



การสกัดและความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน



ศิริลักษณ์ เกิดศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การสกัดและความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน

ศิริลักษณ์ เกิดศิริ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

พิจารณาเห็นชอบโดย

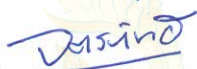
อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก


(อาจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม)

วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ)

วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงรบ นาคประสม)

วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดฝน ทนงการกิจ)

วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร


(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์กล้าเลิศ)

วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 31 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

ชื่อเรื่อง	การสกัดและความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน
ชื่อผู้เขียน	นางสาวศิริลักษณ์ เกิดศิริ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อน ปัจจัยในการศึกษา คือ กำลังวัตต์ไมโครเวฟในช่วง 300 - 600 วัตต์ เวลาในการสกัด 1-9 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 30 - 70 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ด้วยเทคนิควิธีพ่นผิวตอบสนอง วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design โดยใช้อัตราส่วนผลหม่อน 1 กรัม ต่อตัวทำละลายเอทานอล (ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3) 80 มิลลิลิตร จากการทดสอบการตอบสนองที่เหมาะสม พบว่าสภาวะการสกัดที่ทำให้ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด 204.54 mg/100g DW คือกำลังวัตต์ไมโครเวฟ 472.99 วัตต์ เวลาในการสกัด 6.45 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย (ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3) ร้อยละ 54.97 หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ 3 วิธี ได้แก่ DPPH FRAB และ ABTS ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลิกที่สูงที่สุดในช่วง 25.58 - 27.24 mgGAE/g และวิธีที่ส่งผลทำให้มีสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดคือวิธี FRAP ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 69.41 - 81.01 mM Fe^{2+} /g ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS 52.40 - 55.18 mM/g และ ค่ายับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH 44.14 - 46.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ.ในการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาผงสี 10 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 อุณหภูมิ ส่งผลทำให้มีค่าค่าคงที่ของปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (k) เพิ่มขึ้นและค่าครึ่งชีวิตลดลง ($t_{1/2}$) และเมื่อนำมาศึกษาหาค่าพลังงานกระตุ้นพบว่า มีค่า 3.12 kJ/mol K

Title	Extraction and Stability of Anthocyanin from Mulberry (<i>Morus alba</i> Linn.)
Author	Miss Siriluk Kerdsiri
Degree	Master of Engineering in Food Engineering
Advisor Committee Chairperson	Dr.Kanjana Narkprasom

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of microwave assisted extraction of anthocyanin from mulberry (*Morus alba* Linn.) by the response surface method (Box-Behnken Design). This study used microwave power of 300 - 600 Watt, extraction time of 1-9 min, and ethanol concentration with 3% citric acid 30 - 70% (v/v). The ratio of mulberry and solvent was 1:80 g/ml. The optimal response for obtaining the highest amounts of anthocyanin 204.54 mg/100g DW microwave power of 472.99 watt, was used extraction time at 6.45 min and ethanol concentration with 3% citric acid 54.97%, respectively. After which the total Phenolic compound and Antioxidant activity were analyzed using 3 methods: DPPH, FRAP and ABTS. From the experimental result it was found that the highest total Phenolic compound was 25.58 – 27.24 mgGAE/g using the antioxidant activity method by FRAB of 69.41 - 81.01 mM·Fe²⁺/g, ABTS of 52.40 – 55.18 mM/g and DPPH of 44.14 - 46.22%. Studying the kinetic and stability of anthocyanin. Storage at 25, 45 and 55 °C for 10 weeks was implemented. The experimental result found that at all the temperatures. The constant rate of the anthocyanin degradation (k) increased but the half-life ($t_{1/2}$) decreased when increasing storage temperature. After analyzation activation energy was found to be 3.12 kJ/mol K.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ทำการศึกษาเรื่องการสกัดและความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน เป็นวิทยานิพนธ์ที่ผู้จัดทำทุ่มเททั้งแรงกายแรงใจในการทำงาน จนกระทั่งสำเร็จจุล่งด้วยดี เพราะได้รับความร่วมมือและคำแนะนำจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. กาญจนา นาคประสม ซึ่งเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาสละเวลา ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนเอาใจใส่ดูแลอย่างสม่ำเสมอ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นักรบ นาคประสม และอาจารย์ ดร.หยาดฝน ทนงการกิจ ซึ่งเป็นกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ความรู้ คำปรึกษาในเรื่องการออกแบบการทดลองและการทดสอบต่างๆ รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง ที่อันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติที่มีความอนุเคราะห์ให้ผลหม่อนสำหรับทำการทดลองในครั้งนี้จนส่งผลทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (IQS) ที่มีความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และคุณสุปราณี แก้วเทียน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเกี่ยวกับกระบวนการผลิตผงสีด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มีความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ และคุณทองลา ภูคำวงศ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำวิธีการใช้เครื่องระเหยสุญญากาศ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือด้านอื่นๆ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ ข้าราชการและเจ้าหน้าที่ของสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ที่คอยให้กำลังใจดี ๆ เสมอ และที่ให้ความช่วยเหลือเพื่อให้โครงการนี้สำเร็จจุล่งไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการทำโครงการครั้งนี้ให้สำเร็จจุล่งไปด้วยดี

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาและ เป็นกำลังใจให้อย่างดีตลอดมา จนทำให้คณะผู้จัดทำโครงการประสบความสำเร็จในการเรียน

ศิริลักษณ์ เกิดศิริ

กรกฎาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
สารบัญตารางผนวก	(14)
สารบัญภาพผนวก	(15)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(16)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร	4
ความรู้ทั่วไปของผลหม่อน	4
ประเภทของผลหม่อน	4
ลักษณะของต้นหม่อน	5
สายพันธุ์ของหม่อน	6
คุณค่าทางโภชนาการ	7
ไมโครเวฟ	8
การสกัดด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วม	10
การอบแห้ง	11
การอบแห้งแบบพ่นฝอย	11
แอนโทไซยานิน	13

สารต้านอนุมูลอิสระ	16
วอเตอร์แอคทีวิตี	18
ปริมาณความชื้น	18
ค่าสี	19
ความสามารถในการละลาย	20
การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง	21
การวิเคราะห์ความแปรปรวน	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	25
วัตถุตั้ง	25
อุปกรณ์	25
เครื่องมือ	26
สารเคมี	26
การดำเนินการ	28
การเตรียมความเข้มข้นตัวทำละลาย	30
การสกัดสารแอนโทไซยานิน	31
วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน	32
วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก	32
วิธีวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ	34
การอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อศึกษาความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน	35
การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงสีแอนโทไซยานิน	35
การศึกษากลั่นผลศาสตร์และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน	36
การนำผงสีผสมอาหารจากผลหม่อนไปประยุกต์ใช้	37
การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	38
ระยะเวลาในการดำเนินการ	38
สถานที่ทำวิจัย	38

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	39
การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนเบื้องต้น	39
การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง	42
การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ	50
การอบแห้งแบบฟลอยเพื่อศึกษาความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน	59
การศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน	60
การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน	63
การนำผงสีมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม	67
บทที่ 5 สรุป	69
สรุปผลการทดลอง	69
ปัญหาที่พบ	70
ข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลองการสกัดแอนโทไซยานิน ฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ	76
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสี แอนโทไซยานิน	87
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	96
ภาคผนวก ง เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง	102
ภาคผนวก จ บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	106
ภาคผนวก ฉ ประวัตินักศึกษา	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบทางเคมีของผลหม่อน	7
2	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับความสำคัญโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง	30
3	แสดงความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก	33
4	การกำหนดปัจจัยและระดับการทดลอง	42
5	การออกแบบและการทดลองการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อน ด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง	43
6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินจากผลหม่อน	45
7	การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ	50
8	ค่าการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน	61
9	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่า Water activity ของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน ที่อุณหภูมิต่างๆ	63
10	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่า Hygroscopicity ของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน ที่อุณหภูมิต่างๆ	64
11	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่า Solubility ของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน ที่อุณหภูมิต่างๆ	65
12	การวิเคราะห์ค่าสีของเม็ดสีธรรมชาติ	68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของต้นหม่อน	4
2	(ก) ลักษณะต้นหม่อนเพื่อรับประทานผล (ข) การเลี้ยงไหม	5
3	การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ	10
4	แสดงอุปกรณ์เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	12
5	ตำแหน่งหมูไฮดรอกซิลและหมู่เมทอกซิล	13
6	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแอนโทไซยานิน	14
7	โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก	17
8	การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ	19
9	การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 3 มิติ	19
10	การออกแบบการทดลองในรูปของกล่องโดยวิธี Box-Behken Design	22
11	แผนภูมิการทดลอง	28
12	การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง	29
13	การอบแห้งผลหม่อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน	29
14	แผนภูมิการสกัดแอนโทไซยานิน	31
15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายกับปริมาณแอนโทไซยานิน ในสภาวะเวลาในการสกัด 5 นาที และกำลังเครื่องไมโครเวฟ 450 วัตต์	40
16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัดกับปริมาณแอนโทไซยานินในสภาวะ ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ (กรดซิตริกร้อยละ 3) และกำลังเครื่อง ไมโครเวฟ 450 วัตต์	40
17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไมโครเวฟในการสกัดกับปริมาณแอนโทไซยานิน ในสภาวะความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ (กรดซิตริกร้อยละ 3) และเวลา ในการสกัด 5 นาที	41
18	แสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง	44

ภาพที่	หน้า
19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที่) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)	46
20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3 และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (เวลาในการสกัด 5 นาที่)	47
21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3 และเวลาในการสกัด (นาที่) ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (กำลังเครื่องไมโครเวฟ 450 วัตต์)	48
22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที่) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณฟีนอลิก (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)	51
23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณฟีนอลิก(เวลาในการสกัด 5 นาที่)	52
24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และเวลาในการสกัด (นาที่) ต่อปริมาณฟีนอลิก (กำลังเครื่องไมโครเวฟ 450 วัตต์)	52
25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที่) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)	53
26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (เวลาในการสกัด 5 นาที่)	54
27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และเวลาในการสกัด (นาที่) ต่อวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์)	54

ภาพที่

หน้า

28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที่) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อความสามารถในการรีดิวเฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)	55
29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อต่อความสามารถในการรีดิวเฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP (เวลาในการสกัด 5 นาที)	56
30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และเวลาในการสกัด (นาที่) ต่อความสามารถในการรีดิวเฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP (กำลังเครื่องไมโครเวฟ 450 วัตต์)	56
31.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที่) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)	57
32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS (เวลาในการสกัด 5 นาที)	58
33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และเวลาในการสกัด (นาที่) ต่อสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS (กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์)	58
34	ผงสีแอนโทไซยานิน	59
35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณแอนโทไซยานิน	60
36	ค่า $\ln (C_t/C_0)$ ของปริมาณแอนโทไซยานินต่ออุณหภูมิที่มีผลกับระยะเวลาในการเก็บรักษาผงหม่อน	62
37	การสลายตัวของปริมาณแอนโทไซยานินจากผงหม่อนระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส	62
38	เครื่องอัดเม็ด	67

ภาพที่

หน้า

- 39 ภาพประกอบการผลิตเม็ดสีธรรมชาติ (ก) ส่วนประกอบการผลิตเม็ดสีธรรมชาติ
จากผงหม่อน (ข) เม็ดสีธรรมชาติที่มีส่วนผสมของผงมะเกี๋ยงและผงหม่อน (ค) เม็ดสีที่มี
ส่วนผสมของผงหม่อน 68
- 40 ขวดบรรจุภัณฑ์เม็ดสีจากธรรมชาติ 68



สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ผลการวิเคราะห์กำลังไมโครเวฟที่มีผลต่อแอนโทไซยานิน	77
2 ผลการวิเคราะห์เวลาในการสกัดที่มีผลต่อแอนโทไซยานิน	78
3 ผลการวิเคราะห์กำลังไมโครเวฟในการสกัดที่มีผลต่อแอนโทไซยานิน	79
4 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองด้วยแบบ BBD	80
5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกจากการสกัดผลหม้อมันด้วยวิธีไมโครเวฟ	81
6 ข้อมูลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH	82
7 ข้อมูลการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP	83
8 ข้อมูลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS	84
9 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส	88
10 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส	88
11 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water active) อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส	89
12 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนกลับ (Hygroscopicity) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	90
13 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนกลับ (Hygroscopicity) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	91
14 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนกลับ (Hygroscopicity) อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	92
15 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการละลาย (Solubility) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	93
16 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการละลาย (Solubility) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	94
17 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการละลาย (Solubility) อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	95

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
1	กราฟความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร) ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร	85
2	กราฟความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร	85
3	กราฟความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน Trolox (มิลลิโมลาร์) ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734นาโนเมตร	86
4	ชุดอุปกรณ์เครื่องระเหยสุญญากาศ	103
5	เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน	103
6	เครื่องหมุนเหวี่ยง	103
7	เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)	104
8	เครื่องกรองสุญญากาศ	104
9	เครื่องวัดสี (Spectrophotometer)	104
10	เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity	105
11	เครื่องวัดค่าสาร (Refractometer)	105
12	สารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง	105

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
W_1	น้ำหนักผงก่อนการอบแห้ง (กรัม)
W_2	น้ำหนักผงหลังการอบแห้ง (กรัม)
L^*	แสดงถึงแกนสีขาว (+ L^*) ไปจนถึงสีดำ (- L^*)
a^*	แสดงถึงแกนสีเขียว (- a^*) ไปจนถึงแดง (+ a^*)
b^*	แสดงถึงแกนสีจากเขียว (- a^*) ไปจนถึงแดง (+ a^*)
C^*	Chroma แสดงถึงความอิ่มตัวของสี
h°	แสดงถึงสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา
R^2	ค่าความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
Y	ค่าทำนายการตอบสนอง
β_0	ค่าคงที่ของสมการ
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น
$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$	ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสอง
C_1	ความเข้มข้นของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์)
C_2	ความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ต้องการ (เปอร์เซ็นต์)
V_1	ปริมาตรของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์)
V_2	ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ (เปอร์เซ็นต์)
T_{acy}	ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง (mg/100g DW)
O.D	ค่าการดูดกลืนแสง
DV	ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ที่เจือจางเตรียมไว้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง (มิลลิลิตร)
SV	ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ที่เตรียมสำหรับเจือจาง (มิลลิลิตร)
SW	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้สกัด (กรัม)
TEV	ปริมาตรของสารละลายทั้งหมดที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)
E	ค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนัก E ของแอนโทไซยานินมีค่าเท่ากับ 599
C_t	คือปริมาณแอนโทไซยานินเมื่อเวลาผ่านไป t หลังจากได้รับความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้
C_0	ปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้น

สัญลักษณ์	ความหมาย
K	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง
t	เวลาการเกิดปฏิกิริยา (สัปดาห์)
$t_{1/2}$	ค่าครึ่งชีวิต
k^{-1}	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง
K	คือค่าคงที่อัตรา (rate constant) ค่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (K)
A	คือแฟกเตอร์ความถี่ (Frequency factor) เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับความถี่การชนกันของโมเลกุลทั้งหมดของสารตั้งต้น
E_A	พลังงานที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือการทำให้สีย้อมอยู่เกิดการลดลง
R	ค่าคงที่ของแก๊ส ค่าเท่ากับ 8.314 (J/mol.K)
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ผลหม่อน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า มัลเบอร์รี่ (Mullberry: *Morus alba* Linn.) เป็นไม้ยืนต้นตระกูลเบอร์รี่เช่นเดียวกับ บลูเบอร์รี่ และราสเบอร์รี่ ผลหม่อนเป็นพืชที่ปลูกได้ในหลายประเทศและปลูกได้ในบางสภาพอากาศของประเทศไทย ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกหม่อนมากกว่าร้อยละ 95 ของประเทศไทยอยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยต้นหม่อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ หม่อนที่ปลูกสำหรับรับประทานซึ่งผลจะมีลักษณะโตเป็นช่อ ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ หม่อนที่ใช้ปลูกสำหรับการเลี้ยงไหมเป็นหลัก ซึ่งหม่อนชนิดนี้จะมีใบใหญ่และออกใบมากใช้เป็นอาหารของไหมได้ดีแต่ยังคงให้ผลหม่อนเป็นผลพลอยได้ เมื่อผลหม่อนสุกเต็มที่แล้วจะเป็นสีม่วงดำมีลักษณะอวบ น้ำเนื่องด้วยคุณสมบัติทางกายภาพของผลหม่อนนั้นมีปริมาณน้ำจำนวนมากและมีสัดส่วนความเปรี้ยวและความหวานสมดุลกันแต่ถ้าผลไม่สุกจะออกสีแดงมีรสเปรี้ยว ผลหม่อนเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าและเป็นแหล่งสำคัญของน้ำตาล กรด Resveratrol สูงกว่า Superfruits ชนิดอื่นถึงร้อยละ 79 รวมถึงสารสำคัญต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบแอนโทไซยานินที่มีสีแดง และสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ เมื่อถึงช่วงฤดูออกผลจะมีปริมาณมาก ส่งผลทำให้ผลหม่อนเกิดการเน่าเสีย จึงมีการคิดหาวิธีการเก็บรักษาและการนำผลหม่อนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ การแช่แข็ง การอบแห้ง ไวน์ผลไม้ น้ำผลไม้ แยม เยลลี่ และลูกอม (ตรีชฎา, 2556) ถึงแม้ว่าในการแปรรูปผลหม่อนนั้นสามารถช่วยลดปัญหาการเน่าเสียของผลผลิตทางการเกษตรและเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตร แต่ในกระบวนการผลิตนั้น ผลหม่อนจะต้องผ่านขั้นตอนการผลิตต่างๆ และในแต่ละขั้นตอนจะมีปัจจัยหลายปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่พบมากในผลหม่อนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ และสามารถเสื่อมสลายได้ด้วยความร้อน เอนไซม์ ความเป็นกรด-ด่าง ในกระบวนการผลิต (ศุทธิณี และคณะ, 2553) รวมถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาอาจส่งผลทำให้สารแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารสำคัญในผลหม่อนมีปริมาณลดลง

การสกัดเป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการแยกสารที่ต้องการและไม่ต้องการออกจากกัน โดยอาศัยการทำงานของตัวทำละลายที่เหมาะสม นักวิทยาศาสตร์จึงได้พัฒนาเครื่องมือและวิธีการสกัดเพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณสูงสุด การใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมในการสกัด (Microwave -

Assisted Extraction: MAE) จึงถือเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลน้ำในเซลล์พืชสั่นสะเทือน ทำให้เซลล์แตกจากการได้รับความร้อนที่ยาวและปล่อยสารสำคัญที่อยู่ภายในออกมา (Kaufmann et al., 2001) อีกทั้งยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด ทำให้ได้สารสำคัญที่มีประสิทธิภาพสูงและลดเวลาในการสกัดลง (Song et al., 2011)

ในอุตสาหกรรมการผลิตสัสมอาหารนิยมใช้เทคนิคการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) ด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากได้ผลิตผลที่มีคุณภาพดี มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำและต้นทุนการผลิตถูกกว่าวิธีอื่น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าวิธีนี้สามารถรักษาระดับปริมาณสารฟลาโวนอยด์ และคุณสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงกว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศ สำหรับตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบหรือสารตัวกลางที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น มอลโตเดกซ์ตริน แป้งดัดแปร กัมอาราบิก หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ เพื่อเพิ่มความคงตัวและปริมาณที่อยู่ในสารสกัดนั้น

จลนพลศาสตร์และความคงตัวเป็นการศึกษาถึงผลกระทบที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผงสีที่ในระหว่างการเก็บรักษาโดยเฉพาะสารสำคัญที่อยู่ในผลหม่อนจะเกิดการสลายตัว ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผงสีได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และออกซิเจน เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากัดสารแอนโทไซยานินจากผลหม่อนที่ผ่านการแช่แข็งและการอบแห้งมาทำการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วม และทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดจากนั้นก็นำมาแปรรูปเป็นผงสีด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อทำการศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของผงสี จากงานวิจัยนี้สามารถนำข้อมูลและผงสีที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตร

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานิน ฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระจากผลหม่อนโดยเทคนิคไมโครเวฟร่วม
2. เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ภายหลังทำการศึกษการวิจัยเกี่ยวกับการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนด้วยวิธีไมโครเวฟ คาดว่าจะได้ความรู้พื้นฐานเชิงวิศวกรรม ทราบข้อดีและประโยชน์ในการสกัดด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟที่ช่วยลดระยะเวลาในการสกัดซึ่งจะส่งผลทำให้ปริมาณสารสำคัญเหล่านั้นไม่เกิดการสูญเสีย อีกทั้งยังทราบถึงปริมาณสารแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารสำคัญที่อยู่ในผลหม่อนรวมถึง สารฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสารเหล่านี้ล้วนเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากการสกัดวิธีไมโครเวฟแล้วยังได้องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการใช้งานและหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยช่วยในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผงสีจากผลหม่อน (สีผสมอาหาร) ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารที่มีสีแดงเทียบได้กับสีผสมอาหารสีแดงที่มีขายในตลาด และสามารถเผยแพร่องค์ความรู้และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารอันก่อให้เกิดการผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. อบแห้งผลหม่อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (ฐานแห้ง)
2. ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินโดยทำการควบคุมกำลังวัตต์ (วัตต์) เวลา (นาที) เอทานอล หรือความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)
3. นำผงสีที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยมาศึกษาความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
4. ศึกษาความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน ฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ความรู้ทั่วไปของผลหม่อน



ภาพที่ 1 ลักษณะของต้นหม่อน

ผลหม่อน หรือ มัลเบอร์รี่ (Mulberry: *Morus alba* Linn.) เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศจีนตอนใต้ แถบเทือกเขาหิมาลัย แต่ภายหลังได้มีการนำเข้ามาปลูกในอินโดจีน ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ ไทย ฯลฯ ผลหม่อนเป็นพืชตระกูลเบอร์รี่สามารถปลูกได้ทั่วประเทศพบได้ทั่วไปในป่าดิบชื้น ในประเทศไทยปลูกกันมากทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในส่วนของผลหม่อนเมื่อสุกเต็มที่แล้วจะมีลักษณะเป็นสีม่วงดำ มีรสชาติดีหวาน และถ้าเป็นสีแดงจะออกรสเปรี้ยว นอกจากผลผลิตที่ได้แล้ว ในส่วนของใบหม่อนสามารถนำไปเป็นอาหารของตัวไหมได้อีกด้วย ผลหม่อนที่มีสีม่วงดำให้รสหวานจัด อุดมด้วยไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ชื่อ Anthocyanin เป็นสารสีม่วงแดง ช่วยป้องกันโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ช่วยชะลอความแก่ ลดริ้วรอย และ Resveratrol สูงกว่า Superfruits ชนิดอื่น ถึง 79% (www.drymulberry.com และ www.frynn.com)

ประเภทของผลหม่อน

ประเภทของผลหม่อนสามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์การนำไปใช้ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. หม่อนที่ปลูกเพื่อรับประทานผลสด ได้แก่ black mulberry (*Morus nigra*) ซึ่งมีผลโตเป็นช่อ เมื่อผลสุกจะมีสีดำ มีรสอมเปรี้ยวอมหวาน นิยมใช้รับประทานผลสดหรือนำไปแปรรูปทำเป็นอาหารและเครื่องดื่มได้

2. หม่อนที่ปลูกเพื่อเลี้ยงไหม ได้แก่ white mulberry (*Morus alba* Linn.) หม่อนชนิดนี้มีผลเป็นช่อขนาดเล็ก เมื่อสุกแล้วจะมีผลสีแดง มีรสเปรี้ยว ไม่เป็นที่นิยมนำมารับประทาน แต่มีใบขนาดใหญ่และจำนวนมาก ซึ่งสามารถใช้เป็นอาหารของหนอนไหมได้เป็นอย่างดี



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 (ก) ลักษณะต้นหม่อนเพื่อรับประทานผล (ข) การเลี้ยงไหม

ลักษณะของต้นหม่อน

ลำต้น

มีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดกลางหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 2.5 เมตร บางสายพันธุ์สูงได้ประมาณ 3 - 7 เมตร แตกกิ่งก้านค่อนข้างน้อย เปลือกลำต้นเรียบเป็นสีน้ำตาลแดง ส่วนเปลือกกรากมีสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองแดงและมีเส้นรอยแตก

ใบหม่อน

ใบมีลักษณะเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว ออกเรียงสลับ ลักษณะของใบเป็นรูปไข่ หรือรูปไข่กว้าง ปลายใบแหลมยาว โคนใบเว้าเป็นรูปหัวใจหรือค่อนข้างตัด ขอบใบเรียบหรือหยักเว้าเป็นพู (ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ที่ปลูก) ใบอ่อนขอบใบเป็นพูสองข้างไม่เท่ากัน ขอบพูเป็นซี่ฟัน ใบมีขนาดกว้างประมาณ 8-14 เซนติเมตร และยาวประมาณ 12-16 เซนติเมตร แผ่นใบเป็นสีเขียวเข้ม ท้องใบเป็นสีเขียวอ่อนค่อนข้างหนา หลังใบสากระคายมือ ก้านใบเรียวยาวเล็ก ยาวประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร มีหูใบเป็นรูปแถบแคบปลายแหลม ยาวได้ประมาณ 0.2-0.5 เซนติเมตร

ดอกหม่อน

ออกดอกเป็นช่อตามซอกใบและปลายยอด ดอกเป็นแบบแยกเพศแต่อยู่บนต้นเดียวกัน ลักษณะของดอกเป็นรูปทรงกระบอก ช่อดอกเพศผู้และช่อดอกเพศเมียจะอยู่ต่างช่อกัน ดอกย่อยมีขนาดเล็ก วงกลีบรวมเป็นสีขาวหม่นหรือเป็นสีขาวแกมสีเขียว ช่อดอกเป็นทางกระรอก ยาวได้ประมาณ 2 เซนติเมตร ดอกเพศผู้ วงกลีบรวมมีแฉก 4 แฉก เกสรตัวผู้ ส่วนดอกเพศเมีย วงกลีบรวมมีแฉก 4 แฉก เกสรตัวเมีย ขอบมีขน เมื่อเป็นผลจะอวบน้ำ รังไข่เกลี้ยง ก้านเกสรเพศเมียมี 2 อัน

ผลหม่อน

เป็นผลที่เกิดจากช่อดอก ผลเป็นผลรวมอยู่ในกระจุกเดียวกัน โดยจะออกตามซอกใบ ลักษณะของผลเป็นรูปทรงกระบอก ยาวประมาณ 1-2.5 เซนติเมตร ผลเป็นสีเขียว เมื่อผลสุกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงเข้มหรือสีม่วงดำ เกือบดำ เนื้อนิ่ม ฉ่ำน้ำ และมีรสหวานอมเปรี้ยว

สายพันธุ์ของหม่อน

สายพันธุ์หม่อนที่ปลูกในประเทศไทย มีดังนี้

1. พันธุ์เซียงใหม่ ปลูกมากในภาคเหนือ กระจายทั่วไปทางภาคเหนือตอนบนและในหมู่บ้านชาวไทยภูเขา เขตภูเขาสูงของภาคเหนือ ต้นหม่อนที่มีอายุ 3 ปี ให้ผลผลิตผลหม่อนประมาณ 600 – 700 กิโลกรัม/ไร่/ปี และเมื่อต้นหม่อนมีอายุมากขึ้นจะให้ผลผลิตผลหม่อนสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนั้น ในช่วงฤดูฝนจะให้ผลผลิตผลหม่อนไม่ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี ผลหม่อนพันธุ์เซียงใหม่จะมีลักษณะเด่น คือ มีผลขนาดใหญ่ อวบน้ำ รสชาติหวานกลมกล่อม เหมาะสำหรับการบริโภคสดและการแปรรูป ขยายพันธุ์ได้ง่าย และสามารถกำหนดเวลาในการให้ผลผลิตได้ด้วยวิธีการบังคับให้ออกดอกติดผลนอกฤดูกาล
2. พันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์หม่อนที่ปรับปรุงพันธุ์ โดยใช้หม่อนพื้นเมืองของไทยผสมกับหม่อนพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ คือ พันธุ์จินเบอร์ 44 ให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ 3,500 กิโลกรัม/ไร่/ปี และให้ผลผลิตผลหม่อนไม่ต่ำกว่า 500 กิโลกรัม/ไร่/ปี ใบหม่อนมีลักษณะนุ่มหนาปานกลาง เหี่ยวช้า และทนทานต่อโรคราแป้ง
3. พันธุ์ศรีสะเกษ 33 เป็นหม่อนลูกผสมของหม่อนพันธุ์ Jing Mulberry จากประเทศจีนมีคุณลักษณะต้านทานต่อโรคใบด่างได้ดีกว่าหม่อนพันธุ์อื่นๆ มีผลค่อนข้างใหญ่สามารถนำผลมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดีและให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ ปีละ 1,500 กิโลกรัม/ไร่ (วสันต์, 2546)

คุณค่าทางโภชนาการ

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของผลหม่อน (ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม)

ส่วนประกอบ	ผลหำม (สีแดง)	ผลสุก (สีม่วง)
โปรตีน (protein)	2.24	1.68
คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)	4.91	21.35
ไขมัน (fat)	1.35	0.47
แคลเซียม (calcium)	ND	0.21
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	ND	0.07
เหล็ก (iron)	ND	43.48
วิตามิน เอ (vitamin A)	ND	25.00
วิตามิน บี1 (vitamin B1)	ND	50.65
วิตามิน บี2 (vitamin B2)	ND	3.66
วิตามิน บี6 (vitamin B6)	ND	930.10
วิตามิน ซี (vitamin C)	ND	4.16
กรดโฟลิก (folic acid)	ND	6.87
ไนอะซิน (niacin)	ND	0.72
แทนนิน (tannin)	ND	1.06
กรดมะนาว (citric acid)	4.71	1.51
เส้นใย (fiber)	ND	2.03
เถ้า (ash)	ND	1.52
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.05	5.90
ความชื้น (moisture)	ND	72.95

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และกองเกษตรเคมี และนายวิโรจน์
แก้วเรือง นักวิชาการ กรมหม่อนไหม เกษตรเชี่ยวชาญ (2559)

ผลหม่อนมีสารแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค
หลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคมะเร็ง ช่วยต่อต้านอาการขาดเลือดในสมอง เป็นต้น และสารสำคัญอื่นๆ
อีกหลายอย่าง เช่น สาร Deoxynojirimycin ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด, กาบา ช่วยลดความดัน
โลหิต, สาร Phytosterol ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล, สารประกอบฟีนอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ช่วยต่อต้านอาการอักเสบ อาการเส้นเลือดโป่งพอง ช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและไวรัส, สาร Quercetin และสาร Kaempferol ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นสารที่ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ ความดันโลหิต ป้องกันการเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือด ช่วยป้องกันการดูดซึมของน้ำตาลในลำไส้เล็ก ช่วยทำให้หลอดเลือดแข็งแรง ทำให้เลือดหมุนเวียนดี ยับยั้งการเกิดสารก่อมะเร็งเม็ดเลือด มะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ใหญ่ ช่วยยืดอายุเม็ดเลือดขาว และลดอาการแพ้ต่างๆ และกรดโฟลิกสูง ช่วยทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเจริญได้เต็มที่ จึงช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง และยังช่วยทำให้เซลล์ประสาทไซแนปส์หลังและเซลล์สมองเจริญเป็นปกติได้อีกด้วยนอกจากนี้ยังมีวิตามินและแร่ธาตุและกรดอะมิโนอีกหลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น แคลเซียม ธาตุเหล็ก โพแทสเซียม วิตามินเอ วิตามินบี เป็นต้น เมื่อผลหม่อนมีระยะสุกเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณของสารออกฤทธิ์ดังกล่าวข้างต้นจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) มีความถี่สูงอยู่ระหว่าง 300 MHz ถึง 30 GHz การใช้งานคลื่นไมโครเวฟสำหรับอุตสาหกรรม งานทางด้านวิทยาศาสตร์ และงานทางการแพทย์จะจำกัดอยู่เพียงบางความถี่เท่านั้น เพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณที่ใช้ในกิจกรรมอื่น ความถี่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม งานวิทยาศาสตร์และการแพทย์ถูกกำหนดโดย International Telecommunication Union หรือ ITU กำหนดให้ใช้ความถี่ 915 MHz สำหรับทวีปอเมริกา ความถี่ 433.92 MHz สำหรับออสเตรเลีย เนเธอร์แลนด์ โปรตุเกส เป็นต้น ส่วนความถี่ที่ใช้ทั่วโลกคือ 2,450 MHz (Dibben, 2010) คลื่นไมโครเวฟมีสมบัติเหมือนกับแสงสว่างที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ คือ เมื่อคลื่นไมโครเวฟตกกระทบบนผิวของวัตถุใดๆ คลื่นไมโครเวฟบางส่วนจะสะท้อนออกจากผิวดังที่กระทบนั่น (reflected wave) บางส่วนจะถูกส่งผ่านทะลุเนื้อของวัตถุไป (transmitted wave) พลังงานที่ทะลุเข้าไปในเนื้อวัตถุบางส่วนจะถูกดูดกลืน (absorbed) แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (พูนพัฒน์, 2552)

กลไกการเกิดความร้อนในอาหาร

การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟแตกต่างจากการให้ความร้อนกับอาหารด้วยการให้ความร้อนแบบอื่น กล่าวคือ การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเกิดจากการกระตุ้นให้โมเลกุลและอนุภาคในอาหารเกิดการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว แรงเสียดทานและการชนกันของโมเลกุลและอนุภาคทำให้เกิดความร้อนในอาหารโดยตรง ซึ่งต่างกับการให้ความร้อนแบบอื่นซึ่งเป็นการสร้างความร้อนจากแหล่งกำเนิดแล้วส่งผ่านความร้อนนั้นไปยังอาหารโดยการนำความร้อน การพาความร้อนหรือการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเป็นการให้ความร้อนโดยอ้อม กลไกการเกิดความร้อนในอาหารเมื่อรับคลื่นไมโครเวฟแบ่งเป็นสองประเภทหลัก คือ การเคลื่อนที่ของไอออนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าและการหมุนของโมเลกุลมีขั้ว (พูนพัฒน์, 2552)

หลักการทำงานของเครื่องไมโครเวฟ

เตาไมโครเวฟเพื่ออุ่นอาหารหรือทำให้อาหารสุก โดยภายในเตาไมโครเวฟมีส่วน ประกอบสำคัญ คือแมกนีตรอน ซึ่งเป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ โดยคลื่นไมโครเวฟที่ใช้สำหรับเตาไมโครเวฟในครัวเรือน มีความถี่ 2,450 ล้านรอบต่อวินาที (หรือ 2,450 เมกะเฮิรตซ์) ส่วนคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้นมีความถี่ 950 เมกะเฮิรตซ์ ในขณะที่ใช้งานเตาไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้ากระทบอาหารในทุกทิศทาง โดยคลื่นทำให้โมเลกุลหรืออนุภาคที่มีประจุ เช่น น้ำไอออนของเกลือไขมัน น้ำตาล เป็นต้น เกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา (สั่นสะเทือน) ทำให้โมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร เสียดสีกันเกิดเป็นความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่าง รวดเร็วโดยใช้เวลาน้อยกว่าการใช้เตาแบบธรรมดา เมื่อคลื่นไมโครเวฟถ่ายเทพลังงานให้อนุภาคที่มีประจุหมดแล้วก็จะสลายตัวไปและไม่สะสมอยู่ในอาหาร

คลื่นไมโครเวฟ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานไม่เพียงพอที่จะทำอนุภาคแตกตัว ดังนั้นจึงไม่ทำให้โมเลกุลของสารเปลี่ยนแปลง และไม่มีผลตกค้างจึงไม่มีอันตราย อีกทั้งมีโอกาสน้อยมากที่เตาอบไมโครเวฟจะมีคลื่นรั่วออกมาเกินระดับมาตรฐาน มอก. 1773-2542 ที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (ไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เมื่อวัดที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากผิวไมโครเวฟ ซึ่งถือว่าต่ำกว่าระดับที่เป็นอันตรายต่อ มนุษย์อยู่มาก) (กรรณิกา, 2559)

การสกัดด้วยการใช้คลื่นไมโครเวฟร่วม

เครื่องไมโครเวฟนิยมใช้กันมากในวงการอาหารเพื่อใช้ในการถนอมอาหารโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความร้อนจะทำให้อาหารสุก ใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร และช่วยในการลดความชื้นในอาหารประเภทผักและผลไม้ หรือเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเฉพาะเพื่อย่อยวัสดุที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิและความดันเป็นอย่างดี นอกจากการถนอมอาหารและการย่อยวัสดุแล้ว ในปัจจุบันวิธีนี้ใช้ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากพืช (ดวงกมล, 2557)

หลักการของวิธีนี้ เป็นวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยในการสกัดร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย หลักการของวิธี MAE อาศัยการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟไปยังเซลล์พืช โดยทำให้โมเลกุลของน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในเซลล์พืชสั่นสะเทือน เกิดแรงดันขึ้นภายในเซลล์ทำให้เซลล์แตก และปล่อยสารสำคัญที่อยู่ภายในออกมาผสมกับตัวทำละลายที่ใช้สกัด เนื่องจากกระบวนการสกัดใช้เวลาสั้นๆ ทำให้ไม่เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบของสารที่สกัดได้เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น วิธีการสกัดแบบ MAE ในการค้ำมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบระบบปิด (Closed Extraction vessels) หรือ Multimode microwave oven และแบบ Focused microwave oven ข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้เวลาในการสกัดสั้น ไม่เปลืองตัวทำละลาย ช่วยป้องกันการสลายตัวขององค์ประกอบสารสำคัญที่สกัดได้เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น และช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของสารสกัดที่ได้ ตัวอย่างเช่น การสกัดคาเฟอีนและโพลีฟีนอลจากชาเขียวด้วยเอทานอล (Food focus Thailand, 2009)



ภาพที่ 3 การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

การอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) คือการเอาน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัสดุจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอาจจะไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุเพื่อดึงน้ำออกมา วัสดุจะแห้งได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวเอง ในการอบแห้งทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยกลายเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้วยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (Slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย

หลักการทำงาน ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนถูกถ่ายเทให้วัตถุ โดยกระบวนการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ความร้อนที่ถูกควบคุมอย่างเหมาะสมด้วยตัวให้ความร้อนและระบบควบคุมอุณหภูมิทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก ของแข็งเป็นของเหลว จากของเหลวเปลี่ยนเป็นไอ หรือจากของแข็งเป็นไอ

การอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งเป็นการกำจัดเอาน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในอาหารด้วยการระเหย ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากในการถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บที่ยาวนานยิ่งขึ้นสะดวกต่อการเก็บรักษา และการขนส่งกรรมวิธีการทำแห้งมีหลายแบบเช่นการใช้แสงแดดลมหรือการใช้ตู้อบปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการทำแห้งจนสามารถเอาอาหารแห้งกลับมาคืนรูปแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับอาหารสดอาหารที่เก็บรักษาด้วยการทำแห้งจึงมีอยู่อย่างมากมายในปัจจุบันและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกาแฟสำเร็จรูป นมผง ผงซักฟอก เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายของอาหารผงจะมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งจะส่งผลทำให้เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานและสะดวกต่อการเก็บรักษา

หลักการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยนํ้าออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว (feed) ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็กเข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้นํ้าที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง สำหรับกระบวนการทำแห้ง จะเริ่มตั้งแต่การพ่นของเหลว ลงในเครื่อง แล้วรอจนมีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีกให้ออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็น

ตัวทำละลาย สารประเภท emulsion หรือสารแขวนลอยก็ได้ ส่วนเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

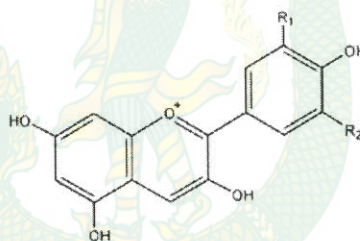
การทำงานของเครื่อง Spray Dryer เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองและผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (Drying chamber) ส่วนตัวอย่างของเหลว (Feed) ที่นำมาฉีดควรมีลักษณะเหลว และไม่ข้นมาก จากนั้นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยคือ atomizer ภายในห้องอบแห้ง เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศร้อนจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว และจะได้ผงของผลิตภัณฑ์ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber ผงบางส่วนที่หลุดออกมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ Cyclone ซึ่งจะรวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์รวมในที่สุด (ตูวนิสมาแอ, 2548)



ภาพที่ 4 แสดงอุปกรณ์เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ โดยสีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง แอนโทไซยานินมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม มีหมู่เบนซีน 2 หมู่มาเชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม แบบ C6-C3-C6 ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation ที่มีด้วยกันหลายชนิดแต่มีเพียง 6 ชนิดเท่านั้นที่พบบ่อยได้แก่ pelargonidin, cyanidin, peonidin, delphinidin, petunidin และ malvidin มีสูตรโครงสร้างในสารละลายตัวกลางแอนโทไซยานินจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) คือ ให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลางและไม่มีสีที่ pH สูง โดยปัจจัยที่มีผลต่อสีและความเสถียรของแอนโทไซยานินคือ ปัจจัยทางเคมีและฟิสิกส์ เช่น โครงสร้าง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง กรดแอสคอร์บิก น้ำตาล และปัจจัยอื่นๆ (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)



Anthocyanidins	ตำแหน่ง R1	ตำแหน่ง R2
pelargonidin	H	H
cyanidin	H	OH
delphinidin	OH	OH
peonidin	OCH ₃	H
petunidin	OCH ₃	OH
malvidin	OCH ₃	OCH ₃

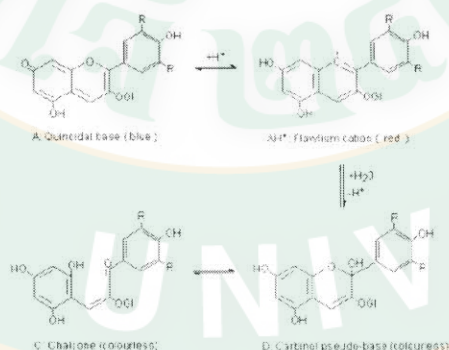
ภาพที่ 5 ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เมทอกซิล

ที่มา: สุวิชา (2550)

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าแอนโทไซยานินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน คือ การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซี (OH) และหมู่เมทอกซี (OCH₃) ของ flavylum ring จะทำให้เกิดสีของแอนโทไซยานินคือ เมื่อเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซีจะทำให้เกิดสีฟ้า (bluish shade) ส่วนการเพิ่มจำนวนของหมู่เมทอกซิลจะทำให้เกิดสีแดง (redness) .ในการเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซีจะทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่ม (Mazza, 2007)

คุณสมบัติทางเคมีของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) ในสารละลายตัวกลาง เมื่อมีค่าความเป็นกรดจะให้สีแดง ในขณะที่สภาวะเป็นกลางจะไม่มีสี และมีสีน้ำเงินที่สภาวะเบส ในสารละลายที่เป็นกรดและเป็นกลางนั้น แอนโทไซยานินมีโครงสร้าง 4 โครงสร้างที่อยู่ในสภาวะสมดุลคือ red flavylum cation (AH⁺), blue quinonoidal base หรือ red quinonoidal base (A), colorless chalcone (C) และ colorless cabinol pseudobase (D) ดังแสดงในรูปที่ ในสภาวะที่เป็นกรดจะมี AH⁺ เป็นโครงเด่น และ AH⁺ มีการสูญเสียโปรตอนไปจากการเพิ่มขึ้นของ pH เกิดเป็นสารละลาย blue quinonoidal base หรือ red quinonoidal base (A) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เกิดเป็นปกติ ในขณะที่สภาวะสมดุลมีความแตกต่างกันของ pH และโครงสร้างของแอนโทไซยานินเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) ของ AH⁺ ทำให้เกิด colorless cabinol pseudobase (D) เช่น โครงสร้างของ 3-glucoside และ 3,5-diglycoside เมื่อ pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 3 จะเกิดเป็น colorless cabinol pseudobase (D) และการเพิ่มขึ้นของ pH (pH 4-6) จะปรากฏให้เห็นเป็น blue quinonoidal base (A) และ colorless chalcone (C) (Sikorski, ZE., 2007)



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Brouillard and Delaport (1977)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อแอนโทไซยานิน

ในการศึกษาผลของผลหม่อนนั้นควรมีการศึกษาหาปัจจัยต่างๆที่จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลโดยเฉพาะแอนโทไซยานินที่มีอยู่มากในผลหม่อนโดยปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลได้นั้น ได้แก่

ความเป็นกรด - ด่าง (PH)

สีของแอนโทไซยานินเกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของ pH ในตัวกลางนั้นๆเมื่อแอนโทไซยานินอยู่ในสภาพสมดุลในสารละลายที่เป็นกรดมาก ($\text{pH} < 0.5$) จะอยู่ในรูปของ flavylum cation (red) อยู่เพียงชนิดเดียวซึ่งทำให้สารละลายมีสีแดงเมื่อ pH สูงขึ้นจนอยู่ในสภาวะกรดอ่อนหรือเป็นกลาง ปริมาณ flavylum cation จะเริ่มลดลงเนื่องจากเกิด hydration ไปเป็น carbinol base ซึ่งไม่มีสี ส่วนสมดุลระหว่างแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของ flavylum cation และ quinoidal base (anhydro base) จะเกิดสมดุลที่ $\text{pK} 4.25$ ดังนั้นเมื่อแอนโทไซยานินอยู่ในสารละลายที่มี pH มากกว่า 4.5 ขึ้นไป หรืออยู่ในสภาวะที่เป็นเบส จึงมีโครงสร้างของ carbinol base และ chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่มีสีและโครงสร้างของ quinoidal base ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีสีน้ำเงิน (ยุพาพร, 2547)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยอัตราการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Rein, 2005) และมีรายงานว่า cyanidin 3-glucoside และ cyaniding 3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดอ่อน ($\text{pH} 1-4$) ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน (Adams, 1973; Mercadante and Bobbio, 2008) อีกทั้งยังมีการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความคงตัวของผลสีแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์อาหารโดยต่างให้ผลสรุปโดยทั่วไปคือแอนโทไซยานินจะถูกทำลายด้วยความร้อนในระหว่างกระบวนการต่างๆและการเก็บรักษา (ยุพาพร, 2547)

ออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในสารละลายแอนโทไซยานินมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากซึ่งปริมาณของออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินที่หมู่ hydroxyl group หรือ c-2 ของ B-ring ได้เป็น carbinol base หรือ chalcone หรือ quinoidal base ซึ่งมีผลทำให้ flavylum cation ลดลง และสีแดงของสารละลายแอนโทไซยานินจึงมีค่าลดลงทั้งนี้อัตราการเกิดออกซิเดชันขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลาย อุณหภูมิ และความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน (ยุพาพร, 2547)

แสง

แสงจะให้ผลที่ตรงกันข้ามระหว่าง biosynthesis และการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานิน โดยเฉพาะแอนโทไซยานินที่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง c-5 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเนื่องจากแสงมากกว่าแอนโทไซยานินที่ไม่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง c-5 นอกจากนี้แสงยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายจากความร้อนและการเกิด photo-oxidation ของแอนโทไซยานินซึ่งจะให้ผลเหมือนกับแอนโทไซยานินที่สลายตัวด้วยความร้อนได้เป็น chalcone (เป็นโครงสร้างที่ไม่มีสี) (ยุพาพร, 2547)

ปัจจัยอื่นๆ

แอนโทไซยานินชนิดผงมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.3 พบว่ามีความคงตัวสามารถเก็บได้หลายปี เมื่อเก็บในถุงที่มีการซิลปิดสนิท (ภขมน, 2556) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินทำให้ผลิตภัณฑ์สีจางโดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถย้อนกลับได้แต่ควรใช้สารที่เป็นส่วนประกอบของ Benzoate และ Sorbate แทนจะเหมาะสมกว่า (Hendry, 1996)

สารต้านอนุมูลอิสระ

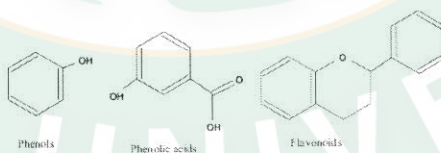
สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือ สารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดกระบวนการออกซิเดชัน กระบวนการออกซิเดชันมีได้หลายรูปแบบ เช่น กระบวนการออกซิเดชันที่ทำให้เหล็กกลายเป็นสนิม ทำให้แอมป์เปลี่ยนเป็นสน้ำตาลหรือทำให้น้ำมันพืชเหม็นหืน หรือกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดในร่างกาย เช่น การย่อยสลายโปรตีนและไขมันจากอาหารที่กินเข้าไปมลพิษทางอากาศ การหายใจ ควันบูห์ รังสียูวี ล้วนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายของเราซึ่งสร้างความเสียหายต่อร่างกายได้ ในความเป็นจริงไม่มีสารประกอบสารใดสารหนึ่งสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ทั้งหมด แต่ละกลไกอาจต้องใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันในการหยุดกระบวนการออกซิเดชัน ในอีกทางหนึ่ง กระบวนการออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อร่างกาย เช่น เราใช้ออกซิเจนจากอากาศที่หายใจเข้าไปไปเผาผลาญอาหารที่ร่างกายได้รับให้เป็นพลังงานสำหรับการทำงานของเซลล์ต่างๆ แต่ก็ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเป็นผลพลอยได้ อนุมูลอิสระต่างๆที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่สำคัญในร่างกาย เช่น ไขมัน โปรตีน ดีเอ็นเอ ทำให้เกิดความเสียหายต่อโมเลกุลดังกล่าว ตัวอย่างเช่น เมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับแอลดีแอล (LDL : low-density lipoprotein) ซึ่งเป็นโคเลสเตอรอลที่ไม่ดี ทำให้เกิดออกซิไดซ์แอลดีแอล (oxidized LDL) มีหลักฐานยืนยันว่า ออกซิไดซ์แอลดีแอลเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็งทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดและเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคหัวใจ (ศรีวัฒนา, 2548)

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันหรือกำจัดอนุมูลอิสระได้จึงมีความสำคัญ มีงานวิจัยมากมายบ่งชี้ว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถลดความเสี่ยงต่อโรคหลายโรคโดยเฉพาะโรคเรื้อรังที่สัมพันธ์กับอาหาร เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคสมอง เป็นต้น รวมทั้งช่วยชะลอกระบวนการบางขั้นตอนที่ทำให้เกิดความชราโดยปฏิกิริยาในร่างกายสามารถกำจัดอนุมูลอิสระก่อนที่มันจะทำอันตราย แต่ถ้ามีการสร้างอนุมูลอิสระเร็วหรือมากเกินไปร่างกายจะกำจัดทัน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะสร้างความเสียหายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ สารต้านอนุมูลอิสระลดความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้ 2 ทาง คือ

1. ลดการสร้างอนุมูลอิสระในร่างกาย
2. ลดอันตรายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound)

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิดและสารประกอบฟีนอลิก จัดเป็นสารต้านอนุมูลที่ได้รับจากภายนอกและพบได้มากในธรรมชาติได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ช็อกโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น มีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวก ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่สำคัญ สารโพลีฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด รวมเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และสามารถลดความดันโลหิตในการสลายลิ่มเลือด เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลโครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติกและมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซีอย่างน้อย 1 หมู่ (ปริยานุช, 2551)



ภาพที่ 7 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ (2559)

วอเตอร์แอกติวิตี

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่าวอเตอร์แอกติวิตี เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เราสามารถใช้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยเราจะทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้

ปริมาณความชื้น

ความชื้น คือสารที่สูญเสียไปจากอาหารเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่อาหารนั้นความร้อนที่ให้อาหารมีอุณหภูมิไม่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำหรือปล่อยให้อาหารตั้งทิ้งไว้ในสารดูดความชื้น (dehydrating agent) หรือให้ความร้อนในสภาพสุญญากาศ น้ำหนักที่หายไปจากอาหารซึ่งเดิมเป็นน้ำนั้นความจริงคือสารที่ระเหยได้ทั้งหมด หรือ total volatile matter ที่หายไป ณ อุณหภูมินั้นส่วนกากหรือของแข็งแห้งที่เหลืออยู่หลังจากน้ำระเหยออกไปหมดแล้วเรียกว่า “ของแข็งทั้งหมด” (Total solids)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหรือความชื้นมีหลายวิธี วิธีการที่นิยมใช้คือ Drying method ซึ่งมี 3 แบบคือ

- 1) Hot air oven method
- 2) Vacuum oven method
- 3) การใช้สารดูดความชื้น

วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Hot air oven method โดยมีหลักการคือหาน้ำหนักตัวอย่างที่หายไป เนื่องจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในอาหารเป็นไอน้ำ ที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดหรือที่จุดเดือดของน้ำ แต่ในกรณีนี้อาจมีพวกน้ำมันระเหยที่ประกอบอยู่ในตัวอย่างสูญเสียไปด้วย

$$\text{วิธีคำนวณ} \quad \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_2} \right) \times 100 \quad \dots\dots (2.1)$$

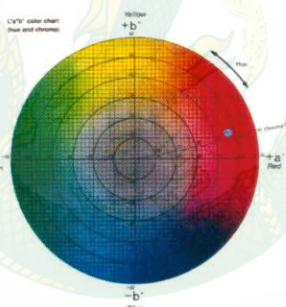
เมื่อ W_1 = น้ำหนักผงดก่อนการอบแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักผงดหลังการอบแห้ง (กรัม)

มาตรฐานชุมชน (2547) กำหนดให้ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก

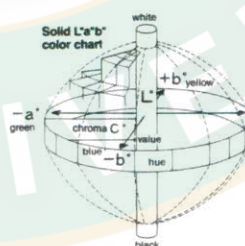
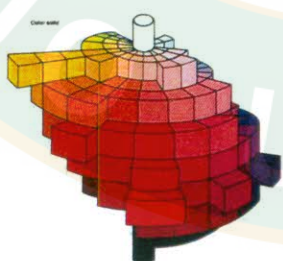
ค่าสี

การวัดและบรรยายสีในเชิงวิชาการต้องมีการจัดมาตรฐานเพื่อเป็นการลดความไม่เป็นกลาง (bias) ของผู้บรรยายสีของวัสดุนั้นๆ ระบบการวิเคราะห์สีที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือระบบ $L^* a^* b^*$ ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาวจนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE แสดงได้ดังภาพที่ 8 และ 9 นอกจากนี้บริษัท Hunter lab ในอเมริกาก็เป็นอีกองค์กรหนึ่งซึ่งทำการวิจัยและพัฒนาระบบการวัดสีจนในที่สุดได้ระบบของ Hunter lab เอง ซึ่งเรียกว่าการวัดสีระบบ Hunter lab ซึ่งบรรยายแกนใน 3 มิติเช่นเดียวกับระบบ CIE โดยที่ Hunter lab จะใช้สเกล L-a-b บรรยายลักษณะสีเช่นเดียวกับ $L^* a^* b^*$ ของ CIE ข้อแตกต่างระหว่างระบบสีของ CIE และ Hunter lab คือสูตรการคำนวณค่าสีซึ่งทั้ง L a b และ $L^* a^* b^*$ ล้วนมีพื้นฐานการคำนวณมาจากค่าระบบ X Y Z ทั้งสิ้น



ภาพที่ 8 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ

ที่มา: Minolta (1997)



ภาพที่ 9 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ

ที่มา: Minolta (1997)

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทางผู้วิจัยสามารถศึกษาค่า Chroma และ ค่า Hue angle ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงค่าสีเช่นกัน

Chroma (C^*) เป็นตัวเลขที่แสดงถึงความอิ่มตัวของสี คือ สีที่ไม่มีสีขาวปนอยู่ เช่น ความสดใส ความเข้ม ความบริสุทธิ์ของสี สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad \text{..... (2.2)}$$

Hue angle (h°) เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟ มีหน่วยเป็นองศา (เมื่อ $h^\circ = 90^\circ$ แสดงความเป็นสีเหลือง $h^\circ = 180^\circ$ แสดงความเป็นสีเขียว $h^\circ = 270^\circ$ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน $h^\circ = 0^\circ$ แสดงความเป็นสีแดง) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{..... (2.3)}$$

Hue angle (H°) เป็นค่าแสดงถึงสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา Hue angle แต่ละช่วงองศา แสดงสีแตกต่างกันดังนี้ (McGuire, 1992)

0-45 องศา	แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้ม
45-90 องศา	แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง
90-135 องศา	แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว
135-180 องศา	แสดงสีเหลืองเขียวถึงสีเขียว
180-225 องศา	แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน
225-270 องศา	แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน
270-315 องศา	แสดงสีน้ำเงินถึงสีม่วง
315-360 องศา	แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

ความสามารถในการละลาย

อัตราการละลายหรือความสามารถในการละลายทั้งหมดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมี ขนาดรูปร่าง ความหนาแน่นของอนุภาค และสถานะทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิในการละลายนมผงกระจายตัวในน้ำและเกิดการละลายขึ้นในกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงซึ่งทำให้โปรตีนเสียสภาพจะส่งผลให้ผงมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำลง (นุชนตรง, 2555) สมบัติข้างต้นนี้จะมีผลต่อการคืนรูปของอาหารแห้งที่เป็นผงซึ่งสมบัติเหล่านี้จะต้องสมดุลกันถ้าสมบัติประการใดเปลี่ยนแปลงไปพฤติกรรมการคืนรูปของอาหารนั้นจะเปลี่ยนไปด้วย

วิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลายโดยใช้วิธีของ (Shittu and Lawal 2007)
 คำนวณหาความสามารถในการละลาย (เปอร์เซ็นต์) ดังนี้

$$\text{Solubility (\%)} = \left[\frac{\text{มวลแห้งของตัวอย่างที่ละลายได้ (กรัม)}}{\text{มวลแห้งทั้งหมด (กรัม)}} \right] \times 100 \quad \text{..... (2.4)}$$

การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง

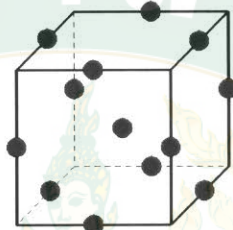
วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติมาสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบสนองที่สนใจจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆและวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบสนองแบบจำลองของพื้นผิวตอบสนองมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระและฟังก์ชันที่ใช้เป็นแบบจำลองพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสองสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.4

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 \quad \text{..... (2.4)}$$

โดยที่	Y	คือ	ค่าทำนายการตอบสนอง
	β_0	คือ	ค่าคงที่
	X_1, X_2, X_3	คือ	ตัวแปรอิสระ
	$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น
	$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปร
	$\beta_1^2, \beta_2^2, \beta_3^2$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสอง

Box-Behnken Design

เป็นการออกแบบสามระดับสำหรับพื้นผิวตอบสนอง การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้นจากการรวมการออกแบบแฟคทอเรียล 2k กับ การออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพในด้านจำนวนของการรันที่ต้องการ



ภาพที่ 10 การออกแบบการทดลองในรูปของกล่องโดยวิธี Box-Behnken Design

ที่มา: <http://www.itl.nist.gov>

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-group variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within-group variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม เป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ แตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย สำหรับความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่า คะแนนแต่ละตัวที่รวบรวมมานั้นภายในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้เรียกว่าความคลาดเคลื่อน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทรงศิริ และคณะ (2557) งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ น้ำ น้ำร้อน และเอทานอลเข้มข้น 10%, 20%, 30%, 50% และ 80% เพื่อสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และแอนโทไซยานินทั้งหมดจากเปลือกและเมล็ดองุ่นอบแห้งที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตไวน์ จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดเปลือกและเมล็ดองุ่นที่ใช้ 50% เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุด ($p \leq 0.05$) โดยสารที่ได้จากการสกัด 50% เอทานอล ของเปลือกและเมล็ดองุ่นมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 20.2 ± 1.2 และ 20.4 ± 1.2 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 9.2 ± 0.7 และ 12.4 ± 0.7 มิลลิกรัม สมมูลของคาเทชินต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม และแอนโทไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 1.7 ± 0.1 และ 0.6 ± 0.1 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้สารสกัดของเปลือกและเมล็ดองุ่นที่สกัดโดยเอทานอลเข้มข้น 50% ยังมีสมบัติการต้านสารอนุมูลอิสระ 2,2'-azobis (3-2,2'-azobis 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) และ 2,2-Diphenyl-1-picryl hydrazyl (DPPH) สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

มนต์วลี และศศิธร (2557) งานวิจัยนี้ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินต่ออุณหภูมิ (70 - 90°C) และความเป็นกรด-ด่าง (pH 2.5 - 8.0) ในน้ำลูกหม่อนโดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลูกหม่อนด้วยสารละลายซิเตรทฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสลายตัวของแอนโทไซยานินเป็นไปตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของแอนโทไซยานินในน้ำลูกหม่อนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ลดลง แอนโทไซยานินของน้ำลูกหม่อนที่ปรับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2.5 เมื่อนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90°C แอนโทไซยานินมีค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) เท่ากับ 13.7, 8.4 และ 4.6 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินโดยเมื่อความเป็นกรด-ด่างมีค่าเพิ่มขึ้นแอนโทไซยานินในน้ำลูกหม่อนมีความคงตัวลดลง ส่งผลให้มีค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ลดลง โดยแอนโทไซยานินในน้ำลูกหม่อนมีความคงตัวมากที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 2.5 รองลงมาคือ 4.0, 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ

Fang and Bhandari (2011) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบในการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษาผลแบเบอร์รี่ โดยนำน้ำแบเบอร์รี่ผสมมอลโตเด็กตรินซ์ จากนั้นนำมาเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิและค่าวอเตอร์แอกติวิตี ทำการศึกษาหาค่าพินอลิกและแอนโทไซยานินโดยทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน จากการศึกษาพบว่าควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.33 ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าแอนโทไซยานินและพินอลิกลดลงน้อยที่สุด

Galofuid et al. (2013) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสกัดไมโครเวฟโดยการแยกสารแอนโทไซยานินและสารพินอลิกจาก sour cherry Marasca โดยได้ทำศึกษา อุณหภูมิ (50 – 70 องศาเซลเซียส) เวลาการแผ่รังสี (5 - 12 นาที) และกำลังไมโครเวฟ (350 - 500 วัตต์) ซึ่งจากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยวิธีไมโครเวฟพบว่าการสกัดสารแอนโทไซยานินและพินอลิกมีสภาวะการสกัดที่แตกต่างกัน ในส่วนของการสกัดแอนโทไซยานินจะให้ช่วงของอุณหภูมิที่ต่ำกว่า (60 องศาเซลเซียส) และเวลาการแผ่รังสีที่สั้นกว่า (6 – 9 นาที) ในขณะที่ทำการสกัดสารพินอลิกจะให้ค่าอุณหภูมิที่สูงกว่า (70 องศาเซลเซียส) และเวลาการแผ่รังสี (10 นาที) ส่วนกำลังไมโครเวฟไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 400 วัตต์ จากสภาวะดังกล่าวส่งผลให้มีสารแอนโทไซยานิน 1.13 – 2.10 มิลลิกรัม/กรัม และสารพินอลิก 0.67 – 1.44 มิลลิกรัม/กรัม

Zheng et al. (2011) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสกัดสารแอนโทไซยานินจากผงบลูเบอร์รี่ภายใต้การสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟ โดยได้ทำการศึกษา เวลาในการสกัด อุณหภูมิ ความเข้มข้นเอทานอล และอัตราส่วน ของแข็ง:ของเหลว จากการทดลองพบว่า อัตราส่วน ของแข็ง:ของเหลว มีผลกระทบต่อสารสกัดแอนโทไซยานินจากผงบลูเบอร์รี่มากที่สุด ตามด้วยความเข้มข้นเอทานอล อุณหภูมิ และเวลาในการสกัดน้อยที่สุด จากปัจจัยข้างต้นพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ส่งผลทำให้มีค่าแอนโทไซยานินจากผงบลูเบอร์รี่สูงสุด 73.73 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการสกัด 7 นาที อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเอทานอล (V/V) 55 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วน ของแข็ง:ของเหลว 1:34 กรัม/มิลลิลิตร

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

1. ผลหม่อนพันธุ์ เชียงใหม่ 60 (ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ เชียงใหม่)
2. มอลโตเดกซ์ตริน DE 12 (ร้านหยกอินเตอร์เทรด เชียงใหม่)
3. กรดซิตริก (บริษัท สเปเชียล ฟู้ด จำกัด)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น ES-1200 HA
2. ขวดรูปชมพู่ 500 มิลลิลิตร
3. ปีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
4. ขวดแก้ว ขนาด 1500 มิลลิลิตร
5. กระบอกตวง ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ช้อนตักสาร
7. ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาขนาด 3 ออนซ์
8. โถดูดความชื้น
9. ลูกยางดูดสาร
10. ขวดใส่น้ำกลั่น
11. กระดาษกรอง (บริษัท Whatman ประเทศ เยอรมัน)
12. ขวดปริมาตร (volumetric flask)
13. หลอดทดลอง
14. ตะแกรงร่อน
15. หลอดดูดสาร

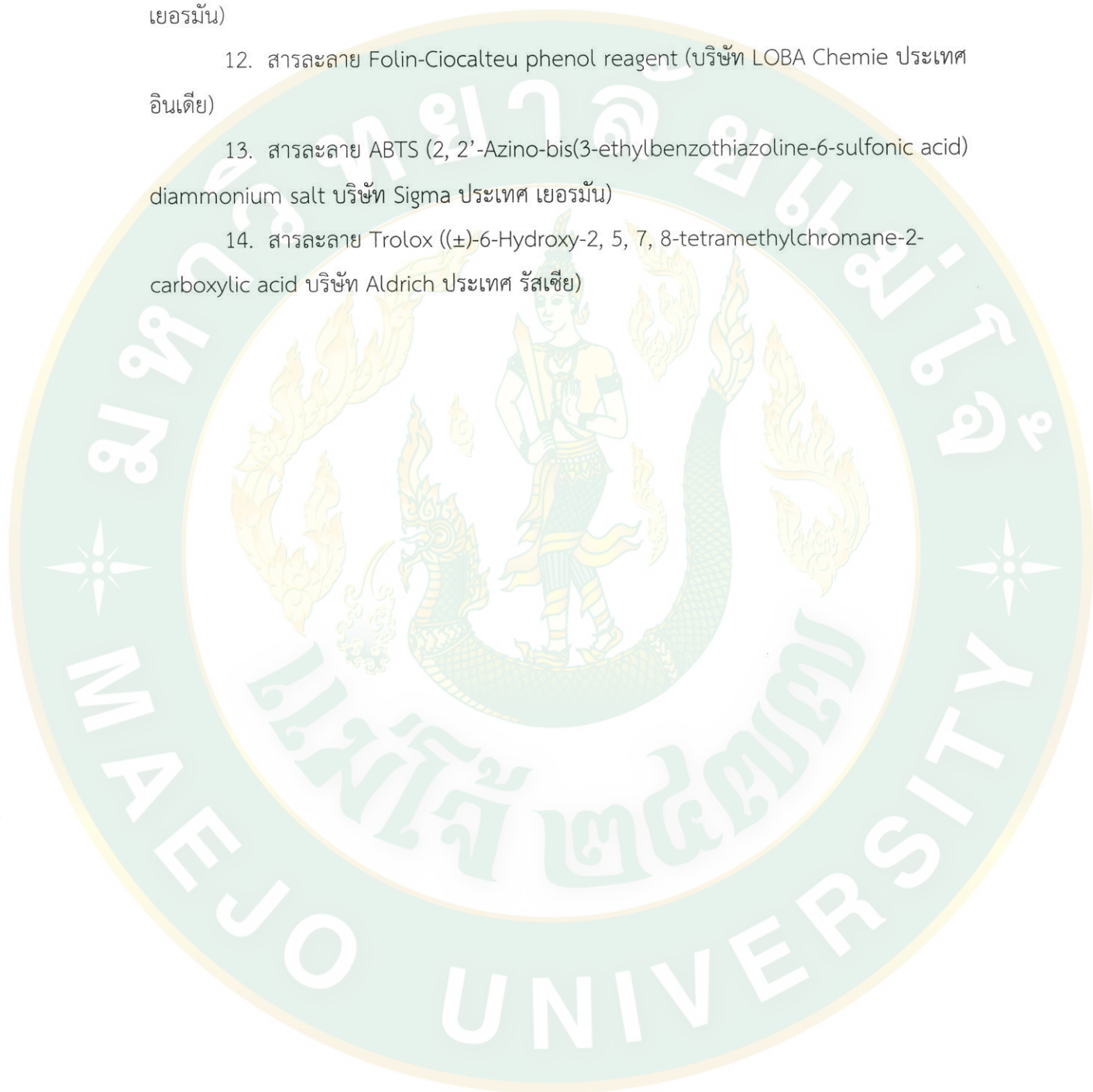
เครื่องมือ

16. เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (ยี่ห้อ memmert ประเทศ เยอรมัน)
17. เครื่องไมโครเวฟ (บริษัท ไทยซัมซุง อิเลคโทรนิคส์ จำกัด รุ่น ME711K ประเทศไทย)
18. เครื่องบด (ยี่ห้อ OTTO รุ่น BE-120 ประเทศไทย)
19. เครื่องผสม (MIXER UZUSIO VTX-30000L ประเทศ ญี่ปุ่น)
20. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (ยี่ห้อ biochrom รุ่น spectrawave S 1200 ประเทศ สหรัฐอเมริกา)
21. ออโตป์เปต (Autoclavable Nichipet EX II ประเทศ ญี่ปุ่น)
22. เครื่องระเหยสุญญากาศ (ยี่ห้อ Buchi R215 ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์)
23. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Buchi Mini-Spray Dryer B-290 ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์)
24. เครื่องวัดสี (ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น Min iScan XE Plus ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์)
25. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น Series 3TE ประเทศ สหรัฐอเมริกา)
26. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Gernmy Industrial Corp. ประเทศ ไต้หวัน)
27. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump ยี่ห้อ sparmax รุ่น Tc-501V ประเทศ ไต้หวัน)

สารเคมี

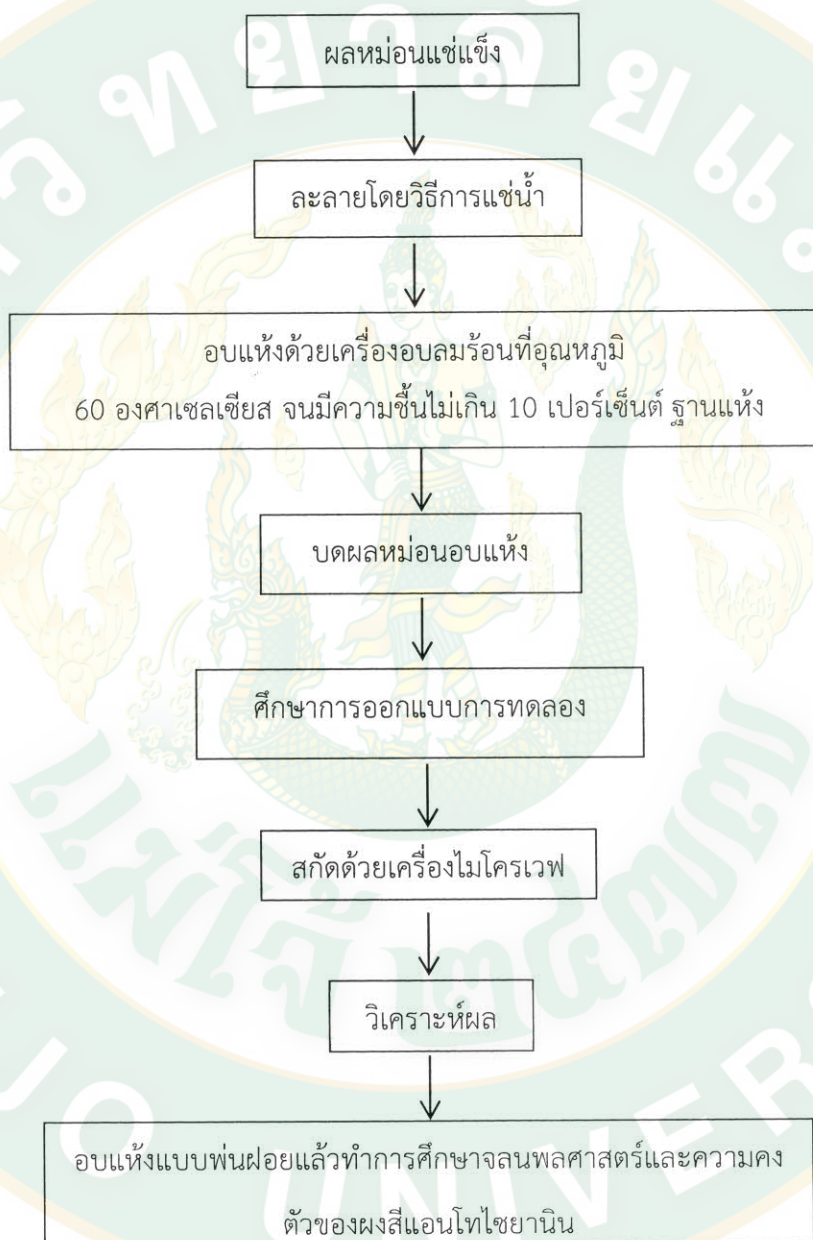
1. เอทานอล (Ethanol 85%, 95% RCI Labscan Limited AR1115-P2.5L ประเทศไทย)
2. เมทานอล (RCI Labscan Limited AR1115-P2.5L ประเทศไทย)
3. กรดแกลลิก (บริษัท Merck KGaA ประเทศ เยอรมัน)
4. กรดอะซิติก (Acetic acid $C_2H_4O_2$ บริษัท Merck KGaA ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์)
5. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid 37% , HCL ประเทศไทย)
6. Sodium acetate ($CH_3COONa \cdot 3H_2O$ RCL Labscan ประเทศไทย)
7. Ferric tripyridyltriazine (TPTZ 2, 4, 6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine บริษัท Fluka ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์)
8. Potassium persulfate ($K_2S_2O_8$ บริษัท Sigma Aldrich ประเทศ เยอรมัน)
9. Iron (III) chloride ($FeCl_3$ บริษัท Merck KGaA ประเทศ เยอรมัน)

10. Ammonium sulfate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) RCL Labscan ประเทศไทย
11. สารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl บริษัท sigma Aldrich ประเทศเยอรมัน)
12. สารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent (บริษัท LOBA Chemie ประเทศอินเดีย)
13. สารละลาย ABTS (2, 2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt บริษัท Sigma ประเทศ เยอรมัน)
14. สารละลาย Trolox ((±)-6-Hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid บริษัท Aldrich ประเทศ รัสเซีย)



การดำเนินการ

แผนการดำเนินงานการสกัดสารแอนโทไซยานินด้วยไมโครเวฟ



ภาพที่ 11 แผนปฏิบัติการทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำผลหม่อนแช่แข็งไปทำการละลายโดยวิธีการแช่น้ำ แล้วนำมาจัดเรียงวางบนถาดเพื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง

2. ทำการอบแห้งผลหม่อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.7 และความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ฐานแห้ง ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน (อรุษา, 2554) แล้วนำมาบดและร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาด 60 ไมครอน จากนั้นนำไปบรรจุถุงซิปล็อคและทำการเก็บรักษาไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อเตรียมสำหรับศึกษาต่อไป



ภาพที่ 13 การอบแห้งผลหม่อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานิน

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาการสกัดสารแอนโทไซยานินของผลหม่อนด้วยเครื่องไมโครเวฟได้แก่ กำลังไมโครเวฟ (150 300 450 และ 600 วัตต์) เวลาในการสกัด (1 5 9 13 และ 17 นาที) , เอทานอล หรือความเข้มข้นของตัวทำละลาย (10 30 50 และ 70 %) โดยได้ทำการศึกษาการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาถึงผลกระทบในการสกัดผลหม่อนโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับส่งผลกระทบต่อสารแอนโทไซยานินและวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) จากนั้นออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methods : Box-Behnken Design) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติและสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับความสำคัญโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ปัจจัย	ตัวแปร	ระดับความสำคัญ		
		+1	0	-1
กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	X ₁	300	450	600
เวลาในการสกัด (นาที)	X ₂	1	5	9
ความเข้มข้นของตัวทำละลาย (%)	X ₃	30	50	70

การเตรียมความเข้มข้นตัวทำละลาย

การสกัดสารแอนโทไซยานินในผลหม่อนจะใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งวิธีการเตรียมสารเอทานอลนั้นเราสามารถทำได้โดยการใช้สมการการหาความเข้มข้น

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

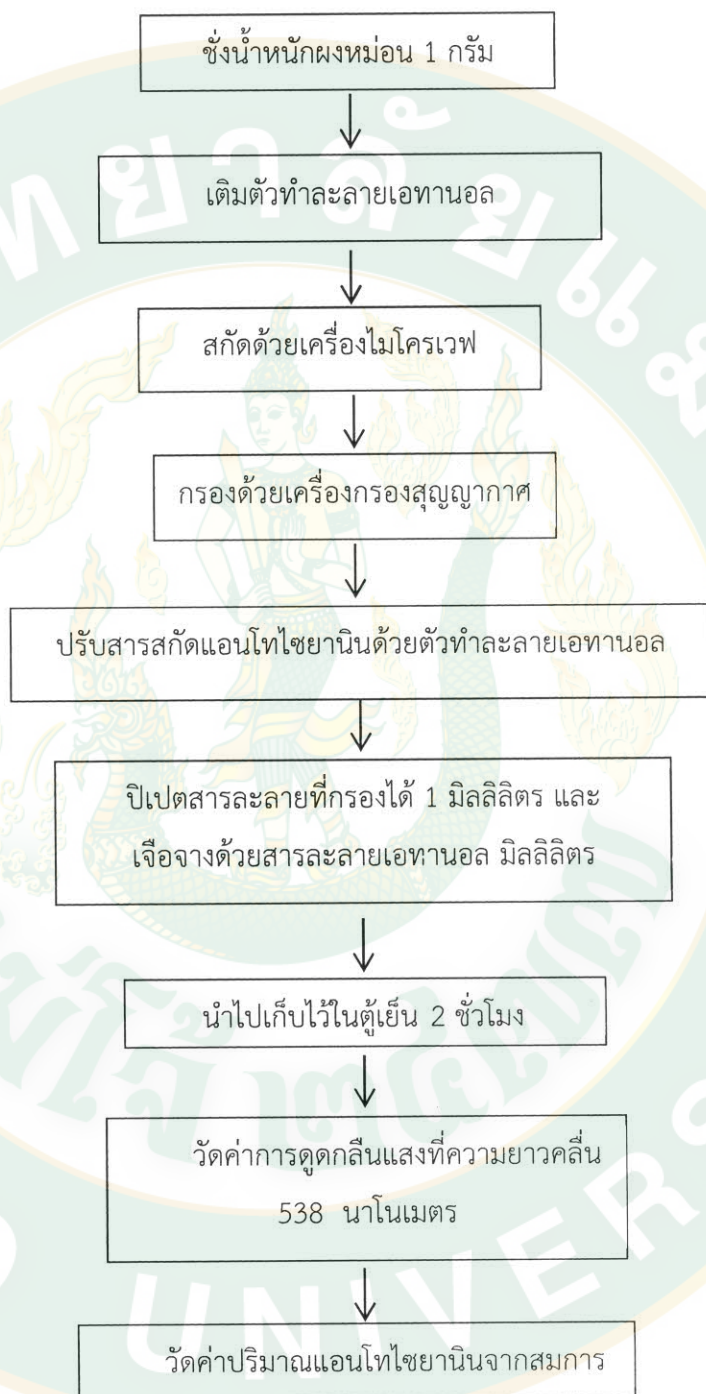
C₁ = ความเข้มข้นของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์)

C₂ = ความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ต้องการ (เปอร์เซ็นต์)

V₁ = ปริมาตรของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (มิลลิลิตร)

V₂ = ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ (มิลลิลิตร)

การสกัดสารแอนโทไซยานิน



ภาพที่ 14 แผนภูมิการสกัดแอนโทไซยานิน

วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

การวิเคราะห์สารแอนโทไซยานินสามารถคำนวณได้สมการของ Fuleki และ Francis (1968)

ดังนี้

$$T_{acy} = O.D. \times \frac{TEV}{SW} \times \frac{DV}{SV} \times \frac{1}{E/10} \times 100 \dots\dots (3.2)$$

T_{acy} = ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง (mg/100g DW)

O.D. = ค่าการดูดกลืนแสง

DV = ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ที่เจือจางเตรียมไว้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง (มิลลิลิตร)

SV = ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ที่เตรียมสำหรับเจือจาง (มิลลิลิตร)

SW = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้สกัด (กรัม)

TEV = ปริมาตรของสารละลายทั้งหมดที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

E = ค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนัก E ของแอนโทไซยานินมีค่าเท่ากับ 599

วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก (Folin-Ciocalteu reagent)

ดัดแปลงมาจากวิธีของ (Onanong et al., 2011)

การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 2

ซิงโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก

นำตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้นดูดสารมา 0.1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันปิดปากหลอดด้วยกระดาษฟอยด์หรือถุงฟอยด์ จากนั้นเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent ลงไป 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกโดยรายงานผลเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิก (mg/g Gallic acid equivalent, GAW)

วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

การเตรียมสารละลายกรดแกลลิก

ชั่งกรดแกลลิก 0.025 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

การวิเคราะห์กรดแกลลิก

นำสารละลายกรดแกลลิกที่เตรียมไว้ในข้างต้นมาเจือจางเพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 0, 100, 200, 300, 400, 1,000 ppm จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 ppm ดังตารางที่ 3 จากนั้นดูดสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ มา 0.1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและเติม Folin-Ciocalteu phenol reagent ลงไป 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

ตารางที่ 3 แสดงความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานกรดแกลลิก (ppm)	ปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความ เข้มข้น 1,000 ppm	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
0	0	10
100	1	9
200	2	8
300	3	7
400	4	6
500	5	5
600	6	4
700	7	3
800	8	2
900	9	1
1,000	10	0

วิธีวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity (DPPH)

ดัดแปลงมาจากวิธีของ (รวินิภา และ ศิริจันทร์, 2557)

การเตรียมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์

ชั่งน้ำหนักสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl มา 0.1972 กรัม ละลายด้วยเมทานอลจนสารละลายหมดและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ จากนั้นดูดสารละลายมา 2 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้ได้ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ (สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่ก่อนใช้)

การวิเคราะห์สารละลาย DPPH

ใส่ตัวอย่างที่ได้จากการสกัดลงไป 0.1 มิลลิลิตร และดูดสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในเมทานอลมา 2.9 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเขย่าให้เข้ากันและตั้งไว้ในที่มืด 30 นาที พร้อมทั้งทำตัวอย่างควบคุมหรือสารละลาย DPPH ที่ไม่มีตัวอย่างโดยใส่เมทานอล 0.1 มิลลิลิตร ตั้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำตัวอย่างและตัวอย่างควบคุมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และคำนวณด้านฤทธิ์อนุมูลอิสระร้อยละของการยับยั้งตามสมการที่ 3.3

$$\%Inhibition = \frac{(A_{control} - A_{sample}) \times 100}{A_{control}} \quad \dots (3.3)$$

วิธีวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

ดัดแปลงวิธีการทดลองจาก (Benzie et al., 1996)

เตรียมสาร FRAP reagent โดยการผสม Acetate buffer (pH 3.6) 1,000 มิลลิลิตร, $FeCl_3$ 100 มิลลิลิตร และ TPTZ 100 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 50:5:5 มิลลิลิตร นำ FRAP reagent 1,200 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 120 ไมโครลิตร และ ตัวอย่าง 40 ไมโครลิตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง 6 นาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วย 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ABTS

ดัดแปลงวิธีการทดลองจาก (รัชฎาพร และคณะ 2554)

เตรียมสารละลาย ABTS⁺ cation radical โดยการผสมสารละลาย ABTS 14 มิลลิโมลาร์ 5 มิลลิลิตร และ 4.9 มิลลิโมลาร์ potassium persulfate (K₂S₂O₈) 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนใช้น้ำสารละลาย ABTS⁺ มาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีความการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.700 ± 0.020 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร จากนั้นดูดสารละลาย ABTS⁺ 950 ไมโครลิตร ผสมกับสารสกัดตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน 50 ไมโครลิตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น Blank ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้ Trolox เป็นกราฟมาตรฐาน

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อศึกษาความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน

หลังจากทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดหาแอนโทไซยานินด้วยวิธีไมโครเวฟต่อไปจะทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยนำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดผสมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 15 และเข้าสู่กระบวนการระเหยสุญญากาศเพื่อทำการปรับความเข้มข้นจนมีค่า 20 องศาบริกซ์ และนำมาอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (คณาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556)

การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงสีแอนโทไซยานิน

การวิเคราะห์ความสามารถในละลาย

ดัดแปลงจากวิธีของ (Ahmed et al., 2010)

นำผงหม่อน 0.5 กรัม และน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ผสมกันในหลอด Centrifuge จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 2090 g แล้วเทแยกส่วนใส 12.5 มิลลิลิตร ลงในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่าง ซึ่งน้ำหนักส่วนใสก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักของแข็งในส่วนใสที่ผ่านการอบแห้งแล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การละลายจากสมการที่ 2.4

การวิเคราะห์การดูดความชื้นกลับ

ดัดแปลงมาจากวิธีของ (Cai and Corke, 2000)

เตรียมผงหม่อน 1 กรัม วางไว้บนเพลท แล้วทำการซั่งแอมโมเนียมซัลเฟต $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ 81.3 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร เทลงบนเพลท (คนละเพลทกับผงหม่อน) และบรรจุลงกล่องเพื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ แล้วนำมาคำนวณหาค่าการดูดกลืนกลับ

การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี

ซั่งน้ำหนักผงหม่อนประมาณ 1 กรัม วางลงบนถ้วยสำหรับใช้ในการวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (ยี่ห้อ Aqua Lab) ก่อนทำการวัดควรเปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที

การศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน

จากกระบวนการสกัดและการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะได้ผงสีแอนโทไซยานินเพื่อนำมาทำการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินเพื่อดูอายุการเก็บรักษาซึ่งจะทำการศึกษาที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ โดยจะนำผงสีเก็บรักษาไว้ในถุงพอยด์

การศึกษากฎอัตราปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินและค่าครึ่งชีวิต

ในการศึกษากฎอัตราปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินเพื่อตัดสินว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับที่เท่าใดซึ่งสามารถหาได้โดยการพลอตกราฟระหว่างปริมาณแอนโทไซยานิน ณ เวลาใดๆ กับปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้น (Anderson et al., 2003)

$$\text{ปฏิกิริยาอันดับที่ 0} \quad C_t = -kt + C_0 \quad \dots (3.4)$$

$$\text{ปฏิกิริยาอันดับที่ 1} \quad \ln(C_t / C_0) = -kt \quad \dots (3.5)$$

$$\text{ปฏิกิริยาอันดับที่ 2} \quad 1/(C_t / C_0) = kt \quad \dots (3.6)$$

C_t = คือปริมาณแอนโทไซยานินเมื่อเวลาผ่านไป t หลังจากได้รับความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้

C_0 = ปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้น

k = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

t = เวลาการเกิดปฏิกิริยา

การคำนวณค่าครึ่งชีวิต

จากสมการเส้นตรงของปฏิกิริยาอันดับต่างๆสามารถนำมาหาค่าครึ่งชีวิตได้ดังสมการที่ 3.7 ซึ่งจะแสดงเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจนความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลงครึ่งหนึ่งจากความเข้มข้นเริ่มต้น (ศุทธิณี, 2556)

$$t_{1/2} = -\ln 0.5 \times k^{-1} \dots (3.7)$$

$t_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิต

k^{-1} = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

การศึกษาพลังงานกระตุ้นโดยสมการอาร์เรเนียส

หลังจากคำนวณหาค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (k) นำค่าที่ได้มาคำนวณหา E_a ด้วยสมการอาร์เรเนียส (ศุทธิณี, 2556)

$$k = Ae^{(-E_a/RT)} \dots (3.8)$$

หรือ

$$\ln k = \ln A - E_a/RT \dots (3.9)$$

K = คือค่าคงที่อัตรา (rate constant) ค่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (K)

A = คือแฟกเตอร์ความถี่ (frequency factor) เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับความถี่การชนกันของโมเลกุลทั้งหมดของสารตั้งต้น

E_A = พลังงานที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือการทำให้สีย้อมอยู่เกิดการลดลง (J/mol)

R = ค่าคงที่ของแก๊สมี ค่าเท่ากับ $8.314 J/mol \cdot K$

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

การนำผงสีผสมอาหารจากผลหม่อนไปประยุกต์ใช้

ภายหลังการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้นำผงสีจากผลหม่อนมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โดยนำผงหม่อน 9 เปอร์เซ็นต์ มอลโตเดกตรินซ์ 45 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส 27 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 1 เปอร์เซ็นต์ และแลคโตส 18 เปอร์เซ็นต์ ผสมกันจากนั้นนำเข้าสู่อุปกรณ์อัดเม็ดเพื่อทำการผลิตเม็ดสีธรรมชาติจากผงหม่อน

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนอบแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟได้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองบนโปรแกรม Design-Expert 7.0.0 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistic 17 จากนั้นจะนำค่าการสกัดที่ดีที่สุดไปทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยและทำการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินแล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของผงสีต่อไป

ระยะเวลาในการดำเนินการ

การศึกษาทำวิจัยในครั้งนี้จะใช้ระยะเวลาในการศึกษา 12 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือน มกราคม 2559 ถึง เดือน กรกฎาคม 2560

สถานที่ทำวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร 3 ห้อง E 215 คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

บทที่ 4

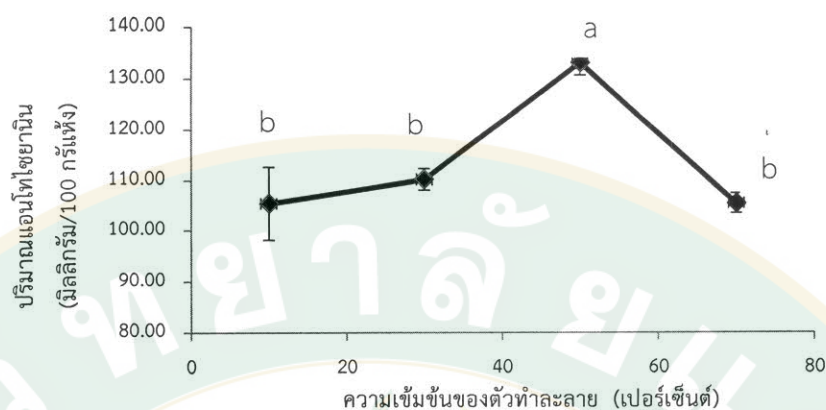
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้ผลหม่อนที่ผ่านการแช่แข็งและการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนด้วยวิธีไมโครเวฟร่วม โดยศึกษาสภาวะเบื้องต้นของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ กำลังไมโครเวฟ เวลาในการสกัด และความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เอทานอล) ซึ่งใช้อัตราส่วนในการสกัดหม่อน 1 กรัม ต่อปริมาณความเข้มข้นของตัวทำละลาย 80 มิลลิลิตร และใช้กรดซิตริก ร้อยละ 3 (Amelia et al., 2013) จากปัจจัยข้างต้นได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน ฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยการออกแบบการทดลองพื้นที่ผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken Design (BBD) เพื่อนำสารสกัดแอนโทไซยานินที่ได้มาแปรรูปเป็นผงสีด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยและทำการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสี ที่อุณหภูมิ 5 45 และ 55 องศาเซลเซียส โดยได้ทำการวิเคราะห์ ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา ค่าการดูดความชื้น และค่าการละลาย พร้อมทั้งนำผลสีที่ได้มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อัดเม็ดเพื่อทำการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตร

การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนเบื้องต้น

1. การศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อน

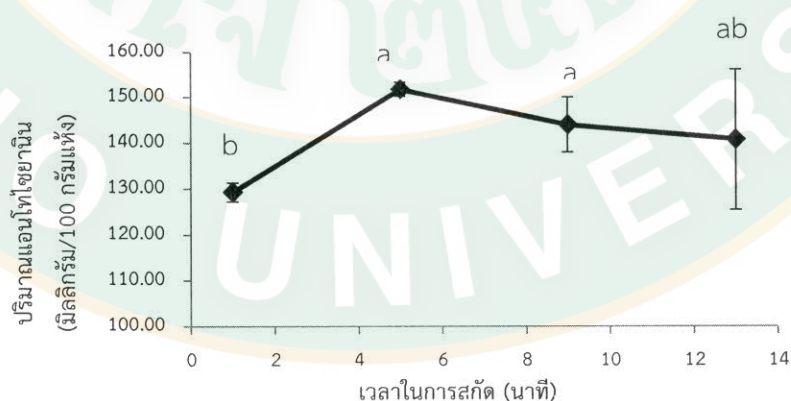
จากการศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลายต่อปริมาณแอนโทไซยานิน 4 ระดับ ได้แก่ 10 30 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวทำละลายจะส่งผลทำให้มีค่าปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของตัวทำละลายเนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของตัวทำละลายจะส่งผลทำให้ลดความสามารถในการสกัดสารสำคัญที่อยู่ในผงหม่อนออกมาเนื่องจากการเพิ่มความแตกต่างของช่วงระหว่างสารแอนโทไซยานินกับความเข้มข้นของตัวทำละลายคือความสามารถในการละลายของแอนโทไซยานินมีค่าต่ำกว่าตัวทำละลาย (เอทานอล) จึงส่งผลทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าลดลง (Zheng et al., 2012) และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของตัวทำละลายในช่วง 30 - 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นช่วงศึกษาในการหาสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายกับปริมาณแอนโทไซยานินในสภาวะเวลาในการสกัด 5 นาที และกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์

2. การศึกษาเวลาในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อน

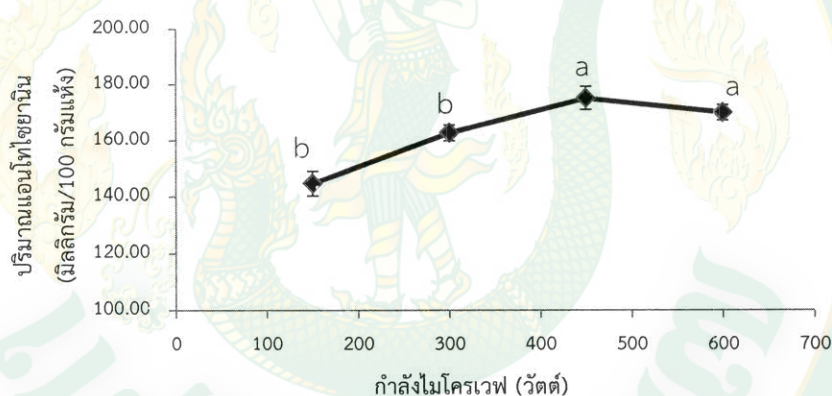
จากการศึกษาเวลาในการสกัดต่อปริมาณแอนโทไซยานิน 4 ระดับ ได้แก่ 1 5 9 และ 13 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดจนถึงนาทีที่ 5 จะส่งผลทำให้มีค่าปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด และมีค่าปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดซึ่งเกิดจากสารสำคัญที่อยู่ในผลหม่อนถูกสลายตัวโดยเกิดจากการสะสมความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟ (Zheng et al., 2012) แต่เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่เวลา 5 9 และ 13 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ 5 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานิน เนื่องจากหากใช้เวลาที่ 9 และ 13 นาที จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานจึงได้เลือกช่วงเวลาในการสกัดที่ 1 - 9 นาที เป็นช่วงศึกษาในการหาสภาวะที่เหมาะสม ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัดกับปริมาณแอนโทไซยานินในสภาวะความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ (กรดซิตริกร้อยละ 3) และกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์

3. การศึกษากำลังไมโครเวฟในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อน

จากการศึกษากำลังไมโครเวฟต่อปริมาณแอนโทไซยานิน 4 ระดับ ได้แก่ 150 300 450 และ 600 วัตต์ พบว่าเมื่อกำลังไมโครเวฟสูงขึ้นจะส่งผลทำให้มีค่าปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้นจนถึงกำลังไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าที่ กำลังไมโครเวฟ 450 และ 600 วัตต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อเพิ่มกำลังไมโครเวฟจนถึง 600 วัตต์ จะส่งผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินที่อยู่ในผงหม่อนมีค่าลดลงซึ่งเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งสารแอนโทไซยานินจะถูกทำลายจากการเกิดออกซิเดชันและทำปฏิกิริยาต่อสารประกอบคาร์บอนิล หรือทำปฏิกิริยากับหมู่กรดอะมิโนเกิดเป็นสีน้ำตาล (Quintas et al., 2007) ดังนั้นจึงเลือกช่วงกำลังไมโครเวฟที่ 300 - 600 วัตต์ เป็นช่วงศึกษากการหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดผลหม่อน ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไมโครเวฟในการสกัดกับปริมาณแอนโทไซยานิน
ในสภาวะความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ (กรดซิตริกร้อยละ 3)
และเวลาในการสกัด 5 นาที

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

จากการทดสอบหาสภาวะเบื้องต้นได้นำข้อมูลมาทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองเป็นการออกแบบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยจะทำการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ กำลังไมโครเวฟ 300 - 500 วัตต์ เวลาในการสกัด 1 - 9 นาที ซึ่งทำการสกัดเป็นช่วงเวลาต่างๆ และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 30 - 70 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) โดยใช้อัตราส่วนในการสกัดผงหม่อน 1 กรัม ต่อความเข้มข้นของตัวทำละลาย 80 มิลลิลิตร ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3 และทำการวางแผนการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken Design โดยกำหนดตัวแปรที่ศึกษาและระดับการทดลองของกำลังไมโครเวฟ (X_1) เวลาในการสกัด (X_2) และ ความเข้มข้นของตัวทำละลาย (X_3) ซึ่งกำหนดค่าปัจจัยเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1), ระดับกลาง (0) และระดับสูง (1) โดยทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 4 หลังจากทำการทดลองแล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสมการพหุนามกำลังสอง

ตารางที่ 4 การกำหนดปัจจัยและระดับการทดลอง

ปัจจัย	ตัวแปร	ระดับความสำคัญ		
		+1	0	-1
กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	X_1	300	450	600
เวลาในการสกัด (นาที)	X_2	1	5	9
ความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)	X_3	30	50	70

ตารางที่ 5 การออกแบบและการทดลองการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนด้วยวิธีพื้นที่ผิว
ตอบสนอง

ลำดับ	ปัจจัย			ค่าการทดลอง	ค่าการทำนาย
	X_1	X_2	X_3	mg/100g DW	mg/100g DW.
1	300	1	50	144.24	139.37
2	600	1	50	167.21	164.60
3	300	9	50	183.24	185.84
4	600	9	50	184.31	189.18
5	300	5	30	142.64	144.66
6	600	5	30	172.55	172.28
7	300	5	70	172.55	172.82
8	600	5	70	175.76	173.77
9	450	1	30	124.47	127.35
10	450	9	30	168.81	164.21
11	450	1	70	138.90	143.50
12	450	9	70	180.57	177.70
13	450	5	50	204.07	200.41
14	450	5	50	203.54	200.41
15	450	5	50	193.66	200.41

หมายเหตุ กำหนดให้ X_1 กำลังไมโครเวฟ (วัตต์) X_2 เวลาในการสกัด (นาที) X_3 ความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)

จากตารางที่ 5 เป็นการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองแบบ BBD โดยมีการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่า การทดลองที่ 13 - 15 ที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นสภาวะที่สกัดได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดคือ 193 - 204.07 mg/100g DW จากงานวิจัยของ (Kamiloglu et al., 2012) ได้ทำการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระและโพลีฟีนอลของผลิตภัณฑ์หม่อน (*Morus nigra* L.) พบว่ามีปริมาณแอนโทไซยานิน 61.3 mg/100g.DW ซึ่งมีค่าน้อยกว่าจากการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟรวมเนื่องจากมีวิธีการสกัดและมีการใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกันและจากตาราง

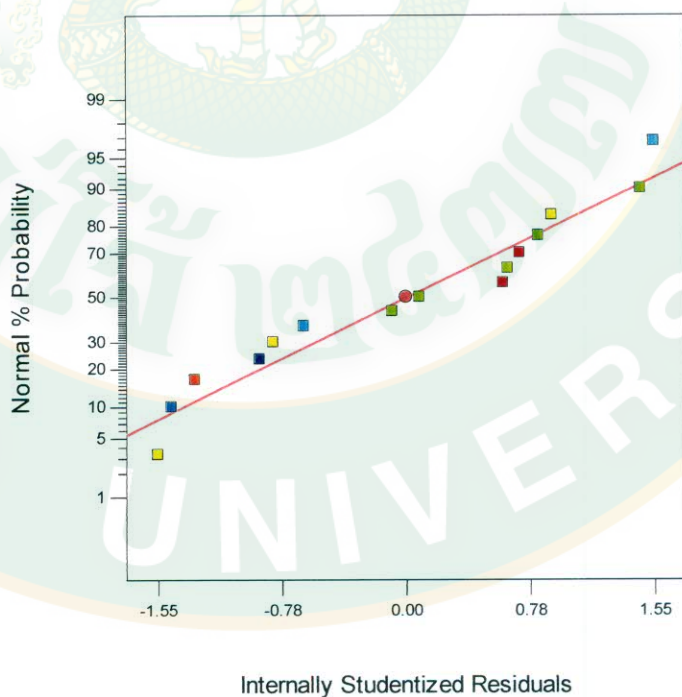
ตารางดังกล่าวได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายพบว่าค่าทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือหรือมีผลการทดลองที่ดี

เมื่อนำข้อมูลจากตารางข้างต้นมาวิเคราะห์จะสามารถสร้างสมการพหุนามกำลังสองได้ดังสมการที่ 4.1

$$Y = 208.97 + 0.56X_1 + 22.51X_2 + 7.80X_3 - 4.00X_1^2 - 1.36X_2^2 - 0.06X_3^2 \dots\dots (4.1)$$

จากสมการที่ 1 กำหนดให้ค่า Y คือ ปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟร่วม และพบว่าสมการดังกล่าวสามารถอธิบายตัวแปรได้ค่า R^2 เท่ากับ 97.49 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อนำผลการทดลองมาสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการตรวจสอบส่วนตกค้างพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสกัดแอนโทไซยานินจากผงหม่อนด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอข้อมูลมีความเป็นอิสระและมีส่วนตกค้างที่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง

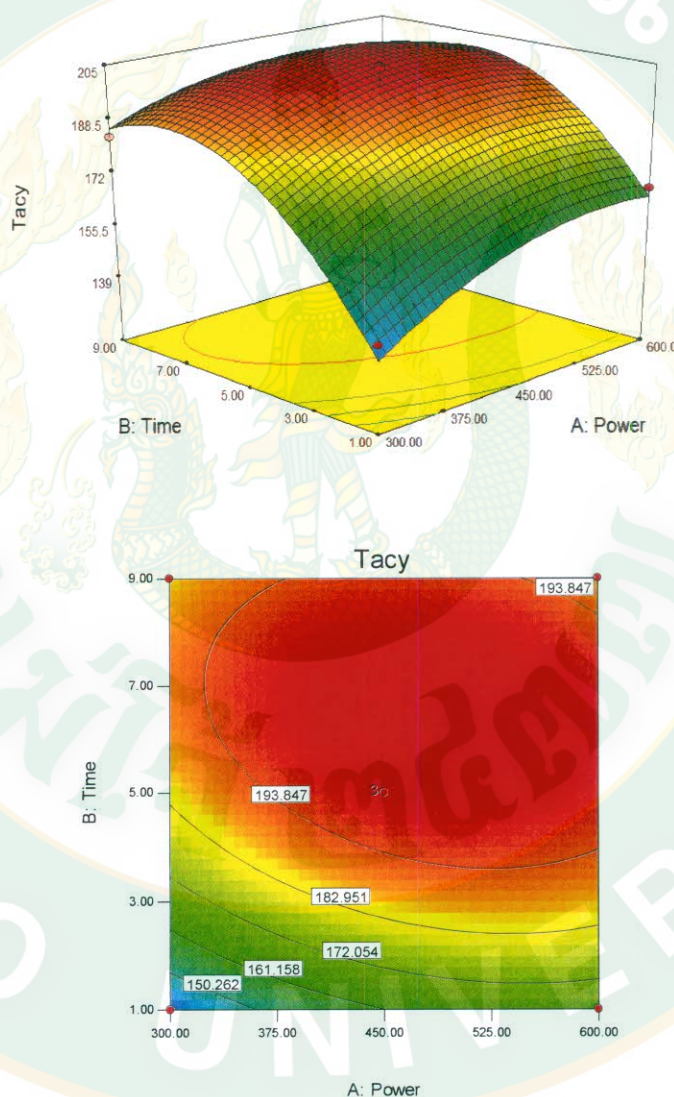
ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอนโทไซยานินจากผลหม่อน

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	p-value
Model	7644.82	9	849.42	21.55	0.0017
X_1	408.44	1	408.44	10.36	0.0235
X_2	2524.18	1	2524.18	64.05	0.0005
X_3	439.54	1	439.54	11.15	0.0206
X_1X_2	119.94	1	119.94	3.04	0.1415
X_1X_3	178.37	1	178.37	4.53	0.0867
X_2X_3	1.78	1	1.78	0.045	0.8399
X_1^2	298.6	1	298.6	7.58	0.0402
X_2^2	1735.56	1	1735.56	44.04	0.0012
X_3^2	2411.05	1	2411.05	61.18	0.0005
Residual	197.04	5	39.41		
Lack of Fit	128.21	3	42.74	1.24	0.4751

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ข้อมูลของปริมาณแอนโทไซยานินจากผลหม่อน ที่ผ่านการสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟร่วม ดังตารางที่ 6 พบว่าในเทอมของผลรวมเส้นตรงและกำลังสอง ของ X_1 , X_2 , X_3 , X_1^2 , X_2^2 และ X_3^2 มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีส่วนโค้งเกิดขึ้นที่ พื้นผิวตอบสนองและข้อมูลดังกล่าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อทำการ พิจารณาค่า Lack of Fit ซึ่งมีค่า p-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมกับ ข้อมูลที่ทำการทดลอง

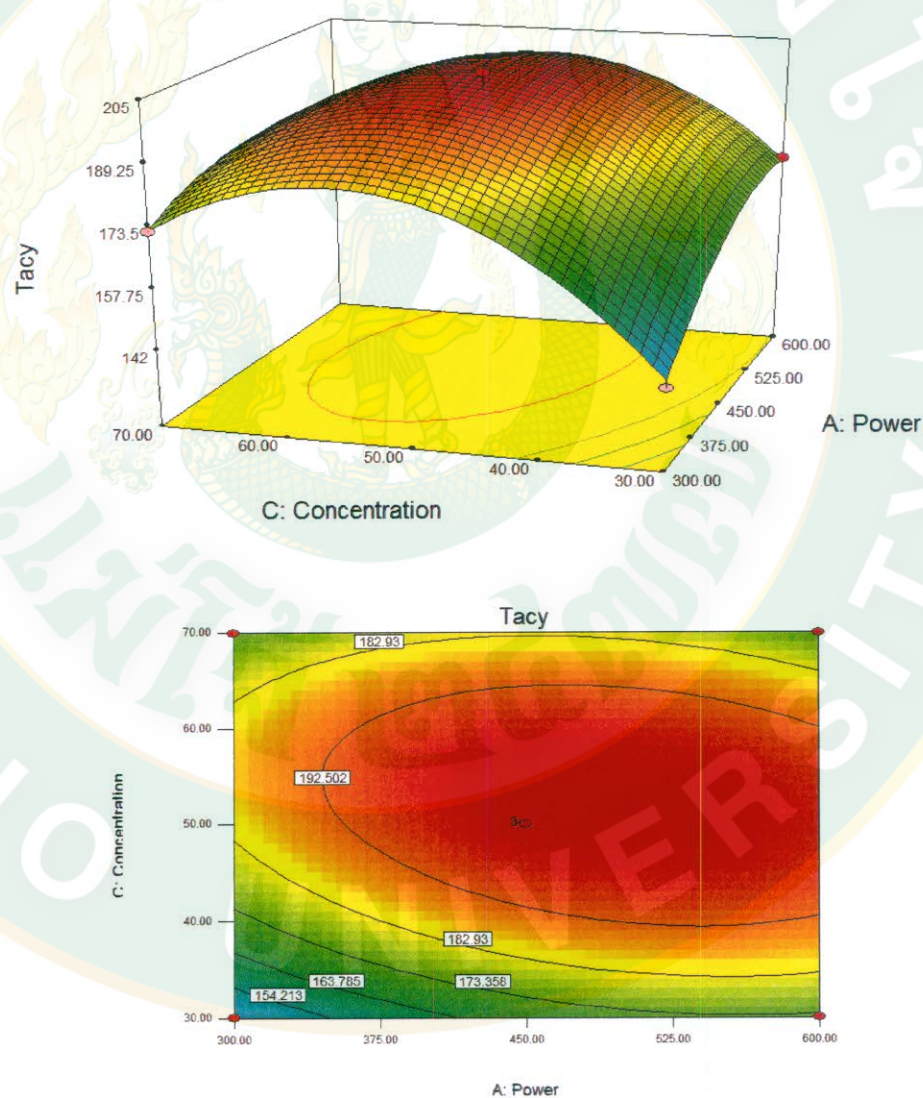
จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้ด้วยเทคนิคทางสถิติด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟสามมิติและ สองมิติที่แสดงความสัมพันธ์ของการตอบสนองระหว่างเวลาในการสกัดกับกำลังไมโครเวฟ ความ เข้มข้นของตัวทำละลายกับกำลังไมโครเวฟและความเข้มข้นของตัวทำละลายกับเวลาในการสกัด ซึ่ง ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแสดงถึงปริมาณแอนโทไซยานินที่สามารถสกัดออกมาได้ตามสภาวะต่างๆ ดัง ภาพที่ 19 – 21

ภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาทีก) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้โดยทำการควบคุมความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินเมื่อเวลาในการสกัดและกำลังไมโครเวฟมีค่าเพิ่มมากขึ้นจาก 1 – 9 นาที และ 300 – 600 วัตต์ ส่งผลทำให้มีค่าปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น จาก 150.26 mg/100g DW จนมีค่าสูงสุดที่ 193.84 mg/100g DW โดยค่าสีแดงดังภาพจะแสดงถึงปริมาณแอนโทไซยานินที่สามารถสกัดได้สูงที่สุด



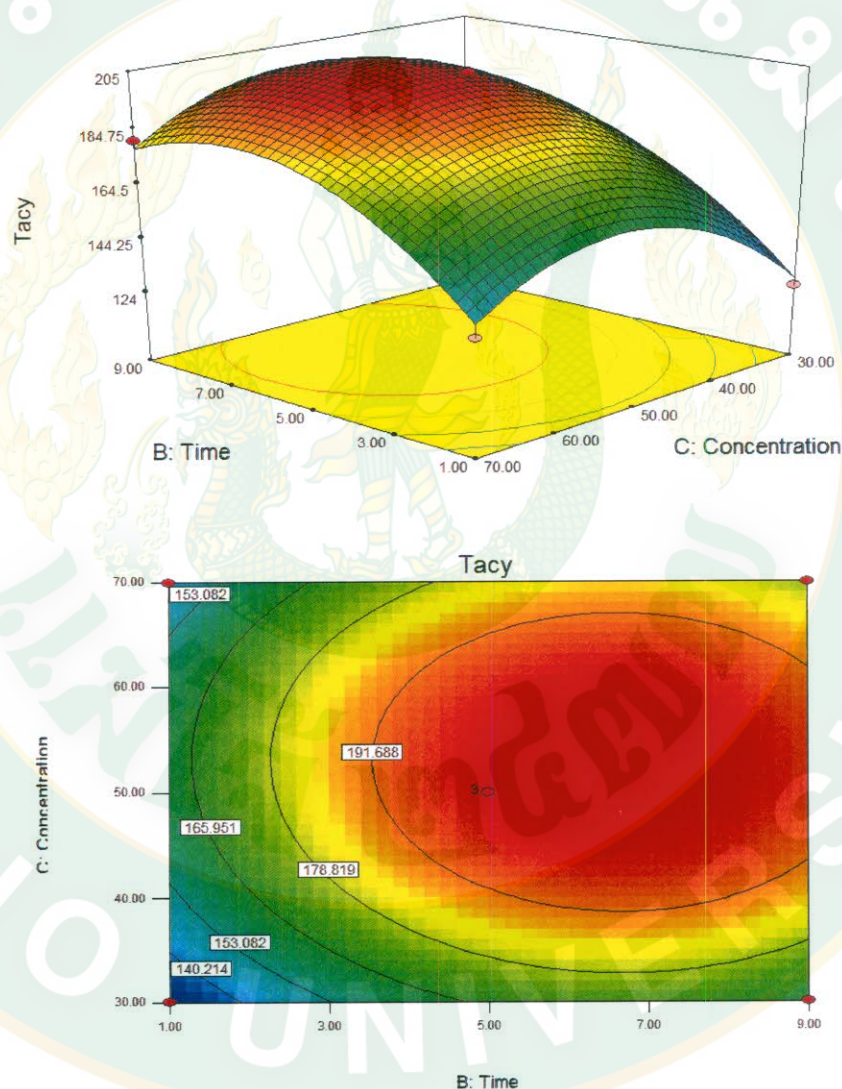
ภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาทีก) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)

ภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้โดยทำการควบคุมเวลาในการสกัด 5 นาที พบว่าพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินเมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายและกำลังไมโครเวฟมีค่าเพิ่มมากขึ้นจาก 30 – 50 เปอร์เซ็นต์ และ 300 – 450 วัตต์ ส่งผลทำให้มีค่าปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นจาก 154.13 mg/100g DW จนมีค่าสูงสุดที่ 192.50 mg/100g DW และมีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงจนเหลือ 182.93 mg/100g DW เมื่อมีค่าความเข้มข้นของตัวทำละลายและกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (เวลาในการสกัด 5 นาที)

ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) และเวลาในการสกัด (นาทิต) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้โดยทำการควบคุมกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ พบว่าพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินเมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายและเวลาในการสกัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นจาก 30 – 50 เปอร์เซ็นต์ และ 1 – 5 นาที ส่งผลทำให้มีค่าปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นจาก 140.21 mg/100g DW จนมีค่าสูงสุดที่ 191.69 mg/100g DW โดยค่าสีแดงดังภาพจะแสดงถึงปริมาณแอนโทไซยานินที่สามารถสกัดได้สูงที่สุด



ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และเวลาในการสกัด (นาทิต) ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์)

จากกราฟสามมิติและสองมิติที่แสดงผลของปริมาณแอนโทไซยานินต่อปัจจัยที่ใช้ในการสกัด ทั้งสามปัจจัย ดังภาพที่ 19 - 21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อ เวลาในการสกัด ความเข้มข้นของตัวทำละลาย และกำลังไมโครเวฟมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความร้อน จากคลื่นไมโครเวฟส่งผลทำให้เซลล์ที่อยู่ในผงหม่อนเกิดการแตกตัวและสกัดสารแอนโทไซยานินออกมา ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดโดยใช้กรดซิตริกร้อยละ 3 (Amelia et al., 2013) ผสมกับความเข้มข้น ของตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการสกัด 5 นาที กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ ส่งผล ทำให้สกัดแอนโทไซยานินออกมาได้มากกว่าการสกัดโดยใช้เอทานอลเพียงอย่างเดียวเนื่องด้วยกรดซิ ตริกเป็นสารที่มีขี้และเป็นสารละลายไอออนิกสามารถดูดซึมพลังงานจากไมโครเวฟได้มาก (ธนภัทร, 2560) อีกทั้งสารแอนโทไซยานินเป็นสารสีแดงที่มีค่าความเป็นกรด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhang et al., 2012) ใช้เวลาในการสกัด 5-7 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลายหรือเอทานอล 60 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ (Garofulic et al., 2013) ใช้เวลาในการสกัด 6 - 9 นาที และกำลัง ไมโครเวฟ 400 วัตต์ ส่งผลทำให้มีการสกัดแอนโทไซยานินมากที่สุด แต่เมื่อทำการเพิ่มกำลังไมโครเวฟ เวลาในการสกัด และความเข้มข้นของตัวทำละลายที่มีค่ามากกว่าสถานะที่เหมาะสมจะส่งผลทำให้ ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเพราะปริมาณแอนโทไซยานินที่อยู่ในผลหม่อนเมื่อโดนความร้อนเป็น เวลานานอาจเกิดการสลายตัวจนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่น

เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินแล้วเสร็จได้นำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดมาทำ การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP และการวิเคราะห์สารต้านอนุมูล อิสระด้วยการฟอกสี ABTS ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังในตารางที่ 7

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่าง	ฟีนอลิก (mgGAE/g)	DPPH (เปอร์เซ็นต์)	FRAP (mM Fe ²⁺ /g)	ABTS (mM/g)
1	21.96±1.07 ^{abc}	38.35±2.67 ^{defgh}	52.35±2.66 ^e	36.62±2.14 ^f
2	22.84±0.25 ^{abc}	35.94±2.54 ^{defgh}	61.41±1.61 ^d	35.84±1.21 ^f
3	24.41±0.86 ^{abc}	36.54±0.34 ^{defgh}	52.88±1.27 ^e	39.94±0.83 ^e
4	22.61±1.79 ^{abc}	39.70±4.17 ^{cde}	61.35±1.73 ^d	43.33±0.17 ^d
5	21.36±0.01 ^{bc}	33.38±1.46 ^h	66.01±0.31 ^c	44.78±1.54 ^{cd}
6	20.93±0.99 ^{bc}	38.80±0.93 ^{cdefgh}	60.88±1.27 ^d	48.29±2.31 ^b
7	20.01±1.73 ^c	34.44±3.31 ^{fgh}	59.41±2.18 ^d	42.29±0.70 ^{de}
8	24.16±2.14 ^{abc}	39.10±1.17 ^{cdefg}	61.95±1.39 ^d	48.29±0.07 ^b
9	21.39±3.07 ^{bc}	35.19±1.29 ^{efgh}	49.88±1.43 ^e	31.35±1.07 ^g
10	25.56±1.41 ^{ab}	40.90±1.41 ^{bcd}	65.75±2.77 ^c	46.39±1.00 ^{bc}
11	23.96±2.42 ^{abc}	33.83±2.91 ^{gh}	43.28±0.12 ^f	40.23±1.40 ^e
12	24.73±4.01 ^{abc}	40.00±2.69 ^{cde}	60.95±0.86 ^d	53.86±1.46 ^a
13	25.79±4.57 ^{ab}	45.89±2.83 ^{ab}	81.01±2.84 ^a	53.86±1.94 ^{ab}
14	25.56±1.28 ^{ab}	46.22±1.56 ^a	74.15±1.49 ^b	52.40±0.34 ^{ab}
15	27.24±2.67 ^a	44.14±1.44 ^{abc}	69.41±0.88 ^c	55.18±0.07 ^{ab}

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ

a,b,c แสดงถึงค่าที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

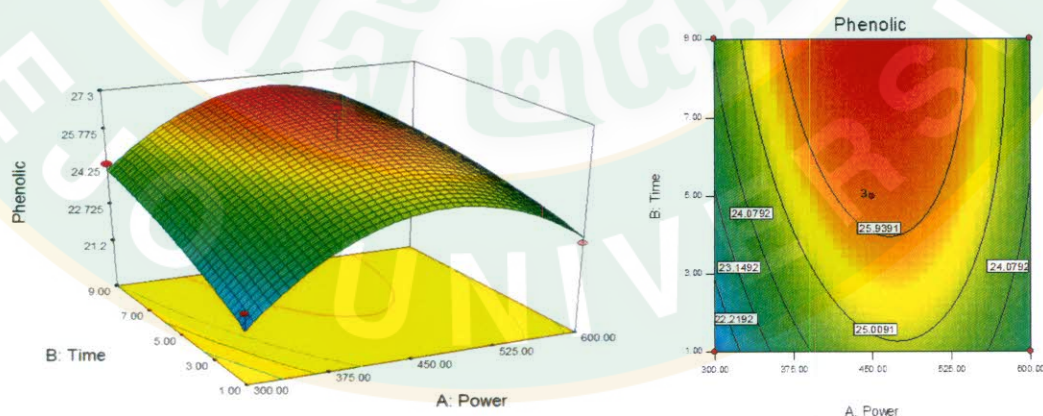
จากตารางที่ 7 พบว่าที่สภาวะการทดลองที่ 13 – 15 เป็นสภาวะการทดลองที่ส่งผลทำให้มีค่าฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลมากที่สุด ที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ และในการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระพบว่าวิธีดีวิซ์

เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูล FRAP เป็นวิธีที่เหมาะสมแก่การตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งวิธีนี้แสดงให้เห็นว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าวิธีอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS

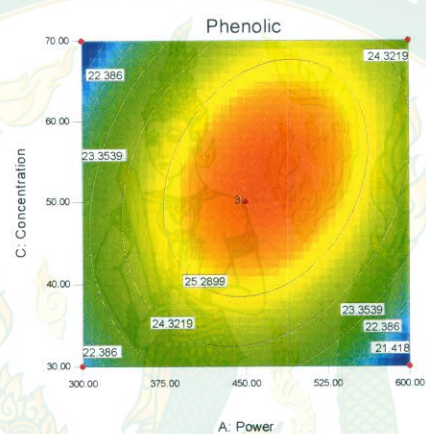
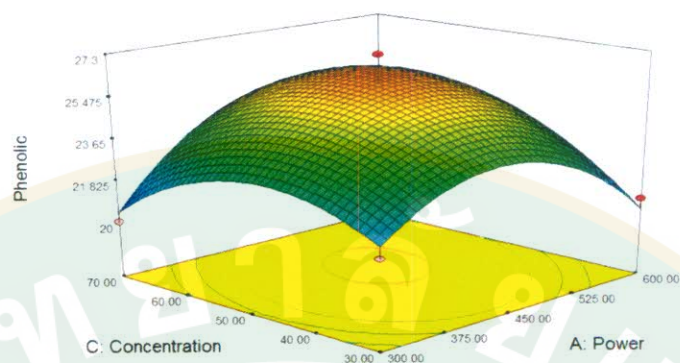
การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิก

ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกด้วย Folin-Ciocalteu reagent โดยใช้หลักการแตกตัวของฟีนอลิกเป็นโปรตอน และไอออนลบของ phenolate ซึ่งไอออนลบจะปฏิกิริยา Folin-Ciocalteu reagent ได้เป็นสารละลายสีน้ำเงิน (วรานนท์, 2557) เมื่อนำมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน พบว่าจากการสกัดสารด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมที่สภาวะต่างๆ ทั้ง 15 สภาวะการทดลอง ดังตารางที่ 7 พบว่าจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติข้อมูลดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกที่อยู่ในช่วง 25.56 - 27.24 mgGAE/g ในสภาวะการสกัดที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ และค่าต่ำสุด 20.01 mgGAE/g ที่กำลังไมโครเวฟ 300 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 70 เปอร์เซ็นต์ มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Nukrob et al.(2015) เรื่องการสกัดหาสารฟีนอลิกจากมะเขือเทศโดยเทคนิคคลื่นไมโครเวฟโดยมีค่าปริมาณฟีนอลิกอยู่ในช่วง 57.39 – 75.57 mgGAE/g จากตารางที่ 7 สามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการพหุนามกำลังสองได้ดังสมการที่ 4.2 และนำมาสร้างกราฟสามมิติและสองมิติได้ดังภาพที่ 22 – 24

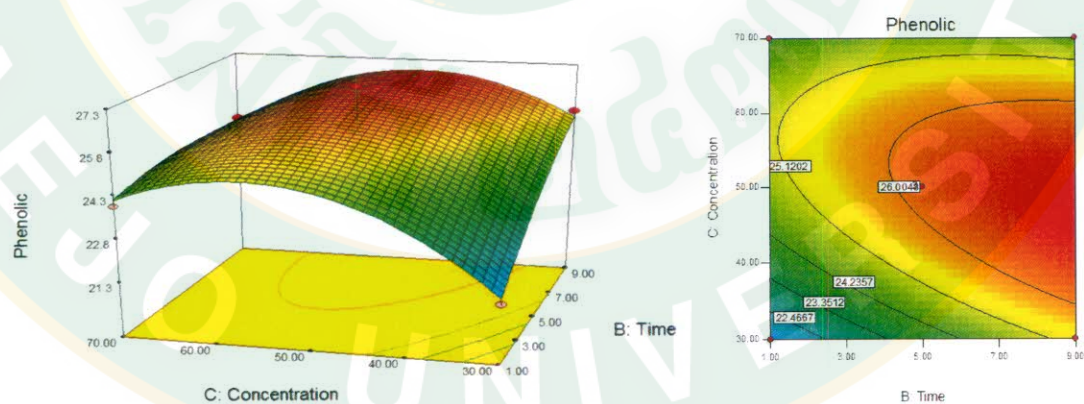
$$Y = -9.74 + 0.09X_1 + 1.32X_2 + 0.39X_3 - 7.02X_1X_2 + 3.81X_1X_3 - 0.01X_2X_3 - 1.17X_1^2 - 0.02X_2^2 - 4.85X_3^2 \quad \dots (4.2)$$



ภาพที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณฟีนอลิก (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)



ภาพที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 กำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อปริมาณฟีนอลิก (เวลาในการสกัด 5 นาที)



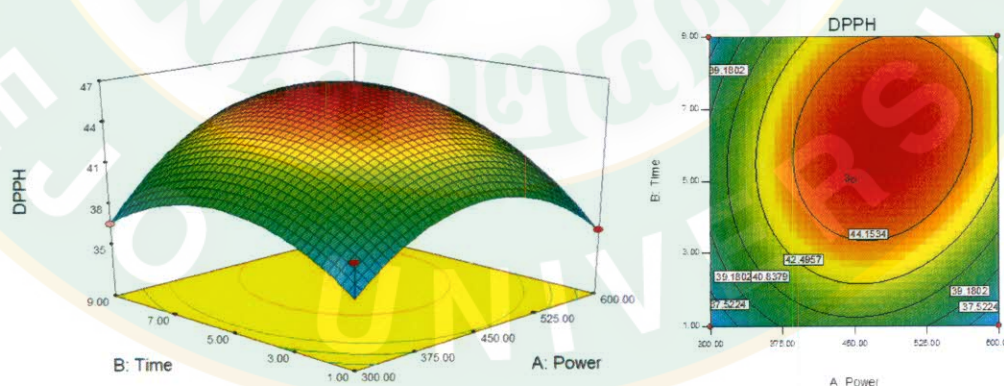
ภาพที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย(เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และเวลาในการสกัด (นาที) ต่อปริมาณฟีนอลิก (กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์)

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

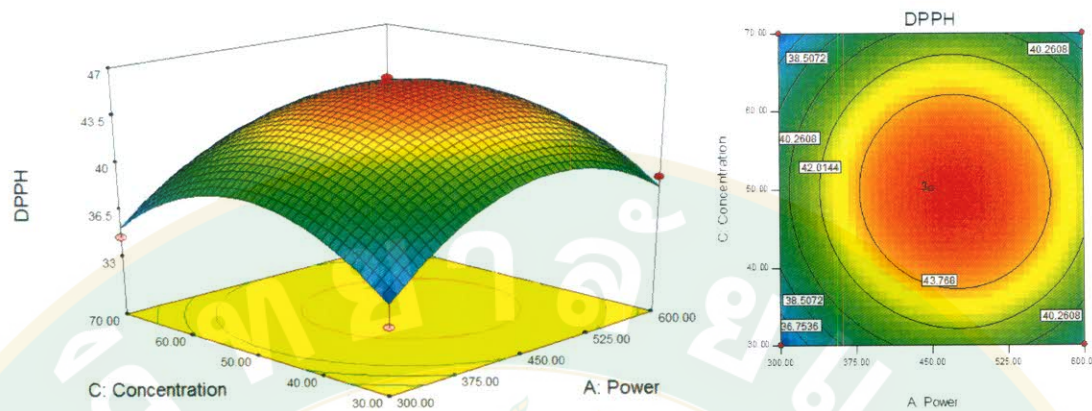
การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดในการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรอยู่ในสารละลายโดย DPPH คือ อนุภาคนิรสีที่เสถียรและสามารถรับอิเล็กตรอนได้เมื่อได้รับอะตอมจากไฮโดรเจนจากโมเลกุลอื่นจะทำให้เปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ (รัชฎาพร และคณะ 2554) ซึ่งผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 7 พบว่ามีปริมาณการยับยั้ง (% Inhibition in DPPH assay) มากสุดในช่วง 44.14 – 46.22 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะการสกัดที่ 13 - 15 กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะการสกัดที่ 5 มีปริมาณการยับยั้ง (% Inhibition in DPPH assay) ต่ำสุด 33.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ รวัญภา และคณะ (2557) เรื่องการหาปริมาณฟีนอลและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้แปรรูปในจังหวัดจันทบุรี ที่มีค่าปริมาณการยับยั้ง (% Inhibition in DPPH assay) ในน้ำมั่งคุดสูงสุด 56.71 เปอร์เซ็นต์ และต่ำสุด 26.37 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ซึ่งจากข้อมูลในข้างต้นสามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการพหุนามกำลังสองได้ดังสมการที่ 4.3 และนำมาสร้างกราฟสามมิติและสองมิติได้ดังภาพที่ 25 – 27

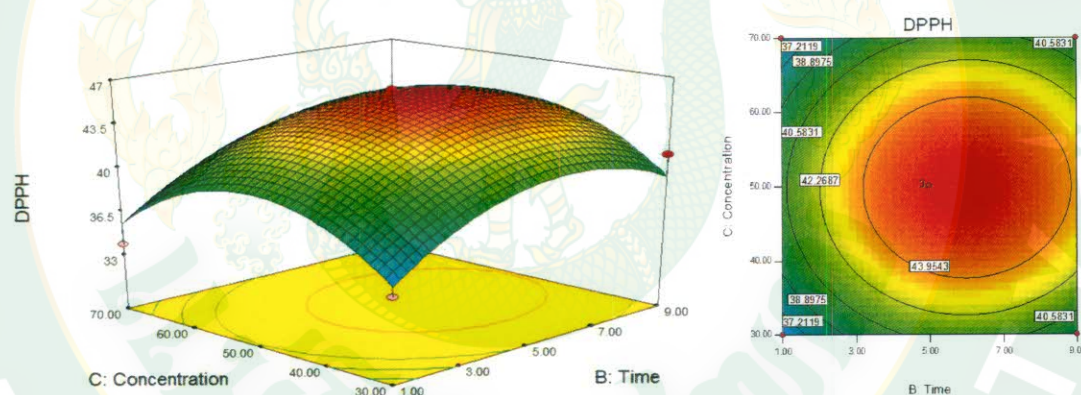
$$Y = -29.96 + 0.18X_1 + 1.42X_2 + 1.16X_3 + 2.32X_1X_2 - 6.27X_1X_3 + 1.41X_2X_3 - 1.96X_1^2 - 0.21X_2^2 - 0.01X_3^2 \quad \dots (4.3)$$



ภาพที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ (ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)



ภาพที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (เวลาในการสกัด 5 นาที)

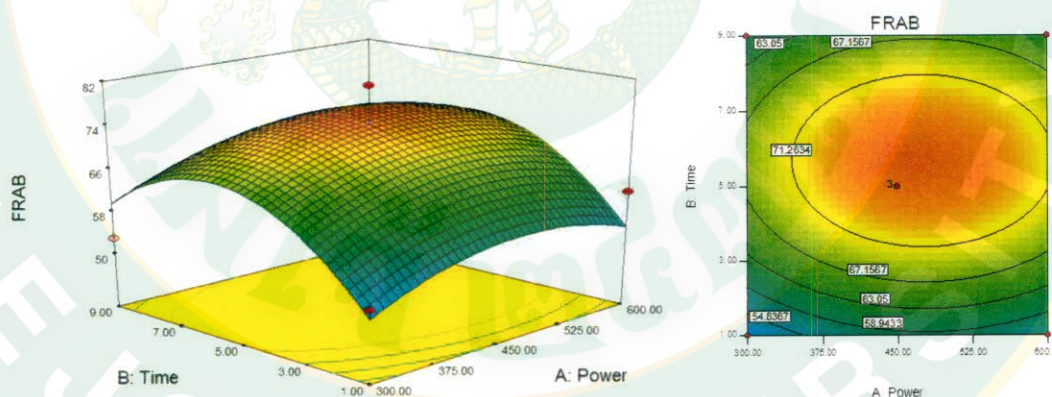


ภาพที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อย ละ 3 และเวลาในการสกัด (นาที) ต่อวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์)

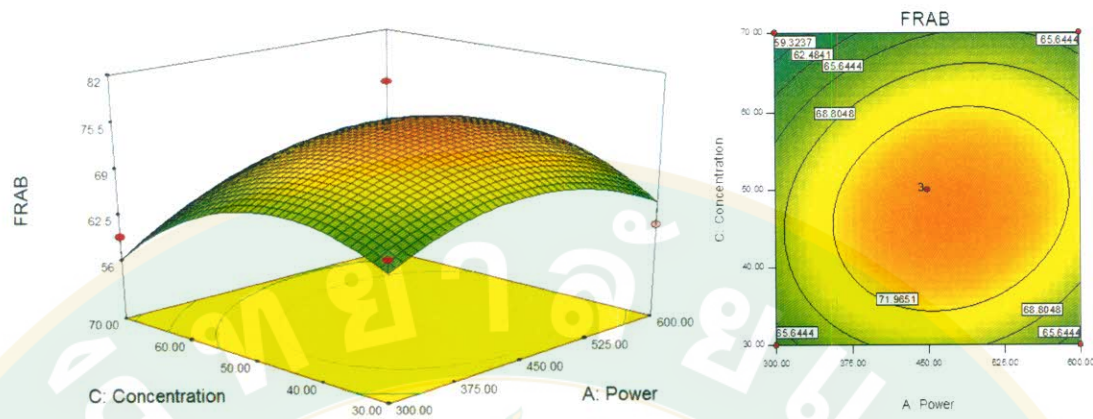
การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เป็นการวิเคราะห์โดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์ริก Fe^{2+} กับ TPTZ ซึ่งเมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากผงหม่อนจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+} กับ TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงิน (รัชฎาพร และคณะ 2554): โดยทำการเทียบกับกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) จากการทดลองในการวิเคราะห์สารสกัดพบว่า ที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด 81.01 mM Fe^{2+} /g และต่ำที่สุด 49.88 mM Fe^{2+} /g ที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 1 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 30 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ดังตารางที่ 7 สามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการพหุนามกำลังสองได้ดังสมการที่ 4.4 และสร้างกราฟสามมิติและสองมิติได้ดังภาพที่ 28 – 30

$$Y = -29.80 + 0.17X_1 + 8.69X_2 + 1.43X_3 - 2.50X_1X_2 + 6.39X_1X_3 + 5.62X_2X_3 - 2.39X_1^2 - 0.78X_2^2 - 0.02X_3^2 \quad \dots (4.4)$$



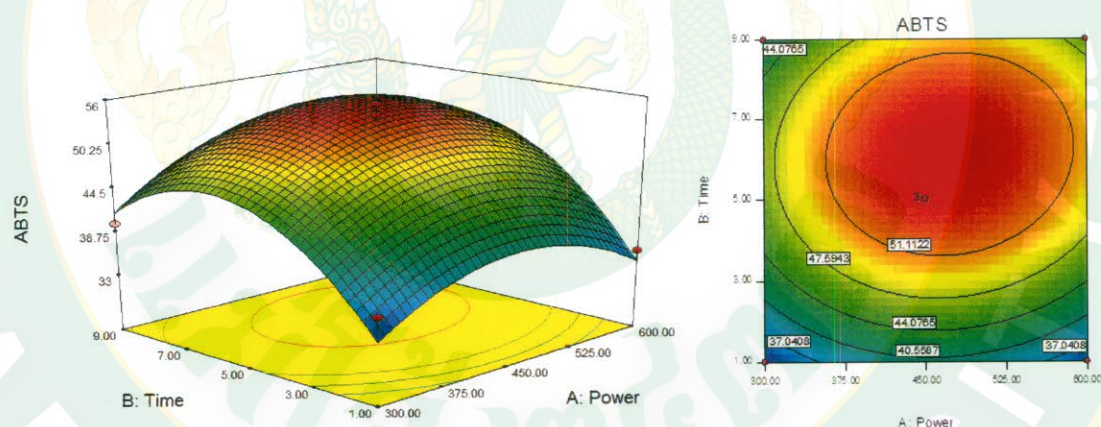
ภาพที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)



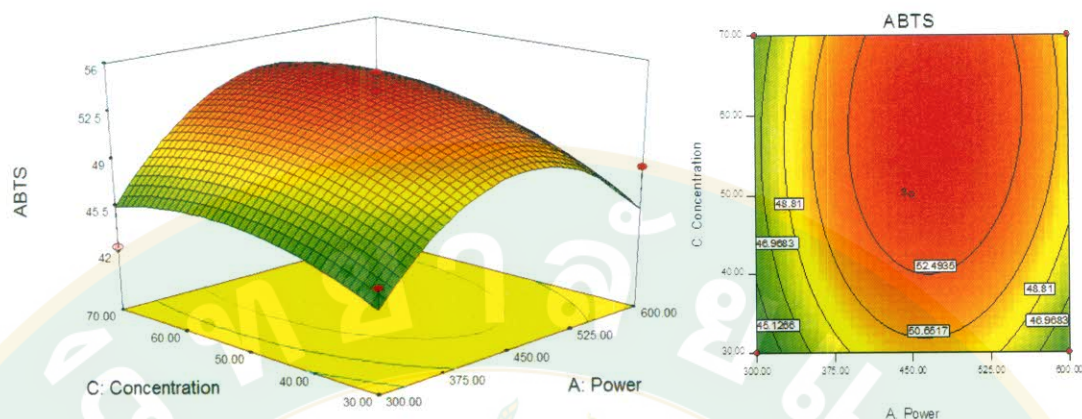
การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS

เป็นการวิเคราะห์โดย ABTS จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระเมื่อทำการผสมกับโซเดียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) โดยทำการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าการทดลองที่ 13 - 15 ที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุดในช่วง 52.40 - 55.18 mM/g และการทดลองที่ 9 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ต่ำสุด 31.35 mM/g ที่สภาวะ กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 1 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลาย 30 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จากตารางที่ 7 สามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการพหุนามกำลังสองได้ดังสมการที่ 4.5 และสร้างกราฟสามมิติและสองมิติได้ดังภาพที่ 31 - 33

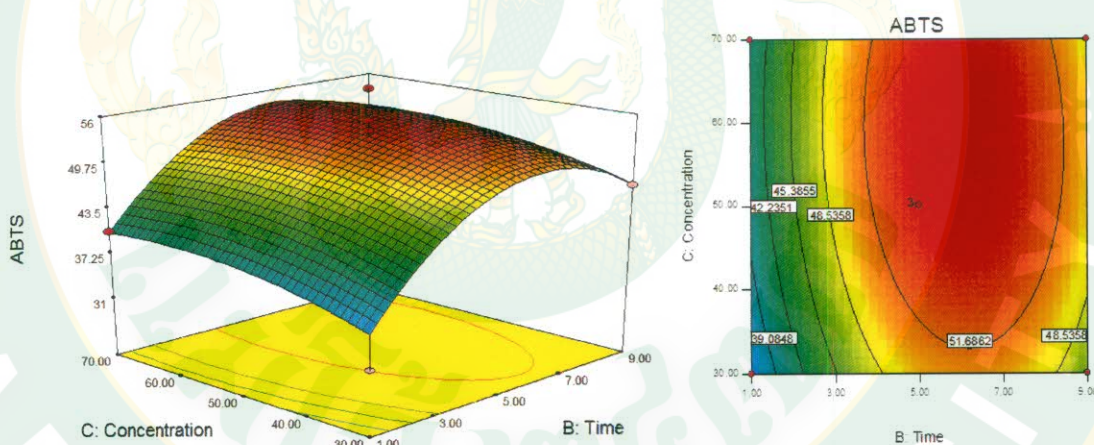
$$Y = -33.47 + 0.23X_1 + 6.25X_2 + 0.50X_3 + 1.74X_1X_2 + 2.08X_1X_3 - 4.43X_2X_3 - 2.65X_1^2 - 0.56X_2^2 - 4.84X_3^2 \quad \dots (4.5)$$



ภาพที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัด (นาที) และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS (ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกรดซิตริกร้อยละ 3)



ภาพที่ 32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และกำลังไมโครเวฟ (วัตต์) ต่อสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS (เวลาในการสกัด 5 นาที)



ภาพที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์) ผสมกรดซิตริก ร้อยละ 3 และเวลาในการสกัด (นาทื) ต่อสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS (กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อศึกษาความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน

หลังจากสกัดสารแอนโทไซยานินจากผลหม่อนและทำการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการออกแบบการทดลองพื้นที่ผิวตอบสนองแบบ BBD พบว่า สภาวะที่กำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นสภาวะที่ส่งผลทำให้มีแอนโทไซยานิน ปริมาณฟีนอลิก และ ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAB มากที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกสภาวะดังกล่าวมาทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อผลิตเป็นผงสีแอนโทไซยานิน

กระบวนการผลิตผงสีแอนโทไซยานินด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ในการผลิตผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อนเริ่มจากการนำน้ำสกัดที่ได้จากขั้นตอนในข้างต้นมาเข้าสู่เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ เพื่อทำการปรับความเข้มข้นน้ำสกัดจาก 2 – 3 องศาบริกซ์ ให้มีความเข้มข้นประมาณ 20 องศาบริกซ์ จากนั้นใส่โมลโตเด็กตริน 15 เปอร์เซ็นต์ และเข้าสู่เครื่องอบแห้งพ่นฝอยโดยทำการอบแห้งที่ อุณหภูมิลมร้อนเข้า 160 องศาเซลเซียส ป้อน 15 เปอร์เซ็นต์ และ Aspirator 100 เปอร์เซ็นต์ ได้ปริมาณผงสี (Yield) 17.85 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 34 ผงสีแอนโทไซยานิน

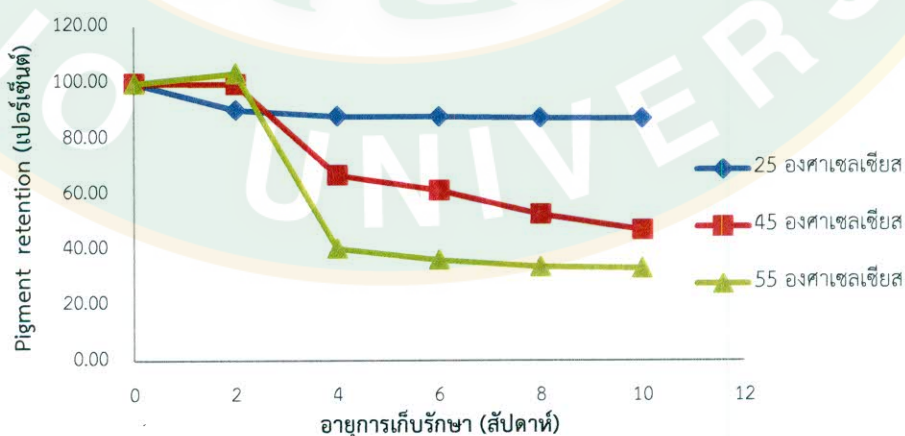
จากภาพที่ 34 ได้นำผงสีที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยมาวิเคราะห์หาค่าวอเตอร์แอกติวิตีและค่าสี จากการวิเคราะห์พบว่า ผงสีมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.14 ค่า L^* 47.43 ซึ่งมีค่า a^* 30.52 และ b^* 4.41 ซึ่งค่า L^* เป็นค่าสีทางบวกแสดงถึงความสว่าง a^* แสดงถึงค่าสีแดงและ b^* แสดงถึงค่าสีเหลือง เนื่องจากทราบค่า L^* a^* b^* สามารถคำนวณหาค่า Chroma ที่แสดงถึงความอิ่มตัวของสี และ Hue angle ที่แสดงถึงตำแหน่งของสี ได้จากสมการที่ 2.2 และ 2.3 โดยมีค่า Chroma 30.84 และ Hue angle จะมีค่า 8.22 องศา ซึ่งแสดงถึงค่าสีม่วงแดงถึงสีส้ม จากผงสีที่ได้จะนำไปประยุกต์เป็นอาหารเสริมอัดเม็ดจากหม่อนต่อไป

การศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน

จากกระบวนการสกัดและการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะได้ผงสีแอนโทไซยานินโดยจะทำการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินเพื่อดูอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำการศึกษ้อัตราปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินและค่าครึ่งชีวิตเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (ศุทธิณี, 2556)

อัตราปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินและค่าครึ่งชีวิต

ในการศึกษาการหาอัตราการสลายตัวและค่าครึ่งชีวิตสามารถแสดงผลการทดลองได้ ดังภาพที่ 35 แสดงถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาผงสีแอนโทไซยานินที่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่ทำการศึกษาอุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาจาก 0 สัปดาห์ ถึง 10 สัปดาห์ ส่งผลทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงในทุกๆอุณหภูมิ โดยที่ปริมาณสารตั้งต้นหรือปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อระยะเวลาผ่านไปส่งผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินมีค่าลดลงเหลือ 87.34, 47.34 และ 33.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินมีปริมาณลดลงเนื่องจากอุณหภูมิส่งผลทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยที่การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลทำให้เกิดการเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลเซชัน (Hydrolyzation) ของ Glycoside ทำให้ Flavylumcation เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็น Chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัวน้อย (Laleh et al.,2006) จึงส่งผลทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (ศุทธิณี, 2556) ทำการศึกษาความคงตัวของสารแอนโทไซยานินในสารสกัดสารลูกหม่อน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่งผลทำให้มีการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินลดลงเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษาต่อปริมาณแอนโทไซยานิน

จากข้อมูลในภาพที่ 35 สามารถนำมาคำนวณหาค่าอัตราปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินและค่าครึ่งชีวิตได้ดังตารางที่ 8

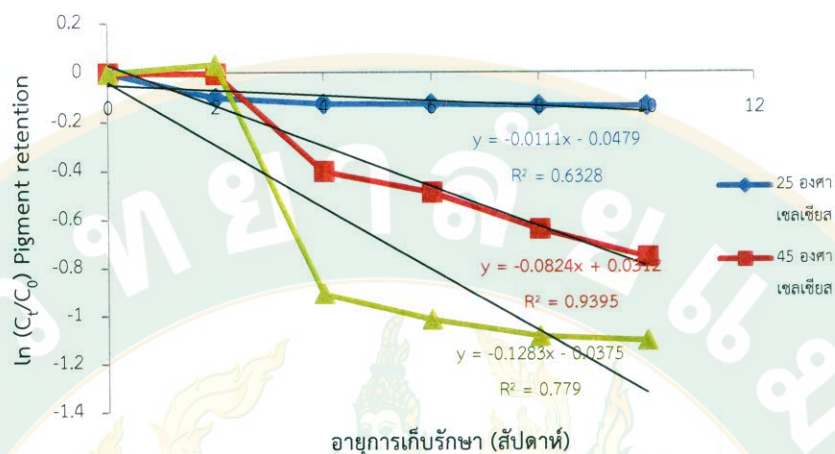
ตารางที่ 8 ค่าการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$k \times 10^{-3}$	$t_{1/2}$ (สัปดาห์)	Pigment retention (เปอร์เซ็นต์)
25	13.5	51.34	87.35
45	75	9.24	47.04
55	135	5.13	33.81
35	$Q_{10} = 16.64$ สัปดาห์		

จากตารางที่ 8 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษาของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อนที่ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อัตราการสลายตัวของผงสีแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นจาก 13.5 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น 135 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส หรือมีค่าเพิ่มขึ้น 10 เท่า เนื่องจากการเร่งอุณหภูมิเป็นการเร่งการเกิดปฏิกิริยาของผงสีแอนโทไซยานินจึงส่งผลทำให้มีอัตราการสลายตัวสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำและเมื่อทำการวิเคราะห์อัตราการสลายตัวของผงสีแอนโทไซยานิน (k) สามารถนำมาคำนวณหาครึ่งชีวิตได้จากสมการ 3.7 ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 8 พบว่า เมื่ออัตราการสลายตัวของผงสีแอนโทไซยานินและอุณหภูมิมีค่าเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าครึ่งชีวิตมีค่าลดลงจาก 51.34 สัปดาห์ เหลือเพียง 5.13 สัปดาห์ และการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลทำให้ค่าสีของผงสีแอนโทไซยานินมีค่าลดลงจาก 87.35 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 33.81 เปอร์เซ็นต์ หรือลดลง 61.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (กิตตินาฏ และคณะ 2553) ที่ทำการศึกษาการประเมินอายุการเก็บรักษาของสารป้องกันการเกาะติดโดยใช้วิธีสภาวะเร่งอุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลทำให้เกิดการเร่งของปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

จากตารางที่ 8 ได้นำข้อมูลค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส มาทำการคำนวณอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีแบบสภาวะเร่งด้วยการคำนวณหา Q_{10} ซึ่งจากการคำนวณพบว่าค่าที่ได้มีค่า 16.64 สัปดาห์

การศึกษาพลังงานกระตุ้นโดยสมการอาร์เรเนียส



ภาพที่ 36 ค่า $\ln (C_t/C_0)$ ของปริมาณแอนโทไซยานินต่ออุณหภูมิที่มีผลกับระยะเวลาในการเก็บรักษาผงหม่อน

จากภาพที่ 36 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า $\ln (C_t/C_0)$ ของปริมาณแอนโทไซยานินต่ออุณหภูมิ (25 45 และ 55 องศาเซลเซียส) ที่มีผลกับระยะเวลาในการเก็บรักษาผงหม่อนโดยจะนำสมการที่ได้ในแต่ละอุณหภูมิมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ อุณหภูมิ ($1/T$) เพื่อคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 37 การสลายตัวของปริมาณแอนโทไซยานินจากผงหม่อนระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 37 ความชันของกราฟที่ได้คือค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.9 เมื่อคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้นพบว่าทั้งสามอุณหภูมิมีค่าพลังงานกระตุ้น 3.12 kJ/mol K และมีค่า R^2 99.21 ซึ่งแสดงถึงพลังงานต่ำสุดที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินจากผงหม่อน

การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อน

การวิเคราะห์คุณสมบัติค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity)

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity) ของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อนอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สัปดาห์	วอเตอร์แอกติวิตี
25	0	0.17 ± 0.004^a
	2	0.22 ± 0.002^c
	4	0.20 ± 0.002^b
	6	0.19 ± 0.002^b
	8	0.19 ± 0.007^b
	10	0.19 ± 0.006^b
45	0	0.17 ± 0.004^a
	2	0.21 ± 0.003^c
	4	0.20 ± 0.002^b
	6	0.21 ± 0.002^b
	8	0.27 ± 0.008^d
	10	0.30 ± 0.002^e
55	0	0.17 ± 0.004^a
	2	0.22 ± 0.001^b
	4	0.26 ± 0.007^d
	6	0.25 ± 0.003^d
	8	0.23 ± 0.011^{bc}
	10	0.23 ± 0.005^c

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่าการดูดความชื้นกลับของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อนที่อุณหภูมิต่างๆที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ a,b,c แสดงถึงค่าที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity)

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) ของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อนที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สัปดาห์	การดูดความชื้นกลับ (เปอร์เซ็นต์)
25	0	29.94 ± 0.02^f
	2	29.77 ± 0.04^e
	4	29.52 ± 0.06^d
	6	25.44 ± 0.03^c
	8	22.18 ± 0.10^b
	10	18.95 ± 0.04^a
45	0	29.94 ± 0.04^e
	2	34.18 ± 0.06^f
	4	28.04 ± 0.04^d
	6	27.11 ± 0.04^c
	8	19.19 ± 0.05^b
	10	13.47 ± 0.04^a
55	0	29.94 ± 0.04^f
	2	36.36 ± 0.03^e
	4	27.33 ± 0.03^d
	6	24.64 ± 0.03^c
	8	19.92 ± 0.05^b
	10	10.43 ± 0.01^a

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่าการดูดความชื้นกลับของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อนที่อุณหภูมิต่างๆที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ a,b,c แสดงถึงค่าที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การวิเคราะห์คุณสมบัติความสามารถในการละลาย (Solubility)

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่าความสามารถในการละลาย Solubility ของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อนที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สัปดาห์	ความสามารถในการละลาย (เปอร์เซ็นต์)
25	0	99.63 ± 0.00 ^a
	2	99.60 ± 0.04 ^b
	4	99.07 ± 0.23 ^c
	6	98.86 ± 0.15 ^{cd}
	8	98.42 ± 0.15 ^f
	10	98.61 ± 0.10 ^{de}
45	0	99.52 ± 0.05 ^a
	2	99.61 ± 0.01 ^a
	4	99.42 ± 0.05 ^a
	6	98.62 ± 0.26 ^b
	8	98.40 ± 0.38 ^b
	10	98.84 ± 0.20 ^b
55	0	99.55 ± 0.00 ^a
	2	99.61 ± 0.04 ^a
	4	99.47 ± 0.06 ^{ab}
	6	99.22 ± 0.00 ^b
	8	98.94 ± 0.03 ^c
	10	98.71 ± 0.25 ^c

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติค่าความสามารถในการละลาย ของผงสีแอนโทไซยานินจากผลหม่อนที่อุณหภูมิต่างๆที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ a,b,c แสดงถึงค่าที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

จากตารางที่ 9 พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 และ 55 องศาเซลเซียส ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีมีค่าลดลง เมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยมีค่าต่ำสุด 0.17 และสูงสุด 0.22 และ 0.26 ตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลทำให้มีค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นจาก 0.17 ในสัปดาห์ที่ 0 จนถึงสัปดาห์ที่ 10 มีค่า 0.30 เนื่องจากผงสีมีความแห้งมากและเมื่อโดนอากาศหรือความชื้นจากภายนอกส่งผลทำให้ความชื้นดูดกลับเข้าไปยังตัวผงสี และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ee, Bakar et al. (2014) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของเปลือกแก้วมังกรและทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ส่งผลทำให้มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีลดลงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากตารางที่ 10 เป็นการวิเคราะห์ค่าการดูดความชื้นกลับพบว่าสภาวะในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้มีการดูดความชื้นกลับลดลงทุกอุณหภูมิ โดยเริ่มจากสัปดาห์ที่ 0 มีค่า 29.94 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือเพียง 18.95 13.47 และ 10.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นพบว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงมากที่สุดคือ 65.16 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Ee, Bakar et al. (2014) พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาจะส่งผลทำให้มีค่าการดูดความชื้นกลับเพิ่มมากขึ้นในอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 27.63 เปอร์เซ็นต์ เป็น 29.15 และ 34.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มแตกต่างจากการทดลองในงานวิจัยเนื่องด้วยสภาพอากาศและความชื้นภายนอกที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ณ ขณะนั้น มีผลต่อค่าผงสีแอนโทไซยานิน เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าทุกอุณหภูมิมีการดูดความชื้นกลับแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายได้ (Solubility) จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และจากการทดลองค่าความสามารถในการละลายมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาในทุกอุณหภูมิ ซึ่งเกิดจากปัจจัยทางด้านเคมีเนื่องด้วยผงหมอนมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบส่งผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน โดยความเข้มข้นของแอนโทไซยานินและชนิดของน้ำตาลมีผลในการทำลายความเสถียรของแอนโทไซยานิน ความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานิน จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของซูโครสเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเข้มข้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลดีต่อความเสถียรของรงควัตถุ ตรงข้ามกันความเสถียรทางความร้อนของรงควัตถุจะลดลงเมื่อความ

เข้มข้นของฟรุกโตสเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการเกิดฟรุคโตไลต์ (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

การนำผงสีมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันได้มีการนำผลหม่อนมาแปรรูปและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากมายเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า เช่น น้ำหม่อน เครื่องสำอาง หรือ ไอศกรีม เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้นำผงสีแอนโทไซยานินที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมอัดเม็ดจากผงหม่อน

ส่วนผสมผลิตภัณฑ์อาหารเสริมอัดเม็ดเม็ดจากผลหม่อน

Mullberry Powder	50 mg
Montroextrin	250 mg
Microcrystalline Cellulose	150 mg
Magnesium stearate	5 mg
Lactose	100 mg
Total	555 mg



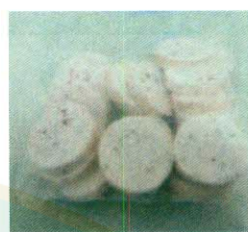
ภาพที่ 38 เครื่องอัดเม็ด



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 39 (ก) ส่วนผสมผลิตภัณฑ์อาหารเสริมอัดเม็ดเม็ดจากผงหม่อน (ข) เม็ดสีธรรมชาติที่มีส่วนผสมของผงมะเขี๋ยงและผงหม่อน (ค) เม็ดสีที่มีส่วนผสมของผงหม่อน



ภาพที่ 40 ขวดบรรจุภัณฑ์เม็ดสีจากธรรมชาติ

การวิเคราะห์ค่าสีของเม็ดสีเม็ดอัดธรรมชาติ

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ค่าสีของเม็ดสีอัดเม็ดธรรมชาติ

ค่าสี	L*	a*	b*	Chroma	Hue Angle
ผลการวิเคราะห์	51.1	14.2	1.9	53.04	7.62

เมื่อนำเม็ดสีอัดเม็ดธรรมชาติมาทำการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า มีค่า Chroma 53.04 ซึ่งแสดงถึงความบริสุทธิ์ของสี และเมื่อนำมาคำนวณหาค่า Hue Angle มีค่าเท่ากับ 7.62 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเม็ดสีแอนโทไซยานินแสดงถึงค่าสีม่วงแดงถึงสีส้มซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทิพวลี และคณะ (2550) ที่ทำการศึกษากการเตรียมและสมบัติด้านความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากเมล็ดถั่วดำ (*Vigna senensis*) ที่มีค่า L* 55.17, a*43.03, b* 7.00, Chroma 43.60 และ Hue Angle 9.24

บทที่ 5

สรุป

สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมและทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken design ทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ กำลังวัตต์ เวลาในการสกัด ความเข้มข้นของตัวทำละลาย พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ กำลังไมโครเวฟ 472.99 วัตต์ เวลาในการสกัด 6.45 นาที และความเข้มข้นตัวทำละลาย 54.97 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้มีค่าปริมาณแอนโทไซยานิน 204.54 mg/100g DW

2. ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธี ประกอบไปด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAB และวิธีวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS จากการศึกษาด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองแบบ Box-Behnken design พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณฟีนอลิกด้วยวิธีไมโครเวฟร่วม มีค่าปริมาณฟีนอลิก 26.89 mgGAE/g ที่กำลังไมโครเวฟ 447.96 วัตต์ เวลาในการสกัด 9 นาที และความเข้มข้นตัวทำละลาย 47.89 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธี พบว่า

2.1 วิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ใช้กำลังไมโครเวฟ 480.06 วัตต์ เวลาในการสกัด 6.19 นาที และความเข้มข้นตัวทำละลาย 49.75 เปอร์เซ็นต์ มีค่าวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH 45.81 เปอร์เซ็นต์

2.2 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAB ใช้กำลังไมโครเวฟ 472.42 วัตต์ เวลาในการสกัด 5.67 นาที และความเข้มข้นตัวทำละลาย 47.65 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAB 75.48 mM Fe^{2+} /g

2.3 วิธีวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS ใช้กำลังไมโครเวฟ 476.27 วัตต์ เวลาในการสกัด 6.11 นาที และความเข้มข้นตัวทำละลาย 59.04 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS 55.02 mM/g

3. จากการศึกษาจลนพลศาสตร์และความคงตัวของผงสีในปฏิกิริยานับที่ 1 พบว่า เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการสลายตัวของผงสีแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้นแต่จะ

ส่งผลทำให้มีค่าครึ่งชีวิตมีค่าลดลง และทำการคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้นของอนุหุมีที่มีผลต่อค่าคงที่ของอัตรา (k) ด้วยสมการอาร์เรเนียส พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 3.12 kJ/mol K และมีค่า R^2 0.9921 จากการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติของผงสีทั้ง 3 อนุหุมี พบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี พบว่าที่อนุหุมี 25 และ 55 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 0 ถึง สัปดาห์ที่ 4 และมีค่าลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 10 แต่ที่อนุหุมี 45 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้มีค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 ถึง สัปดาห์ที่ 10 เมื่อนำไปศึกษาค่าการดูดความชื้นกลับพบว่าทุกอนุหุมีส่งผลทำให้มีค่าการดูดความชื้นกลับลดลง และในการศึกษาความสามารถในการละลายที่อนุหุมี 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าการละลายอยู่ในช่วง 94.17 – 95.20 เปอร์เซ็นต์

ปัญหาที่พบ

การเลือกใช้อุณหภูมิในการอบแห้งส่งผลถึงปริมาณสารสำคัญต่างๆที่อยู่ในผลหม่อนรวมถึงผงสีที่ได้จากภายหลังกการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาคุณสมบัติหรือองค์ประกอบของผลหม่อนสดในแต่ละสายพันธุ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีใกล้เคียงกับตัววัตถุดิบ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติของผงสีแอนโทไซยานินจากผงหม่อนในเรื่องค่าการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopicity) มีค่าที่แตกต่างจากงานวิจัยของผู้อื่นเนื่องด้วยปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศและความชื้น

บรรณานุกรม

- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. แอนโทไซยานิน. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- กรรณิกา แท่นคำ. 2559. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า-คลื่นไมโครเวฟ.
[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.oshthai.org>. (14 มีนาคม 2559).
- กิริตินาฏ พูลเกสร, อนุวัตร แจ่มชัด และ กมลวรรณ แจ่มชัด. 2553. การประเมินอายุการเก็บรักษา
ของสารป้องกันการเกาะติดโดยใช้วิธีสภาวะเร่ง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- การเก็บเกี่ยวและการรักษาผลหม่อน. 2559. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
<http://www.arda.or.th/kasetinfo/silk/index.php?option=com>. (14 มีนาคม 2559).
- ชนิษฐา หวังดี. 2554. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดอินูลินจากแก่นตะวัน.
การเกษตรราชภัฏ, 10(1), 50-62.
- ดวงกมล เรืองงาม. 2557. การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ. วิทยาศาสตร์ลาดกระบัง,
23(2), 121-139.
- ตรีชฎา อุทัยดา. 2556. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลูกหม่อน.
เพชรบุรี:มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- ตูแวอิสมาแอ ตูแวบีรู. 2548. เทคนิค spray dryer เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย. ยะลา:
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- ทรงศิริ วงศ์จิตตปัญญา, ชนิตา โชติรสเวทิน และ ศศิธร ตรงจิตภักดี. 2557. ผลของชนิดตัวทำ
ละลายที่ใช้สกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แอนโทไซ
ยานินทั้งหมด และการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกและเมล็ดองุ่น. กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทิพวลี จิตพิศุทธิ์, วิษฐิดา จันทราพรชัย, วิชัย หฤทัยธนาสันต์ และ สุมณรัตน์ ชื่นพุดิ. 2550. การ
เตรียมและสมบัติด้านความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากเมล็ดถั่วดำ (*Vigna
senensis*). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นุชเนตร ตาเฒ๊ะ. 2555. ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวัตถุดิบในอาหารต่อ
คุณภาพของนมแพะผง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปรียานุช อินทร์รอด. 2551. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของส่วน
สกัดจากต้นเร่วหอมและว่านสาวหลง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนพานนท์. 2559. สารประกอบฟีนอล. [ระบบออนไลน์].

แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com>. (14 มีนาคม 2559).

พูนพัฒน์ พูนน้อย. 2552. **วิศวกรรมการแปรรูปอาหาร**. เอกสารประกอบการสอน วิศวกรรมการแปรรูปอาหาร. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ภขมน พิษญาจิตติพงษ์. 2556. **การผลิตและสมบัติทางชีวภาพของสียผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

มนต์วลี หุ่นเจริญ และ ศศิธร จันทนวรารังกูร. 2551. **ผลของอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง ต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ของน้ำลูกหม่อน**. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 46 เล่มที่ 7 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร วันที่ 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุพาพร ผลาจรศักดิ์. 2547. **การสกัดและความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

รวินภา ศรีมูล และ ศิริจันทร์ ตาใจ. 2557. **ปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้แปรรูปในจังหวัดจันทบุรี**. วารสารวิจัย, 7(1), 24-30.

รัชฎาพร อุ่นศิริไย, จิรวรรณ อุ่นเมตตาอารี และ จิตรา สิงห์ทอง. 2554. **ฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดย่านาง เครื่องหมาน้อยและรางจืด**. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วรานนท์ ทองอินลา, ชลธิชา วรณวิมลรักษ์ และ ภารดี ช่วยบำรุง. 2557. **ความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลไม้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMPD กับปริมาณฟีนอลิก วิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีน**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 19(2), 93-104.

ศรวิวัฒนา ทรงจิตสมบุญ. 2548. **สารต้านอนุมูลอิสระ จำเป็นต่อร่างกายอย่างไร**. นิตยสารหมอชาวบ้าน. [ระบบออนไลน์]. (316). แหล่งที่มา <https://www.doctor.or.th/article/detail/1346>. (22 พฤษภาคม 2559).

ศุทธิณี สีสานเหมรัตน์. 2556. **การศึกษาสารประกอบฟีนอลิก คุณสมบัติการต้านออกซิเดชันและความคงตัวของแอนโธไซยานินส์ในการสกัดจากลูกหม่อน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุทธิณี สีสานเหมรัตน์ และ ศศิธร ตรงจิตภักดี. 2553. **องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกากลูกหม่อน**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2550. **ผลไม้แห้ง**. (มผช.136/2558) แก้วมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 1471. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. แอนโทไซยานิน(Anthocyanin) กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

สุวิชา ดีหะสิงห์. 2550. การสกัดและการทำให้สารแอนโทไซยานินในลูกหว่าบรีสุทธ์. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรุษา ดีหะสิงห์ และ ธีรัตน์ อิทธิโสภณกุล. 2554. สีธรรมชาติจากเปลือกมังคุด. ดุษฎีนิพนธ์. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Adams, J. B. 1973. Thermal degradation of anthocyanins with particular reference to the 3- glycosides of cyanidin. I. In acidified aqueous solution at 100.deg. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 24, 747-762.

Ahmed, M., Akter, M. S., Lee, J.-C.& Eun, J.-C. 2010. Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *Food Science and Technology*, 43, 1307-1312.

Andersson, N., Wilson, D. I. & Germgard, U. 2003. An improved kinetic model structure for softwood kraft cooking. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 18, 200-209.

Benzie, I. F. F.& Strain, J. J. 1996 . The ferric reducing ability of plasma(FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Anal.Biochem*,239, 70–76.

Brouillard, R. & Delaporte, B. 1977. Chemistry of anthocyanin Pigments. 2.1 Kinetic and Thermodynamic Study of Poton transfer, Hydrtion, and Tautomeric reactions of Malvidin 3-glucoside. *J.am.Chem. Soc*, 99, 8461-8468.

Cai, Y. Z. & Corke, H. 2000. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. *Journal of Food Science*, 65, 1248-1252.

Ee, S. C., Bakar, J., Kharidah, M., Dzulkifly, M. H. & Noranizan, A. 2014. Physico-chemical properties of spray-dried red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder during storage., *Universiti Putra Malaysia*, 21(3), 1177-1182.

Fang, Z. & Bhandari, B. 2011. Effect of spray drying and storage on stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129, 1139-1147.

Garofulic, I .E., Dragovic-Uzelac, V., Jambreak, A .R. & Jukic, M. 2013. The effect of

microwave assisted extraction on the isolation of anthocyanins and phenolic acid from sour cherry Marasca (*Prunus cerasus* Var. Marasca). *Journal of food engineering*, 117, 437-442.

Hendry, B .S. 1996. Natural Food Colours. pp. 40-117. In Hendry G.A.F. & Houghton J .D. (eds.). **Natural Food Colorants**. Glasgow : Blackie.

McGuire, R .G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27, 1254-1255.

Minolta. 1997. **A User Manual: Spectrophotometer CM508c**. New Jersey, USA : Minolta Corporation.

Nukrob, N., Kanjana, N. & Umaporn, U. 2015. Optimization of Total Phenolic from *Cleistocalyx nervosum* by Microwave-Assisted Extraction. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(3), 302-309

Onanong, K., Sirithon, S. & Natthida, W. 2011. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers from Thailand. 2011. *Journal of functional foods*, 3, 88–99.

Pawlowska, A .M., Oleszek, W. & Braca, A. 2008. Quali-Quantitative Analyses of Flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. (*Mora cease*) Fruit. *Journal Agricultural and food chemistry*, 56, 3377-3380.

Quintas, M .A .C ., Brandao, T .R .S . & Silva, C .L .M . 2007. Modeling colour Changes during the caramelisation reaction. *Journal of food engineering*, 83, 483-91.

Rein, M. 2005. **Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins**. Ph.D. Thesis. University of Helsinki, Finland.

Shittu, T. A. & Lawal, M. O. 2007: Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chemistry*, 100, 91-98.

Sikorski, Z .E . **Chemical and Functional Properties of food Components**. 2nd ed. Boca Raton, Fla. :CRC Press.

Zheng, X., Xu, X., Liu, C., Sun, Y., Lin, Z. & Liu, H. 2012. Extraction characteristic and optimal parameters of anthocyanin from blueberry powder under microwave-assisted extraction condition. *Separation and Purification Technology*, 104, 17-25.





ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลองการสกัดแอนโทไซยานิน ฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์กำลังไมโครเวฟที่มีผลต่อแอนโทไซยานิน

ความเข้มข้นของ ตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วน (กรัม/ มิลลิลิตร)	DV (มิลลิลิตร)	TEV (มิลลิลิตร)	O.D.	แอนโทไซยานิน (mg/100g DW)	ค่าเฉลี่ย
10	1:5	6	80	0.133	106.58	105.38
	1:5	6	80	0.116	92.95	
	1:5	6	80	0.13	104.17	
30	1:5	6	80	0.137	109.78	110.18
	1:5	6	80	0.138	110.58	
	1:5	6	80	0.133	106.58	
50	1:5	6	80	0.161	129.02	133.02
	1:5	6	80	0.167	133.82	
	1:5	6	80	0.165	132.22	
70	1:5	6	80	0.128	102.57	105.38
	1:5	6	80	0.133	106.58	
	1:5	6	80	0.130	104.17	

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์เวลาในการสกัดที่มีผลต่อแอนโทไซยานิน

เวลาในการ สกัด (นาทีก)	อัตราส่วน (กรัม/ มิลลิลิตร)	DV (มิลลิลิตร)	TEV (มิลลิลิตร)	OD	แอนโทไซยานิน (mg/100g DW)	ค่าเฉลี่ย
1	1:5	6	80	0.161	129.02	129.28
	1:5	6	80	0.159	127.41	
	1:5	6	80	0.164	131.42	
5	1:5	6	80	0.186	149.05	151.72
	1:5	6	80	0.193	154.66	
	1:5	6	80	0.189	151.45	
9	1:5	6	80	0.191	153.06	143.97
	1:5	6	80	0.174	139.43	
	1:5	6	80	0.174	139.43	
13	1:5	6	80	0.187	149.85	140.77
	1:5	6	80	0.168	134.62	
	1:5	6	80	0.172	137.83	

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์กำลังไมโครเวฟในการสกัดที่มีผลต่อแอนโทไซยานิน

กำลัง ไมโครเวฟ (วัตต์)	อัตราส่วน (กรัม/ มิลลิลิตร)	DV (มิลลิลิตร)	TEV (มิลลิลิตร)	OD.	แอนโทไซยานิน (mg/100g DW)	ค่าเฉลี่ย
150	1:5	6	80	0.18	144.24	144.64
	1:5	6	80	0.181	145.04	
	1:5	6	80	0.190	152.25	
300	1:5	6	80	0.202	161.87	162.67
	1:5	6	80	0.197	157.86	
	1:5	6	80	0.204	163.47	
450	1:5	6	80	0.227	181.90	175.09
	1:5	6	80	0.22	176.29	
	1:5	6	80	0.217	173.89	
600	1:5	6	80	0.212	169.88	171.49
	1:5	6	80	0.218	174.69	
	1:5	6	80	0.212	169.88	

ตารางผนวกที่ 4 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองด้วยแบบ BBD

ตัวอย่าง	กำลัง ไมโครเวฟ (วัตต์)	กำลัง เวลาในการสกัด (นาที)	ความเข้มข้นของ ตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)	O.D 1 (เปอร์เซ็นต์)	O.D 2 (เปอร์เซ็นต์)	แอนโทไซยานิน (1) (mg/100g DW)	แอนโทไซยานิน (2) (mg/100g DW)
1	300	1	50	0.270	0.300	144.24	160.27
2	600	1	50	0.313	0.351	167.21	187.51
3	300	9	50	0.343	0.394	183.24	210.48
4	600	9	50	0.345	0.399	184.31	213.16
5	300	5	30	0.267	0.279	142.64	149.05
6	600	5	30	0.323	0.330	172.55	176.03
7	300	5	70	0.28	0.323	149.58	172.55
8	600	5	70	0.329	0.355	175.76	189.65
9	450	1	30	0.234	0.233	125.01	124.47
10	450	9	30	0.316	0.353	168.82	188.31
11	450	1	70	0.26	0.280	138.90	149.54
12	450	9	70	0.338	0.363	180.56	193.92
13	450	5	50	0.335	0.382	178.97	204.07
14	450	5	50	0.351	0.381	187.51	203.54
15	450	5	50	0.353	0.363	188.58	193.66

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกจากการสกัดผลหมอนด้วยวิธีไมโครเวฟ

ตัวอย่าง	กำลัง ไมโครเวฟ (วัตต์)	เวลาในการ สกัด (นาที)	ความเข้มข้น		ฟีนอลิก (1) (mgGAE/g)	ฟีนอลิก (2) (mgGAE/g)
			ของตัวทำ ละลาย (เปอร์เซ็นต์)			
1	300	1	50		21.20	22.71
2	600	1	50		23.01	22.66
3	300	9	50		23.80	25.01
4	600	9	50		21.34	23.87
5	300	5	30		21.35	21.37
6	600	5	30		20.23	21.63
7	300	5	70		18.79	21.23
8	600	5	70		25.67	22.65
9	450	1	30		23.56	19.22
10	450	9	30		26.56	24.56
11	450	1	70		25.67	22.25
12	450	9	70		27.56	21.89
13	450	5	50		22.56	29.02
14	450	5	50		24.65	26.46
15	450	5	50		29.12	25.35

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

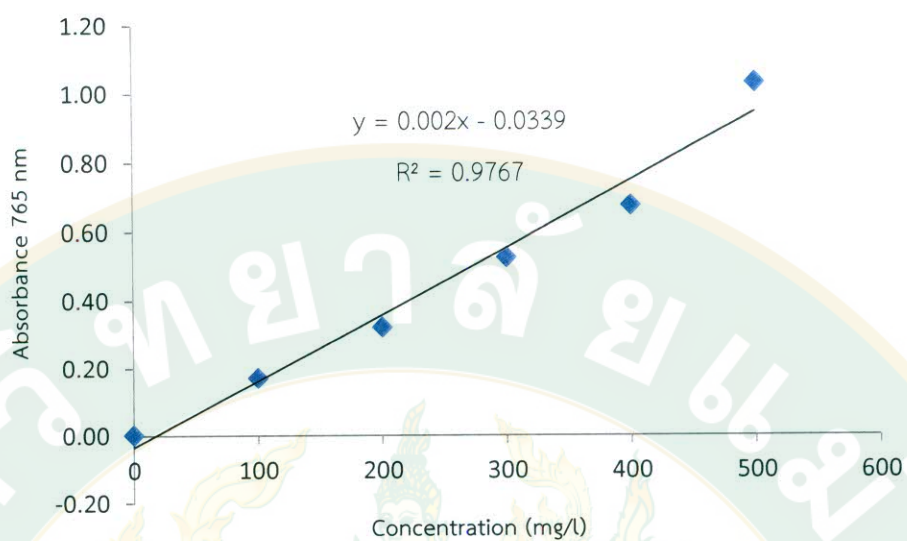
ตัวอย่าง	กำลัง ไมโครเวฟ (วัตต์)	เวลาในการ สกัด (นาที)	ความเข้มข้น		DPPH (2) (เปอร์เซ็นต์)
			ของตัวทำ ละลาย (เปอร์เซ็นต์)	DPPH (1) (เปอร์เซ็นต์)	
1	300	1	50	40.23	36.46
2	600	1	50	37.76	34.12
3	300	9	50	36.30	36.78
4	600	9	50	42.65	36.75
5	300	5	30	34.41	32.34
6	600	5	30	39.65	39.95
7	300	5	70	36.78	32.10
8	600	5	70	38.27	39.92
9	450	1	30	36.10	34.27
10	450	9	30	41.89	39.90
11	450	1	70	35.88	31.77
12	450	9	70	41.90	38.10
13	450	5	50	47.89	43.89
14	450	5	50	47.32	45.12
15	450	5	50	45.16	43.12

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ
FRAB

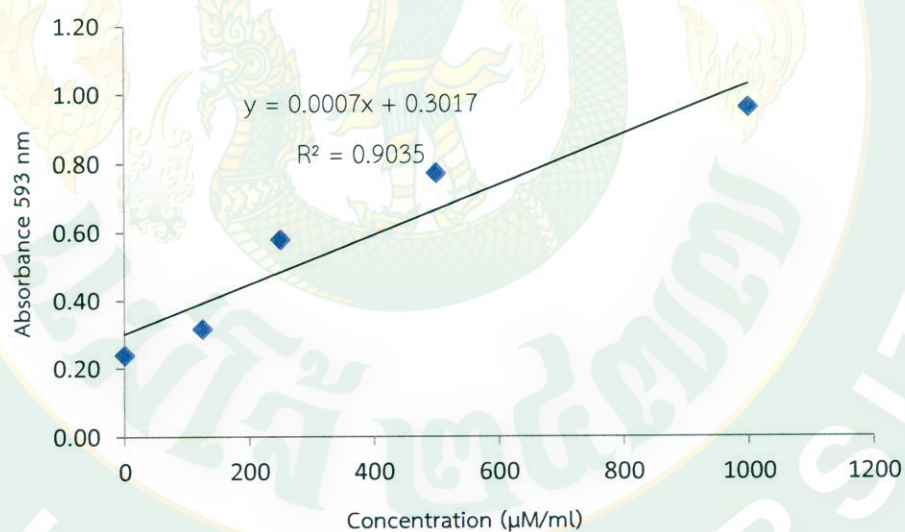
ตัวอย่าง	กำลัง ไมโครเวฟ (วัตต์)	เวลาในการ สกัด (นาที)	ความเข้มข้นของ ตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)	FEAB (1) (mM Fe ²⁺ /g)	FRAB (2) (mM ²⁺ /g)
1	300	1	50	54.23	50.47
2	600	1	50	62.54	60.27
3	300	9	50	53.78	51.98
4	600	9	50	62.57	60.12
5	300	5	30	66.23	65.79
6	600	5	30	59.98	61.77
7	300	5	70	57.87	60.95
8	600	5	70	60.97	62.93
9	450	1	30	50.89	48.87
10	450	9	30	67.71	63.79
11	450	1	70	43.19	45.36
12	450	9	70	61.55	60.34
13	450	5	50	83.02	79.00
14	450	5	50	75.20	73.09
15	450	5	50	68.78	70.03

ตารางผนวกที่ 8 ข้อมูลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS

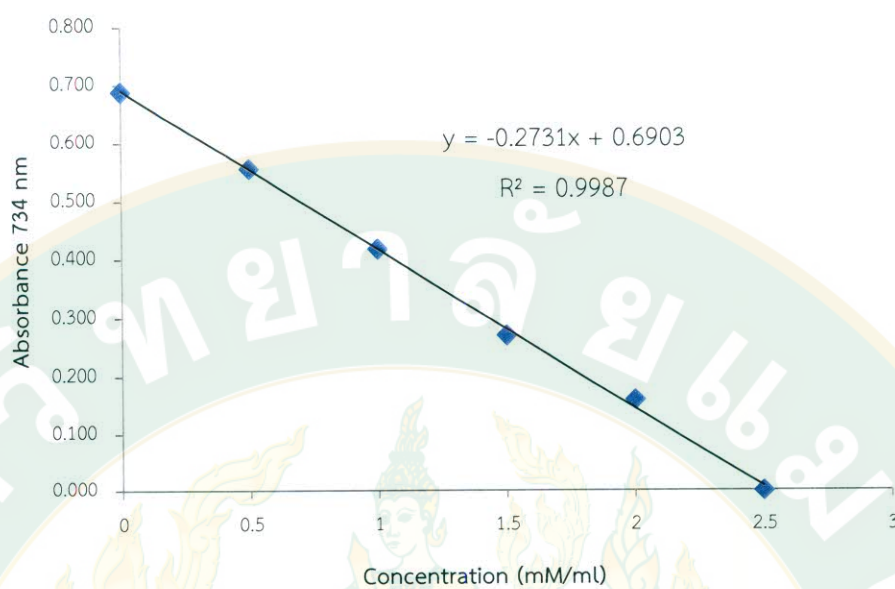
ตัวอย่าง	กำลัง ไมโครเวฟ (วัตต์)	เวลาในการ สกัด (นาที)	ความเข้มข้นของ ตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)	ABTS (1) (mM/g)	ABTS (2) (mM/g)
1	300	1	50	38.13	35.11
2	600	1	50	34.98	36.69
3	300	9	50	39.35	40.53
4	600	9	50	43.21	43.45
5	300	5	30	45.87	43.69
6	600	5	30	46.66	49.92
7	300	5	70	42.78	41.79
8	600	5	70	48.34	48.24
9	450	1	30	32.11	30.59
10	450	9	30	47.09	45.68
11	450	1	70	39.23	41.23
12	450	9	70	52.83	54.89
13	450	5	50	55.23	52.49
14	450	5	50	52.64	52.16
15	450	5	50	55.23	55.13



ภาพผนวกที่ 1 กราฟความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (mg/L) ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร



ภาพผนวกที่ 2 กราฟความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร



ภาพผนวกที่ 3 กราฟความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน Trolox (mM/ml) ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองजनफलसास्त्रและความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานิน

ตารางผนวกที่ 9 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส

ลำดับ	Tacy (mg/100g DW)			Pigment Retention (%)			ln		
	25 °C	45 °C	55 °C	25	45	55	25	45	55
0	30183.64	30183.64	30183.64	100.00	100.00	100.00	0	0	0
2	27312.19	30090.15	31252.09	90.49	99.69	103.54	-0.100	-0.003	0.035
4	26631.05	20220.37	12193.66	88.23	66.99	40.40	-0.125	-0.401	-0.906
6	26577.63	18557.6	10938.23	88.05	61.49	36.24	-0.127	-0.486	-1.015
8	26430.72	15933.22	10203.67	87.57	52.79	33.81	-0.133	-0.639	-1.085
10	26363.94	14196.99	10016.69	87.35	47.04	33.19	-0.135	-0.754	-1.103

ตารางผนวกที่ 10 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ที่อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	°K	1/T	k
25	298.15	0.0034	0.0111
45	318.15	0.0031	0.0824
55	328.15	0.0030	0.1283

ตารางผนวกที่ 11 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water active) อุณหภูมิ 25 45 และ 55 องศาเซลเซียส

สัปดาห์	25 องศาเซลเซียส			ค่าเฉลี่ย	45 องศาเซลเซียส			ค่าเฉลี่ย	55 องศาเซลเซียส			ค่าเฉลี่ย
	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี				ค่าวอเตอร์แอกติวิตี				ค่าวอเตอร์แอกติวิตี			
0	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17
2	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.22	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22
4	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.25	0.26	0.26	0.26
6	0.19	0.20	0.19	0.19	0.20	0.21	0.21	0.21	0.25	0.25	0.26	0.25
8	0.19	0.19	0.20	0.19	0.26	0.27	0.28	0.27	0.22	0.23	0.24	0.23
10	0.19	0.20	0.20	0.19	0.30	0.30	0.30	0.30	0.23	0.24	0.24	0.23

ตารางผนวกที่ 12 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนกลับ (Hygroscopicity) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

สัปดาห์	น้ำหนักงานก่อนใส่ตัวอย่าง (กรัม)		น้ำหนักงานหลังใส่ตัวอย่าง (หลังจากทิ้งไว้ 1 อาทิตย์) (กรัม)		ผลต่างระหว่างน้ำหนัก ก่อนใส่และหลัง ตัวอย่าง (กรัม)		ค่าการดูดกลืน กลับ (เปอร์เซ็นต์)
0	48.05		49.37	1.01	1.32		29.94
2	47.07		48.37	1.01	1.31		29.77
4	46.19		47.49	1.00	1.30		29.52
6	46.23		47.49	1.00	1.26		25.44
8	46.26		47.49	1.00	1.22		22.18
10	46.10		47.29	1.00	1.19		18.95

ตารางผนวกที่ 13 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนกลับ (Hygroscopicity) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์	น้ำหนักงานก่อนใส่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักงานหลังใส่ตัวอย่าง (หลังจากทิ้งไว้ 1 อาทิตย์) (กรัม)	น้ำหนักผง (กรัม)	ผลต่างระหว่าง น้ำหนักก่อนใส่และ หลังตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืน กลับ (เปอร์เซ็นต์)
0	48.05	49.368	1.015	1.32	29.94
2	47.86	49.24	1.03	1.38	34.18
4	47.05	48.34	1.00	1.28	28.04
6	48.05	49.39	1.052	1.34	27.11
8	43.05	44.24	1.000	1.19	19.19
10	43.00	44.14	1.006	1.14	13.47

ตารางผนวกที่ 14 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนกลับ (Hygroscopicity) อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

สัปดาห์	น้ำหนักงานก่อนใส่ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักงานหลังใส่ตัวอย่าง (หลังจากทิ้งไว้ 1 อาทิตย์) (กรัม)	น้ำหนักผง (กรัม)	ผลต่างระหว่าง น้ำหนักก่อนใส่และ หลังตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนกลับ (เปอร์เซ็นต์)
0	48.05	49.37	1.01	1.32	29.94
2	46.01	47.41	1.03	1.40	36.36
4	43.00	44.28	1.00	1.28	27.33
6	47.10	48.36	1.01	1.27	24.64
8	44.67	45.87	1.00	1.20	19.92
10	44.63	45.78	1.01	1.15	13.90

ตารางผนวกที่ 15 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการละลาย (Solubility) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

สัปดาห์	น้ำหนัก กระป๋องก่อน อบแห้ง(กรัม)	น้ำหนักกระป๋อง หลังการอบแห้ง (กรัม)	ผลต่างระหว่างก่อน และหลังการอบแห้ง (กรัม)	ความสามารถ ในการละลาย (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
0	20.17	20.29	0.12	99.63	99.63
	20.10	20.22	0.12	99.63	
2	16.20	16.32	0.12	99.57	99.60
	18.34	18.45	0.11	99.63	
4	13.67	13.96	0.29	98.91	99.07
	15.43	15.64	0.21	99.23	
6	15.23	15.58	0.35	98.75	98.86
	15.08	15.37	0.29	98.96	
8	12.70	13.13	0.43	98.31	98.42
	14.29	14.68	0.39	98.53	
10	11.86	12.22	0.36	98.54	98.61
	15.25	15.61	0.36	98.69	

หมายเหตุ ปริมาณส่วนใส่ที่ใช้สำหรับการอบแห้ง 12.5 มิลลิลิตร

ตารางผนวกที่ 16 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการละลาย (Solubility) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

สัปดาห์	น้ำหนัก กระป๋องก่อน อบแห้ง(กรัม)	น้ำหนักกระป๋อง หลังการอบแห้ง (กรัม)	ผลต่างระหว่าง ก่อนและหลัง การอบแห้ง (กรัม)	ความสามารถ ในการละลาย (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
0	11.86	11.98	0.12	99.49	99.52
	15.25	15.37	0.12	99.55	
2	18.15	18.28	0.12	99.60	99.61
	19.83	19.95	0.12	99.62	
4	16.34	16.50	0.16	99.46	99.42
	18.45	18.64	0.19	99.39	
6	15.27	15.70	0.43	98.43	98.62
	15.26	15.59	0.33	98.81	
8	15.15	15.52	0.37	98.66	98.40
	15.18	15.70	0.52	98.13	
10	20.34	20.77	0.43	98.69	98.84
	16.43	16.72	0.29	98.98	

หมายเหตุ ปริมาณส่วนใส่ที่ใช้สำหรับการอบแห้ง 12.5 มิลลิลิตร

ตารางผนวกที่ 17 ข้อมูลการวิเคราะห์ค่าการละลาย (Solubility) อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

สัปดาห์	น้ำหนักกระป๋อง ก่อนอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักกระป๋อง หลังการอบแห้ง (กรัม)	ผลต่างระหว่าง ก่อนและหลังการ อบแห้ง (กรัม)	ความสามารถ ในการละลาย (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
0	15.15	15.27	0.12	99.55	99.55
	15.18	15.30	0.12	99.55	
2	20.20	20.32	0.12	99.64	99.61
	16.33	16.44	0.12	99.59	
4	15.23	15.37	0.14	99.51	99.47
	15.08	15.24	0.16	99.42	
6	15.20	15.42	0.22	99.22	99.22
	14.99	15.20	0.21	99.22	
8	15.04	15.33	0.29	98.96	98.94
	14.93	15.23	0.30	98.91	
10	18.16	18.61	0.45	98.53	98.71
	19.84	20.20	0.36	98.89	

หมายเหตุ ปริมาณส่วนใส่ที่ใช้สำหรับการอบแห้ง 12.5 มิลลิลิตร



ตัวอย่างการคำนวณแอนโทไซยานิน

$$T_{acy} \equiv O.D. \times \frac{TEV}{SW} \times \frac{DV}{SV} \times \frac{1}{E/10} \times 100$$

จากสมการในข้างต้นกำหนดให้

$$O.D. = 0.382$$

$$TEV = 80 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$SW = 1 \text{ กรัม}$$

$$DV = 4 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$SV = 1 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$E = 599$$

แทนค่า

$$T_{acy} = 0.382 \times \frac{80ml}{1g} \times \frac{4ml}{1ml} \times \frac{1}{599/10} \times 100$$

$$T_{acy} = 204.07 \text{ mg/100g.dw}$$

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณผงสีแอนโทไซยานิน

น้ำหม่อนสกัดเข้มข้น 2,380.45 มิลลิลิตร ผงหม่อนอบแห้ง 138 กรัม

ถ้าใช้น้ำน้ำหม่อนสกัดเข้มข้นในการอบแห้งแบบพ่นฝอย 400 มิลลิลิตร จะได้ผงสีผสมอาหารเริ่มต้น 14.85 กรัม และผสมมอลโตเด็คซ์ตริน 15 เปอร์เซ็นต์ หาปริมาณน้ำหม่อนสกัดเข้มข้น 400 มิลลิลิตร

$$Y_1 = \text{ผงหม่อนเริ่มต้น (กรัม)} \quad Y_2 = \text{ปริมาณผงสีผสมอาหาร (กรัม)}$$

$$\text{ปริมาณผงสี (\%)} = \frac{Y_2 \times 100}{Y_1}$$

$$\text{ปริมาณผงหม่อน (กรัม)} = \frac{400 \times 138}{2380.45}$$

$$\text{ปริมาณผงหม่อน (กรัม)} = 23.19$$

$$\text{ปริมาณผงสี (\%)} = \frac{Y_2 \times 100}{Y_1}$$

$$\text{ปริมาณผงสีผสมอาหาร (\%)} = \frac{14.85 \times 100}{23.19 + 60}$$

$$\text{ปริมาณผงสีผสมอาหาร} = 17.85 \%$$

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฟีนอลิก

จากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก $Y=0.0028x - 0.1985$

กำหนดให้

$$Y = O.D = 0.755$$

$$m = 0.0028$$

$$b = 0.1985$$

ปริมาตรตัวทำละลาย = 80 มิลลิลิตร

ผงหม่อนอบแห้ง = 1 กรัม

จากกราฟมาตรฐานมีหน่วย mg/l ต้องการเปลี่ยน mg/g

$$Phenolic = \frac{0.755 + 0.1985}{0.0028} \times \frac{mg}{l} \times \frac{1l}{1,000ml} \times \frac{80ml}{1g}$$

$$Phenolic = 27.24 \text{ mg/g}$$

ตัวอย่างการคำนวณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำละลายอนุมูลอิสระ DPPH

$$\%Inhibition = \frac{(A_{control} - A_{sample}) \times 100}{A_{control}}$$

จากสมการข้างต้นกำหนดให้

$$A_{control} (\text{Blank}) = 0.913$$

$$A_{sample} (O.D.) = 0.491$$

$$\text{แทนค่า} \quad \%Inhibition = \frac{(0.913 - 0.491)}{0.913} \times 100$$

$$Inhibition = 46.22 \%$$

ตัวอย่างการคำนวณการรีดิวซ์เฟอริกของสารต้านอนุมูลอิสระ FRAB

จากกราฟมาตรฐาน $Y=0.0006x - 0.3664$

กำหนดให้

$$Y = O.D = 0.974$$

$$m = 0.0006$$

$$b = 0.3664$$

ปริมาตรตัวทำละลาย = 80 มิลลิลิตร

ผงหม่อนอบแห้ง = 1 กรัม

จากกราฟมาตรฐานมีหน่วย $\mu M/ml$ ต้องการเปลี่ยน mM/g

$$FRAB = \frac{0.974 + 0.3664}{0.0006} \times \frac{\mu M}{ml} \times \frac{80 ml}{1 g} \times \frac{1 mM}{1,000 \mu M}$$

$$FRAB = 81.01 \text{ mM/g}$$

ตัวอย่างการคำนวณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสี ABTS

จากกราฟมาตรฐาน Trolox $Y=-0.2731 + 0.6903$

กำหนดให้

$$Y = O.D = 0.502$$

$$m = -0.2731$$

$$b = -0.6903$$

ปริมาตรตัวทำละลาย = 80 มิลลิลิตร

ผงหม่อนอบแห้ง = 1 กรัม

จากกราฟมาตรฐานมีหน่วย mM/ml

$$ABTS = \frac{0.502 - 0.6903}{-0.2731} \times \frac{\mu M}{ml} \times \frac{80 ml}{1 g}$$

$$ABTS = 55.16 \text{ mM/g}$$

ตัวอย่างการคำนวณการดูดกลืนกลับ (Hygroscopicity)

$$\text{การดูดกลืนกลับ} = \frac{\text{ผลต่างระหว่างน้ำหนักก่อนใส่และหลังตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักผง}} \times 100$$

กำหนดให้

น้ำหนักงานก่อนใส่ตัวอย่าง = 48.05 กรัม

น้ำหนักงานหลังใส่ตัวอย่าง (หลังจากทิ้งไว้ 1 อาทิตย์) = 49.37 กรัม

น้ำหนักผง = 1.01 กรัม

ผลต่างระหว่างน้ำหนักก่อนใส่และหลังตัวอย่าง = 1.32 กรัม (น้ำหนักหลังจากทิ้งไว้ 1 อาทิตย์)

$$\text{Hygroscopicity} = \frac{1.32 - 1.01}{1.01} \times 100$$

$$\text{Hygroscopicity} = 30.69 \%$$

ตัวอย่างการคำนวณความสามารถในการละลาย (Solubility)

กำหนดให้

น้ำหนักกระป๋องก่อนอบแห้ง = 20.17 กรัม

น้ำหนักกระป๋องหลังอบแห้ง = 20.29 กรัม

ปริมาณน้ำ = 12.50 กรัม

ผลต่างระหว่างน้ำหนักก่อนใส่และหลังอบแห้ง = 0.12 กรัม

$$\text{Solubility} = \left(\frac{(20.17 + 12.5) - 0.12}{20.17 + 12.5} \times 100 \right)$$

$$\text{Solubility} = 99.63 \%$$

ตัวอย่างการคำนวณอายุการเก็บรักษาแบบสภาวะเร่งด้วยการคำนวณหา Q_{10}

ต้องการหาสภาวะเร่งที่ 35 °C

กำหนดให้

อุณหภูมิ 45 °C มีอายุการเก็บรักษา ($t_{1/2}$) 9.24 week⁻¹

อุณหภูมิ 55 °C มีอายุการเก็บรักษา ($t_{1/2}$) 5.13 week⁻¹

$\Delta = 45-35$ 10

จากสมการ

$$Q_{10} = \frac{\text{Shelf-life time at } T}{\text{shelf-life at } T+10} = \frac{\theta T}{\theta T+10}$$

$$Q_{10} = \frac{9.24}{5.13} = 1.80$$

ดังนั้นจะได้ค่า Q_{10} ที่ได้จากการคำนวณเมื่อเก็บไว้ที่ 35 °C ดังนี้

$$Q_{10}^{\frac{\Delta}{10}} = \frac{\text{time (prediction)}}{\text{time (accelerated condittion)}}$$

$$1.80 \frac{10}{10} = \frac{\text{time (preditiob)}}{9.24}$$

อุณหภูมิ 35 °C อายุการเก็บ

$$\text{Time (prediction)} = 1.80 \times 9.24$$

$$= 16.64 \text{ Week}^{-1}$$



ภาคผนวก ง

เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง



ภาพผนวกที่ 4 ชุดอุปกรณ์เครื่องระเหยสุญญากาศ



ภาพผนวกที่ 5 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน



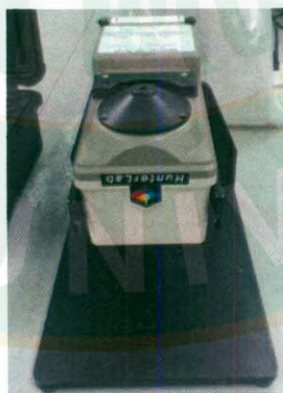
ภาพผนวกที่ 6 เครื่องหมุนเหวี่ยง



ภาพผนวกที่ 7 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)



ภาพผนวกที่ 8 เครื่องกรองสูญญากาศ



ภาพผนวกที่ 9 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer)



ภาพผนวกที่ 10 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity)



ภาพผนวกที่ 11 เครื่องวัดค่าสาร (Refractometer)



ภาพผนวก 12 สารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง



ภาคผนวก จ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ

ครั้งที่ 3

The 3rd Food Engineering National Conference 2017

"Food Industry 4.0: Moving forward with creativity and Innovation."

หนังสือรวมบทความฉบับเต็ม

PROCEEDINGS

จัดโดย

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

วันอังคารที่ 4 เมษายน 2560

ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ผลของการใช้ไมโครเวฟต่อการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง Effect of Microwave Assisted Extraction on Anthocyanin from Mulberry (*Morus alba* Linn.) Using Response Surface Method

ศิริลักษณ์ เกตุศิริ นฤกษ นาคประสม จตุรภัทร วาญฤทธิ์ พยากรณ์ พงษ์การกิจ นันทิต นันทิบุญยัศย์พร และ
กาญจนา นาคประสม

Siriluk Kertsiri Nukrob Narkprasom Jaturapat Varith Yandon Tanongkankit Bandit Hanunstiporn
and Kanjana Narkprasom*

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ประเทศไทย 50290
Department of Food Engineering, Faculty Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai, Thailand 50290

*Corresponding: kanjana63@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อน ปัจจัยในการศึกษา คือ กำลังวัตต์ไมโครเวฟในช่วง 300-600 วัตต์ เวลาในการสกัด 1-9 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 30-70 (ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 3 (ปริมาณกรดต่อปริมาณสาร)) ด้วยเทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนอง วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design โดยใช้ค่าความแปรปรวนของตัวทำละลาย 1 กรัม ต่อ แยกานผล (ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 3) 80 มิลลิลิตร จากการทดลองพบค่าเฉลี่ยของแอนโทไซยานิน พบว่าการสกัดที่ ทำให้ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด 204.57 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแห้งตัวผล คือกำลังวัตต์ไมโครเวฟ 472.99 วัตต์ เวลาในการสกัด 6.45 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอล (ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 3) ร้อยละ 54.97 ดังนั้น การสกัดด้วยไมโครเวฟจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อนได้

คำสำคัญ: หม่อน, ไมโครเวฟช่วยในการสกัด, แอนโทไซยานิน

Abstract

The objective of this research was to study the effect of microwave assisted extraction of anthocyanin from mulberry (*Morus alba* Linn.) by the response surface method (Box-Behnken Design). The study factors were microwave power 300-600 Watt, extraction time 1-9 min, and ethanol concentration with 3% citric acid 30-70% (w/v). The ratio of mulberry and solvent was 1:80 g/mL. The optimal response has been established for obtaining the highest amounts of anthocyanins 204.57 mg/ 100 g dry sample was carried out by microwave power 472.99 watt, extraction time 6.45 min and ethanol concentration with 3% citric acid 54.97 %, respectively. Therefore, microwave extraction is an alternative choice for anthocyanin extraction.

Keywords: Mulberry (*Morus alba* Linn.), Microwave-assisted extraction, Anthocyanin

ข้าวเวรค่าง) และหวนเข้มข้นตัวทำละลายเอทานอล (ร้อยละ 30 - 70) โดยใช้วิธีสุ่มส่วนในการสกัดผสมแบบ 3 ครั้ง กับตัวทำละลายเอทานอล 80 มิลลิลิตร และทำการวางแผนการทดลองด้วยวิธีพื้นที่ผิวสองอันองแบบ Box-Behnken Design โดยกำหนดตัวแปรที่ศึกษาและระดับการทดลองของค่าตัววัดได้ไมโครเวฟ (X_1) เวลาในการสกัด (X_2) และ ความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอล (X_3) ดังแสดงใน Table 1

หลังจากทำการทดลองแล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลและทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสมการพหุนามกำลังสองสำหรับการคำนวณที่ 1

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

โดยที่ค่า Y ให้อา เป็น ค่าการทำนายการตอบสนอง; β_0 เป็นค่าคงที่; X_i คือตัวแปรอิสระ และค่า β_i เป็นค่าสัมประสิทธิ์

Table 1 Independent variable and levels

Independent variable	Unit	Coded	Levels		
			-1	0	1
Microwave Power	Watt	X_1	300	450	500
Extraction Time	min	X_2	1	5	9
Ethanol Concentration	Percent	X_3	30	50	70

การวิเคราะห์แบบโพลีโนเมียลจากผลทดลอง

การวิเคราะห์แบบโพลีโนเมียลจากวิธีของ (Guo et al., 2011) ที่ดัดแปลงมาจาก Fulek and Francis, 1968) เริ่มจากนำตัวอย่างที่ต้องการสกัด 1 กรัม ผสมกับตัวทำละลายเอทานอลผสมกรดไซตริกร้อยละ 3 ในปริมาณ 80 มิลลิลิตร สกัดด้วยวิธีไมโครเวฟจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงเพื่อทำการสกัดแยกของเหลวส่วนที่ใส 1 มิลลิลิตร ผสมกับตัวทำละลายเอทานอล 10 มิลลิลิตร นำไปเปลี่ยน 1 ชั่วโมง แล้วนำมารีคค่าแบบโพลีโนเมียลที่หาจากการรัน 538 นาโนเมตร

$$T_{538} = OD \times \frac{TEV}{SW} \times \frac{DV}{SV} \times \frac{1}{E_{538}^{100}} \times 100 \quad (2)$$

T_{538} คือ ปริมาณแบบโพลีโนเมียลทั้งหมด (มิลลิกรัม/วัตุถุค 100 กรัมแห้งตัวถ่วง); OD ค่าการดูดกลืนแสง; TEV ปริมาณของสารละลายที่เติมกรดไซตริก (มิลลิลิตร); SW น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด(กรัม); DV ปริมาณของสารละลายที่สกัดใส่กับวัตุถุคการดูดกลืนแสง (มิลลิลิตร); SV ตัวถ่วงที่สกัดใส่กับน้ำไปเนื่องจากตัวทำละลาย (มิลลิลิตร) และ E_{538}^{100} ค่าในหน่วยของ Cyanidin-3-glucoside 599

การวิเคราะห์สารฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ฟีนอลรวม (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent ดัดแปลงจากวิธีของ (Owenry et al., 2011)

นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการสกัดมา 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองเดิมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ใส่ตัวละลายฟอสเฟต แล้วเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้หลอดแก้วที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัด

กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ | 3
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ | จังหวัดเชียงใหม่ | ประเทศไทย | 4 เมษายน 2560

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่พบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (mg/g Gallic acid equivalent, GAE)

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH คำนวณวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity คัดแปลมาจากวิธีของ (Shimada et al., 1992 และ ประภาพรทอง, 2551)

เตรียมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 mM ในเมทานอลแล้วสุกสารละลายดังกล่าวมา 2.9 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมตัวอย่างน้ำที่สกัดไว้ 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งไว้ในที่มืด 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร คำนวณค่าต้านอนุมูลอิสระเป็นร้อยละการยับยั้ง (% inhibition)

$$\% \text{การยับยั้ง} = \frac{A_{\text{Control}} - A_{\text{Sample}}}{A_{\text{Control}}} \times 100 \quad (3)$$

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

คัดแปลวิธีการทดลองจาก (Benzie et al., 1996)

เตรียมสาร FRAP reagent โดยการผสม Acetate buffer (pH 3.6) 1,000 มิลลิลิตร, FeCl_3 100 มิลลิลิตร และ TPTZ 100 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 50:5:5 นำ FRAP reagent 1,200 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 120 ไมโครลิตร และ ตั้งอย่าง 40 ไมโครลิตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

ผลการวิจัย

ผลการประเมินผลในการสกัดแอนโทไซยานินด้วยวิธีไม่ใช้ความร้อน

จากการออกแบบการทดลองการสกัดแอนโทไซยานินจากผลหมอบด้วยวิธีที่พบด้วยตนเองแบบ Stochastic design ที่สภาวะกำลังวัตต์ไมโครเวฟ 300-500 วัตต์ เวลาในการสกัด 1-9 นาที และความเข้มข้นตัวทำละลายเอทานอล 30-70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่าสภาวะที่กำลังวัตต์ไมโครเวฟ 450 วัตต์ เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้ได้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด 204.57 มก./100กิโลกรัมแห้ง สำหรับผลสรุปได้ดัง Table 2

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนที่ 3
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ / จังหวัดเชียงใหม่ / ประเทศไทย / 4 เมษายน 2560

Table 3. Variance analysis of experimental results

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	p-value
Model	7644.82	9	849.42	21.55	0.0017
X_1	408.44	1	408.44	10.36	0.0235
X_2	2524.18	1	2524.18	64.05	0.0005
X_3	439.54	1	439.54	11.15	0.0206
X_1X_2	119.94	1	119.94	3.04	0.1415
X_1X_3	178.37	1	178.37	4.53	0.0867
X_2X_3	1.78	1	1.78	0.045	0.8399
X_1^2	298.6	1	298.6	7.58	0.0402
X_2^2	1735.56	1	1735.56	44.04	0.0012
X_3^2	2411.05	1	2411.05	61.18	0.0005
Residual	197.04	5	39.41		
Lack of Fit	128.21	3	42.74	1.24	0.4751

จาก Table 3 สามารถอธิบายได้ว่าหลังจากทำการทดลองการสกัดแบบไมโครเวฟใช้เวลานานจากผลของปัจจัยทำให้เกิดความแตกต่างกับการสกัดที่ระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 0.05

จากการวิเคราะห์ผลของปัจจัยได้ด้วยเทคนิคการออกแบบผิวการตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟสามมิติและสองมิติที่แสดงความสัมพันธ์ของการตอบสนองระหว่างเวลาสกัดกับความเข้มข้นตัวทำละลายเทียบกับกำลังวัตต์และความเข้มข้นตัวทำละลายเทียบกับเวลา ดัง Figure 2-4

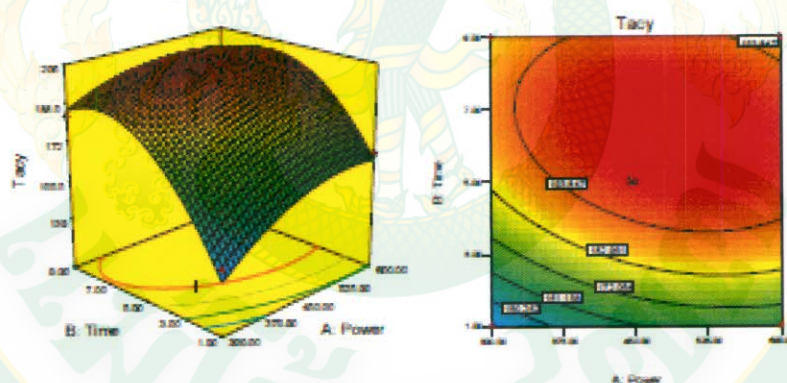


Figure 2 Interaction of extraction Time and Microwave Power on Extraction Anthocyanin in condition of Ethanol Concentration 50%

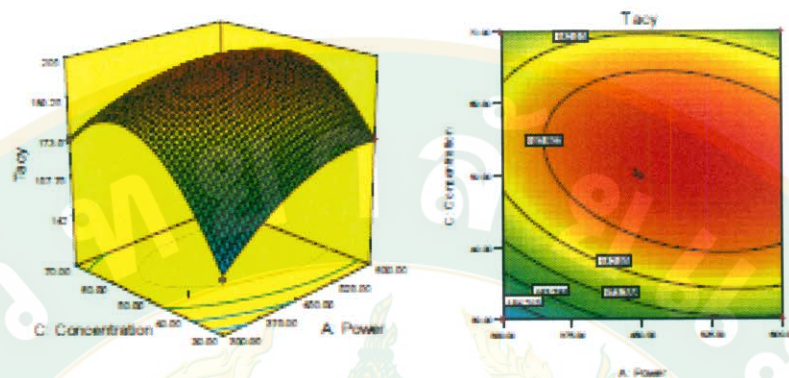


Figure 3 Interaction of Ethanol Concentration and Microwave Power on Extraction Anthocyanin in condition of Extraction Time 5 Min

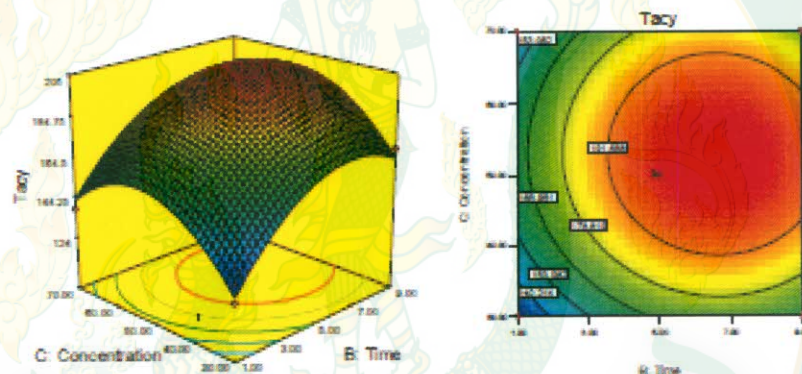


Figure 4 Interaction of Ethanol Concentration and Extraction Time on Extraction Anthocyanin in condition of Microwave Power 450 Watt

ผลการวิเคราะห์สารฟีนอลิกรวมและสารต้านอนุมูลอิสระจากผลการสกัดแบบโหนดใยจากผลหม่อน
Table 4 Analysis antioxidant of extraction Anthocyanin from mulberry

Analysis	Phenolic (mg/gdw)	DPPH (%)	FRAP (μM)
Phenolic	27.24	-	-
Antioxidant activity	-	46.21	1,012.67

จากการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพหุคูณแบบ BBD ได้ทำการวิเคราะห์สารฟีนอลิกรวมและ
สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP จากผลหม่อนด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมกับการสกัดด้วยไมโครเวฟ 450 วัตต์
เวลาในการสกัด 5 นาที และความเข้มข้นตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองดัง Table 4

การประมงสัตว์น้ำในทะเลสาบสงขลา ครั้งที่ 3
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | ประจักษ์พิน | 4 มกราคม 2562

วิจารณ์ผลการวิจัย

ในการศึกษาการทดสอบการหาปริมาณสารที่เอนไซม์ในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลของต้นด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมโดยทำการศึกษากำหนดวิธีสกัดไมโครเวฟ เวลาในการสกัด และความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอล พบว่าเมื่อทำการสกัดที่ความเข้มข้นของเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ (ร้อยละ 3) 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาในการสกัด 5 นาที ส่งผลทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงและหากเพิ่มความเข้มข้นของตัวทำละลายจะส่งผลทำให้ตัวทำละลายสกัดแอนโทไซยานินที่ได้อาจออกมาได้น้อยลงเนื่องจากตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นมากไม่ผ่านการกรองเข้าไปยังหลอดก่อนนำมาสกัดสารสำคัญออกมาได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhang et al., 2012) เรื่องคุณสมบัติและวิธีการที่เอนไซม์ในการสกัดแอนโทไซยานินเมื่อใช้เวลาในการสกัด 5-7 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดและเมื่อทำการศึกษาระยะเวลาที่ 5 นาที และค่าอัตรา 450 วัตต์ พบว่าทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงขึ้นตามการเพิ่มเวลาและค่าอัตราวัตต์ในการสกัดจะส่งผลทำให้แอนโทไซยานินที่สกัดได้จากผลของต้นเกิดการสกัดตัวและมีปริมาณผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Garcia-Lopez et al., 2013) ทำการศึกษาวิธีผลของการสกัดแอนโทไซยานินและพืชมักจากผล sour cherry Marasca ใช้เวลาในการสกัด 5-9 นาที และค่าอัตราวัตต์ไมโครเวฟ 400 วัตต์ เป็นช่วงที่มีการสกัดแอนโทไซยานินออกมาได้มากที่สุดทั้งนี้ทำการวิเคราะห์การวิเคราะห์ทางเคมีและปริมาณและสารต้านอนุมูลอิสระพบว่าสารที่เอนไซม์ทำให้มีค่าแอนโทไซยานิน 204.07 มก./100 ก.ตัวอย่างแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการหาปริมาณสารที่เอนไซม์ในการสกัดแอนโทไซยานินด้วยไมโครเวฟจากข้าวโพดม่วงด้วยวิธี HPLC-MS (Zhangdong et al., 2010) มีค่าแอนโทไซยานิน 185.1 มก./100ก. ในส่วนของค่าพินอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีค่า 27.24 มก./100ก.ตัวอย่างแห้ง และ 46.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และสารต้านอนุมูลอิสระของสารกับที่มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยเรื่องปริมาณพินอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้แปรรูปในจังหวัดจันทบุรี (วันนิภา และคณะ, 2557) มีค่าพินอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในน้ำมังคุด 33.81 มก./100ก. และ 35.06% และในการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP พบว่าความสามารถในการวัดค่าพินอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระมีค่า 1,012.67 μM

อุปสรรค

จากการศึกษาการหาปริมาณสารที่เอนไซม์ในการสกัดแอนโทไซยานินจากผลของต้นด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมและทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีที่มีขั้นตอนแบบ Box-Behnken design ที่กำหนดวิธีสกัดไมโครเวฟ เวลาในการสกัด และความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอล พบว่าสารที่เอนไซม์ในการสกัดคือ ค่าอัตราวัตต์ไมโครเวฟ 472.99 วัตต์ เวลาในการสกัด 6.45 นาที และความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอล 54.97 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้มีค่าแอนโทไซยานิน 204.57 มก./100 ก.ตัวอย่างแห้ง พินอลิก 27.24 มก./100ก.ตัวอย่างแห้ง และเมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP พบว่าการสกัดแอนโทไซยานินจากผลของต้นมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 46.21 % และ 1,012.67 μM ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- ประภาพรรณ พงษ์ภักดิ์กุล. 2551. การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเครื่องเทศสมุนไพรและโสมไทย. วารสารโรงพยาบาลทหารบกสงขลาใน. 3(2) : 101 - 108.
อุทัยพร ผลาญจักษ์. 2547. การสกัดและหาปริมาณของแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด. วิทยาลัยเทคโนโลยีปัญญาใหม่. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
วันนิภา ศรีสุข และศิริจันทร์ คำใจ. 2557. "ปริมาณพินอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้แปรรูปเป็นจังหวัดจันทบุรี." วารสารวิจัย 7, 3 (มกราคม - ธันวาคม) : 26-30.

ศุภรัตน์ มีชัยวัฒนะ และ ศศิธร พงษ์วัชรศิริ, องค์การประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจาก
พริกไทย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- Amela, E., Afrani, Galih Nur, Mursyidi, Anni, Fitriyani, Anni-Nur, Ucthis, Susca and MeMiek. 2012. Extraction and stability test of anthocyanin from Buni fruits (*Antidesma Bunius*) as and alternative natural and safe food colorants. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*. 1, 49-53.
- Berke, I. F. J., Strain, J. J. (1996) . The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239, 70-76.
- Garofalic, L.E., Dragovic-Uzelac, V., Jambroek, A.R. and Juko, M. 2013. The effect of microwave assisted extraction on the isolation of anthocyanins and phenolic acid from sour cherry Marasca (*Prunus cerasus* Var. *Marasca*). *Journal of food engineering*. 117, 437-442.
- Onanong K, Sritthon S, Natthida W, et al. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers from Thailand. 2011. *Journal of functional foods*; 3(-): 88 -99.
- Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K. and Nakamura, T. 1992. Antioxidative Properties of Xanthone on the Autoxidation of Soybean Oil in Cyclodextrin Emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40 (6): 945 – 948.
- Zhendong, Y., Weiwei, Z. 2010. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob and identification with HPLC-MS. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 11, 470-475.
- Zheng, X., Xu, X., Liu, C., Sun, Y., Lin, Z. and Liu, H. 2012. Extraction characteristic and optimal parameters of anthocyanin from blueberry powder under microwave-assisted extraction condition. *Separation and Purification Technology*. 104, 17-25.



ประวัตินักศึกษา

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวศิริลักษณ์ เกิดศิริ
เกิดเมื่อ	14 มิถุนายน 2534
ภูมิลำเนา	จังหวัดลำพูน
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนจักรคำคณาทร จังหวัดลำพูน พ.ศ. 2549 ดั้มมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนจักรคำคณาทร จังหวัดลำพูน
อีเมล	siriluk.k@outlook.com