucible)
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. เตาเผา (muffle furnace)

วิธีวิเคราะห์

1. เมาถ้วยกระเบื้องที่สะอาดและแห้งในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 – 550 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งเพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน เติมตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาเถ้าประมาณ 2 กรัม ลงในถ้วยกระเบื้อง
2. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมด้วยตัวอย่างสารวางบนแผ่นให้ความร้อน (Hot plate) เมาในตู้ควันจนหมดควันสีดำ
3. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมด้วยตัวอย่างสารจากข้อ 2.2 เข้าตู้เผาที่อุณหภูมิ 500 – 550 องศาเซลเซียส เมาจนเป็นสีขาวหรือเทาอ่อน ปกติใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง
4. ในกรณีที่เถ้าเป็นสีดำซึ่งแสดงว่ายังมีคาร์บอนอยู่บ้าง ให้หยดน้ำยาแอมโมเนียมคาร์บอเนต 2-3 หยด ลงบนเถ้าแล้วระเหยให้แห้งแล้วเผาต่อไปในเตาเผาจนได้เถ้าสีขาว
5. ใช้คีมคีบถ้วยกระเบื้องจากเตาเผาไปทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด

การคำนวณปริมาณเถ้าทั้งหมด

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้าทั้งหมด} = \frac{(A - B)}{W} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง

W = น้ำหนักตัวอย่าง

3. วิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดสกัดแบบซอกซ์เลต (Soxhlet apparatus) ทิมเบิล (Thimble)
2. ตู้อบร้อน (Hot air oven)
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม (น้ำหนักที่แน่นอน) ห่อในกระดาษกรอง (ถ้าตัวอย่างมีความชื้นสูงให้นำไปอบให้แห้งก่อน) บรรจุกระดาษกรองลงในทิมเบิล (Thimble) อุดด้วยสำลีที่ปราศจากไขมัน ใส่ทิมเบิลลงในส่วนที่เป็นไซฟอนของเครื่อง Soxhlet apparatus

2. นำขวดกักกลมที่ผ่านการอบแห้งและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นมาชั่งน้ำหนัก เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงไป 100 มิลลิตร แล้วต่อเข้ากับเครื่อง Soxhlet apparatus

3. เปิดเตาความร้อนให้เกิดการกลั่นตัวของปิโตรเลียมอีเทอร์ในอัตรา 5-6 หยดต่อวินาที นาน 4 ชั่วโมง หรือ 2-3 หยดต่อวินาที นานตลอดคืน เพื่อสกัดไขมันจากตัวอย่าง

4. หลังจากสกัดเสร็จควรระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ให้อยู่ในส่วนของไซฟอนมากที่สุด ปิดเตาความร้อนและนำขวดกลมไประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกให้หมดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณปริมาณความชื้น

$$\text{ร้อยละปริมาณไขมัน (\% crude fat)} = \frac{A - B - C}{W} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักขวดกักกลมและไขมันหลังอบ

B = น้ำหนักขวดกักกลม

C = น้ำหนักขวดกักกลมที่เป็น blank

W = น้ำหนักตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

วัสดุอุปกรณ์

1. ตู้อบแห้ง (Hot air oven)
2. ถ้วยอลูมิเนียม (Moisture can)
3. โถดูดความชื้น (Desiccator)

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมถ้วยอลูมิเนียมที่ล้างสะอาดแล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 4-6 ชั่วโมง

2. ชั่งน้ำหนักอาหารประมาณ 5 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

3. นำถ้วยอลูมิเนียมไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส \pm 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. นำถ้วยอลูมิเนียมออกจากเตาอบแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

5. เมื่อเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

การคำนวณปริมาณความชื้น

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น (\% wet basis)} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างสดก่อนอบ

B = น้ำหนักตัวอย่างแห้งหลังอบ

5. วิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (AOAC, 2005)

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องสกัดเส้นใย (Fibretech)
2. Buchner funnel
3. ผ้าขาวบาง
4. Evaporation dish
5. Hot air oven

สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.25
2. กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.25

วิธีวิเคราะห์

1. ใส่ตัวอย่างอาหาร (ผ่านการอบแห้ง และสกัดเอาไขมันออก) ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติม 1.25 เปอร์เซ็นต์ H₂SO₄ Solution 200 มิลลิลิตร (ใช้ปากกาขีดระดับไว้) ให้ความร้อนอย่างรวดเร็วต้มเดือดเบาๆ นาน 30 นาที คอยรักษาระดับของของเหลวให้คงที่ โดยการเติมน้ำร้อน

2. กรองที่ผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น ที่วางอยู่บน buchner funnel บนบีกเกอร์ นำน้ำกลั่นที่ร้อนมาล้างกากที่อยู่บนผ้าขาวบางลินิกิน หลายๆ ครั้ง เพื่อล้างกรดออก

3. ล้างกากที่อยู่บนผ้าลินินกลับลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำร้อน เติม 5 เปอร์เซ็นต์ NaOH Solution 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 200 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นเป็น 1.25 เปอร์เซ็นต์) นำไปต้มให้เดือด 30 นาที (คอยรักษาระดับของเหลวให้คงที่)

4. กรองผ่านผ้าขาวบางแบบเดิม ล้างกากด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนกระทั่ง

ต่างหมดไป

5. ถ่ายกากใส่ evaporation flash นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตลอดคืนทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก (A)

6. นำไปเผาให้กลายเป็นเถ้าใน muffle furnace ทิ้งให้เย็นและชั่งน้ำหนัก

(B)

การคำนวณปริมาณกากใย

$$\text{ร้อยละปริมาณกากใย (\% Total Crude fibre)} = \frac{(A - B) \times 100}{W}$$

W = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

6. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2005)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่น้อยได้ง่ายคำนวณได้จาก

100 - (เปอร์เซ็นต์ความชื้น + เปอร์เซ็นต์โปรตีน + เปอร์เซ็นต์ไขมัน + เปอร์เซ็นต์เถ้า + เปอร์เซ็นต์ใยอาหาร)

7. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid)

1. ทำความสะอาด Hand refractometer ก่อนอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยกระดาษทิชชู

2. ทำการปรับค่าปริมาณของแข็งด้วยน้ำบริสุทธิ์ โดยปรับให้เท่ากับศูนย์

3. หลังจากปรับค่าปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์แล้วใช้กระดาษทิชชูเช็ดฝาครอบและด้านปริซึมให้สะอาดและแห้ง

4. นำตัวอย่างอาหารมาเกลี่ยบนด้านที่มีปริซึม

5. ใช้ฝาครอบ Hand refractometer ปิดลงแล้วอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) โดยเร็วที่สุด ถ้าตัวเลขที่ใช้วัดค่าความหวานเห็นไม่ชัด ก็สามารถปรับได้ด้วยเลนส์ใกล้ตา

6. เมื่ออ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแล้ว ใช้น้ำสะอาดล้างตรวจบริเวณฝาครอบและด้านที่มีปริซึมให้สะอาด ซับด้วยกระดาษทิชชูให้แห้ง

8. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกบอกรวง (cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร

2. ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 50 มิลลิลิตร

3. เครื่องวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

วิธีการ

1. ก่อนทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทุกครั้ง ต้องปรับค่ามาตรฐานของเครื่อง pHmeter ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.00 และ pH 7.00

2. นำแยมผลไม้ใส่ลงในปีกเกอร์ปริมาณ 20 กรัม

3. ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ electrode ของ pH meter จุ่มลงไปและอ่านค่า

9. การหาปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่า Water activity : a_w
2. ตลับพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่าง

วิธีการ

1. นำตัวอย่างบรรจุลงในตลับพลาสติก สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระโดยบรรจุตัวอย่าง 1 ใน 3 ของตลับ

2. นำตลับใส่ใน Measuring chamber
3. ปิดฝา chamber โดยหมุนตามเข็มนาฬิกาและปิดฝาครอบ
4. อ่านผลที่ได้จากเครื่อง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

10. การหาปริมาณกรดทั้งหมดโดยการไตเตรท (AOAC, 2000)

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (NaOH 0.1 N)
2. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein indicator)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างแยม 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

2. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่าง 25 กรัม หรือ 25 มิลลิลิตร ใส่ในพลาสติกขนาด 125 มิลลิลิตร

3. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์

4. นำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสังเกตเห็นจุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ จากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรด (ร้อยละ)} = \frac{\text{ความเข้มข้น NaOH} \times \text{ปริมาณ NaOH} \times \text{กรัมสมมูลของกรดซิตริก} \times 100}{\text{ปริมาณตัวอย่างที่ใช้} \times 1000}$$

11. การสกัดตัวอย่างแยมผลไม้ (จุฑามาศ สื่อประสาร, 2556)

สารเคมี

1. เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCL) ความเข้มข้นร้อยละ 1

วิธีการ

1. ชั่งแยมผลไม้ใส่ในขวดรูปชมพู่ 10 กรัม

2. เติมสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 1 ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 120 นาที

3. เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
4. นำสารละลายที่สกัดแล้วไปทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ
5. จะได้ตัวอย่างแยมผลไม้สกัด เก็บตัวอย่างใส่ขวดสีชา เพื่อป้องกันแสงแดด เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

12. การหาปริมาณแอนโทไซยานิน (AOAC, 2005)

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

1. เตรียม pH 1.0 buffer โดยชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCL 0.025 M) 1.86 กรัม ลงในบีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 980 มิลลิลิตร จากนั้นปรับ pH ให้ได้ (1.0±0.05) ด้วย HCL (ปริมาตร 6.3 มิลลิลิตร) เทลงใน volumetric flask ขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียม pH 4.5 buffer โดยชั่งโซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต (CH₃CO₂Na.2H₂O 0.4 M) 54.43 กรัม ลงในบีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 960 มิลลิลิตร จากนั้นปรับ pH ให้ได้ (4.5±0.05) ด้วย HCL (ปริมาตร 20 มิลลิลิตร) เทลงใน volumetric flask ขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

การเตรียมสารละลายทดสอบ

1. กำหนดปัจจัยที่เหมาะสมโดยการเจือจางน้ำมะเข็ญ กับ pH 1.0 buffer (ไม่ควรเกิน 1:4 ส่วน เพื่อไม่ให้เกินความจุของสารละลายบัฟเฟอร์) จนได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร คืออยู่ในช่วงเส้นตรงของ spectrophotometer
2. เตรียมปัจจัยที่เหมาะสมในการเจือจางน้ำมะเข็ญมา 2 ส่วน ใช้กับ pH 1.0 buffer และ pH 4.5 buffer

การวิเคราะห์

1. ปิเปิดตัวอย่างเจือจางกับ pH 1.0 buffer นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นทั้ง 520 และ 700 นาโนเมตร
2. ปิเปิดตัวอย่างเจือจางกับ pH 4.5 buffer นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นทั้ง 520 และ 700 นาโนเมตร
3. ส่วนหลอดแบลลงค์ใช้น้ำกลั่น
4. คำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน (cyanidine-3-glucoside equivalence, mg/L)

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 10^3}{\epsilon \times 1}$$

เมื่อ	A	= (A ₅₂₀ - A ₇₀₀) pH1- (A ₅₂₀ - A ₇₀₀) pH 4.5
	MW	= น้ำหนักโมเลกุล 499.2 g/mol (cyanidine-3-glucoside)
	DF	= dilution factor

- € = molar extinction coefficient 26,900 (l.mol⁻¹.cm⁻¹) (cyanidine-3-glucoside)
- 1 = ความกว้างของคิวเวต (เซนติเมตร)
- 10³ = การเปลี่ยนจาก กรัมเป็นมิลลิกรัม

2. การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

1. วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง

วิเคราะห์ความแข็งของผลิตภัณฑ์โดยการวัดค่าแรงกด (Compression force) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer รุ่น TA.XT Express Enhanced ทำการวัดจำนวน 10 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่าง

ตั้งค่าการวัด

- ใช้หัววัด cylinder probe p/20
- Test Mode : Compression
- Pre - test speed : 1 mm/sec
- Test speed : 0.50 mm/sec
- Post- test speed : 10 mm/sec
- Target mode : Distance
- Distance : 8 mm

2. การวัดค่าสีระบบ CIE Lab


อุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดค่าสี Colorimeter (Hunter Lab®)


วิธีการ

1. เปิดเครื่อง และเลือกโปรแกรม STANDARDIZE โดยกดปุ่มสัญลักษณ์ 
2. ทำการ calibration


- วางแผ่นสีดำมาตรฐาน (Black Glass) ในที่สำหรับวางตัวอย่าง

แล้วกดสัญลักษณ์ 

- วางแผ่นสีขาวมาตรฐาน (White Glass) ในที่สำหรับวาง

ตัวอย่างแล้วกดสัญลักษณ์ 

- หน้าจอเครื่องจะปรากฏค่า L* a* และ b*

3. วางตัวอย่างในที่สำหรับวางตัวอย่าง แล้วกดปุ่มสัญลักษณ์ 
4. อ่านผลที่ได้จากเครื่อง พร้อมบันทึกผลการทดลอง

เป็นการวัดค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัด Colorimeter (Hunter Lab®) โดยค่า L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) a* เป็นค่าสีแดงและเขียว (redness/greenness) และ b* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (yellowness/blueness)

L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
 a^* คือ ค่าสีแดงและเขียว เมื่อ a มีค่าบวก เป็นสีแดงและเมื่อ a มีค่าลบ เป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าสีเหลืองและน้ำเงิน เมื่อ b มีค่าบวก เป็นสีเหลืองและเมื่อ b มีค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

ภาคผนวก ค

สูตรแอมแอมถั่วฝักยาวสีรินธเบอร์ 1

ตารางที่ 13 สูตรแยมถั่วฝักยาวสีรินธเบอร์ 1 (การทดลองที่ 1)

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
ถั่วฝักยาวสีรินธเบอร์ 1	44
น้ำตาลทราย	55
น้ำเสาวรส	21.1
เพคติน	0.5
น้ำมะนาว	1.66

ตารางที่ 14 สูตรแยมที่แปรปริมาณไซลิทอล (การทดลองที่ 2)

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
น้ำตาลทราย	55	20	10	0
ไซลิทอล	0	35	45	55
ถั่วฝักยาวสีรินธเบอร์ 1	44	44	44	44
น้ำเสาวรส	21.1	21.1	21.1	21.1
เพคติน	0.5	0.5	0.5	0.5
น้ำมะนาว	1.66	1.66	1.66	1.66

ตารางที่ 15 สูตรแยมที่แปรปริมาณซูคราโลส (การทดลองที่ 2) (ต่อ)

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7
น้ำตาลทราย	20	10	0
ซูคราโลส	35	45	55
ถั่วฝักยาวสีรินธเบอร์ 1	44	44	44
น้ำเสาวรส	21.1	21.1	21.1
เพคติน	0.5	0.5	0.5
น้ำมะนาว	1.66	1.66	1.66

ภาคผนวก ง
แบบประเมินคุณภาพด้านประสามสัมพันธ์

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์แยม

ID.....

คำชี้แจง : ให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างแยม จากนั้นเขียนคะแนนในช่องระดับตามความชอบที่ท่านพอใจ
กรุณาชิมตัวอย่างโดยชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา เมื่อชิมแล้วล้างปากด้วยน้ำสะอาดที่เตรียมไว้ก่อนชิมตัวอย่างต่อไป

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

2 = ไม่ชอบมาก

3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

5 = เฉยๆ

6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง

8 = ชอบมาก

9 = ชอบมากที่สุด

คะแนนความชอบรวมของตัวอย่าง

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะเนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....
การกระจายตัวบน	.....	.....	.....	.....	.....
ขนมปัง	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

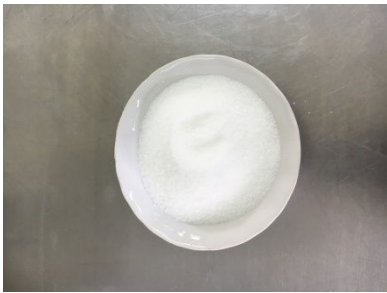
ภาคผนวก จ
ภาพวัตถุติดและถั่วฝักยาวสิรินธรเบอร์ 1



ถั่วฝักยาวสีรินทรเบอร์ 1 บด



น้ำเสาวรสี



น้ำตาลทราย



น้ำมันงา



เพคติน



ถั่วฝักยาวสีรินทรเบอร์ 1