การสกัดสารสำคัญจากขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

The Extraction of Bioactive Compounds from Ginger (*Zingiber officinale*) by Subcritical Water Extraction

วริศรา ผาธรรมชาติ

สุวิทัศน์ สุขโรจน์

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การสกัดสารสำคัญจากขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

The Extraction of Bioactive Compounds from Ginger (*Zingiber officinale*) by Subcritical Water Extraction

จัดทำโดย

วริศรา ผาธรรมชาติ รหัสนักศึกษา 62080220

สุวิทัศน์ สุขโรจน์ รหัสนักศึกษา 62080232

ได้รับการเห็นชอบจาก

..... 25 / พ.ค. / 2566

(ผศ.ดร. วินัฏฐา ศักดาศรี)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ การสกัดสารสำคัญจากขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต
ชื่อนักศึกษา วริศรา ผาธรรมชาติ รหัสนักศึกษา 62080220
สุวิทัศน์ สุขโรจน์ รหัสนักศึกษา 62080232
หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ. 2566
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วินัฏฐา ศักดาศรี

บทคัดย่อ

ขิง (Ginger; *Zinginber officinale*) เป็นสมุนไพรที่พบได้มากในประเทศไทย ทั้งยังถูกใช้เป็นส่วนผสมในอาหารและยาสมุนไพร รวมทั้งใช้ในน้ำมันหอมระเหย โดยสารประกอบชีวเคมีที่สำคัญในขิงที่มีชื่อว่า “ฟีนอลิก” ที่สามารถใช้รักษาโรคและใช้ประโยชน์ในด้านอื่น เช่น สามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ลดน้ำตาลในเลือด ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การสกัดขิงโดยใช้น้ำกึ่งวิกฤตเป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการสกัดด้วยสารละลายเคมีแบบดั้งเดิม ที่ส่งผลให้เกิดสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ ใช้เวลาในการสกัดนาน และไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วง 120-160 องศาเซลเซียส เวลาในช่วง 20-50 นาที และความดันในช่วง 30-70 บาร์ ต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด รวมไปถึงหาสภาวะที่ดีที่สุดที่เหมาะสมในการสกัดขิงให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบกับการสกัดแบบดั้งเดิมโดยใช้เอทานอลและเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงช่วยให้ความสามารถในการทำละลายของน้ำกึ่งวิกฤตเพิ่มขึ้น ลดแรงตึงผิวและลดความเป็นขั้วของน้ำกึ่งวิกฤต แต่การสกัดด้วยอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานส่งผลให้เกิดการสลายตัว อย่างไรก็ตามพบว่าความดันไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ สภาวะที่ดีที่สุดในการสกัด คือ อุณหภูมิในการสกัด 160 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 20 นาที และความดันในการสกัด 70 บาร์ ให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดสูงสุดร้อยละ 32.27 และให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด 94.63 มิลลิกรัม แกลลิก/กรัมขิงแห้ง เมื่อเปรียบเทียบการสกัดโดยใช้เอทานอลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงให้ร้อยละผลได้ของสารสกัด 11.81 และให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม 160.12 มิลลิกรัม แกลลิก/กรัมขิงแห้ง อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยเอทานอลเป็นการใช้สารเคมีเป็นตัวทำละลาย ทำให้มีสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ และใช้เวลาในการสกัดมากกว่าการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตค่อนข้างมาก

คำสำคัญ : ขิง สารสกัดขิง การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต สารประกอบฟีนอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	The extraction of Bioactive Compounds from Ginger (Zingiber officinale) by Subcritical Water Extraction	
Student name	Warissara Phathammachart	Student ID 62080220
	Suwitas Sukrot	Student ID 62080232
Program	Bachelor of Science in Food Science and Technology	
Year	2023	
Advisor	Asst.Prof.Dr.Winatta Sakdasri	

Abstract

Ginger (*Zingiber officinale*) is a famous herb that can be found easily in Thailand, it can be used as an ingredient in food, medicine and also in essential oil. “Phenolic Compounds” are the major bioactive compounds of ginger, which have many health benefits for example, anticancer, antioxidant, antibacterial, and antidiabetic. Subcritical Water Extraction (SWE) was used to extract the ginger due to, a high efficiency, short operation time, nontoxic, and environmentally safe method that conventional solvent extraction. In this study the effects of temperature (120 to 160 °c), time (20 to 50 min), and pressure (30 to 70 bars) were investigated on extraction yields and Total Phenolic Content. In addition, the optimal condition to provide the highest extraction yields and TPC, furthermore, the comparison with conventional methods, using ethanol and hexane as a solvent were also investigated. The result shown that an increase temperature, the extraction yields and TPC were increased, while pressure has no significant on both results. The high temperature shown the influenced on solubility and polarity of SWE to increase the solubility and decrease polarity. However, the extract yields and TPC were observed to degrade at high temperature and long extraction time. The optimal condition, which was provided the highest extraction yields of 31.78 % and the highest TPC of 97.03 mg GAE/g dry weight, is 160 °c, 20 min, and 70 bars. For the comparison, Soxhlet extraction of ethanol and hexane (90 °c and 8 hours) provide a higher TPC than SWE (160.12 mg GAE/g dry weight and 106.62 mg GAE/g dry weight, respectively), however, Soxhlet extraction used much longer extraction time than SWE, moreover, Soxhlet extraction can remained residual in product due to using chemical solvent.

Keyword: Ginger, Ginger extract, Subcritical Water Extraction, Phenolic Compounds

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วินัฏฐา ศักดาศรี อาจารย์คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สละเวลามาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบปัญหาพิเศษฉบับนี้ จนทำปัญหาพิเศษเล่มนี้ถูกต้องสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การอบรมสั่งสอน และให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์กับปัญหาพิเศษฉบับนี้ จนทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและนักวิทยาศาสตร์ประจำคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำการในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ต่าง ๆ อีกทั้งอำนวยความสะดวกในการเบิกจ่ายอุปกรณ์วิทยาศาสตร์จนทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถานที่ อีกทั้งเงินสนับสนุน จนทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่าปัญหาพิเศษฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่ได้เข้ามาอ่าน และสำหรับข้อบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้น ผู้วิจัยขอน้อมรับและกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ พร้อมทั้งขอรับคำแนะนำจากทุกท่านเพื่อนำมาพัฒนาปัญหาพิเศษนี้ต่อไป

วริศรา ผาธรรมชาติ

สุวิทัศน์ สุขโรจน์

27 พฤษภาคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาพิเศษ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ขิง (*Zingiber officinale*) 3

2.2 สารประกอบฟีนอลิก Phenolic Compounds 6

2.3 การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต (Subcritical Water Extraction, SWE) 12

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 19

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี 19

3.2 อุปกรณ์ 20

3.3 การวางแผนการทดลอง 23

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 31
4.1 ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นของขิงผงที่ใช้ในการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต 31
4.2 ผลการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต 32
4.3 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของสารสกัด (% Yield) 33
4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 38
4.5 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต 43
4.6 เปรียบเทียบการสกัดขิงด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน 44

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 47
5.1 สรุปผล 47
5.2 ข้อเสนอแนะ 48

บรรณานุกรม 49

ภาคผนวก 53
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ 54
ภาคผนวก ข เครื่องมือและวิธีการ 58
ภาคผนวก ค การใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ 60
ภาคผนวก ง ภาพประกอบการทดลอง 65

ประวัติผู้เขียน 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของขิงสายพันธุ์ Guangdong-ginger และสายพันธุ์ Chu-ginger 4

2.2 ปริมาณสาร Gingerol สาร Shogaol และสาร Cucurmin ในขิงสายพันธุ์ Guangdong-ginger และสายพันธุ์ Chu-ginger 5

2.3 สารประกอบฟีนอลิกที่พบในขิงจากประเทศเกาหลี และประเทศเอธิโอเปีย 6

2.4 เปรียบเทียบร้อยละผลได้ของสารสกัดจากกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน 13

3.1 แผนการทดลองการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต 23

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของขิงผงที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของขิงในงานวิจัยอื่น ๆ 32

4.2 ร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่ได้จากการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต 32

4.3 ตาราง ANOVA ของร้อยละผลได้ของสารสกัด 33

4.4 ตาราง ANOVA ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 38

4.5 การเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมระหว่างค่าจริงจากการทดลองกับค่าจากการคำนวณ 44

4.6 การเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของ Gingerol และ Shogaol 3

2.2 ระบบลำต้นของขิง และเหง้าหัวที่อยู่ใต้ดินของขิง 4

2.3 ภาพรวมของขอบเขตและความเป็นไปได้ของตลาดขิงทั่วโลก 6

2.4 กระบวนการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคของสารประกอบฟีนอลิก 8

2.5 กระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก 9

2.6 กระบวนการยับยั้งการอักเสบของสารประกอบฟีนอลิก 10

2.7 กระบวนการต้านโรคเบาหวานและโรคอ้วนของสารประกอบฟีนอลิก 11

2.8 กระบวนการต้านและรักษาโรคมะเร็งของสารประกอบฟีนอลิก 12

2.9 แผนผังวัฏภาคของน้ำ 14

2.10 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัด (a) 6-gingerol และ (b) 6-shogaol 15

2.11 ผลของเวลาในการสกัดต่อความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากขิง 16

2.12 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด 6-,8-,10-gingerol และ 6-shogaol 17

3.1 ขิงผงที่ใช้ในการทดลอง 19

3.2 เครื่องสกัดด้วยของเหลวอัดความดัน 21

3.3 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน 22

3.4 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์ไขมัน 22

3.5 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์เส้นใย 22

4.1 ตัวอย่างขิงผงที่ใช้ในการทดลอง 31

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลได้ของสารสกัดที่ได้จากการทดลอง (แกน x) และการประมาณการ (แกน y) 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ (ก) เวลา (ข) และความดัน (ค) ต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด 36

4.4 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (ก) ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับความดัน (ข) และผลของอิทธิพลร่วมระหว่างเวลากับความดัน (ค) ต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด 37

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดที่ได้จากการการทดลอง (แกน x) และการประมาณการ (แกน y) 39

4.6 ผลกระทบของอุณหภูมิ (ก) เวลา (ข) และความดัน (ค) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 41

4.7 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (ก) ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับความดัน (ข) และผลของอิทธิพลร่วมระหว่างเวลากับความดัน (ค) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 42

4.8 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต 44

ข.1 เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Eppendorf รุ่น 5804R) 58

ข.2 เครื่องวัดค่าความดูดกลืนแสง (Thermo รุ่น Genesys 20) 59

ค.1 การเปิดโปรแกรม Design Expert version 13 60

ค.2 การเลือกการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Response Surface Methods (RSM) และการเลือกการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) 61

ค.3 การเลือกใส่ผลการวิเคราะห์ 61

ค.4 การใส่ผลการทดลอง 62

ค.5 ผลการวิเคราะห์ตาราง ANOVA 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ค.6	กราฟความสัมพันธ์ของปัจจัยในการสกัดแบบ Predicted vs Actual	63
ค.7	กราฟความสัมพันธ์ปัจจัยในการสกัดแบบ All Factors	63
ค.8	กราฟความสัมพันธ์ของอิทธิพบร่วมของปัจจัยในการสกัดแบบ 3D Surface	64
ค.9	การหาสภาวะที่เหมาะสม	64
ง.1	ขิงที่ยังไม่ได้ผ่านการอบแห้ง	65
ง.2	ขิงที่ผ่านการอบแห้งแล้ว	65
ง.3	ขิงผง	66
ง.4	ตัวอย่างตะกอนของสารสกัดจากขิงหลังการปั่นเหวี่ยง	66
ง.5	สารสกัดจากขิงที่ผ่านการอบแห้ง	67
ง.6	ตัวอย่างขิงหลังการสกัด	67
ง.7	เครื่องสกัด Soxhlet Extraction	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ขิง (Ginger; *Zingiber officinale* Roscoe) เป็นพืชล้มลุกที่มีลำต้นอยู่ใต้ดินจัดอยู่ในวงศ์ *Zingiberaceae* มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัว พบได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่ขิงมักถูกนำมาเป็นส่วนประกอบของอาหาร เครื่องเทศ และสารปรุงแต่งรส รวมถึงในทางการแพทย์แผนโบราณขิงยังถูกใช้เป็นยารักษาโรคมากว่า 3000 ปี (Kiyama, 2020) ซึ่งความสามารถในการรักษาโรคของขิงเป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกที่ขิงสร้างขึ้น ทำให้สามารถรักษาโรคและอาการต่าง ๆ เช่น โรคไขข้ออักเสบ โรคท้องร่วง อาการปวดหัว ไข้หวัด เป็นต้น (Nourbakhsh Amiri et al., 2018) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรวมไปถึงมีฤทธิ์ต้านมะเร็งอีกด้วย (Mošovská et al., 2015; Stoilova et al., 2007) สารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในขิงคือสารในกลุ่ม Gingerol และ Shogaol โดย 6-gingerol เป็นสารที่มีมากที่สุดในขิง (Yeh et al., 2014)

การสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤต (Subcritical Water Extraction, SWE) เป็นกระบวนการสกัดที่นิยมนำมาสกัดสารออกฤทธิ์ที่เกี่ยวกับเภสัชกรรม เนื่องด้วยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจึงเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Anisa et al., 2014) มีประสิทธิภาพในการสกัดสูง ใช้เวลาในการสกัดน้อย และสารสกัดที่ได้มีคุณภาพสูง (สายพุฒิกสิกร, 2010) ซึ่งเมื่อเทียบกับกระบวนการสกัดแบบดั้งเดิมที่ใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย เช่น Soxhlet หรือ Maceration การสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤตมีข้อได้เปรียบกว่าคือ ใช้ปริมาณตัวทำละลายที่น้อยกว่า ไม่มีความเป็นพิษ และใช้เวลาในการสกัดที่สั้นกว่า (Hu et al., 2011)

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการสกัดสารประกอบฟีนอลิกซึ่งประกอบด้วย 6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol และ 6-shogaol จากขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต โดยทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด (% yield) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content, TPC) คือ อุณหภูมิ เวลา และความดัน รวมถึงมีการเปรียบเทียบกับการสกัดขิงด้วยกระบวนการดั้งเดิมโดยตัวทำละลายอื่น ๆ ได้แก่ เฮกเซน และเอทานอล เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของ อุณหภูมิ เวลา และความดัน ต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยการสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤตให้ได้ร้อยละผลได้ของสารสกัดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด

1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการสกัดขิงด้วยกระบวนการที่ต่างกัน คือ กระบวนการ Soxhlet ที่ใช้เอทานอลและเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย และกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤตที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถทราบถึงผลกระทบของ อุณหภูมิ เวลา และความดัน ต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยการสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤต

1.3.2 สามารถหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤตให้ได้ร้อยละผลผลิต และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด

1.3.3 สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤต และการสกัดด้วยกระบวนการ Soxhlet โดยมีเอทานอล และเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

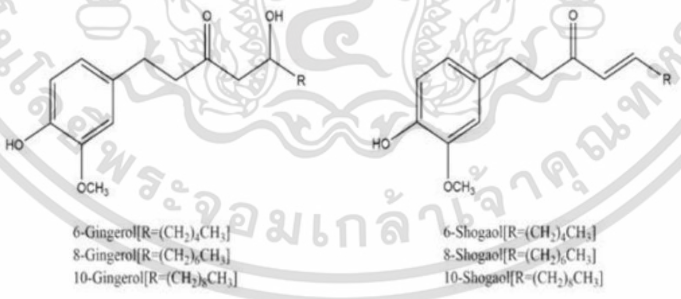
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขิง (*Zingiber officinale*)

ขิง (Ginger; *Zingiber officinale*) เป็นพืชล้มลุกตระกูลเหง้าที่มีลำต้นอยู่ใต้ดิน จัดอยู่ในวงศ์ *Zingiberaceae* พบได้ทั่วไปในประเทศไทยและประเทศในทวีปเอเชีย ขิงสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งใส่ลงในอาหาร เครื่องเทศ นำไปต้มเป็นเครื่องดื่ม หรือนำมาสกัดทำเป็นยา ในทางการแพทย์ขิงถูกนำมาใช้เป็นยารักษาโรคมานานกว่า 3000 ปี โดยขิงสามารถรักษาโรคไข้หวัด โรคไขออักเสบ โรคข้อต่ออักเสบ อาการปวดหัว อาการสะอิดสะเอียน อาการท้องร่วง และยังใช้เป็นยาขับลมได้เช่นกัน (Vernin & Parkanyi, 2016) ซึ่งในขิงมีสารประกอบที่มีชื่อว่า “ฟีนอลิก (Phenolic Compounds)” เป็นสารประกอบที่ทำให้ขิงมีคุณสมบัติในการรักษาโรค สารประกอบฟีนอลิกในขิงถูกพบอยู่ในส่วนประกอบที่ไม่สามารถระเหยได้ (Nonvolatile Compounds) ทำให้ต้องใช้วิธีการสกัดจึงจะได้สารประกอบฟีนอลิกออกมา สารประกอบฟีนอลิกในขิงถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ จินเจอรอล (Gingerol) โชกาออล (Shogaol) พาราดอล (Paradol) และซิงเจอโรน (Zingerone) โดยสารประกอบฟีนอลิกที่มีมากที่สุดในขิงและเป็นสารที่สำคัญที่สุดที่ทางการแพทย์มักสกัดและนำไปใช้ คือ Gingerol และ Shogaol (Kiyama, 2020) จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นโครงสร้างของ Gingerol และ Shogaol จะพบว่ามีโครงสร้างคล้ายน้ำมัน จึงทำให้มีสภาพขั้วค่อนข้างต่ำ ดังนั้นควรใช้สารละลายที่ไม่มีขั้วหรือกึ่งมีขั้วในการสกัดเพื่อให้สกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด (Shadmani et al., 2004)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Gingerol และ Shogaol
ที่มา : (Nourbakhsh Amiri et al., 2018)

ขิงเป็นพืชที่มีระบบลำต้นตั้งชูขึ้นสู่อากาศ ลำต้นของขิงสูงประมาณ 1 เมตร จากพื้นดิน มีลำต้นและใบสีเขียว มีดอกสีม่วง และมีรากเป็นเหง้าหัวอยู่ใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ส่วนมากขิงมักนิยมใช้เพียงเหง้าหัวที่อยู่ใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิน ลำต้น ใบ และดอกไม่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ (Malu et al., 2009) เหง้าขิงมีองค์ประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 2.1 ตามการทดลองของ Yeh และคณะ (Yeh et al., 2014) ที่มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) สายพันธุ์ Guangdong-ginger และ สายพันธุ์ Chu-ginger จากประเทศไต้หวัน โดยองค์ประกอบทางเคมีอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามพันธุ์ของขิง สภาพการเก็บรักษา พื้นที่ปลูก และการเก็บเกี่ยว

รูปที่ 2.2 ระบบลำต้นของขิง และเหง้าหัวที่อยู่ใต้ดินของขิง

ที่มา : (Malu et al., 2009)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของขิงสายพันธุ์ Guangdong-ginger และสายพันธุ์ Chu-ginger

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (กรัม/100 กรัมขิงแห้ง)	
	Guangdong-ginger	Chu-ginger
ความชื้น	84.16 ± 0.97	89.14 ± 0.72
คาร์โบไฮเดรต	97.19 ± 0.02	97.26 ± 0.04
เถ้า	0.16 ± 0.02	0.28 ± 0.02
ไขมัน	0.55 ± 0.03	0.52 ± 0.10
เส้นใย	1.05 ± 0.38	1.01 ± 0.43
โปรตีน	1.05 ± 0.33	0.93 ± 0.08

ที่มา : (Yeh et al., 2014)

เหง้าของขิงสามารถสร้างสารประกอบฟีนอลิกได้ โดยสารประกอบฟีนอลิกที่พบในขิงส่วนใหญ่คือสาร Gingerol และสาร Shogaol ที่เป็นสาเหตุทำให้ขิงมีกลิ่นฉุนและรสชาติที่รุนแรง จากการศึกษาของ Yeh และคณะ (Yeh et al., 2014) ที่มีการศึกษาปริมาณสาร Gingerol สาร Shogaol และสาร Curcumin ในขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) สายพันธุ์ Guangdong-ginger และ สายพันธุ์ Chu-ginger จากประเทศไต้หวัน พบว่าขิงทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองสายพันธุ์มีสารในกลุ่ม Gingerol และ Shogaol ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แสดงในตารางที่ 2.2 โดยที่สาร Shogaol มาจากสาร Gingerol ที่ได้รับความร้อนมากจนเกินไป ทำให้เกิดการคายน้ำออกจากโมเลกุล จนเปลี่ยนรูปร่างโครงสร้างจากโครงสร้างของสาร Gingerol เป็นโครงสร้างของสารใหม่คือ Shogaol โดยพบว่าสาร Shogaol จะมีกลิ่นที่ฉุนและรสชาติที่รุนแรงกว่าสาร Gingerol นอกจากการพบสาร Gingerol และ Shogaol แล้วในขิงยังสามารถพบสาร Curcumin ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งได้เช่นเดียวกับสาร Gingerol และสาร Shogaol

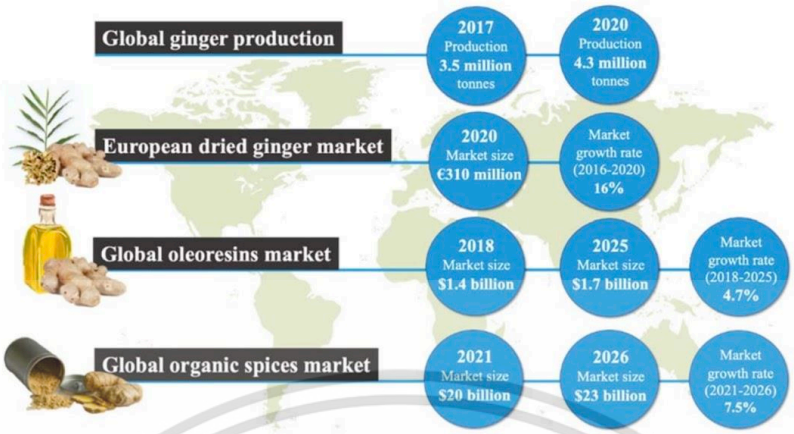
ตารางที่ 2.2 ปริมาณสาร gingerol, สาร shogaol และสาร curcumin ในขิงสายพันธุ์ Guangdong-ginger และสายพันธุ์ Chu-ginger

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ	ปริมาณ (มิลลิกรัม/ 100 กรัมขิงแห้ง)	
	Guangdong-ginger	Chu-ginger
6-shogaol	1.41 ± 0.03	1.85 ± 0.02
6-gingerol	5.59 ± 0.09	4.74 ± 0.11
8-gingerol	0.34 ± 0.05	0.75 ± 0.06
10-gingerol	0.18 ± 0.02	0.05 ± 0.03
Curcumin	2.32 ± 0.09	0.96 ± 0.07
Total Gingerol	6.11 ± 0.03	5.54 ± 0.04

ที่มา : (Yeh et al., 2014)

เนื่องจากความสามารถในการรักษาโรคของขิงและคุณค่าทางโภชนาการที่มีในขิง ทำให้ขิงเป็นที่นิยมไปทั่วโลก และราคาของสารสกัดขิงจึงมีราคาที่สูงขึ้นเช่นกัน จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นมีปริมาณขิงเพิ่มขึ้นในท้องตลาดจากปี 2017 ที่มีผลผลิตขิงอยู่ที่ 3.5 ล้านตัน ในขณะที่ปี 2020 มีผลผลิตขิงมากขึ้นถึง 4.3 ล้านตัน คิดเป็นอัตราการเติบโตร้อยละ 77 ซึ่งผลผลิตส่วนมากมาจากทวีปเอเชีย (Inthalaeng et al., 2023) ในขณะที่ประเทศไทยมีความสามารถในการปลูกขิงได้ถึงปีละประมาณ 20,000 ตันต่อปี (ข้อมูลจาก ระบบฐานข้อมูลทะเบียนเกษตรกรกลาง กรมส่งเสริมการเกษตร) และยังสามารถเป็นผู้นำในการส่งออกขิงของโลก (ข้อมูลจาก รายงานสถิติกรมศุลกากร) แต่ราคาขิงในประเทศไทยกลับตรงกันข้าม โดยที่มีราคาขายเพียงกิโลกรัมละ 57 บาท (ข้อมูลจาก ตลาดสี่มุมเมือง วันที่ 28 เมษายน 2020) ทำให้เล็งเห็นถึงช่องทางในการเพิ่มมูลค่าให้ขิงไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ภาพรวมของขอบเขตและความเป็นไปของตลาดขิงทั่วโลก

ที่มา : (Inthalaeng et al., 2023)

2.2 สารประกอบฟีนอลิก Phenolic Compounds

ในเหง้าของขิงมีสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิด ตารางที่ 2.3 แสดงสารประกอบฟีนอลิกในเหง้าของขิงสายพันธุ์ *Zingiber officinale* Roscoe ที่ปลูกในประเทศเกาหลี (RDAZO117) และในประเทศเอธิโอเปีย (RDAZO217) ด้วยการระบุอัตลักษณ์ทางชีวโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคโนโลยี Ultra-high performance liquid chromatography (UPLC) พบว่าในเหง้าของขิงจากทั้งสองประเทศมีสารประกอบฟีนอลิกมากถึง 18 ชนิด แต่สารประกอบฟีนอลิกที่มีปริมาณมากที่สุดในเหง้าของขิงจากทั้ง 2 ประเทศคือ 6-gingerol ที่มีปริมาณครึ่งหนึ่งของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ตรวจพบ (ในเหง้าของขิงที่ปลูกในประเทศเกาหลีพบสาร 6-gingerol ปริมาณ 200.07 มิลลิกรัม จากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 434.67 มิลลิกรัม และในเหง้าของขิงที่ปลูกในประเทศเอธิโอเปีย พบสาร 6-gingerol ปริมาณ 376.40 มิลลิกรัม จากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 698.11 มิลลิกรัม) (Asamenew et al., 2019)

ตารางที่ 2.3 สารประกอบฟีนอลิกที่พบในขิงจากประเทศเกาหลี และประเทศเอธิโอเปีย

ชื่อสารประกอบ	โครงสร้างโมเลกุล	ขิงจากประเทศเกาหลี	ขิงจากประเทศเอธิโอเปีย
5-Acetoxy-1,7-bis(4-hydroxy-3-meth-oxyphenyl)heptan-3-one	$C_{23}H_{28}O_7$	2.13 ± 0.01	2.22 ± 0.02
6-Gingerdiol	$C_{17}H_{28}O_4$	14.74 ± 0.17	11.31 ± 0.22
6-Gingerol	$C_{17}H_{26}O_4$	200.07 ± 1.00	376.04 ± 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Methyl-6-gingerol	$C_{18}H_{28}O_4$	3.65 ± 0.02	4.86 ± 0.01
3-Acetoxy-6-gingerdiol	$C_{19}H_{30}O_5$	2.15 ± 0.02	1.25 ± 0.05
Diacetoxy-4-gingerdiol	$C_{19}H_{28}O_6$	0.68 ± 0.00	0.84 ± 0.01
8-Gingerol	$C_{19}H_{30}O_4$	52.99 ± 0.12	70.35 ± 0.34
Acetoxy-6-gingerol	$C_{19}H_{28}O_5$	-	-
Methyl-3-acetoxy-6-gingerdiol	$C_{20}H_{32}O_5$	1.28 ± 0.01	ไม่พบ
6-Shogaol	$C_{17}H_{24}O_3$	2.66 ± 0.02	9.10 ± 0.04
Diacetoxy-6-gingerdiol	$C_{21}H_{32}O_6$	8.63 ± 0.04	8.36 ± 0.15
1-Dehydro-6-gingerdione	$C_{17}H_{22}O_4$	18.12 ± 0.10	55.72 ± 0.19
10-gingerol	$C_{21}H_{34}O_4$	83.48 ± 0.05	96.08 ± 0.33
Methyl diacetoxy-6-gingerdiol	$C_{22}H_{34}O_6$	1.52 ± 0.01	0.32 ± 0.01
Diacetoxy-8-gingerdiol	$C_{23}H_{36}O_6$	21.23 ± 0.11	34.76 ± 0.24
1-Dehydro-8-gingerdione	$C_{19}H_{26}O_4$	3.96 ± 0.07	8.61 ± 0.20
Acetoxy-10-gingerol	$C_{23}H_{36}O_5$	6.73 ± 0.04	ไม่พบ
1-Dehydro-10-gingerdione	$C_{21}H_{30}O_4$	10.65 ± 0.10	17.93 ± 0.18
สารประกอบฟีนอลิกรวม		434.67 ± 0.22	698.11 ± 0.13

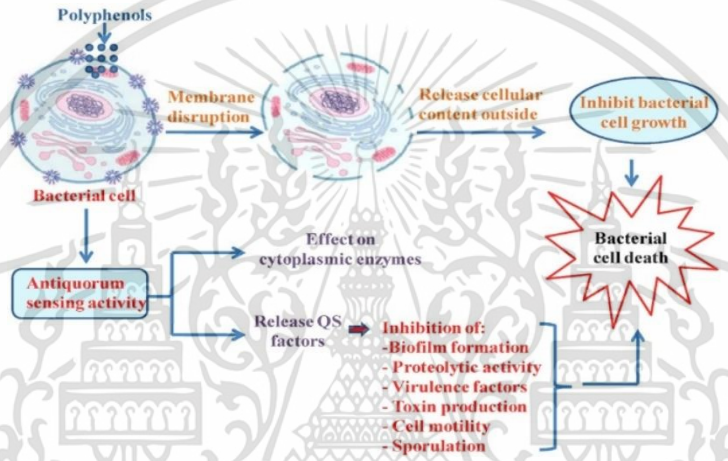
ที่มา : (Asamenew et al., 2019)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นหนึ่งในสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ สามารถพบสารประกอบฟีนอลิกในพืชผักทางการเกษตรมากมาย รวมไปถึงสามารถพบสารประกอบฟีนอลิกในเครื่องเทศเช่นกัน ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบฟีนอลิกเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถในการรักษาโรค มีประโยชน์ในด้านการแพทย์และด้านสุขภาพอีกด้วย (Wang et al., 2020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค

สารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค (*Bacillus cereus, Escherichia coli, Salmonella enterica, enterica serovar typhimurium, Shigella flexneri, Staphylococcus aureus, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus rhamnosus* และ *Lactobacillus casei*) รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคของสารประกอบฟีนอลิก โดยที่สารประกอบฟีนอลิกจะเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์แบคทีเรียไม่สามารถทำงานได้ และในที่สุดเซลล์ของแบคทีเรียจะตายลง (Singh & Yadav, 2022)

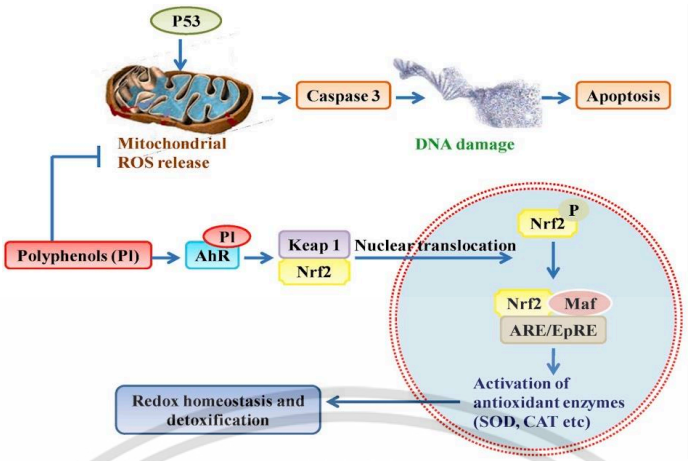


รูปที่ 2.4 กระบวนการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคของสารประกอบฟีนอลิก
ที่มา : (Singh & Yadav, 2022)

2.2.2 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารประกอบฟีนอลิกคือสารสำคัญที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟีนอลิกจะเสียโมเลกุลไฮโดรเจนให้กับอนุมูลอิสระ ทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียร และยับยั้งผลที่จะเกิดจากอนุมูลอิสระ reactive oxygen species (ROS) (อนุมูลอิสระ ROS คืออนุมูลอิสระที่ปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุล ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ในร่างกาย เช่น ทำลายโครงสร้าง DNA หรือการเปลี่ยนสภาพโปรตีนรวมทั้งไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เกิดความเสียหายต่อโมเลกุลและการตายของเซลล์) (Hanis Mastura et al.; Singh & Yadav, 2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



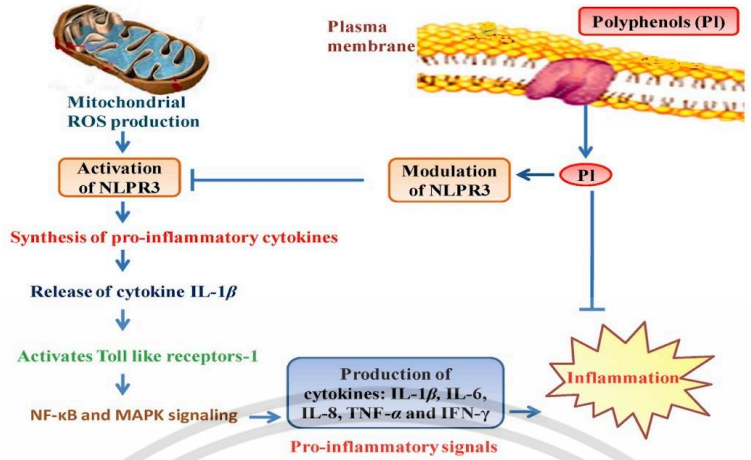
รูปที่ 2.5 กระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา : (Singh & Yadav, 2022)

2.2.3 ความสามารถในการยับยั้งการอักเสบ

สารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถในการยับยั้งไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งไนตริกออกไซด์เป็นสารอนุมูลอิสระชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นสารสื่อกลางการอักเสบ ทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อเกิดการบาดเจ็บ เกิดการอักเสบแบบเฉียบพลัน และยังสามารถทำลายเซลล์เนื้อเยื่อบริเวณที่เกิดการบาดเจ็บทำให้เกิดการอักเสบเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการยับยั้งไนตริกออกไซด์เป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษาฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ (Xu et al., 2020) รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการยับยั้งการอักเสบของสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟีนอลิกจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับไนตริกออกไซด์ ทำให้ผลผลิตที่จะเกิดจากไนตริกออกไซด์เปลี่ยนไป และไม่เกิดการอักเสบเพิ่มเติม นอกจากไนตริกออกไซด์ที่เป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดการอักเสบแล้ว ยังมีสารที่ชื่อว่า pyrin domain-containing 3 (NLPR3) ที่เป็นสารสำคัญอีกสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบ สาร NLPR3 เกิดจากอนุมูลอิสระ reactive oxygen species (ROS) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ROS จึงสามารถสรุปได้ว่าสารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถในการยับยั้งการอักเสบ จากการยับยั้งไนตริกออกไซด์ และยับยั้ง NLPR3 (Singh & Yadav, 2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



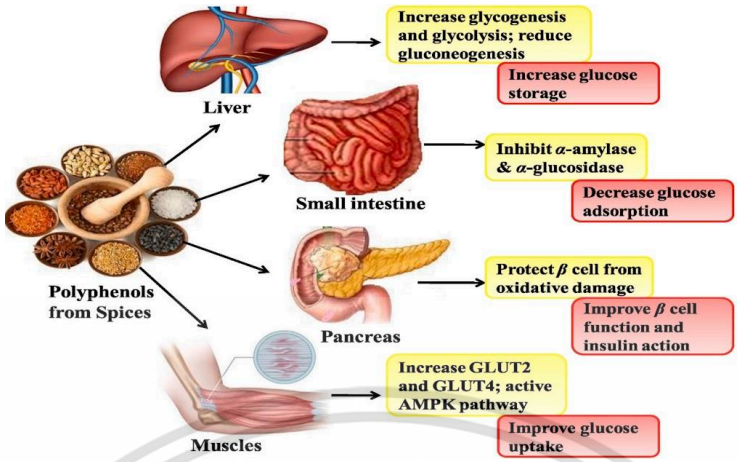
รูปที่ 2.6 กระบวนการยับยั้งการอักเสบของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา : (Singh & Yadav, 2022)

2.2.4 ความสามารถในการรักษาโรคเบาหวาน โรคอ้วน และภาวะแทรกซ้อนที่เกิดจากโรคเบาหวานและโรคอ้วน

เครื่องเทศที่มีสารประกอบฟีนอลิกสามารถขัดขวางการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดได้ และเครื่องเทศที่มีสารประกอบฟีนอลิกยังสามารถเลียนแบบสารอินซูลิน ทำให้ร่างกายและสมองมีสารอินซูลินเพิ่มมากขึ้น (Mughal, 2019) พบว่าหนูที่เป็นโรคเบาหวานที่บริโภคน้ำขิงเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีปริมาณสารอินซูลินในร่างกายเพิ่มขึ้น ระดับน้ำตาลในเลือดลงลง ระดับคลอเรสเตอรอลในเลือดลดลง ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดลดลง และมีอัตราการเต้นของหัวใจลดลง (Akhani et al., 2004) จากรูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการต้านโรคเบาหวานของสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟีนอลิกสามารถควบคุมการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือด และสามารถเพิ่มปริมาณสารอินซูลินในร่างกาย จากทั้งหมดที่กล่าวมาจึงสรุปได้ว่าสารประกอบฟีนอลิกสามารถควบคุมระดับของน้ำตาลในเลือด ทำให้น้ำตาลในเลือดมีความสมดุล และขัดขวางการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือด (Singh & Yadav, 2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



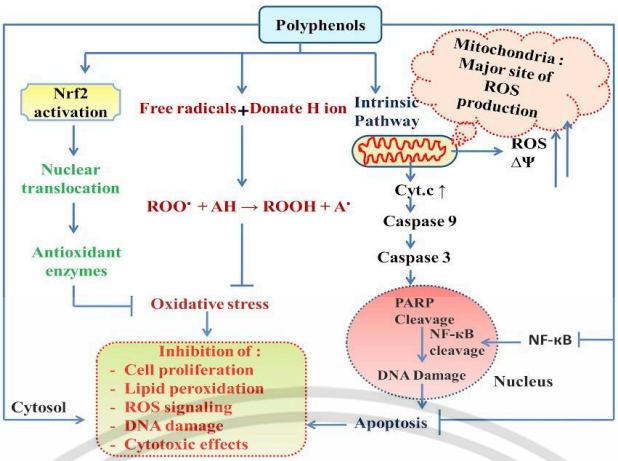
รูปที่ 2.7 กระบวนการต้านโรคเบาหวานและโรคอ้วนของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา : (Singh & Yadav, 2022)

2.2.5 ความสามารถในการรักษาโรคมะเร็ง

สารประกอบฟีนอลิกมีกลไกในการต้านโรคมะเร็งและรักษาโรคมะเร็ง ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก ทำให้สารประกอบฟีนอลิกต้านโรคมะเร็งและรักษาโรคมะเร็งได้ (Basli et al., 2017) รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการต้านและรักษาโรคมะเร็งของสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถในการต้านและรักษาโรคมะเร็ง สารประกอบฟีนอลิกจะเสียโมเลกุลไฮโดรเจนให้กับโมเลกุลของอนุมูลอิสระ ทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียร อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่สนับสนุนเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระของร่างกาย จึงสามารถลดและบรรเทาความรุนแรงของสารอนุมูลอิสระ รวมไปถึงการป้องกันและยับยั้งสารก่อมะเร็งได้เช่นกัน (Singh & Yadav, 2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 กระบวนการต้านและรักษาโรคมะเร็งของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา : (Singh & Yadav, 2022)

2.3 การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต (Subcritical Water Extraction, SWE)

การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต (Subcritical Water) คือการสกัดด้วยน้ำที่อยู่ในภาวะระหว่างจุดเดือดถึงจุดวิกฤต จะมีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 374 องศาเซลเซียส และภายใต้ความดันระหว่าง 1 ถึง 221 บาร์ ทำให้น้ำยังคงสถานะเป็นของเหลว เนื่องด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้พันธะไฮโดรเจนของน้ำอ่อนแอลง ความเป็นขั้วของน้ำจึงลดลง ทำให้น้ำประพฤติตนเสมือนสารละลายอินทรีย์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โดยสามารถสังเกตได้จากค่าคงที่อิเล็กตริกของน้ำที่จะเปลี่ยนไปเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 80 แต่เมื่อน้ำอุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 27 ใกล้เคียงกับเมทานอล ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 33 และใกล้เคียงกับเอทานอลที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 24 (Ko et al., 2019) รวมไปถึงการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เนื่องจากใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ต่างจากการสกัดด้วยตัวทำละลายเคมีแบบดั้งเดิม เช่น เมทานอล เอทานอล หรือเฮกเซน ที่อาจส่งผลให้เกิดสารเคมีตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังใช้เวลาในการสกัดนาน ใช้สารสะลายเคมีในปริมาณมาก และไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Nourbakhsh Amiri et al., 2018) จากตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน คือ การสกัดแบบการแช่หมักโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย การสกัดแบบ Soxhlet โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย และการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต 3 แบบ คือการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตปกติ การใช้เอนไซม์ปรับสภาพขิงก่อนทำการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต และการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคปรับสภาพขิงก่อนการทำการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต ถึงแม้ว่าการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตจะให้ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด แต่การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตใช้เวลาในการสกัดน้อยที่สุด และยังใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อยที่สุด อีกทั้งใช้ตัวทำละลายเคมีน้อยกว่าการสกัดแบบอื่น ๆ

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบร้อยละผลได้ของสารสกัดจากกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน

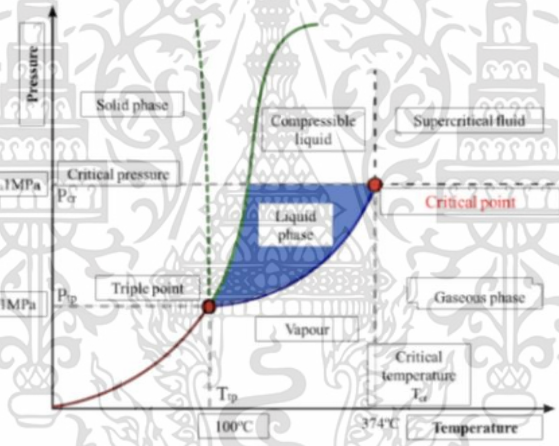
กระบวนการสกัด	ปริมาณสาร gingerols และ shogaol (มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	เวลาในการสกัด (นาที)	การใช้สารละลายอินทรีย์	การกู้คืนของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (ปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ/ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ใช้การสกัด soxhlet) (%)
การสกัดแบบแช่หมัก	7,084	14 ชั่วโมง	100 มิลลิลิตร เมทานอล/ 1 กรัมขิง	85
Soxhlet	8,335	8 ชั่วโมง	150 มิลลิลิตร เอทานอล/ 1 กรัมขิง	100
การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต	1,346	0.5 ชั่วโมง	0.5 มิลลิลิตร เอทานอล/ 1 กรัมขิง	16
การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคปรับสภาพขิงก่อนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต	1,393.5	0.5 ชั่วโมง+0.5 ชั่วโมง = 1 ชั่วโมง	0.5 มิลลิลิตร เอทานอล/ 1 กรัมขิง	16.7
การใช้เอนไซม์ปรับสภาพขิงก่อนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต	2,990.5	1 ชั่วโมง+0.5 ชั่วโมง = 1.5 ชั่วโมง	0.5 มิลลิลิตร เอทานอล/ 1 กรัมขิง	35.8

ที่มา : (Nourbakhsh Amiri et al., 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 พารามิเตอร์ของการสกัด

การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตมีน้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำกึ่งวิกฤตทำละลายได้คือ พันธะไฮโดรเจนและค่าไดอิเล็กตริก โดยปกติโมเลกุลของน้ำจะมีพันธะไฮโดรเจนและมีค่าไดอิเล็กตริกที่สูงทำให้น้ำมีสภาพขั้ว ไม่สามารถละลายสารที่ไม่มีขั้วได้ การที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้พันธะไฮโดรเจนของน้ำอ่อนแอลงและค่าไดอิเล็กตริกลดลง ยิ่งอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นพันธะไฮโดรเจนและค่าไดอิเล็กตริกจะยิ่งลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับสารละลายอินทรีย์ จึงส่งผลให้ความสามารถในการทำละลายมีมากขึ้น (Nourbakhsh Amiri et al., 2018) จากการศึกษาปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤต อุณหภูมิ และเวลา เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต อย่างไรก็ตามความดันในการสกัดมีผลทำให้น้ำกึ่งวิกฤตยังเป็นของเหลว ไม่เปลี่ยนสถานะเป็นไอ ทำให้ยังคงต้องมีการควบคุมความดัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (Mokhtar et al., 2018)



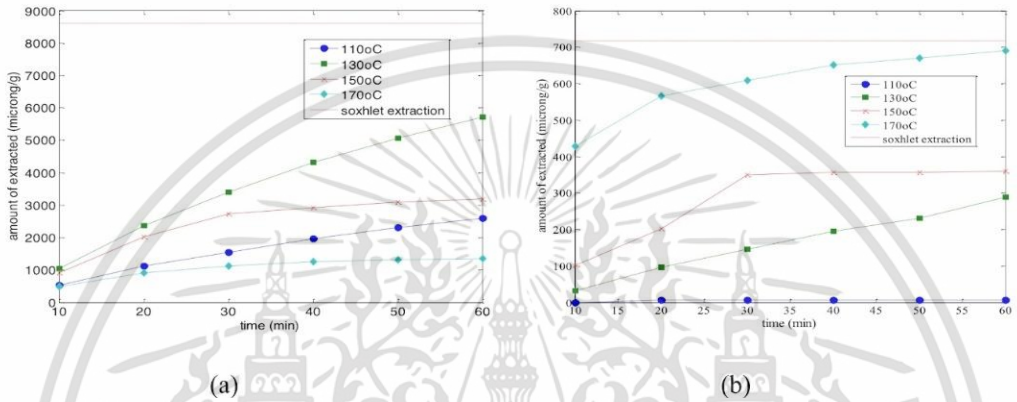
รูปที่ 2.9 แผนผังวัฏภาคของน้ำ
ที่มา : (Mokhtar et al., 2018)

2.3.1.1 อุณหภูมิในการสกัด

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่สลายตัวเนื่องจากความร้อนได้ง่าย หากใช้อุณหภูมิในการสกัดที่สูงเกินไป สารประกอบฟีนอลิกจะเกิดการสลายตัวทำให้ได้สารในปริมาณน้อย เช่นเดียวกับการใช้อุณหภูมิสกัดที่ต่ำเกินไปจะทำให้ได้สารประกอบฟีนอลิกปริมาณน้อยเช่นกัน เพราะอุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้น้ำมีสภาพขั้วที่สูงเกินไปจนไม่สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ดีเท่าที่ควร จึงต้องมีการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอลิกจากขิง ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้อุณหภูมิระหว่าง 110 ถึง 210 องศาเซลเซียสในการสกัด จากรูปที่ 2.10 จะพบว่าอุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดที่ไม่สูงเท่าอุณหภูมิที่พอดี สำหรับ 6-gingerol อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดที่ให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดที่ดีที่สุดคือ 130 องศาเซลเซียส และสำหรับ 6-shogaol อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดที่ให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดที่ดีที่สุดคือ 170 องศาเซลเซียส (Anisa et al., 2014)



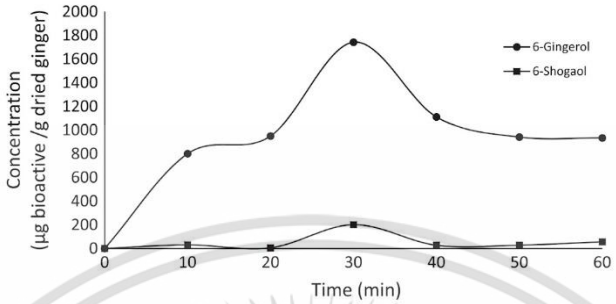
รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัด (a) 6-gingerol และ (b) 6-shogaol
ที่มา : (Anisa et al., 2014)

2.3.1.2 เวลาในการสกัด

เวลาในการสกัดมีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกด้วยน้ำกึ่งวิกฤต จากรูปที่ 2.11 เป็นการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขิงด้วยน้ำร้อนอัดความดัน เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะเพิ่มมากขึ้น และจะเพิ่มขึ้นถึงช่วงระยะเวลาการสกัดที่ 30 นาทีเท่านั้น เมื่อเกินช่วงระยะเวลาการสกัดที่ 30 นาทีเป็นต้นไปปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลง โดยการสกัดสารประกอบฟีนอลิกด้วยน้ำร้อนอัดความดันใช้หลักการการแพร่ของสาร สารประกอบฟีนอลิกจะมีการแพร่จากขิงไปผสมกับน้ำกึ่งวิกฤตที่ใช้เป็นตัวทำละลาย ทำให้น้ำกึ่งวิกฤตสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ ในช่วง 10 นาทีแรกของการสกัดจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง เพราะในขิงมีปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกที่สูง ทำให้มีอัตราการแพร่ของสารสูง และจะยังสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดเมื่อถึงเวลาการสกัดที่ 30 นาที หลังจากนั้นอัตราการแพร่ของสารประกอบฟีนอลิกจะลดลง เพราะความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกในขิงนั้นลดลงและหมดไป รวมถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนของสารประกอบฟีนอลิกเกิดการสลายตัวจากการให้ความร้อนที่นานเกินไป ดังนั้นการเลือกระยะเวลาในการสกัดจึงสำคัญ เพราะจะทำให้ไม่เสียเวลา ทรัพยากรณ์ และพลังงานไปอย่างสูญเปล่า (Sarip et al., 2014)



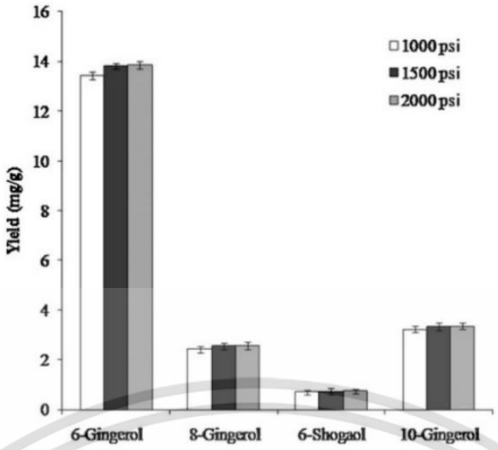
รูปที่ 2.11 ผลของเวลาในการสกัดต่อความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากขิง

ที่มา : (Sarip et al., 2014)

2.3.1.3 ความดันในการสกัด

ความดันที่ในการสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤตเป็นความดันที่อยู่ในช่วงที่ทำให้น้ำกึ่งวิกฤตอยู่ในสถานะของเหลว คือ 1 ถึง 221 บาร์ ซึ่งในการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าความดันในการสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤตไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารสกัด (นุชา สายพุฒิกสิกร, 2010; Hu Jiajin et al., 2011) จากรูปที่ 2.12 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤตจาก 1000 psi ถึง 1500 psi ปริมาณสาร 6-gingerol จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มความดันในการสกัดจาก 1500 psi ถึง 2000 psi ปริมาณสาร 6-gingerol ไม่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และสำหรับสาร 8-gingerol, 10-gingerol และ 6-shogaol ความดันในการสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤตที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าความดันจะมีความสามารถในการเข้าไปช่วยตัวทำละลายหรือน้ำกึ่งวิกฤตให้แทรกซึมเข้าสู่ตัวอย่างได้มากขึ้น แต่ความดันเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมของตัวทำละลายหรือน้ำกึ่งวิกฤตได้จำกัด ทำให้เมื่อความดันเพิ่มขึ้นมากเกินจึงไม่มีผลต่อความสามารถในการสกัด ดังนั้นไม่มีความจำเป็นที่จะใช้ความดันที่สูงเกินไปในการสกัด แต่ควรเลือกใช้ความดันที่พอดีในการสกัด เพราะการใช้ความดันที่สูงเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรณ์ (Hu et al., 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด 6-,8-,10-gingerol และ 6-shogaol
ที่มา : (Hu et al., 2011)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Essien และคณะ (Essien et al., 2020) ได้ทำการทดลองสกัดสารประกอบฟีนอลิกในใบ Kanuka (*Kunzea ericoides*) ด้วยน้ำกึ่งวิกฤต โดยใช้อุณหภูมิในการสกัดระหว่าง 150 องศาเซลเซียสถึง 210 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัดตั้งแต่ 0 นาที ถึง 40 นาที และใช้อัตราส่วนระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลายที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับการสกัดแบบแช่หมักโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่เวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าการสกัดโดยใช้น้ำกึ่งวิกฤตเป็นตัวทำละลายให้ผลของสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าการสกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย การสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากใบ Kanuka ด้วยน้ำกึ่งวิกฤตที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และใช้อัตราส่วนตัวอย่าง 15 กรัมต่อตัวทำละลาย 1 ลิตร ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 172.8 มิลลิกรัมกรดแกลิก/กรัมขิงแห้ง ในขณะที่การสกัดแบบแช่หมักโดยใช้เอทานอล 8 ชั่วโมงในอัตราส่วนตัวอย่าง 15 กรัมต่อตัวทำละลาย 1 ลิตร ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพียงแค่ 83 มิลลิกรัมกรดแกลิก/กรัมขิงแห้ง เท่านั้น เนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ทำให้ต้องใช้สารละลายที่ไม่มีขั้วในการเข้าไปทำละลาย และน้ำกึ่งวิกฤตที่อุณหภูมิสูงเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วน้อยกว่าเอทานอลที่อุณหภูมิปกติ ทำให้สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาได้มากกว่า

El-Ghorab และคณะ (El-Ghorab et al., 2010) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการต้านการออกซิเดชันของขิง (*Zingiber officinale*) กับขมิ้น (*Cuminum cyminum*) พบว่าขิงให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สามารถต้านการออกซิเดชันได้มากกว่าขมิ้น โดยขิงให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 95.2 มิลลิกรัม/กรัมสารสกัดแห้ง จากการสกัดด้วยเมทานอล และให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 87.5 มิลลิกรัม/กรัมสารสกัดแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสกัดด้วยเฮกเซน ในขณะที่ขมิ้นให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 10.6 มิลลิกรัม/กรัมสารสกัดแห้ง จากการสกัดด้วยเฮกเซน และเมื่อนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (DPPH Methods) พบว่าขิงและขมิ้นให้ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันใกล้เคียงกัน ขมิ้นให้ผล 85.44% และขิงให้ผล 83.87% ทั้งขิงและขมิ้นจึงสามารถใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติได้ทั้งคู่

Guthrie และคณะ (Guthrie et al., 2020) ได้ทำการศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกต้านออกซิเดชันด้วยน้ำกึ่งวิกฤตจากเปลือกกีวีสีเขียว (*Actinidia deliciosa*) กีวีเป็นผลไม้ที่มีความนิยมทั่วโลก จากอัตราการบริโภค 4.3 ล้านตันในปี 2018 กีวีเป็นผลไม้ที่กินเนื้อทำให้มีเหลือเปลือกกีวีเป็นของเสีย การจัดการเปลือกกีวีมักใช้วิธีฝังกลบซึ่งเป็นการสูญเสียทรัพยากรณ์ที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่น จากการศึกษาพบว่าในเปลือกกีวีมีสารต้านการออกซิเดชัน ซึ่งคือสารประกอบฟีนอลิก จึงได้มีการศึกษาสภาวะในการสกัดเปลือกกีวีด้วยน้ำกึ่งวิกฤตให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด มีปัจจัยในการศึกษาคือ อุณหภูมิในการสกัด (120 องศาเซลเซียส ถึง 160 องศาเซลเซียส) เวลาในการสกัด (0 นาที ถึง 30 นาที) ความเป็นกรดเบส (2 ถึง 5.5) และอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลาย (ร้อยละ 2 ถึง ร้อยละ 6) พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดเปลือกกีวีด้วยน้ำกึ่งวิกฤตที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ดีที่สุดคือ สกัดที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ความเป็นกรดเบส 2 และอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลายร้อยละ 2 โดยให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 51.2 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง ซึ่งมากกว่าการสกัดแบบแช่หมักด้วยเอทานอล 24 ชั่วโมง ที่ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพียง 26.15 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง ข้อดีของการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยเอทานอลคือ น้ำกึ่งวิกฤตเป็นตัวทำละลายที่ปลอดภัย รักษาสิ่งแวดล้อม ใช้เวลาในการสกัดที่น้อยกว่า และสามารถส่งเสริมในเรื่องสุขภาพจากการไม่ทิ้งสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

ขิงแก่อายุการปลูก 10 เดือน และซื้อในวันที่ 24 ธันวาคม 2565 จากสวนขิงเขาค้อ บ้านเข็กน้อย ตำบลเข็กน้อย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่นำมาผ่านกระบวนการทำแห้ง และลดขนาดจนกลายเป็นขิงผง แสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ขิงผงที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 สารเคมี

น้ำกลั่น

ซิลิกาเจล

แก๊สไนโตรเจน 99.5%

อะซีโตน (Commercial grade)

กรดแกลลิก (Sisco Research Laboratory, India)

โฟลิน-ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ (Loba, India)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมคาร์บอเนต (Ajax Finechem, Australia)

เอทานอล 95% (Alcoh-A, Thailand)

เฮกเซน 95% (KemAus, Australia)

กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% (RCI Labscan, Thailand)

กรดบอริก (Carlo Erba, France)

กรดไฮโดรคลอริก 37% (RCI Labscan, Thailand)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Carlo Erba, France)

คอปเปอร์ซัลเฟต (Carlo Erba, France)

โพแทสเซียมซัลเฟต (Carlo Erba, France)

เมทธิลเรด (Carlo Erba, France)

เมทธิลีนบลู (Carlo Erba, France)

ปิโตรเลียมอีเทอร์ (RCI Labscan, Thailand)

ออกทานอล (Carlo Erba, France)

3.2 อุปกรณ์

เครื่องสกัดด้วยของเหลวอัดความดัน (Parr Instrument Company, USA) ขนาด 500 มิลลิลิตร แสดงดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย (1) อุปกรณ์ให้ความร้อน (2) มาตรวัดความดัน (3) ถังใส่ตัวอย่าง (4) วาล์วเปิดปิด (5) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 เครื่องสกัดด้วยของเหลวอัดความดัน

ตู้อบลมร้อน (Tray Dryer, Progress)

ตู้อบ (Memmert, UF55)

เตาเผาไฟฟ้า (Muffle Furnace CARBOLITE, CWF11/23)

เตาไฟฟ้า (EGO, Germany)

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettle Tolrdo, ML204/01, Switzerland)

โถดูดความชื้น

ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร และ 10 มิลลิลิตร

ไมโครปิเปตช่วง 100-1000 ไมโครลิตร และ 1000-10000 ไมโครลิตร

ไมโครปิเปตทิป

กระดาษกรอง Whatman No.4

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Visible Spectrophotometer Thermo, Genesys 20)

ตะแกรงร่อน ขนาด 0.59 มิลลิเมตร

เครื่องปั่นเหวี่ยง (Refrigerated Centrifuge Eppendrof, 5804R)

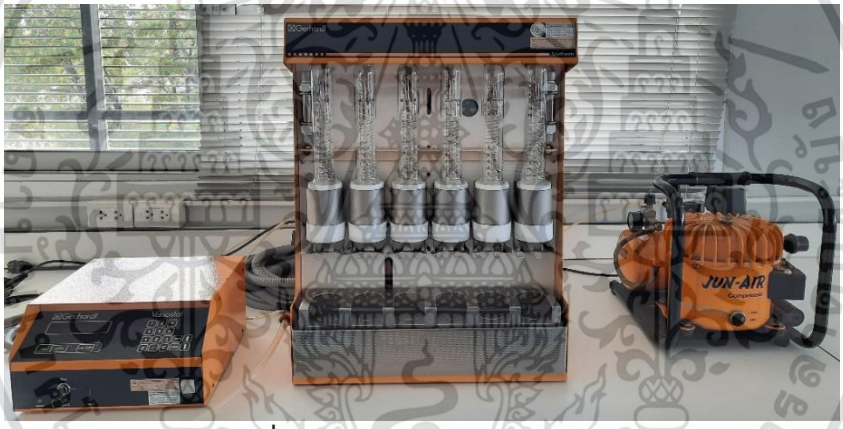
เครื่องสกัด Soxhlet Extraction (MIT Technology, Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Protein Analyzer, Gerharst, KB8S/VAP30S) แสดงดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน

อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์ไขมัน (Fat Extraction, Gerhardt S306AK) แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์ไขมัน

อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์เส้นใย (Hot Extraction unit, Foss fibertec 122) แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์เส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวางแผนการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้การวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ เวลา และความดัน ได้สภาวะการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง และทำ 2 ซ้ำ โดยทำการทดลองดังตารางที่ 3.1 ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Design Expert version 13 (Stat-Ease Inc, USA)

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

ลำดับที่	อุณหภูมิ (°c)	เวลา (นาที)	ความดัน (bars)
1	140	35	20
2	160	50	30
3	140	35	80
4	120	50	70
5	120	20	70
6	160	20	30
7	160	50	70
8	120	50	30
9	140	10	50
10	170	35	50
11	140	60	50
12	120	20	30
13	110	35	50
14	140	35	50
15	160	20	70

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ขิงที่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาครั้งนี้ ได้ผ่านการล้างทำความสะอาด และหั่นเป็นแว่นขนาดความหนาประมาณไม่เกิน 1 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (tray dried) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 ชั่วโมง วัดปริมาณความชื้นของขิงแห้งไม่เกิน 20% และทำการลดขนาดขิงที่ผ่านการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งด้วยเครื่องปั่น (Blender) แล้วคัดแยกขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อน (sieve) ที่มีขนาด 0.59 มิลลิเมตร เก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส และไม่มีความชื้นในกล่องที่มีซิลิกาเจลดูดความชื้นตลอดการศึกษา

3.4.2 การสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

3.4.2.1 นำตัวอย่างขิงบรรจุเข้าเครื่องสกัดด้วยของเหลวกึ่งวิกฤติจำนวน 20 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นอัตราส่วน 1:10 คนผสมให้เข้ากันและปิดฝาเครื่องสกัด พร้อมตั้งเครื่องสกัด

3.4.2.2 อัดไนโตรเจนเข้าเครื่องสกัด เพื่อไล่อากาศภายในถังบรรจุ ทำการปรับความดันให้ได้ตามที่กำหนด

3.4.2.3 เปิดเครื่องสกัด ตั้งค่าอุณหภูมิตามที่กำหนด และเปิดสวิตซ์ Start ให้เครื่องทำงาน เมื่อเครื่องเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดให้ทำการปิดสวิตซ์ Heat และเริ่มจับเวลาการสกัด

3.4.2.4 เมื่อครบเวลาที่กำหนด ให้พักเครื่องสกัดให้เย็น จากนั้นเปิดเครื่องสกัดและตักสารสกัดรวมถึงกากขิงใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยงเพื่อนำไปตกตะกอนกากขิงกับสารสกัด

3.4.2.5 นำหลอดปั่นเหวี่ยงไปทำให้ตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm เป็นเวลา 20 นาที หรือจนกว่าจะตกตะกอน จากนั้นนำสารสกัดที่อยู่ในหลอดปั่นเหวี่ยงมากรองอีกครั้งด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4 เพื่อให้สารสกัดไม่มีตะกอนก่อนทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.4.2.6 นำกากขิงที่เหลือจากการกรองไปอบด้วยตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก

3.4.2.7 นำส่วนของสารสกัดที่ได้จากการปั่นเหวี่งและการกรองมาคำนวณหาร้อยละผลได้ของสารสกัด

3.4.2.8 คำนวณหาร้อยละผลได้ของสารสกัด สามารถหาได้ตามสมการที่ 3.1

$$\text{ร้อยละผลได้ของสารสกัด } (\%) = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างสารสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100 \qquad (3.1)$$

3.4.3 การสกัดขิงด้วยกระบวนการ Soxhlet (Soxhlet extraction)

3.4.3.1 นำตัวอย่างขิง 20 กรัม ใส่ลงในเครื่องสกัด Soxhlet Extractor และใช้เอทานอล 95% 300 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลาย ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 นำสารกสัดที่ได้มาทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 rpm เป็นเวลา 20 นาที เพื่อตกตะกอนกากขิงที่หลงเหลืออยู่

3.4.3.3 นำสารสกัดที่ได้มาคำนวณหาร้อยละผลได้ของสารสกัด

3.4.3.4 คำนวณหาร้อยละผลได้ของสารสกัด สามารถหาได้ตามสมการที่ 3.2

$$\text{ร้อยละผลได้ของสารสกัด } (\%) = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างสารสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100 \qquad (3.2)$$

3.4.3.5 ทำซ้ำข้อ 3.4.3.1 ถึง 3.4.3.4 โดยเปลี่ยนจากเอทานอลเป็นเฮกเซน 300 มิลลิลิตร

3.4.4 การวิเคราะห์เบื้องต้น

3.4.4.1 การวิเคราะห์ความชื้น

3.4.4.1.1 นำถ้วยอลูมิเนียมไปอบไล่ความชื้นที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ใส่ในโถดูดความชื้น รอทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน (W)

3.4.4.1.2 ใส่ตัวอย่างขิงลงในถ้วยอลูมิเนียมจำนวน 5 กรัม บันทึกน้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมกับตัวอย่างขิง (W_1)

3.4.4.1.3 นำเข้าไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมงโดยเปิดฝาถ้วยอลูมิเนียม

3.4.4.1.4 เมื่อครบเวลา นำออกมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้งครั้งละครึ่งชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ หรือผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ 2 ครั้งต่างกันไม่เกิน 0.003-0.005 กรัม (W_2)

3.4.4.1.5 คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหาร จากสมการที่ 3.3

$$\text{ความชื้น } (\%) = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น } (W-W_1) - \text{น้ำหนักแห้ง } (W-W_2)}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น } (W-W_1)} \times 100 \qquad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.2 การวิเคราะห์เถ้า

3.4.4.2.1 เผาถ้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W)

3.4.4.2.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างขิง 5 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างขิงกับถ้วยกระเบื้อง (W_1)

3.4.4.2.3 เผาตัวอย่างบนเตาไฟฟ้า จนหมดควัน

3.4.4.2.4 นำไปเผาต่อในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตัวอย่างเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา

3.4.4.2.5 รอให้เตาเผาไฟฟ้าเย็นลง จึงคีบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาไฟฟ้า ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา (W_2)

3.4.4.2.6 คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าของอาหาร จากสมการ 3.4

$$\text{เถ้า } (\%) = \frac{\text{น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักเถ้าหลังเผา} - \text{น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง}}{\text{น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์} - \text{น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง}} \times 100 \qquad (3.4)$$

3.4.4.3 การวิเคราะห์โปรตีน

3.4.4.3.1 การย่อยโปรตีน

3.4.4.3.1.1 ชั่งตัวอย่างขิง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน เติมตัวเร่งปฏิกิริยา (คอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต) 10 กรัม จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร และใส่ลูกแก้ว 3 ลูก

3.4.4.3.1.2 นำหลอดย่อยโปรตีนวางลงในแลค ก่อนนำไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อน และสวมที่ดูดควัน ที่ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด ก่อนเปิดสวิทซ์เครื่อง

3.4.4.3.1.3 ตั้งอุณหภูมิที่ใช้ย่อย 380-400 องศาเซลเซียส ก่อนปรับไปที่อุณหภูมิที่ใช้ย่อย

3.4.4.3.1.4 ทำการย่อยโปรตีน จนได้สารละลายใสหรือสีฟ้าใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.3.1.5 ปิดสวิทซ์ พร้อมยกแลคที่มีหลอดทดลองขึ้นมาพัก รอให้สารละลายสีฟ้าเย็นลง

3.4.4.3.2 การกลั่นโปรตีน

3.4.4.3.2.1 นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน ตรวจเช็คความเรียบร้อยของระบบน้ำสำหรับหล่อเย็น ถังน้ำกลั่น ถังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32%

3.4.4.3.2.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตรใส่ในขวดชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์เมธิลเรดและเมธิลีนบลูอย่างละ 1 หยด จะได้สารละลายสีชมพูม่วง วางขวดรูปชมพู่ลงในชุดกลั่น เสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเดนเซอร์ลงในกรดบอริก เพื่อดักจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้

3.4.4.3.2.3 เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ

3.4.4.3.2.4 เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น

3.4.4.3.3 การไตเตรตโปรตีน

3.4.4.3.3.1 นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายที่กลั่นแล้วซึ่งมีสีเขียว มาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอมอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูม่วง บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

3.4.4.3.4 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

3.4.4.3.4.1 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง จากสมการที่ 3.5

$$\text{ไนโตรเจน } (\%) = \frac{(\text{ปริมาณ}\boldsymbol{HCl}\text{ที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง} - \text{ปริมาณ}\boldsymbol{HCl}\text{ที่ใช้ไตเตรทกับ}\boldsymbol{blank}) \times \text{ความเข้มข้น}\boldsymbol{HCl} \times 14}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง} \times 1000} \times 100 \qquad (3.5)$$

3.4.4.3.5 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีน

3.4.4.3.5.1 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีน จากสมการ 3.6

$$\text{โปรตีน } (\%) = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25 \qquad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.4 การวิเคราะห์ไขมัน

3.4.4.4.1 อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ ลูกแก้ว 3 ลูก ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_1)

3.4.4.4.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างขิง 3 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W) ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ในทิมเบิล

3.4.4.4.3 ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์จำนวน 140 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิล ใส่ตัวอย่างขิงและบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง

3.4.4.4.4 เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก

3.4.4.4.5 นำบีกเกอร์ไขมันใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อรอให้เย็น ก่อนนำบีกเกอร์ไขมันไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2)

3.4.4.4.6 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมัน จากสมการ 3.7

$$\text{ไขมัน } (\%) = \frac{\frac{\text{น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันหลังสกัด} - \text{น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}}{} \times 100 \qquad (3.7)$$

3.4.4.5 การวิเคราะห์เส้นใย

3.4.4.5.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แห้งและสกัดไขมันออกแล้ว 1 กรัม ใส่ในถ้วยชนิดทนไฟ และเติมสารช่วยกรอง 1 กรัม ลงบนตัวอย่าง

3.4.4.5.2 นำถ้วยชนิดทนไฟ ต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร ในส่วนของ hot extraction unit แล้วปิดล็อคให้แน่น

3.4.4.5.3 เปิดฝาด้านบนของเครื่อง เติมกรดซัลฟูริก 0.255 N ที่อุ่น จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในขวดย่อยของแต่ละตัวอย่าง

3.4.4.5.4 เติมออกทานอล ปริมาณ 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟองล้น ให้ความร้อนจนเดือด

3.4.4.5.5 ลดความร้อนลง และต้มต่อเป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.5.6 กรองเอากรดออก โดยเลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง Vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้ใช้แรงดันที่ตำแหน่ง pressure ช่วย

3.4.4.5.7 ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 30 มิลลิลิตร จากนั้นกรองจนแห้ง

3.4.4.5.8 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 N ที่อุ่นๆลงไป 150 มิลลิลิตร ลงในขวดย่อยของแต่ละตัวอย่าง เติมออกทานอล ปริมาณ 2-3 หยด ให้ความร้อนจนเดือด

3.4.4.5.9 จากนั้นทำซ้ำ ข้อ 3.4.4.5.5 ถึง 3.4.4.5.7

3.4.4.5.10 นำถ้วยชนิดทนไฟไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3.4.4.5.11 นำถ้วยชนิดทนไฟไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3.4.4.5.12 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เส้นใย จากสมการ 3.8

$$\text{เส้นใย } (\%) = \frac{\text{น้ำหนักของถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังอบแห้ง} - \text{น้ำหนักของถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100 \quad (3.8)$$

3.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด

3.4.5.1 การเตรียมสารเคมี

3.4.5.1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเข้มข้น 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยการชั่งกรดแกลลิก 0.04 กรัม ละลายด้วยเอทานอล ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

3.4.5.1.2 เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยการชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

3.4.5.1.3 เตรียมสารละลายโฟลิน-ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยการตวงสาร Folin-Ciocalteu Reagent ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

3.4.5.2.1 นำสารละลายกรดแกลลิกเข้มข้น 400 ไมโครกรัม ไปเจือจางด้วยเอทานอลให้ได้ความเข้มข้นดังนี้ 0, 50, 100, 150, 200 และ 300 ไมโครกรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

3.4.5.2.2 ปิเปตสารละลายแกลลิกทุกความเข้มข้น อย่างละ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายโฟลิน-ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 5 มิลลิลิตตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด

3.4.5.2.3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.5.2.4 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากนั้นเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแกลลิก

3.4.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในตัวอย่างสารสกัด

3.4.5.3.1 นำตัวอย่างสารสกัดที่ได้เจือจางด้วยน้ำกลั่น 100 เท่า

3.4.5.3.2 ปิเปตตัวอย่างสารสกัดที่เจือจาง 100 เท่า มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

3.4.5.3.3 เติมสารละลายโฟลิน-ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด

3.4.5.3.4 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.5.3.5 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

3.4.5.3.6 คำนวณปริมาณฟีนอลิกรวม จากสมการ 3.9

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม } (\text{Total Phenolic Content}) = \frac{\text{C}\times\text{V}\times\text{ระดับความเจือจาง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \qquad (3.9)$$

โดยที่ C คือ ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

V คือ ปริมาตรของสารสกัดทั้งหมด (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นของขิงผงที่ใช้ในการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างขิงผงที่นำมาใช้ในการทดลอง ขิงสดที่ใช้ในการทดลองเป็นขิงในสายพันธุ์ *Zingiber officinale* มีลักษณะเป็นขิงแก่แพขนาดกลาง แก่ประมาณ 10 เดือน มีแหล่งกำเนิดจากจังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย ก่อนนำมาใช้งานขิงถูกอบแห้งไล่ความชื้นที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 ชั่วโมง ถูกลดขนาดด้วยเครื่องปั่นแห้ง และกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาด 0.59 มิลลิเมตร จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้นที่ควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขิงผงที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 13.89±0.07 ปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 5.96±0.01 ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 6.02±0.15 ปริมาณไขมันเฉลี่ยร้อยละ 3.21±0.01 ปริมาณเส้นใยเฉลี่ยร้อยละ 13.30±0.13 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตเฉลี่ยร้อยละ 71.60±0.35

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างขิงผงที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของขิงผงที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของขิงในงานวิจัยอื่น ๆ

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละองค์ประกอบ (%)		
	ประเทศไทย	พันธุ์ Guangdong-ginger ประเทศไต้หวัน[1]	พันธุ์ Chu-ginger ประเทศไต้หวัน[2]
ความชื้น	13.89±0.07[a]	84.16±0.97[a]	89.14±0.72[a]
เถ้า	5.96±0.01[b]	0.16±0.02[b]	0.28±0.02[b]
โปรตีน	6.02±0.15[b]	1.05±0.33[b]	0.93±0.08[b]
ไขมัน	3.21±0.01[b]	0.55±0.03[b]	0.52±0.10[b]
เส้นใย	13.30±0.13[b]	1.05±0.38[b]	1.01±0.43[b]
คาร์โบไฮเดรต	71.60±0.35[b]	97.19±0.02[b]	97.26±0.04[b]

หมายเหตุ : [a] เป็นการหาองค์ประกอบทางเคมีของขิงฐานเปียก [b] เป็นการหาองค์ประกอบทางเคมีของขิงฐานแห้ง
ที่มา : [1,2] งานวิจัยของ Yeh และคณะ (Yeh et al., 2014)

4.2 ผลการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

ผลการศึกษาการสกัดขิงด้วยน้ำร้อนอัดความดันเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ร้อยละผลได้ของสารสกัด (%Yield) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content; TPC) ที่ดีที่สุด โดยใช้เทคนิค Response Surface Methodology (RSM) และวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ (X_1) เวลา (X_2) และความดัน (X_3) แสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่ได้จากการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

รัน	อุณหภูมิ (X_1) (°c)	เวลา (X_2) (นาที)	ความดัน (X_3) (บาร์)	ร้อยละผลได้ของสารสกัด (Y_1) (%)	TPC (Y_2) (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง)
1	140	35	20	19.86±0.72	43.90±1.11
2	160	50	30	25.47±0.07	91.43±1.57
3	140	35	80	20.08±0.09	39.64±1.32
4	120	50	70	20.44±0.39	40.16±2.24
5	120	20	70	11.58±0.03	25.12±2.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	160	20	30	20.54±0.13	73.46±0.59
7	160	50	70	25.60±0.21	87.78±1.74
8	120	50	30	26.86±0.31	53.10±4.35
9	140	10	50	18.44±0.28	37.01±5.11
10	170	35	50	29.13±0.07	113.05±1.69
11	140	60	50	23.43±0.26	50.48±1.66
12	120	20	30	8.92±0.19	15.88±1.15
13	110	35	50	10.11±0.23	28.90±0.91
14	140	35	50	24.13±0.64	56.31±2.28
15	160	20	70	31.87±0.93	97.03±4.97

4.3 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของสารสกัด (% Yield)

จากการทดลองเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ค่าแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม Design Expert version 13 แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) ได้แก่ อุณหภูมิ (A) เวลา (B) อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา (AB) อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและความดัน (AC) และอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความดัน (BC) ซึ่งหมายความว่าถ้าปัจจัยดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถคำนวณร้อยละผลได้ของสารสกัดจากสมการที่ 4.1 และพิจรณาสมการถดถอยได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ R^2 ที่มีค่าเท่ากับ 0.94 และค่า p-value ที่มีค่าน้อยกว่า 0.0001 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสมการที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสม

ตารางที่ 4.3 ตาราง ANOVA ของร้อยละผลได้ของสารสกัด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1211.92	9	134.66	37.70	< 0.0001	significant
A-Temperature	659.61	1	659.61	184.69	< 0.0001	
B-Time	173.95	1	173.95	48.71	< 0.0001	
C-Pressure	10.29	1	10.29	2.88	0.1051	
AB	197.80	1	197.80	55.38	< 0.0001	
AC	57.83	1	57.83	16.19	0.0007	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

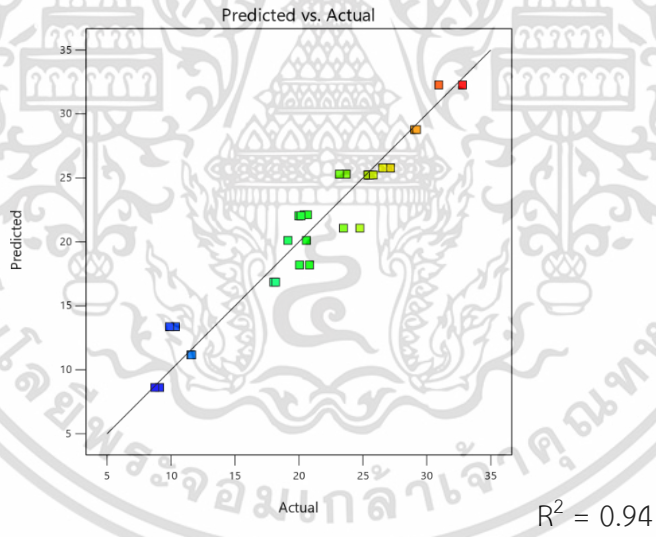
BC	102.73	1	102.73	28.76	< 0.0001
A^2	8.35	1	8.35	2.34	0.1419
B^2	2.31	1	2.31	0.6470	0.4307
C^2	5.75	1	5.75	1.61	0.2191

หมายเหตุ : ค่า p-value < 0.05 แสดงว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

สมการถดถอย (Regression Model) ที่ได้จากการทดลองคือ

$$Y_1 = (-111.1384) + 1.0670\,(A) + 2.3577\,(B) - 0.1488\,(C) - 0.0117\,(AB) + 0.0048\,(AC) - 0.0085\,(BC) - 0.0023\,(A^2) - 0.0018\,(B^2) - 0.0019\,(C^2) \quad (4.1)$$

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นผลของการทดลองที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตโดยมีปัจจัยที่แตกต่างกันต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด พบว่าการทดลองจริง (Actual value) มีค่าใกล้เคียงกับค่าทำนายจากสมการ (Predict value) ส่วนใหญ่มีการกระจายตัวได้ดีแต่มีบางจุดที่กระจายตัวห่าง และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.94 ซึ่งบอกได้จากจุดบนเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าประมาณการที่มีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นทแยงมุม



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลได้ของสารสกัดที่ได้จากการทดลอง (แกน x) และการประมาณการ (แกน y)

4.3.1 ผลของปัจจัยต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด

ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดแสดงดัง รูปที่ 4.3 (ก) จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดสูงขึ้น ในช่วง 120 ถึง 160 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่า

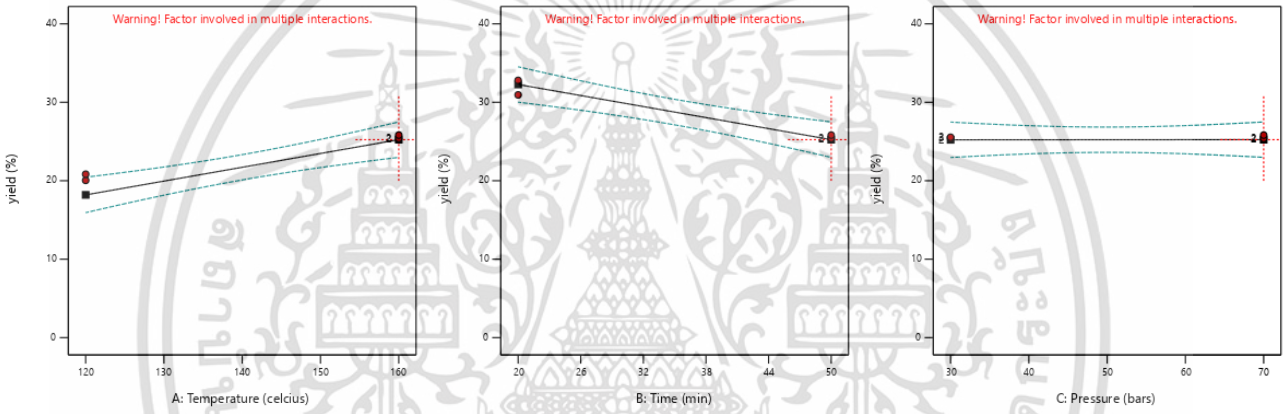
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิในการสกัดส่งผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) เนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงทำให้ความเป็นขั้วและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำลดลง น้ำจึงมีคุณสมบัติคล้ายตัวทำละลายอินทรีย์ ที่ไม่มีขั้ว ทำให้สกัดสารที่กึ่งมีขั้วและไม่มีขั้วออกมาได้ดีขึ้น อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นยังลดแรงตึงผิวของน้ำกึ่งวิกฤต ทำให้น้ำกึ่งวิกฤตสามารถแทรกซึมเข้าสู่โมเลกุลของขิงได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำกึ่งวิกฤตสามารถทำละลายสารสกัดออกมาจากขิงได้มาก และเพิ่มอัตราการแพร่ของสารสกัดออกมาจากขิงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ma และคณะ (Ma et al., 2020) ที่มีการศึกษาการสกัดสารเพคตินจากดอกทานตะวันด้วยน้ำกึ่งวิกฤต พบว่าอุณหภูมิในการสกัดช่วง 100 ถึง 120 องศาเซลเซียสเพิ่มร้อยละผลได้ของสารสกัด จากร้อยละผลได้ของสารสกัดประมาณ 2 ที่อุณหภูมิในการสกัด 100 องศาเซลเซียส สู่ร้อยละผลได้ของสารสกัดประมาณ 5 ที่อุณหภูมิในการสกัด 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิสูงสามารถทำให้ผนังเซลล์ของดอกทานตะวันเกิดการแตกตัว น้ำกึ่งวิกฤตหรือตัวทำละลายจึงสามารถเข้าไปภายในเนื้อเยื่อของดอกทานตะวันได้มากขึ้น และส่งผลให้เกิดการแพร่ของสารเพคตินออกจากดอกทานตะวันมากขึ้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงกว่า 120 องศาเซลเซียสร้อยละผลได้ของสารสกัดจะลดลง จากร้อยละผลได้ของสารสกัดประมาณ 5 เหลือร้อยละ 3.5 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 องศาเซลเซียสเป็น 140 องศาเซลเซียส เนื่องจากสารเพคตินในดอกทานตะวันเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน การใช้อุณหภูมิสูงในการสกัดแม้จะทำให้การสลายตัวเนื่องจากความร้อน แต่ถ้าหากใช้อุณหภูมิสูงที่พอดี ไม่สูงมากเกินไปจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด จากการเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมเข้าสู่ตัวอย่างและเพิ่มอัตราการแพร่ของสารสกัดกับตัวทำละลาย

ผลของเวลาต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดแสดงดัง รูปที่ 4.3 (ข) จากการสกัดในช่วงเวลา 20 นาที ถึง 50 นาที พบว่าเมื่อทำการสกัดในช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดลดลง ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าเวลาในการสกัดส่งผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) ถึงแม้ว่าการใช้เวลาในการสกัดนาน จะทำให้การสกัดดำเนินต่อไปได้นานและได้สารสกัดมากขึ้น แต่การสกัดด้วยกระบวนการน้ำกึ่งวิกฤตเป็นกระบวนการสกัดที่ใช้ความร้อนสูง การใช้เวลาในการสกัดนานจึงทำให้ขิงและสารสกัดได้รับความร้อนที่สูงเป็นเวลานาน และจากการได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานานทำให้สารสกัดขิงเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน ทำให้เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ของสารสกัดจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Che Sulaiman และคณะ (Che Sulaiman et al., 2017) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายน้ำกับตัวทำละลายเอทานอลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของ *Clinacanthus nutans* Lindau leaves ที่เวลาในการสกัด 80 นาทีให้ร้อยละผลได้ของสารสกัด 24.50 แต่ที่เวลาในการสกัด 120 นาทีให้ร้อยละผลได้ของสารสกัด 17.23 เนื่องจากสารสกัดเกิดการสลายตัวจากการได้รับความร้อนที่นานเกินไป แต่การสกัดที่ระยะเวลาสั้นเกินไปจะให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดน้อยเช่นกัน เพราะกระบวนการสกัดยังไม่สามารถดำเนินการได้เต็มที่ ทำให้ยังสกัดสารออกมาได้ไม่มาก การเลือกระยะเวลาในการสกัดจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด เพื่อไม่ให้สารสกัดเกิดการสลายตัว และเพื่อไม่ให้เสียเวลาไปโดยเปล่าประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดแสดงดัง รูปที่ 4.3 (ค) พบว่าความดันไม่มีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ความดันส่งผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value > 0.05) จะเห็นได้ว่าความดัน 20 บาร์ ถึง 70 บาร์ ไม่พบการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของร้อยละผลได้ของสารสกัด ถึงแม้ว่าความดันจะส่งผลให้น้ำกึ่งวิกฤตมีสภาพขั้วที่ลดงลง แต่ความดันช่วงดังกล่าวไม่ใช่ปัจจัยหลักในการลดสภาพขั้วของน้ำ ความดันเป็นเพียงปัจจัยเสริมในการลดสภาพขั้วของน้ำ ความดันจึงสามารถลดสภาพขั้วของน้ำได้จำกัด ทำให้ความดันไม่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hu และคณะ (Hu et al., 2011) ที่มีการศึกษาการสกัดขิงด้วยเทคนิคของเหลวอัดความดันด้วยไบโอเอทานอล พบว่าความดันไม่มีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตที่ความดัน 1000 psi 1500 psi หรือ 2000 psi ให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดที่ใกล้เคียงกัน



ก ข ค

รูปที่ 4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ (ก) เวลา (ข) และความดัน (ค) ต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด

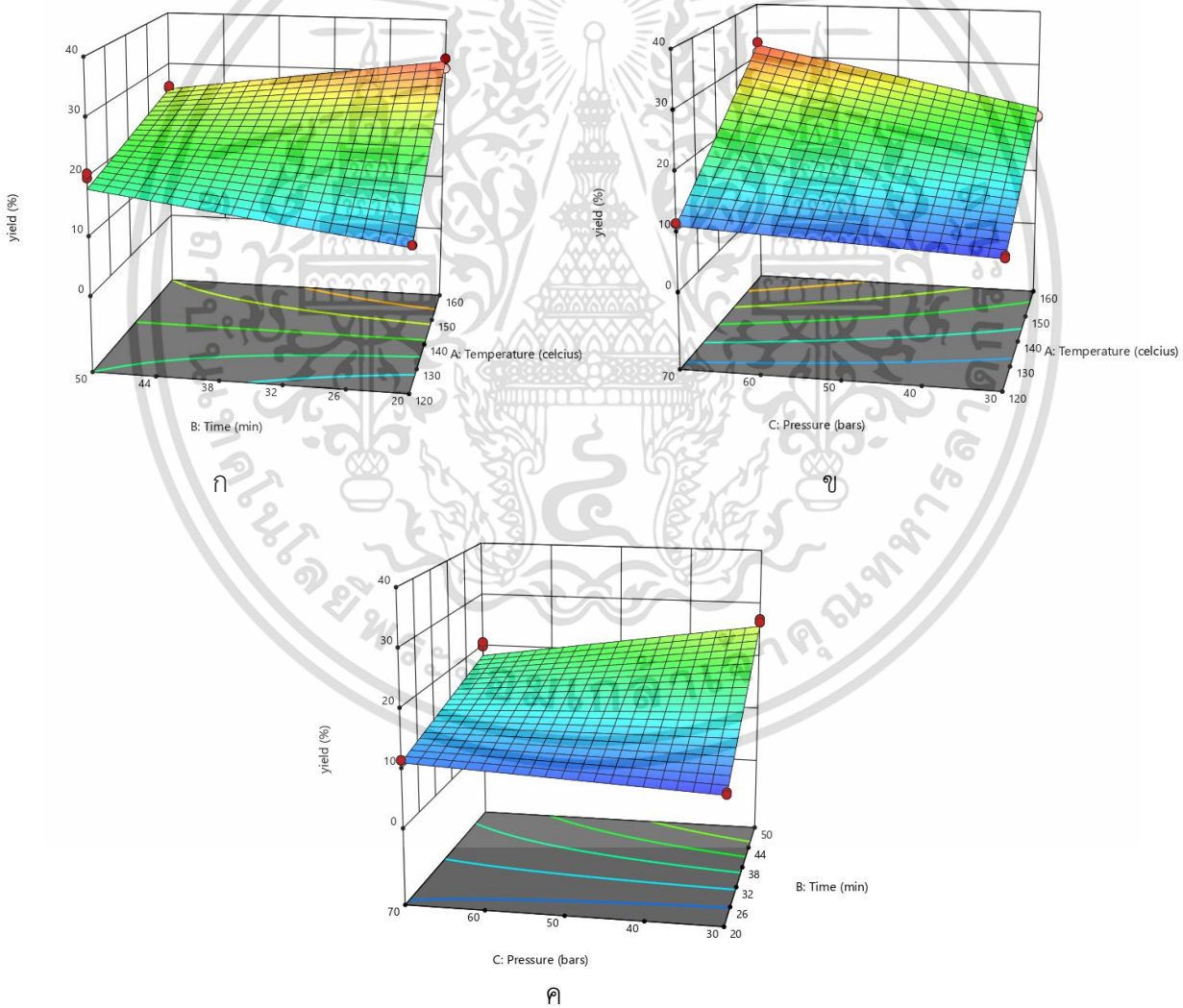
อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด แสดงในรูปพื้นผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 4.4 (ก) พบว่าอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาจึงมีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาในการสกัดลดลงจะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดเพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบผกผันกัน เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัดเป็นเวลานานจะทำให้สารสกัดเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน

อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความดันต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด แสดงในรูปพื้นผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 4.4 (ข) พบว่าอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความดันมีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและความดันในการสกัดสูงขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันสูงมีส่วนช่วยในการลดแรงตึงผิวของน้ำกึ่งวิกฤต ทำให้น้ำกึ่งวิกฤตสามารถแทรกซึมเข้าสู่โมเลกุลของขิงได้ง่ายขึ้น และด้วยอุณหภูมิในการสกัดสูงยังมีปัจจัยในการส่งเสริมให้ผนังเซลล์ของขิงเกิดการแตกตัว ทำให้สามารถสกัดสารสกัดจากขิงได้มาก

อิทธิพลร่วมของเวลาและความดันต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด แสดงในรูปพื้นผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 4.4 (ค) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความดันมีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและความดันสูงขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดลดลง แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและความดันต่ำลงจะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การสกัดดำเนินไปได้นานขึ้น จึงสามารถสกัดได้มากขึ้นจนกว่าสารที่ต้องการจะหมดไป และด้วยความดันต่ำที่ส่งผลให้น้ำกึ่งวิกฤตมีสภาวะกึ่งมีขั้ว จึงสามารถทำละลายสารกึ่งมีขั้วและไม่มีขั้วได้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (ก) ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับความดัน (ข) และผลของอิทธิพลร่วมระหว่างเวลากับความดัน (ค) ต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด

4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด

จากการทดลองเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม Design Expert version 13 แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) ได้แก่ อุณหภูมิ (A) เวลา (B) อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา (AB) อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความดัน (BC) และอิทธิพลของอุณหภูมิ 2 เท่า (A^2) ซึ่งหมายความว่าถ้าปัจจัยดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากสมการที่ 4.2 และพิจรณาสมการถดถอยได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ R^2 ที่มีค่าเท่ากับ 0.97 และค่า p-value ที่มีค่าน้อยกว่า 0.0001 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสมการที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสม

ตารางที่ 4.4 ตาราง ANOVA ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	23217.97	9	2579.77	73.06	< 0.0001	significant
A-Temperature	18677.57	1	18677.57	528.96	< 0.0001	
B-Time	1026.85	1	1026.85	29.08	< 0.0001	
C-Pressure	15.46	1	15.46	0.4378	0.5158	
AB	474.14	1	474.14	13.43	0.0015	
AC	139.57	1	139.57	3.95	0.0607	
BC	609.76	1	609.76	17.27	0.0005	
A^2	1120.57	1	1120.57	31.73	< 0.0001	
B^2	33.97	1	33.97	0.9620	0.3384	
C^2	59.34	1	59.34	1.68	0.2096	

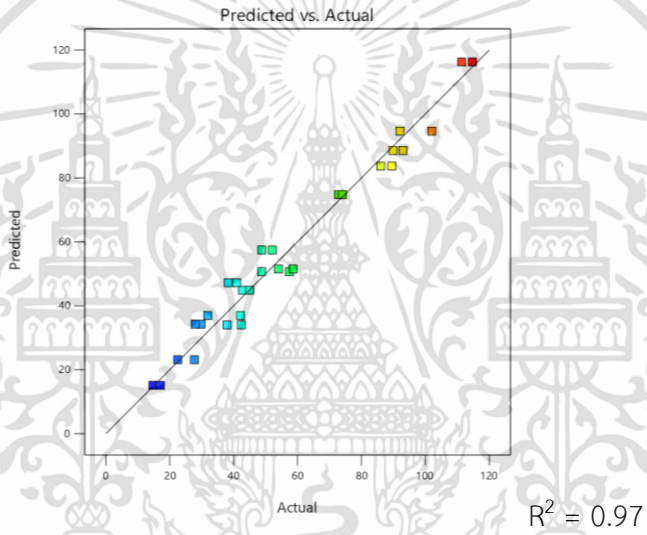
หมายเหตุ : ค่า p-value < 0.05 แสดงว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการถดถอย (Regression Model) ที่ได้จากการทดลองคือ

$$Y_2 = 264.0357 - 5.7356\,(A) + 4.4616\,(B) + 0.3329\,(C) - 0.0182\,(AB) + 0.0074\,(AC) - 0.0206\,(BC) + 0.0264\,(A^2) - 0.0069\,(B^2) - 0.0061\,(C^2) \quad (4.2)$$

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นผลของการทดลองที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตโดยมีปัจจัยที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด พบว่าการทดลองจริง (Actual value) มีค่าใกล้เคียงกับค่าทำนายจากสมการ (Predict value) ส่วนใหญ่มีการกระจายตัวที่ดีแต่มีบ่งจุดที่มีการกระจายตัวออกห่าง และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 แต่โดยส่วนใหญ่แล้วค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าประมาณการมีแนวโน้มกระจายตัวอยู่ระหว่างเส้นทแยงมุม



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดที่ได้จากการทดลอง (แกน x) และการประมาณการ (แกน y)

4.4.1 ผลของปัจจัยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด

ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด จากการทดลองในช่วง 120 ถึง 160 องศาเซลเซียสแสดงดัง รูปที่ 4.6 (ก) พบว่าเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดสูงขึ้น ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าอุณหภูมิในการสกัดส่งผลกระทบเชิงบวกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) เนื่องมาจากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำกึ่งวิกฤตมีสภาพเป็นตัวทำละลายกึ่งมีขั้วจากการอ่อนแอลงของพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นสารกึ่งมีขั้วได้ดี อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้แรงตึงผิวของน้ำกึ่งวิกฤตลดลง จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

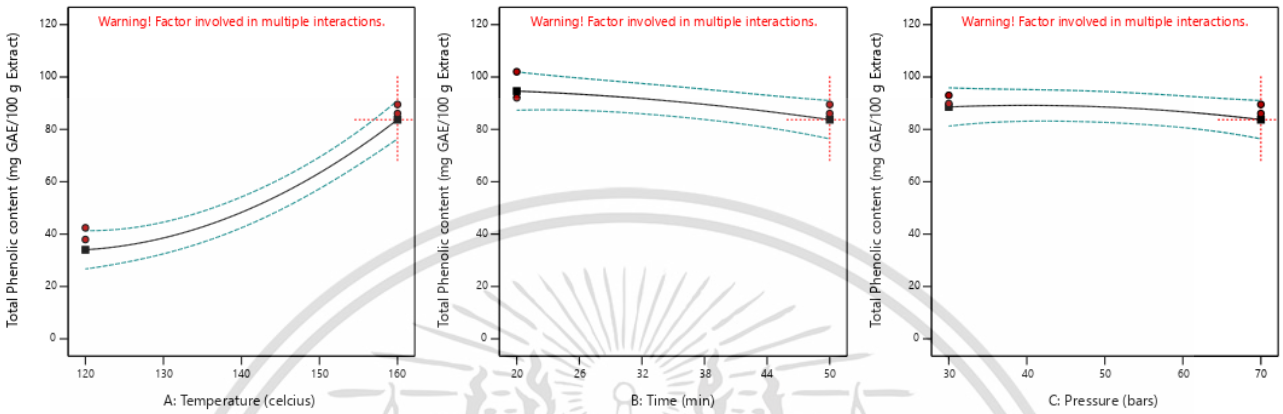
สามารถแทรกซึมเข้าสู่โมเลกุลของขิงง่ายขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sarip และคณะ (Sarip et al., 2014) ที่มีการศึกษาผลของสภาพขั้วในการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤตต่อสาระสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำกึ่งวิกฤตเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่เป็นค่าคงที่ที่บอกความเป็นขั้วของน้ำลดลง (ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสน้ำกึ่งวิกฤตจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 49.03 และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสน้ำกึ่งวิกฤตจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 39.17) จากการลดลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกทำให้ความสามารถในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารกึ่งมีขั้ว จึงต้องใช้ตัวทำละลายกึ่งมีขั้วในการเข้าทำละลาย และจากการลดลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้เพิ่มอัตราการแพร่ของโมเลกุลสารประกอบฟีนอลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลของเวลาต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด จากการสกัดในช่วงเวลา 20 ถึง 50 นาที แสดงดัง รูปที่ 4.6 (ข) พบว่าเมื่อทำการสกัดในช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดลดลง ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าเวลามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) เนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ไม่เสถียรในความร้อน สลายตัวเนื่องจากความร้อนได้ง่าย การใช้เวลาที่สกัดนานเกินไปจะส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกได้รับความร้อนเป็นเวลานานและเกิดการสลายตัว ทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Che Sulaiman และคณะ (Che Sulaiman et al., 2017) ที่ได้มีการศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายน้ำกับตัวทำละลายเอทานอลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของ *Clinacanthus nutans* Lindau leaves พบว่าเวลาในการสกัดที่ 80 นาทีให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 121.63 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมสารสกัด ซึ่งมากกว่าการสกัดที่เวลา 120 นาทีที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 99.50 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมสารสกัด เพราะสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ไม่เสถียรในความร้อน เมื่อสกัดด้วยความร้อนสูงเป็นระยะเวลานาน สารประกอบฟีนอลิกรวมจึงเกิดการสลายตัว ทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดลดน้อยลง

ผลของความดันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด จากการสกัดด้วยความดัน 30 ถึง 70 บาร์แสดงดัง รูปที่ 4.6 (ค) พบว่าความดันไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value > 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ความดันส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด เมื่อเพิ่มความดันในการสกัดจะส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากความดันมีผลต่อน้ำกึ่งวิกฤตเพียงเล็กน้อย ถึงแม้ว่าความดันจะเป็นปัจจัยที่ทำให้น้ำกึ่งวิกฤตมีสภาพขั้วลดลง แต่ความดันเป็นเพียงปัจจัยเสริมเท่านั้นไม่ใช่ปัจจัยหลัก หน้าที่หลักของความดันที่ส่งผลต่อน้ำกึ่งวิกฤตจึงมีเพียงแค่ทำให้น้ำกึ่งวิกฤตคงสถานะเป็นของเหลวเท่านั้น ไม่ได้มีส่วนช่วยในการทำให้น้ำกึ่งวิกฤตสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากขึ้นหรือน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Luthria (Luthria, 2008) ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับน้ำกึ่งวิกฤตในการสกัดผงพาสลีย์ (*Petroselinim crispum*) ด้วยกระบวนการสกัดน้ำกึ่งวิกฤต โดยมีศึกษาความดันในการสกัด 1000 psi 1250 psi และ 1500 psi พบว่าการเพิ่มความดันในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด



ก ข ค

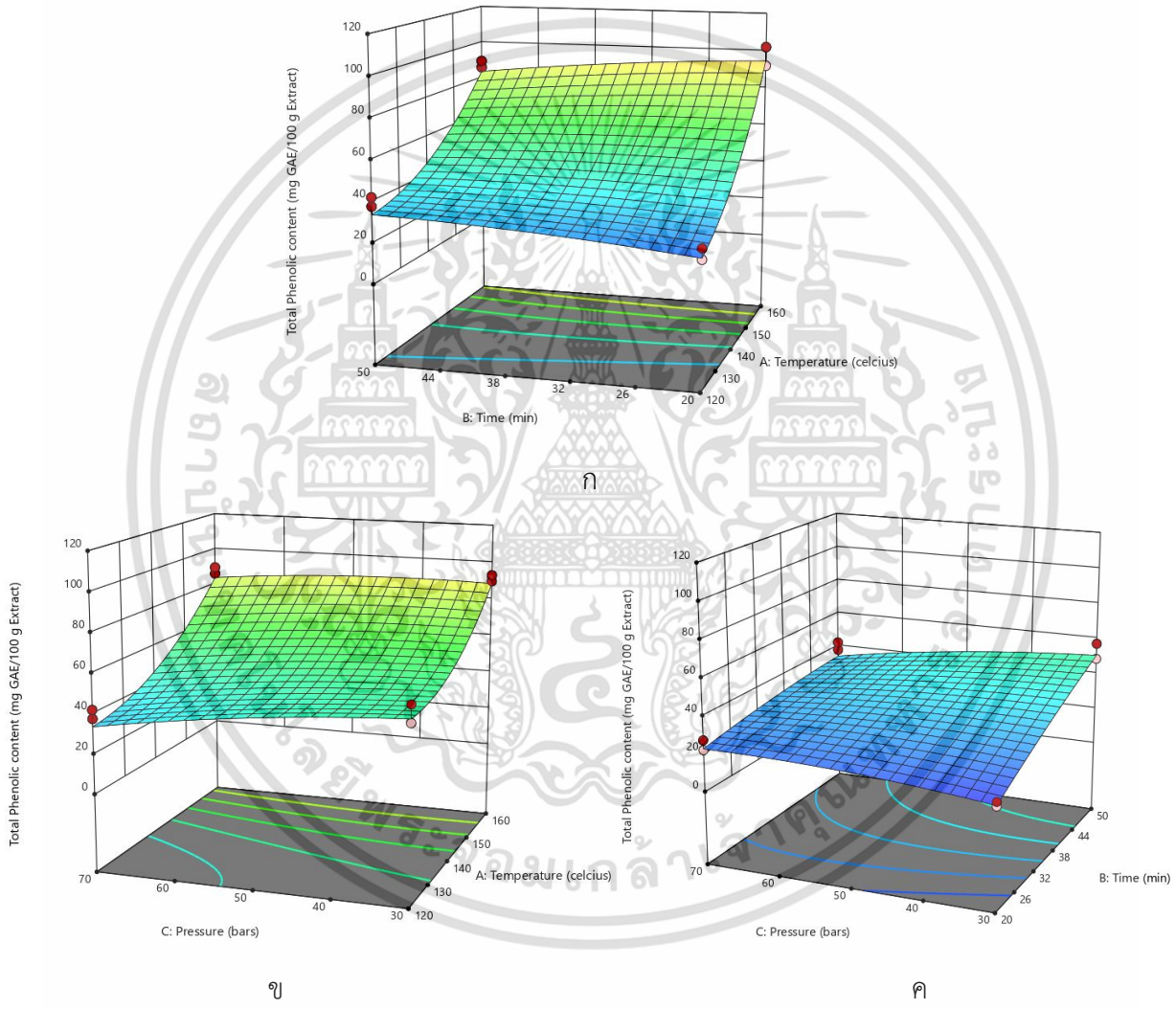
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของอุณหภูมิ (ก) เวลา (ข) และความดัน (ค) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด

อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด แสดงในรูปพื้นผิวตอบสนอง พบว่าอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลามีผลต่อปริมารสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) แสดงดังรูปที่ 4.7 (ก) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาในการสกัดลดลงจะส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ไม่เสถียรในความร้อน เมื่อได้รับความร้อนที่สูงเกินไปสารประกอบฟีนอลิกจะสลายตัว แต่การใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงจะลดแรงตึงผิวของน้ำกึ่งวิกฤตและลดสภาพขั้วของน้ำกึ่งวิกฤต ทำให้น้ำกึ่งวิกฤตสามารถแทรกซึมเข้าสู่โมเลกุลของขิงได้ดี ดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงจึงไม่สามารถใช้เวลานานในการสกัด เพราะการสกัดด้วยอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะทำให้สารประกอบฟีนอลิกสลายตัว

อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความดันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด แสดงดังรูปพื้นผิวตอบสนอง พบว่าอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความดันไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value > 0.05) แสดงดังรูปที่ 4.7 (ข) โดยเมื่อสังเกตจะพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเพิ่มขึ้น แต่ความดันที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลร่วมของเวลาและความดันต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด แสดงดังรูปพื้นผิวตอบสนอง พบว่าอิทธิพลร่วมของเวลาและความดันมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) แสดงดังรูปที่ 4.7 (ค) เมื่อใช้เวลาในการสกัดนานและความดันในการสกัดสูงจะส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดลดลง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบที่สลายตัวได้ง่าย เมื่อได้รับความดันที่สูงเกินไปเป็นเวลานานจะทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีความเครียดในโมเลกุลมากเกินจนเกิดการสลายตัว



รูปที่ 4.7 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (ก) ผลของอิทธิผลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับความดัน (ข) และผลของอิทธิพลร่วมระหว่างเวลากับความดัน (ค) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

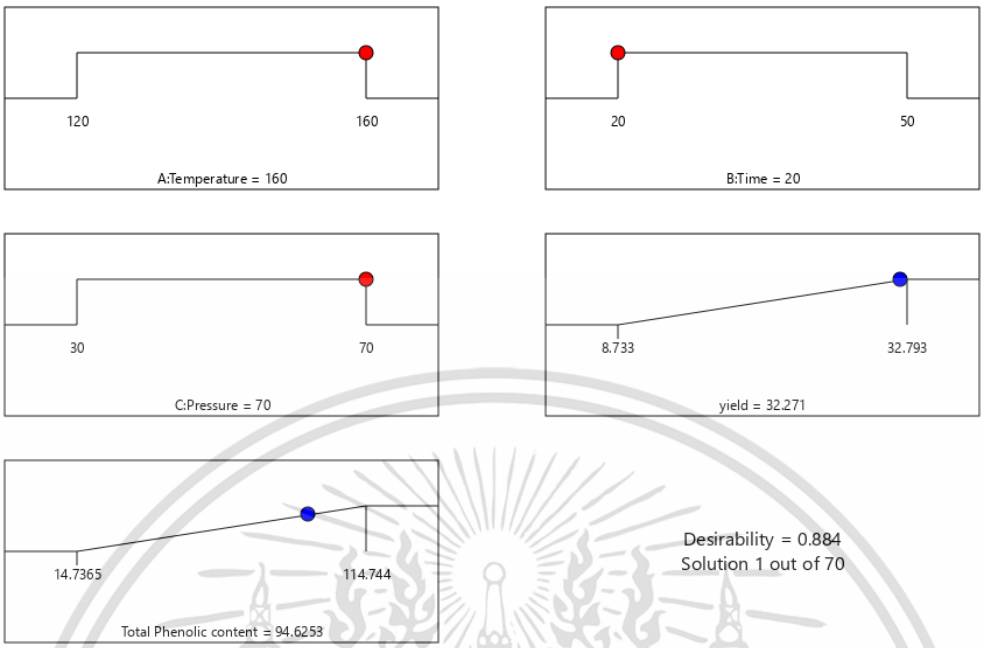
4.5 การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด โดยกำหนดอุณหภูมิในช่วงการทดลอง เวลาในช่วงการทดลอง ความดันในช่วงการทดลอง ร้อยละผลได้ของสารสกัดสูงที่สุด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.8

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม Design Expert version 13 พบว่าการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤตเพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดสูงที่สุด คือ อุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และความดัน 70 บาร์ ซึ่งจะได้ร้อยละผลได้ของสารสกัด 32.27 และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 94.63 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง โดยมีค่าความพึงพอใจรวม (Desirability) เท่ากับ 0.88

จากการเปรียบเทียบผลจากค่าจริงจากการทดลองกับค่าจากการคำนวณ พบว่าร้อยละผลได้ของสารสกัดจากการทดลองมีค่าน้อยกว่าร้อยละผลได้ของสารสกัดจากการคาดคะเนเล็กน้อย ร้อยละผลได้ของสารสกัดจากการทดลองคือ 31.87 แต่ร้อยละผลได้ของสารสกัดจากการคาดคะเนคือ 32.27 ซึ่งมีร้อยละความคลาดเคลื่อน 1.24 และพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากการทดลองมีค่ามากกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากการคาดคะเน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากการทดลองคือ 97.03 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากการคาดคะเนคือ 94.63 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง ซึ่งมีร้อยละความคลาดเคลื่อน 2.54 ดังแสดงในตาราง 4.5 จากความคลาดเคลื่อนที่ไม่ถึงร้อยละ 5 ของร้อยละผลได้ของสารสกัดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมสามารถเชื่อถือได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมระหว่างค่าจริงจากการทดลองกับค่าจากการคำนวณ

ปัจจัยในการสกัด	สภาวะที่เหมาะสม	ร้อยละผลได้ของสารสกัด (%)			ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด (มิลลิกรัม แกลลิก/กรัมขิงแห้ง)		
		ค่าจริง	ค่าจากการคำนวณ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน	ค่าจริง	ค่าจากการคำนวณ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
อุณหภูมิ เวลา ความดัน	160 °c 20 นาที 70 บาร์	31.87±0.93	32.27	1.24 %	97.03±4.97	94.63	2.54 %

4.6 เปรียบเทียบการสกัดขิงด้วยกระบวนการที่ต่างกัน

การเปรียบเทียบการสกัดขิงด้วยกระบวนการที่ต่างกันในการศึกษานี้ทำการทดลองเปรียบเทียบการสกัดขิงด้วย 2 กระบวนการ 3 ตัวทำละลาย คือ กระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตที่มีน้ำกึ่งวิกฤตเป็นตัวทำละลาย กระบวนการสกัด Soxhlet ที่มีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย และกระบวนการสกัด Soxhlet ที่มีเฮกเซนเป็นตัวทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลาย โดยมีการเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด แสดงดังตารางที่ 4.6

กระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตใช้อุณหภูมิในการสกัด 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และความดัน 70 บาร์ ใช้ตัวทำละลายน้ำกึ่งวิกฤตปริมาตร 200 มิลลิลิตร กระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเอทานอลใช้อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ใช้ตัวทำละลายเอทานอลในปริมาตร 300 มิลลิลิตร และกระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเฮกเซนใช้อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ใช้ตัวทำละลายเฮกเซนปริมาตร 300 มิลลิลิตร

พบว่าการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดมากกว่าการสกัดด้วยกระบวนการ Soxhlet (กระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตมีร้อยละผลได้ของสารสกัด 31.87 กระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเอทานอลมีร้อยละผลได้ของสารสกัด 11.81 และกระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเฮกเซนมีร้อยละผลได้ของสารสกัด 4.35) เนื่องจากกระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตสามารถสกัดคาร์โบไฮเดรตและองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ออกมาจากขิงได้ แต่กระบวนการสกัด Soxhlet สกัดออกมาได้เพียงแค่น้ำมัน ไม่สามารถสกัดองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ได้ จึงทำให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดจากกระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตมีค่ามากกว่า และพบว่ากระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเอทานอลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดมากกว่ากระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต (กระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเอทานอลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 160.12 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง กระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเฮกเซนให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 106.62 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง กระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 97.03 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง) เนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกของขิงอยู่ในองค์ประกอบของน้ำมันและเป็นสารที่กึ่งมีขั้ว ทำให้ตัวทำละลายเอทานอลที่ทำละลายสารกึ่งมีขั้วได้ดีสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมาได้มากกว่าตัวทำละลายอื่น ๆ และด้วยกระบวนการสกัด Soxhlet ที่สกัดน้ำมันได้ดี ทำให้หระบวนการสกัด Soxhlet สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ดีกว่ากระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

ถึงแม้ว่ากระบวนการสกัด Soxhlet ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดมากกว่ากระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต แต่กระบวนการน้ำกึ่งวิกฤตใช้น้ำที่เป็นตัวทำละลายที่สะอาด ไม่ใช้สารเคมี เป็นกระบวนการสกัดที่รักษาสิ่งแวดล้อม ใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อยกว่า และใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่ากระบวนการสกัด Soxhlet ค่อนข้างมาก รวมไปถึงกระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตไม่ทิ้งสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ทำให้การสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตเป็นที่นิยมในการใช้สกัดสารออกฤทธิ์ทางการแพทย์อย่างแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน

กระบวนการสกัด	สภาวะในการสกัด	ร้อยละผลได้ของสารสกัด (%)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง)
กระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต	160 °c 20 นาที 70 บาร์	31.87±0.93	97.03±4.97	13.50[a]
กระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเอทานอล	90 °c 8 ชั่วโมง	11.81±1.45	160.12±13.45	297.28[b]
กระบวนการสกัด Soxhlet ด้วยเฮกเซน	90 °c 8 ชั่วโมง	4.35±0.07	106.62±9.24	217.33[c]

ที่มา : [a] จากงานวิจัยของ Ghasemzadeh และคณะ (Ghasemzadeh et al., 2010)

[b] จากงานวิจัยของ Jaiswal และ Naik (Jaiswal & Naik, 2018)

[c] จากงานวิจัยของ Adaramola และ Onigbinde (Adaramola & Onigbinde, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการสกัดสารสำคัญจากขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และความดัน ต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัด โดยวางแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดสูงที่สุด โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองมาประยุกต์ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดสูงขึ้น เวลามีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละผลได้ของสารสกัดลดลง ในขณะที่ความดันไม่มีผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเพิ่มขึ้น เวลามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดลดลง ในขณะที่ความดันไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤตที่ให้ร้อยละผลได้ของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดสูงที่สุดคือ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และความดัน 70 บาร์ ซึ่งจะได้ร้อยละผลได้ของสารสกัด 32.27 และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด 94.63 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง อีกทั้งมีการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน คือ กระบวนการสกัด Soxhlet โดยมีเอทานอลและเฮกเซนเป็นตัวทำละลายกับกระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต พบว่ากระบวนการสกัด Soxhlet ได้ร้อยละผลได้ของสารสกัดน้อยกว่ากระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต แต่กระบวนการสกัด Soxhlet ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดมากกว่ากระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต อย่างไรก็ตามกระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตใช้ตัวทำละลายที่เป็นมิตรกับธรรมชาติ ไม่ทิ้งสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ ใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อยกว่า และใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าค่อนข้างมาก จากข้อดีที่กล่าวมาทำให้สรุปได้ว่ากระบวนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤตเป็นทางเลือกที่ดีกว่ากระบวนการสกัด Soxhlet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยในการสกัดอื่น ๆ เช่น อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายกับตัวอย่าง หรือขนาดอนุภาคของตัวอย่าง เพื่อให้สามารถทำการสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2.2 ควรศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เช่น น้ำกึ่งวิกฤตผสมกับเอทานอล หรือน้ำกึ่งวิกฤตผสมกับเมทานอล เพื่อเปรียบเทียบผลของตัวทำละลายผสมต่อการสกัดกับการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต

5.2.3 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสกัดด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิในช่วงการทดลอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดให้ได้ร้อยละผลได้ของสารสกัดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดสูงที่สุด

5.2.4 ควรลดจำนวนการทดลอง เนื่องจากใช้เวลาในการทดลองที่ค่อนข้างนาน

5.2.5 ควรมีการศึกษาการปรับสภาพขิงก่อนการสกัดด้วยน้ำกึ่งวิกฤต เช่น การปรับสภาพด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคก่อนการสกัด หรือการปรับสภาพขิงด้วยเอนไซม์ก่อนการสกัด เพื่อให้สกัดขิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Adaramola, B., & Onigbinde, A. (2017). Influence of extraction technique on the mineral content and antioxidant capacity of edible oil extracted from ginger rhizome. *Chem Int*, *3*(1), 1-7.

Akhani, S. P., Vishwakarma, S. L., & Goyal, R. K. (2004). Anti‐diabetic activity of Zingiber officinale in streptozotocin‐induced type I diabetic rats. *Journal of pharmacy and Pharmacology*, *56*(1), 101-105.

Anisa, N. I., Azian, N., Sharizan, M., & Iwai, Y. (2014). Temperature effects on diffusion coefficient for 6-gingerol and 6-shogaol in subcritical water extraction. *Journal of Physics: Conference Series*, *495*(1), 012009. https://doi.org/10.1088/1742-6596/495/1/012009

Asamenew, G., Kim, H.-W., Lee, M.-K., Lee, S.-H., Kim, Y. J., Cha, Y.-S., Yoo, S. M., & Kim, J.-B. (2019). Characterization of phenolic compounds from normal ginger (Zingiber officinale Rosc.) and black ginger (Kaempferia parviflora Wall.) using UPLC–DAD–QToF–MS. *European Food Research and Technology*, *245*, 653-665.

Basli, A., Belkacem, N., & Amrani, I. (2017). Health benefits of phenolic compounds against cancers. *Phenolic compounds-biological activity. London: InTechOpen*, *8*, 193-210.

Che Sulaiman, I. S., Basri, M., Fard Masoumi, H. R., Chee, W. J., Ashari, S. E., & Ismail, M. (2017). Effects of temperature, time, and solvent ratio on the extraction of phenolic compounds and the anti-radical activity of Clinacanthus nutans Lindau leaves by response surface methodology. *Chemistry Central Journal*, *11*(1), 1-11.

El-Ghorab, A. H., Nauman, M., Anjum, F. M., Hussain, S., & Nadeem, M. (2010). A comparative study on chemical composition and antioxidant activity of ginger (Zingiber officinale) and cumin (Cuminum cyminum). *Journal of agricultural and food chemistry*, *58*(14), 8231-8237.

Elboughdiri, N. (2018). Effect of time, solvent-solid ratio, ethanol concentration and temperature on extraction yield of phenolic compounds from olive leaves. *Eng. Technol. Appl. Sci. Res*, *8*, 2805-2808.

Essien, S., Young, B., & Baroutian, S. (2020). Subcritical water extraction for selective recovery of phenolic bioactives from kānuka leaves. *The Journal of Supercritical Fluids*, *158*, 104721.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z., & Rahmat, A. (2010). Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (Zingiber officinale Roscoe). *Molecules*, *15*(6), 4324-4333.

Guthrie, F., Wang, Y., Neeve, N., Quek, S. Y., Mohammadi, K., & Baroutian, S. (2020). Recovery of phenolic antioxidants from green kiwifruit peel using subcritical water extraction. *Food and Bioproducts Processing*, *122*, 136-144.

Hanis Mastura, Y., Hasnah, H., & Yap, Y. (2017). Total phenolic content and antioxidant capacities of instant mix spices cooking pastes. *International food research journal*, *24*(1).

Hu, J., Guo, Z., Glasius, M., Kristensen, K., Xiao, L., & Xu, X. (2011). Pressurized liquid extraction of ginger (Zingiber officinale Roscoe) with bioethanol: An efficient and sustainable approach. *Journal of Chromatography A*, *1218*(34), 5765-5773. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.06.088

Inthalaeng, N., Gao, Y., Remón, J., Dugmore, T. I., Ozel, M., Sulaeman, A. P., & Matharu, A. S. (2023). Ginger waste as a potential feedstock for a zero-waste ginger biorefinery: A review. *RSC Sustainability*.

Jaiswal, S. G., & Naik, S. (2018). Contribution of agricultural produce spice Zingiber officinale to a sustainable food system: green extraction and stability study of antioxidant compounds. *Open Agriculture*, *3*(1), 326-338.

Kiyama, R. (2020). Nutritional implications of ginger: chemistry, biological activities and signaling pathways. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, *86*, 108486. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108486

Ko, M.-J., Nam, H.-H., & Chung, M.-S. (2019). Conversion of 6-gingerol to 6-shogaol in ginger (Zingiber officinale) pulp and peel during subcritical water extraction. *Food Chemistry*, *270*, 149-155. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.078

Luthria, D. L. (2008). Influence of experimental conditions on the extraction of phenolic compounds from parsley (Petroselinum crispum) flakes using a pressurized liquid extractor. *Food Chemistry*, *107*(2), 745-752.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

Ma, X., Jing, J., Wang, J., Xu, J., & Hu, Z. (2020). Extraction of low methoxyl pectin from fresh sunflower heads by subcritical water extraction. *ACS omega*, *5*(25), 15095-15104.

Malu, S., Obochi, G., Tawo, E., & Nyong, B. (2009). Antibacterial activity and medicinal properties of ginger (Zingiber officinale). *Global Journal of pure and applied Sciences*, *15*(3-4).

Mokhtar, N., Nordin, M., & Morad, N. (2018). Total phenolic content, total flavonoid content and radical scavenging activity from zingiber zerumbet rhizome using subcritical water extraction. *International Journal of Engineering*, *31*(8), 1421-1429.

Mošovská, S., Nováková, D., & Kaliňák, M. (2015). Antioxidant activity of ginger extract and identification of its active components. *Acta Chimica Slovaca*, *8*(2), 115-119.

Mughal, M. H. (2019). Spices: a review on diabetes mellitus. *Biomed. J. Sci. Technol. Res*, *15*, 11651-11657.

Nourbakhsh Amiri, Z., Najafpour, G. D., Mohammadi, M., & Moghadamnia, A. A. (2018). Subcritical Water Extraction of Bioactive Compounds from Ginger (Zingiber officinale Roscoe). *International Journal of Engineering*, *31*(12), 1991-2000. https://www.ije.ir/article_82257_36ee5f4db8e4138b9b5f4365e016c6ce.pdf

Sarip, M. S. M., Morad, N. A., Ali, N. A. M., Yusof, Y. A. M., & Yunus, M. A. C. (2014). The kinetics of extraction of the medicinal ginger bioactive compounds using hot compressed water. *Separation and Purification Technology*, *124*, 141-147.

Shadmani, A., Azhar, I., Mazhar, F., Hassan, M. M., Ahmed, S. W., Ahmad, I., Usmanghani, K., & Shamim, S. (2004). Kinetic studies on Zingiber officinale. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, *17*(1), 47-54.

Singh, N., & Yadav, S. S. (2022). A review on health benefits of phenolics derived from dietary spices. *Current Research in Food Science*.

Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P., & Gargova, S. (2007). Antioxidant activity of a ginger extract (Zingiber officinale). *Food Chemistry*, *102*(3), 764-770. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.023

Vernin, G., & Parkanyi, C. (2016). Chemistry of ginger. In *Ginger* (pp. 107-200). CRC Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

Wang, Z., Li, S., Ge, S., & Lin, S. (2020). Review of distribution, extraction methods, and health benefits of bound phenolics in food plants. *Journal of agricultural and food chemistry*, *68*(11), 3330-3343.

Xu, B., Ganesan, K., Mickymaray, S., Alfaiz, F. A., Thatchinamoorthi, R., & Al Aboody, M. S. (2020). Immunomodulatory and antineoplastic efficacy of common spices and their connection with phenolic antioxidants. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, *3*(2), 15-31.

Yeh, H.-y., Chuang, C.-h., Chen, H.-c., Wan, C.-j., Chen, T.-l., & Lin, L.-y. (2014). Bioactive components analysis of two various gingers (Zingiber officinale Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. *LWT - Food Science and Technology*, *55*(1), 329-334. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.003

สายพุฒิกสิกร, น. (2010). การสกัดองค์ประกอบที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพจากอบเชยเทศโดยใช้น้ำกึ่งวิกฤต มหาวิทยาลัย ศิลปากร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 การคำนวณปริมาณร้อยละผลได้ของสารสกัด (% Yield)

สูตรการคำนวณ

$$\text{ร้อยละผลได้ของสารสกัด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างสารสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ : น้ำหนักตัวอย่างสารสกัด = 3.83 กรัม

น้ำหนักตัวอย่าง = 20.00 กรัม

จะได้ว่า

$$\text{ร้อยละผลได้ของสารสกัด (\%)} = \frac{3.83}{20.00} \times 100 = 19.15\ \%$$

ก.2 การคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัด (Total Phenolic Content; TPC)

สูตรการคำนวณ

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง)} = \frac{\mathbf{C}\times\mathbf{V}\times\text{ระดับความเจือจาง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

โดยที่ C คือ ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง)

V คือ ปริมาตรของสารสกัด (มิลลิลิตร)

ตัวอย่างการคำนวณ : C = 0.13 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/มิลลิลิตร

V = 70.50 มิลลิลิตร

ระดับความเจือจาง = 100

น้ำหนักตัวอย่าง = 20.00 กรัม

จะได้ว่า

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง)} = \frac{\mathbf{0.13\times70.50\times100}}{\mathbf{20.00}}$$

= 45.83 มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมขิงแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 การคำนวณหาปริมาณความชื้น

สูตรการคำนวณ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้}(\mathbf{W\text{-}W_1})\text{-น้ำหนักแห้ง}(\mathbf{W\text{-}W_2})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น } (\mathbf{W\text{-}W_1})} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ : น้ำหนักเริ่มต้น = 5.00 กรัม

น้ำหนักแห้ง = 4.30 กรัม

จะได้ว่า

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\mathbf{5.00\text{-}4.30}}{\mathbf{5.00}} \times 100 = 14.00\ \%$$

ก.4 การคำนวณหาปริมาณเถ้า

สูตรการคำนวณ

$$\text{เถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักเถ้าหลังเผา-น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง}}{\text{น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์-น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ : น้ำหนักถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักหลังเผา = 24.90 กรัม

น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง = 24.60 กรัม

น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ = 29.60 กรัม

จะได้

$$\text{เถ้า (\%)} = \frac{\mathbf{24.90\text{-}24.60}}{\mathbf{29.60\text{-}24.60}} \times 100 = 6.00\ \%$$

ก.5 การคำนวณหาปริมาณโปรตีน

สูตรคำนวณ

$$\text{ไนโตรเจน (\%)} = \frac{(\text{ปริมาณของไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง-ปริมาณของไฮโดรคลอริกที่ใช้กับ } \mathbf{blank}) \times \text{ความเข้มข้นของไฮโดรคลอริกที่ใช้} \times \mathbf{14}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times \mathbf{1000}} \times 100$$

$$\text{โปรตีน (\%)} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25$$

ตัวอย่างการคำนวณ : ปริมาณของไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง = 6.40 มิลลิลิตร

ปริมาณของไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรทกับ blank = 0.20 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นของไฮโดรคลอริกที่ใช้ = 0.1 นอมอล

น้ำหนักของตัวอย่าง = 1.00 กรัม

ไนโตรเจน (%) = 0.87 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\text{ไนโตรเจน (\%)} = \frac{(6.40\text{-}0.20)\times 0.1\times 14}{1.00\times 1000} \times 100 = 0.87\ \%$$

$$\text{โปรตีน (\%)} = 0.87 \times 6.25 = 5.43\ \%$$

ก.6 การคำนวณหาปริมาณไขมัน

สูตรคำนวณ

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันหลังสกัด-น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ : น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันหลังสกัด = 141.33 กรัม
น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันก่อนสกัด = 141.27 กรัม
น้ำหนักตัวอย่าง = 2.00 กรัม

จะได้

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{141.33\text{-}141.27}{2.00} \times 100 = 3.21\ \%$$

ก.7 การคำนวณหาปริมารเส้นใย

สูตรคำนวณ

$$\text{เส้นใย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังอบแห้ง-น้ำหนักของถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ : น้ำหนักของถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังอบแห้ง = 29.82 กรัม
น้ำหนักของถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังเผา = 29.68 กรัม
น้ำหนักของตัวอย่าง = 1.00 กรัม

จะได้

$$\text{เส้นใย (\%)} = \frac{29.82\text{-}29.68}{1.00} \times 100 = 13.13\ \%$$

ก.8 การคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรท

สูตรคำนวณ

$$\text{คาร์โบไฮเดรท (\%)} = 100\text{-เถ้า}(\%)\text{-โปรตีน}(\%)\text{-ไขมัน}(\%)\text{-เส้นใย}(\%)$$

ตัวอย่างการคำนวณ : เถ้า = 6.00 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีน = 5.43 %

ไขมัน = 3.21 %

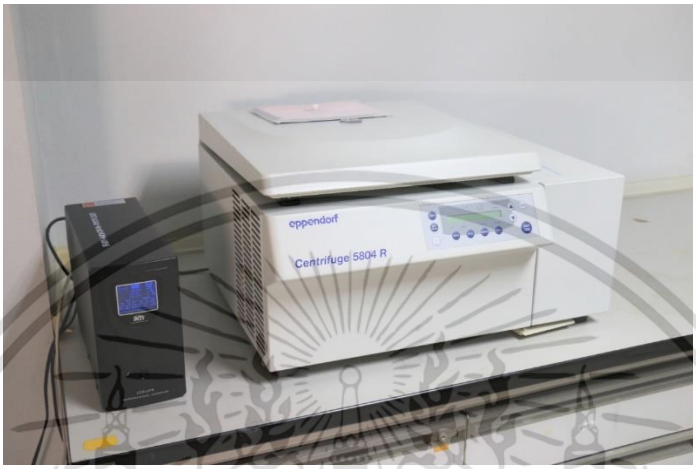
เส้นใย = 13.13 %

จะได้

คาร์โบไฮเดรท (%) = $100\text{-}6.00\text{-}5.43\text{-}3.21\text{-}13.13 = 72.23\ \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
เครื่องมือและวิธีการ



ภาพที่ ข.1 เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Eppendorf รุ่น 5804R)

วิธีการใช้งาน

1. เปิดสวิตช์ เปิด/ ปิด ทางด้านขวามือของตัวเครื่อง จากนั้นกดปุ่ม Power เพื่อเริ่มการใช้งาน

2. เปิดฝาเครื่องใส่ Rotor ตามขนาดหลอดที่จะใช้ปั่นเหวี่ยง ปิดผาเครื่องจากนั้นตั้งค่าอุณหภูมิ จำนวนรอบ และเวลาที่ต้องการ

3. การตั้งค่าอุณหภูมิ ความเร็วรอบ และเวลา ทำโดยกดปุ่มที่ต้องการตั้งค่าค้างไว้ สังเกตตัวเลขที่กระพริบแล้วจึงกดปุ่มลูกศรปรับขึ้นปรับลงเพื่อให้ได้ค่าต่าง ๆ ตามที่ต้องการ รอจนตัวเลขไม่กระพริบถือว่าทำการตั้งค่าเครื่องสำเร็จแล้ว

4. กดปุ่ม Start เพื่อเป็นการวอล์มเครื่องจนได้อุณหภูมที่ต้องการ

5. นำตัวอย่างใส่ลงในหลอด เปิดฝาเครื่องและนำตัวอย่างใส่ลงในช่องอะแดปเตอร์ให้มีความสมดุลกัน ปิดฝาเครื่อง และกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มต้นการใช้งาน (ควรชั่งน้ำหนักหลอด และตัวอย่างให้มีปริมาณเท่า ๆ กันทุกหลอดเพื่อให้เกิดความสมดุลในขณะที่เครื่องทำการปั่นเหวี่ยง)

6.เมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้เครื่องจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ รอจนมีไฟขึ้นที่ปุ่ม Open จึงเปิดฝาเครื่อง และนำตัวอย่างออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข.2 เครื่องวัดค่าความดูดกลืนแสง (Thermo รุ่น Genesys 20)

วิธีการใช้งาน

1.เปิดสวิตช์ ON/OFF ทางด้านหลังของตัวเครื่อง และทำการเปิดเครื่องทิ้งไว้เป็นเวลเพื่อเป็นการวอล์มเครื่องก่อนเริ่มใช้งาน

2.เมื่อวอล์มเครื่องเป็นเวลา 30 นาที แล้วสามารถเลือกค่าความดูดกลืนแสงที่ต้องการ สามารถตั้งค่าโดยกดที่ลูกศรขึ้นลงสีน้ำเงินที่มีอักษร nm

3. เมื่อได้ค่าความดูดกลืนแสงที่ต้องการแล้ว ให้กดปุ่ม " 0 ABS 100% T " เพื่อให้ค่าความดูดกลืนแสงเป็น 0.000 nm

4.นำตัวอย่างใส่ลงในคิวเวต เปิดฝาเครื่องและนำตัวอย่างใส่ลงในช่อง ปิดฝา และรอค่าแสดงบนจอเมื่อจดบันทึกค่าที่ได้บนจอแสดงบน เปิดฝาเครื่อง และนำตัวอย่างออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

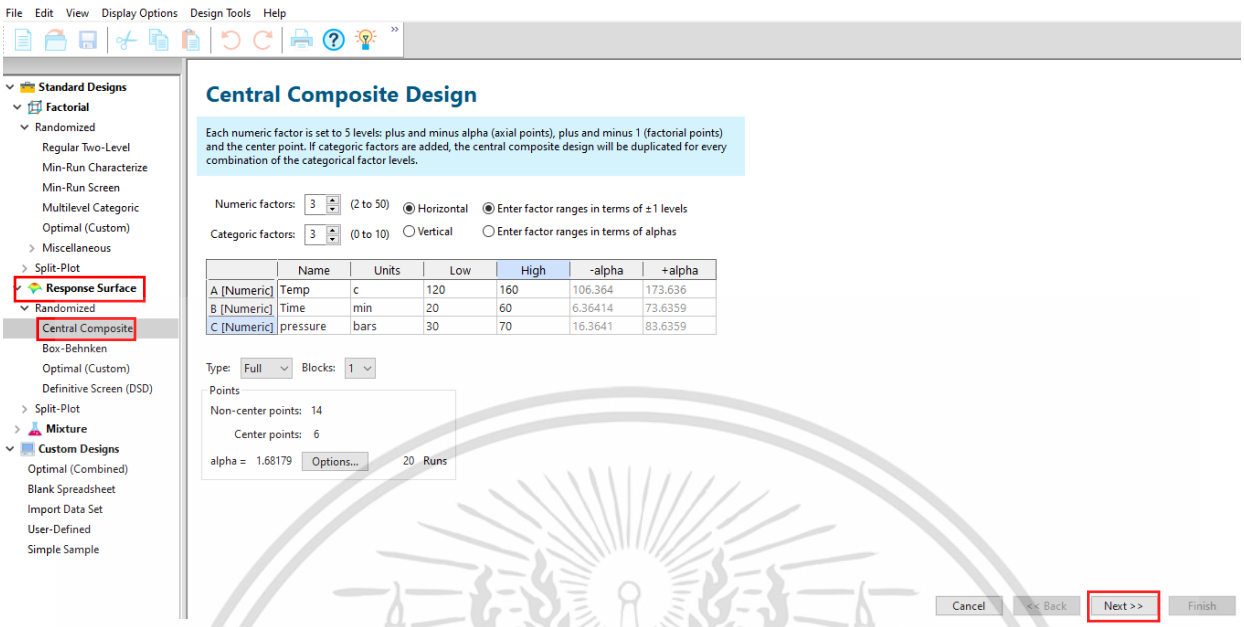
การใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์

ค.1 การใช้โปรแกรม Design Expert version 13

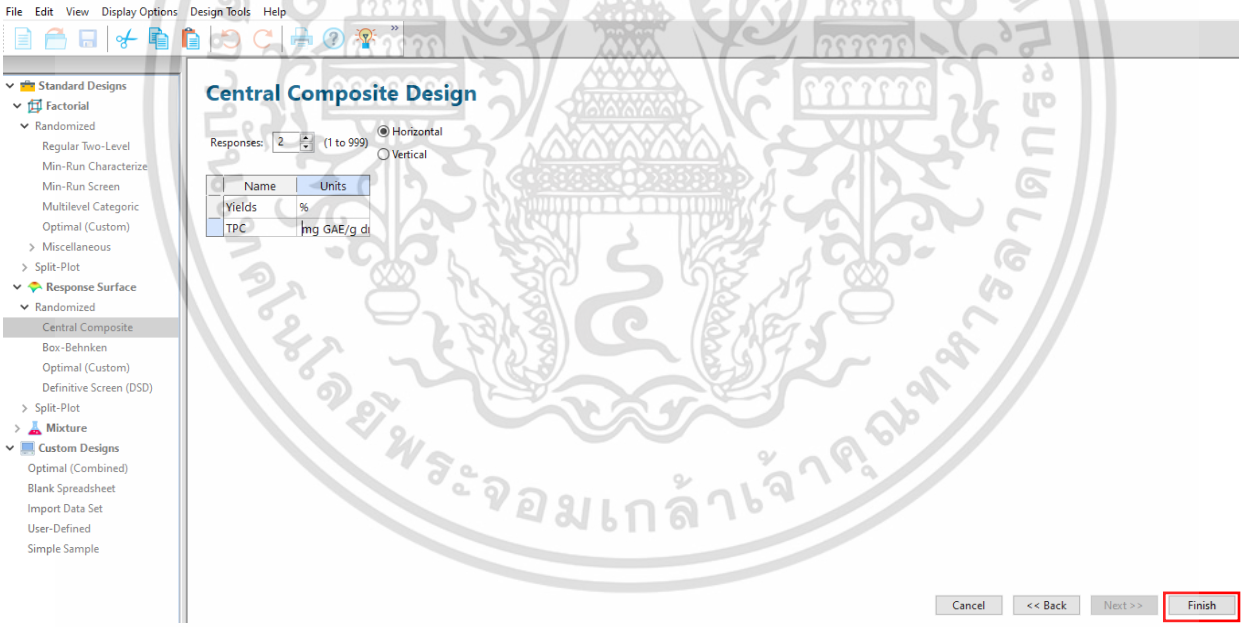
เปิดโปรแกรม Design Expert version 13 และกดเลือกคำว่า “New Design” และทำการเลือกการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Respond Surface Method (RMS) และทำการเลือกแบบการทดลองที่ต้องการจะศึกษา กำหนดตัวแปรต่างๆ หน่วยของตัวแปร รวมทั้งกำหนดค่าสูงสุด และต่ำสุดของแต่ละปัจจัย เลือก “Central Composite” โดยกดเลือกปัจจัย 3 ปัจจัย กำหนดจำนวนซ้ำตามต้องการ แล้วกด “Next” แสดงดังรูปที่ ค.1 และ ค.2 จากนั้นเลือกผลการวิเคราะห์ และกด Finish เพื่อให้โปรแกรมสร้างตารางการทดลอง ดังรูปที่ ค.3

รูปที่ ค.1 การเปิดโปรแกรม Design Expert version 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



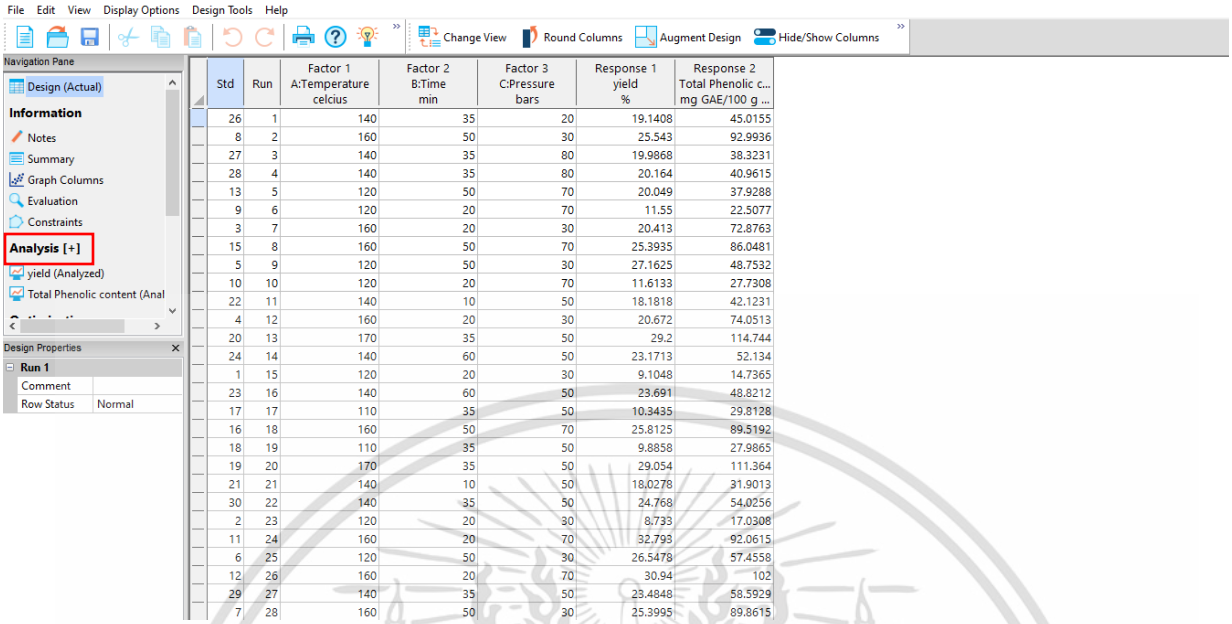
รูปที่ ค.2 การเลือกการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Response Surface Methods (RSM) และการเลือกการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD)



รูป ค.3 การเลือกใส่ผลการวิเคราะห์

ใส่ค่าที่ได้จากการทดลองลงในตาราง และทำการดูผลวิเคราะห์ของโปรแกรม โดยกดแถบ Analysis โดยสามารถเลือกดูผลของแต่ละตัวแปรได้ ดังรูปที่ ค.4

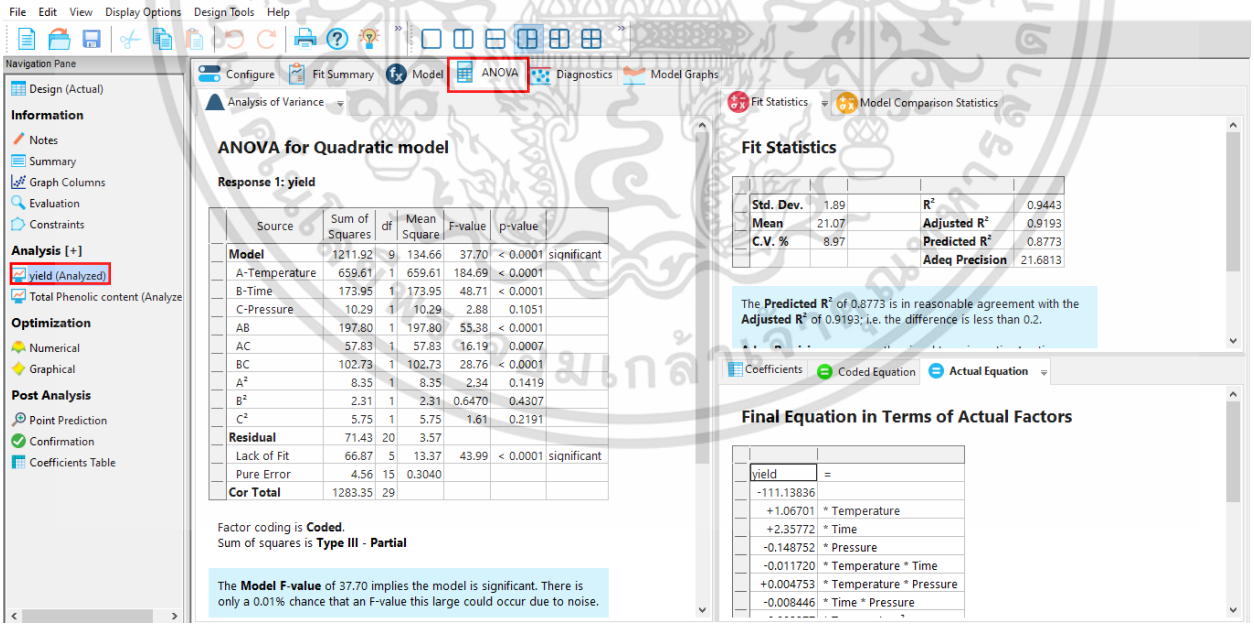
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Std	Run	Factor 1 A:Temperature celcius	Factor 2 B:Time min	Factor 3 C:Pressure bars	Response 1 yield %	Response 2 Total Phenolic c... mg GAE/100 g ...
26	1	140	35	20	19.1408	45.0155
8	2	160	50	30	25.543	92.9936
27	3	140	35	80	19.9868	38.3231
28	4	140	35	80	20.164	40.9615
13	5	120	50	70	20.049	37.9288
9	6	120	20	70	11.55	22.5077
3	7	160	20	30	20.413	72.8763
15	8	160	50	70	25.3935	86.0481
5	9	120	50	30	27.1625	48.7532
10	10	120	20	70	11.6133	27.7308
22	11	140	10	50	18.1818	42.1231
4	12	160	20	30	20.672	74.0513
20	13	170	35	50	29.2	114.744
24	14	140	60	50	23.1713	52.134
1	15	120	20	30	9.1048	14.7365
23	16	140	60	50	23.691	48.8212
17	17	110	35	50	10.3435	29.8128
16	18	160	50	70	25.8125	89.5192
18	19	110	35	50	9.8858	27.9865
19	20	170	35	50	29.054	111.364
21	21	140	10	50	18.0278	31.9013
30	22	140	35	50	24.768	54.0256
2	23	120	20	30	8.733	17.0308
11	24	160	20	70	32.793	92.0615
6	25	120	50	30	26.5478	57.4558
12	26	160	20	70	30.94	102
29	27	140	35	50	23.4848	58.5929
7	28	160	50	30	25.3995	89.8615

รูปที่ ค.4 การใส่ผลการทดลอง

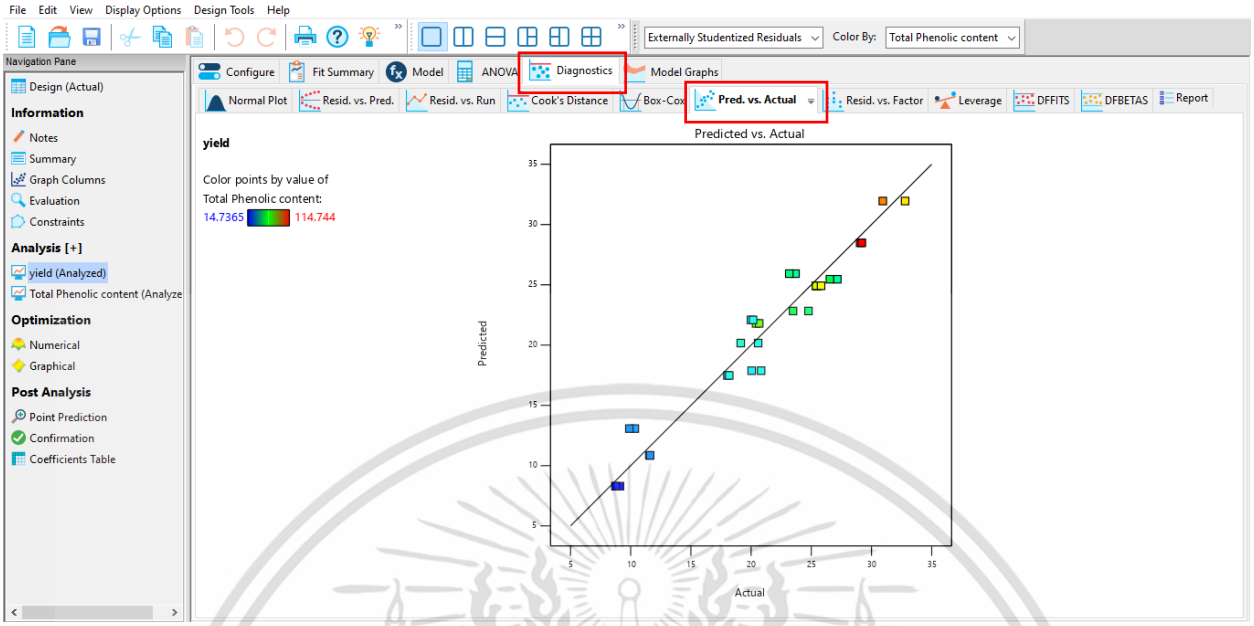
โปรแกรมจะทำการสรุปผล และประมวลผลการทดลองให้ได้ Model ที่เหมาะสมกับการทดลองและสามารถดูผลการวิเคราะห์จากแถบเครื่องมือด้านบน ซึ่งจะมีผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ ค.5 , ค.6, ค.7 และ ค.8



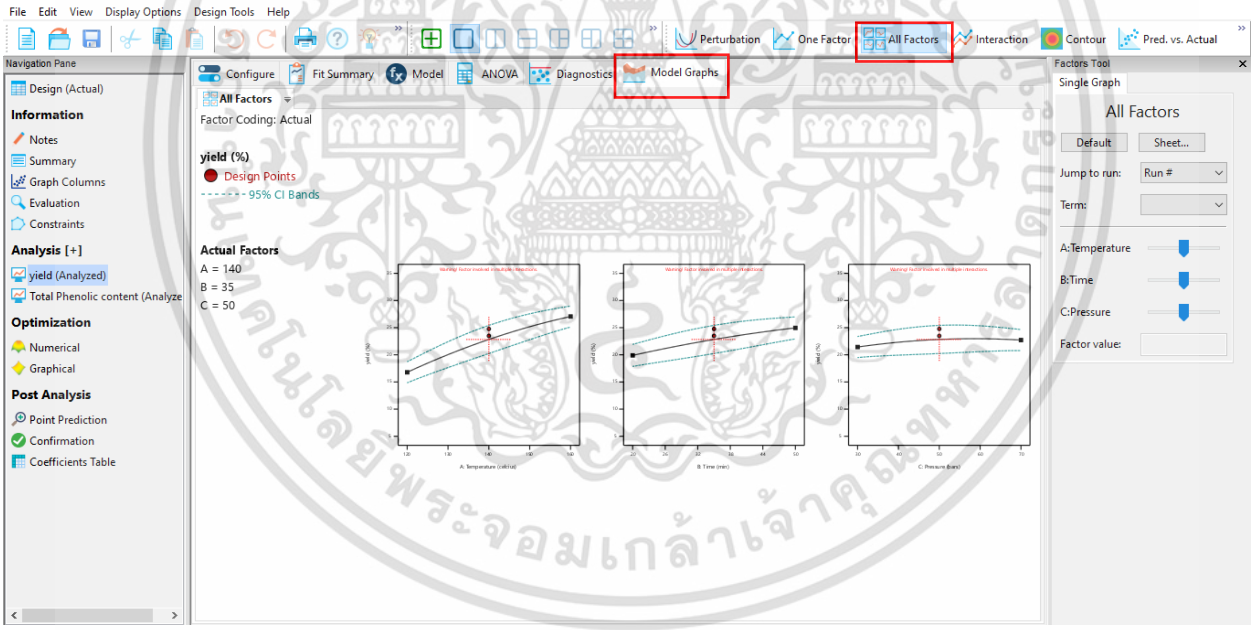
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1211.92	9	134.66	37.70	< 0.0001	significant
A-Temperature	659.61	1	659.61	184.69	< 0.0001	
B-Time	173.95	1	173.95	48.71	< 0.0001	
C-Pressure	10.29	1	10.29	2.88	0.1051	
AB	197.80	1	197.80	55.38	< 0.0001	
AC	57.83	1	57.83	16.19	0.0007	
BC	102.73	1	102.73	28.76	< 0.0001	
A^2	8.35	1	8.35	2.34	0.1419	
B^2	2.31	1	2.31	0.6470	0.4307	
C^2	5.75	1	5.75	1.61	0.2191	
Residual	71.43	20	3.57			
Lack of Fit	66.87	5	13.37	43.99	< 0.0001	significant
Pure Error	4.56	15	0.3040			
Cor Total	1283.35	29				

รูปที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์ตาราง ANOVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

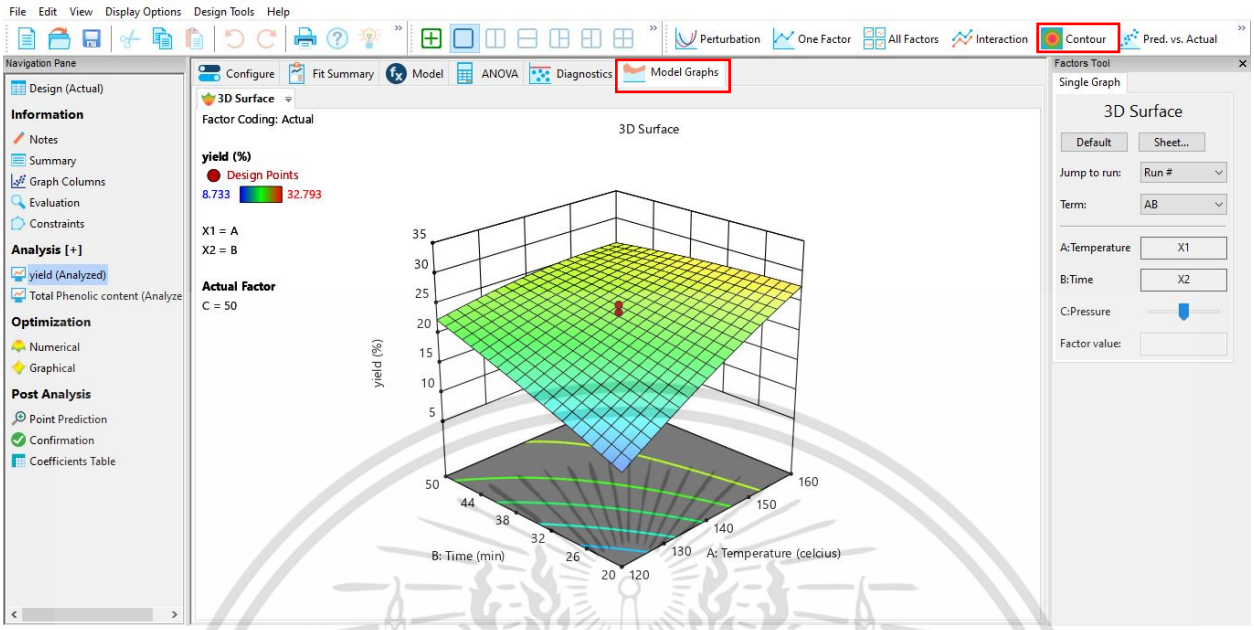


รูปที่ ค.6 กราฟความสัมพันธ์ของปัจจัยในการสกัดแบบ Predicted vs Actual



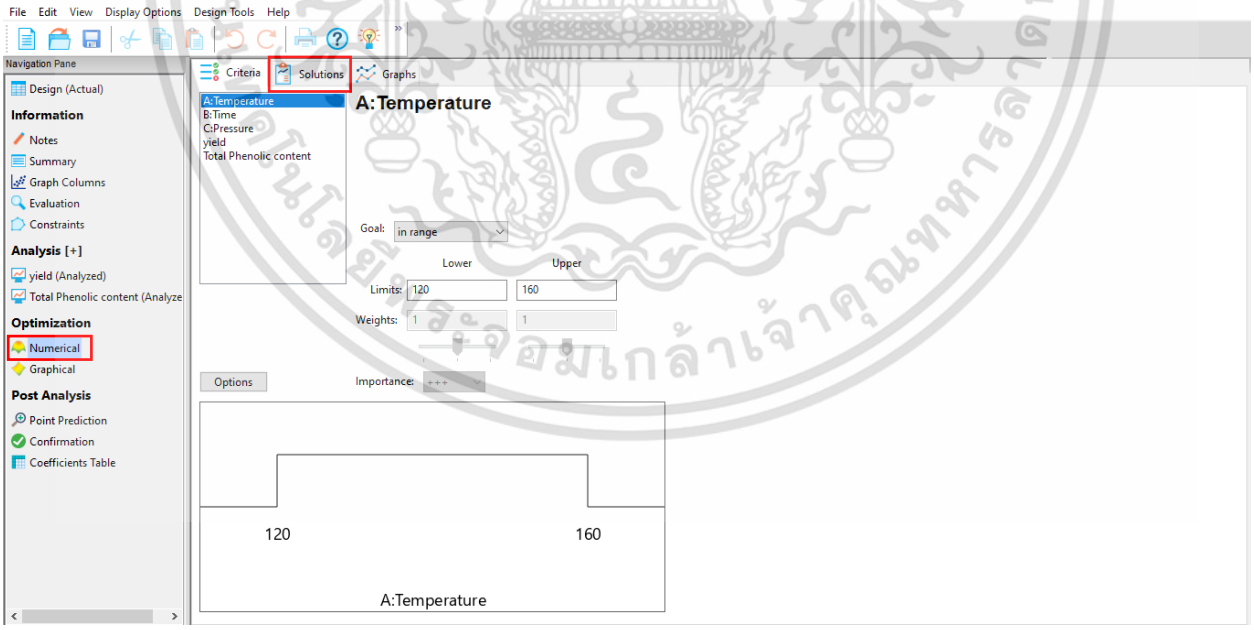
รูปที่ ค.7 กราฟความสัมพันธ์ปัจจัยในการสกัดแบบ All Factors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.8 กราฟความสัมพันธ์ของอิทธิพบร่วมของปัจจัยในการสกัดแบบ 3D Surface

ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยการเลือกไปที่ Numerical โดยสามารถเลือกค่าตัวแปรได้ว่าต้องการให้ได้ค่าสูงที่สุด ต่ำที่สุด หรือภายในช่วงการทดลอง จากนั้นกดแถบ Solution เพื่อให้โปรแกรมได้ทำการวิเคราะห์ผล ดังรูปที่ ค.9



รูปที่ ค.9 การหาสภาวะที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ภาพประกอบการทดลอง

ภาพที่ ง.1 ขิงที่ยังไม่ได้ผ่านการอบแห้ง

ภาพที่ ง.2 ขิงที่ผ่านการอบแห้งแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ง.3 ขิงผง

ภาพที่ ง.4 ตัวอย่างตะกอนของสารสกัดจากขิงหลังการปั่นเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ง.5 สารสกัดจากขิงที่ผ่านการอบแห้ง

ภาพที่ ง.6 ตัวอย่างขิงหลังการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ง.7 เครื่องสกัด Soxhlet Extraction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววริศรา ผาธรรมชาติ
วัน เดือน ปี เกิด	4 กรกฎาคม 2544
ประวัติการศึกษา	จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนโพธิสารพิทยากร
ปัจจุบัน	กำลังศึกษาในคณะอุตสาหกรรมอาหาร หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทำงานวิจัย	การสกัดสารสำคัญจากขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต The Extraction of Bioactive Compound from Ginger (Zingiber officinale) by Subcritical Water Extraction
รางวัลที่เคยได้รับ	-
ชื่อ-นามสกุล	นายสุวิทัศน์ สุขโรจน์
วัน เดือน ปี เกิด	14 มีนาคม 2544
ประวัติการศึกษา	จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนโพธิสารพิทยากร
ปัจจุบัน	กำลังศึกษาในคณะอุตสาหกรรมอาหาร หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทำงานวิจัย	การสกัดสารสำคัญจากขิงด้วยน้ำกึ่งวิกฤต The Extraction of Bioactive Compound from Ginger (Zingiber officinale) by Subcritical Water Extraction
รางวัลที่เคยได้รับ	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้