การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายธรรมชาติต่อการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพด

Efficiency comparison of natural solvent for the extraction of ferulic acid from corn bran

กมลฉัตร วงศ์จินดา
ชญานุชต์ บุญสร้าง
ชณิดาภา รุ่งเรืองยศ

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายธรรมชาติต่อการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพด

Efficiency comparison of natural solvent for the extraction of ferulic acid from corn bran

จัดทำโดย

กมลฉัตร	วงศ์จินดา	รหัสนักศึกษา 58080003
ชญานุชต์	บุญสร้าง	รหัสนักศึกษา 58080022
ชณิดาภา	รุ่งเรืองยศ	รหัสนักศึกษา 58080023

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก ดร. ปาจรีย์ อิงคะสุภัทร

ปาจรีย์ อิงคะสุภัทร .... 20 / มิ.ย. / 62

(ดร. ปาจรีย์ อิงคะสุภัทร)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายธรรมชาติต่อการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพด

ชื่อนักศึกษา กมลฉัตร วงศ์จินดา รหัสนักศึกษา 58080003

ชญานุชต์ บุญสร้าง รหัสนักศึกษา 58080022

ชณิดาภา รุ่งเรืองยศ รหัสนักศึกษา 58080023

หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

พ.ศ. 2562

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ปาจรีย์ อิงคะสุภัทร

บทคัดย่อ

กรดเฟอรูลิก (Ferulic acid) คือ สารประกอบประเภทฟีนอลิก (Phenolic compound) ซึ่งเป็นสารพฤกษเคมี (Phytochemicals) กลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenol) กรดเฟอรูลิกส่วนมากในธรรมชาติอยู่ในรูปของ ทรานส์เฟอรูลิก (Trans-Ferulic acid) โดยเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์และอยู่ร่วมกับสารประกอบลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ซึ่งช่วยให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรง ประโยชน์ของกรดเฟอรูลิกในด้านสุขภาพ คือ มีส่วนช่วยทำให้ระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายมีประสิทธิภาพ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยต่อต้านการแก่ (Aging) ป้องกันการเกิดเซลล์มะเร็ง โรคหัวใจ ไข้หวัด รักษาสุขภาพของกล้ามเนื้อ ป้องกันมะเร็งผิวหนัง และบำรุงสมองได้ ผลการวิจัยของ มหาวิทยาลัยคอร์เนลล์แห่งสหรัฐอเมริกา รายงานว่าความร้อนส่งผลให้กรดเฟอรูลิกในข้าวโพดหวานมีปริมาณสูงขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำกากข้าวโพดซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำนมข้าวโพด มาทำการสกัดเพื่อหาปริมาณกรดเฟอรูลิก โดยการใช้ตัวทำละลายธรรมชาติร่วมกับการใช้ความร้อน จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า น้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าวเป็นตัวทำละลายธรรมชาติที่ให้ประสิทธิภาพในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพดสูงสุด ในสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายธรรมชาติชนิดอื่น ได้แก่ น้ำปูนใส และน้ำด่าง โดยมีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำละลายควบคุม ดังนั้น น้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าวจึงถูกเลือกมาเพื่อหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณกรดเฟอรูลิก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด การทดลองถูกออกแบบโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) แบบประสมกลาง (CCD) โดยมีปัจจัยที่พิจารณา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาในการสกัด ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดรำข้าวโพดเพื่อให้ได้ปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงสุด คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 15.45 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะการสกัดรำข้าวโพดที่อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 20.90 นาที และสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 131 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 27.57 นาที เป็นสภาวะที่ทำให้สารสกัดจากรำข้าวโพดมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด ตามลำดับ

คำสำคัญ: กรดเฟอรูลิก การสกัดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติ น้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว หม้อนึ่งความดันไอน้ำ โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง สารต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Efficiency compirason of natural solvent for the extraction of ferulic acid from corn bran		
Student name	Kamolchat	Wongjinda	Student ID 58080003
	Chayanuch	Boonsrang	Student ID 58080022
	Chanidapa	Roongruangyot	Student ID 58080023
Program	Bachelor of Science in Food Science and Technology		
Year	2019		
Advisor	Dr. Pajaree Ingkasupart		

ABSTRACT

Ferulic acid is a phenolic compound which is a polyphenol phytochemical substance. Ferulic acid is mostly in trans-ferulic acid form. It is a component of plant cell wall and coexists with lignocellulose compound with promoting its strength. Benefits of the ferric acid are as follows; help the body's immune system, nourish the brain, and also prevent aging, cancer cells, heart disease, flu, and skin cancer. Research result from the Cornell University of the United States reported that treated sweet corn in high temperature resulted in high ferric acid content. Therefore, the objective of this research was to use a corn residue, waste from the corn milk production process, as a source of ferulic acid to extract by using different kind of natural solvents including ash lye water, alkaline water, lime water and sodium hydroxide as a control with high temperature. It was found that corn bran extracted with ash lye water showed the highest of ferric acid content at the condition of 121 degrees Celsius for 20 minutes. Therefore, the ash lye water was selected to use as an extractant of finding an optimum extraction condition for ferulic acid, antioxidant activity, and total phenolic content. The experiment was designed by using the Response Surface Methodology (RSM) with Central Composite Design (CCD) which is consisting of two factors that are extraction temperature and extraction time. The results showed that the optimum extraction condition to get the highest of ferulic acid content from the corn bran is at 111 degrees Celsius for 15.45 minutes. In addition, to have the highest of antioxidant activity and total phenolic content, the optimum extraction condition should be set at 111 degrees Celsius for 20.91 minutes and 131 degrees Celsius for 27.58 minutes, respectively.

Keywords: Ash lye water, Corn bran, Ferulic acid, Natural solvent extraction, High-Performance Liquid Chromatography, Response Surface Methodology (RSM)

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสัมนนาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ ดร. ปาจรีย์ อิงคะสุภัทรอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านคอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งนักต่อการทำรายงานสัมมนาเล่มนี้ อีกทั้งยังคอยช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ รวมถึงตรวจสอบ แก้ไขจุดบกพร่องต่างๆที่เกิดในระหว่างการทำรายงานของผู้จัดทำ ทำให้เกิดความถูกต้องและการเรียบเรียงเป็นลำดับขั้นตอนในรายงานสัมมนาเล่มนี้ จึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้าย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งหวังว่ารายงานสัมมนาเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย

กมลฉัตร วงศ์จินดา
ชญานุชต์ บุญสร้าง
ชณิดาภา รุ่งเรืองยศ
31 พฤษภาคม 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 รำข้าวโพด	2
2.2 กรดเฟอรูลิก	3
2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์	4
2.4 น้ำด่าง	5
2.5 น้ำปูนใส	6
2.6 น้ำขี้เถ้า	8
2.7 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ	8
2.8 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	9
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	13
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	13
3.2 อุปกรณ์	13
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	14
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างรำข้าวโพด	14
3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารอาหารหลักในรำข้าวโพด	14
3.3.3 การทดลองหาตัวทำละลายธรรมชาติที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพด	16
3.3.4 การหาสภาวะการสกัดรำข้าวโพดที่เหมาะสมโดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.5 การสกัดรำข้าวโพดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติ 18

3.3.6 การวิเคราะห์สารสกัดที่ได้จากการสกัดตัวอย่างรำข้าวโพดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติ 19

3.3.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกโดยวิธีโครมาโทรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) 19

3.3.6.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยวิธีดีพีพีเอช (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH) 20

3.3.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu 21

3.3.7 การทวนสอบความถูกต้องของสมการโมเดล (Model validation) 21

3.3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดลองจากการออกแบบโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง 22

3.3.8.1 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน 22

3.3.8.2 การสร้างสมการการทำนาย 22

3.3.8.3 การสร้างกราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนอง 22

3.3.8.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดรำข้าวโพดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติ 23

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 24

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารอาหารหลักในตัวอย่างรำข้าวโพด 24

4.2 ผลของชนิดตัวทำละลายธรรมชาติต่อการสกัดกรดเฟอรูลิกในตัวอย่างรำข้าวโพดแห้ง 25

4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว 26

4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการสกัดรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว 28

4.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมการโมเดลถดถอยของปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้ 28

4.4.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณกรดเฟอรูลิก 28

4.4.3 การวิเคราะห์กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนองของปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้จากรำข้าวโพด 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.4 ผลการหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณ กรดเฟอรูลิกสูงสุดจากการคำนวณโดยโปรแกรม 31

4.4.5 การทวนสอบค่าความถูกต้องของสมการการทำนายปริมาณ กรดเฟอรูลิกที่สกัดจากรำข้าวโพด 32

4.4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมการโมเดลถดถอยของความสามารถ ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด 34

4.4.7 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายค่า ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด 34

4.4.8 การวิเคราะห์กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนองของความสามารถ ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด 35

4.4.9 ผลการหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้สารสกัดมีความสามารถ ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดจากการคำนวณโดยโปรแกรม 37

4.4.10 การทวนสอบค่าความถูกต้องของสมการการทำนายค่าความสามารถ ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด 38

4.4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมการโมเดลถดถอยของปริมาณฟีนอลิก ทั้งหมดที่สกัดได้ 40

4.4.12 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยเพื่อใช้ในการทำนาย ค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 40

4.4.13 การวิเคราะห์กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนอง ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดจากรำข้าวโพด 41

4.4.14 ผลการหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สูงสุดจากการคำนวณโดยโปรแกรม 43

4.4.15 การทวนสอบค่าความถูกต้องของสมการการทำนายค่าปริมาณฟีนอลิก ทั้งหมดของสารสกัดจากรำข้าวโพด 44

บทที่ 5 สรุปผล 46

บรรณานุกรม 47

ภาคผนวก 50

ภาคผนวก ก 51

ภาคผนวก ข 54

ภาคผนวก ค 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	17
ตารางที่ 3.2	สภาวะการทดลองการสกัดรำข้าวโพดออกแบบโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองแบบประสมกลาง	18
ตารางที่ 3.3	สภาวะที่ใช้สำหรับการทวนสอบความถูกต้องของสมการโมเดล	22
ตารางที่ 4.1	ค่าการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารหลักในตัวอย่างรำข้าวโพดแห้ง	24
ตารางที่ 4.2	ปริมาณสารอาหารหลักในตัวอย่างรำข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	24
ตารางที่ 4.3	ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายธรรมชาติต่างชนิดกัน	25
ตารางที่ 4.4	ปริมาณกรดเฟอรูลิก ค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด จากการสกัดรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว ในแต่ละสภาวะการทดลองจากการออกแบบการทดลองโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง	27
ตารางที่ 4.5	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้ (Analysis of Variance (ANOVA))	28
ตารางที่ 4.6	การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง	29
ตารางที่ 4.7	ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้จากรำข้าวโพด และร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทวนสอบสมการ	33
ตารางที่ 4.8	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้ (Analysis of Variance (ANOVA))	34
ตารางที่ 4.9	การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง	35
ตารางที่ 4.10	ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด และร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทวนสอบสมการ	39
ตารางที่ 4.11	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้ (Analysis of Variance (ANOVA))	40
ตารางที่ 4.12	การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง	41
ตารางที่ 4.13	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากรำข้าวโพด และร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทวนสอบสมการ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	ภาพรำข้าวโพด	2
ภาพที่ 2.2	สูตรโครงสร้างของกรดเฟอรูลิก	3
ภาพที่ 2.3	ภาพโซเดียมไฮดรอกไซด์	4
ภาพที่ 2.4	ภาพน้ำปูนใส	7
ภาพที่ 2.5	ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบของหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave)	9
ภาพที่ 2.6	เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	10
ภาพที่ 4.1	แสดงกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก	30
ภาพที่ 4.2	แสดงกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก	30
ภาพที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก	31
ภาพที่ 4.4	กราฟแสดงการทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิก จากฟังก์ชัน Response optimizer โดยโปรแกรม Minitab®	32
ภาพที่ 4.5	แสดงกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด	36
ภาพที่ 4.6	แสดงกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด	36
ภาพที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	37
ภาพที่ 4.8	กราฟแสดงการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดรำข้าวโพดเพื่อให้ได้สารสกัดมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด จากฟังก์ชัน Response optimizer โดยโปรแกรม Minitab®	38
ภาพที่ 4.9	แสดงกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้	42
ภาพที่ 4.10	แสดงกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้	42
ภาพที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในลูกยอ	43
ภาพที่ 4.12	กราฟแสดงการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของสารสกัดจากรำข้าวโพดเพื่อให้มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด จากฟังก์ชัน Response optimizer โดยโปรแกรม Minitab®	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ

กรดเฟอรูลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกซึ่งพบมากในข้าวโพด มีฤทธิ์ทางชีวภาพและมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังสามารถนำกรดเฟอรูลิกไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมต่างๆได้หลากหลาย เช่น นำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เป็นต้น การสกัดกรดเฟอรูลิกในปัจจุบันมีการนำสารเคมีมาใช้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มความเสี่ยงในเรื่องสารเคมีตกค้าง เพื่อให้สามารถนำสารสกัด กรดเฟอรูลิกที่สกัดได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษากระบวนการสกัดกรดเฟอรูลิกโดยใช้ตัวทำละลายที่ได้จากธรรมชาติ มาสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพดทดแทนการใช้สารเคมี คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตัวทำละลายที่นำมาศึกษาได้แก่ น้ำด่าง (Alkaline water), น้ำปูนใส (Lime water) และน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว (Ash lye water) ตัวทำละลายธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงสุดหรือใกล้เคียงกับการใช้สารเคมีจะถูกนำไปใช้สกัดรำข้าวโพดอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) เพื่อให้ได้ปริมาณกรดเฟอรูลิก, ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ, และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด ตามลำดับ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.1 เพื่อศึกษาชนิดของตัวทำละลายธรรมชาติที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพด

1.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพดให้ได้ปริมาณสูงสุด

1.3 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารสกัดที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

1.4 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารสกัดที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร

1.3.2 ได้ทราบถึงกระบวนการและกรรมวิธีการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพด ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรอื่นๆ

1.3.3 ได้ทราบถึงชนิดตัวทำละลายและสภาวะที่เหมาะสมในการรำข้าวโพดเพื่อให้ได้ปริมาณกรดเฟอรูลิก, ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ, และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รำข้าวโพด / Corn bran

ผลพลอยได้จากการปลูกข้าวโพดประกอบด้วยเมล็ดรำข้าวโพดบดปนกับซัง (Corn and cob meal) ซึ่งมีสัดส่วนซังประมาณร้อยละ 20–25 และเมล็ดร้อยละ 70–75 โดยน้ำหนัก เหมาะสำหรับนำไปเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยทั่วไปไม่นำไปเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก มีโปรตีนประมาณร้อยละ 7–8 และการย่อยได้ทั้งหมดของโภชนาการร้อยละ 73–75 ส่วนผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับข้าวโพด ได้แก่ รำข้าวโพด (Corn bran) ซึ่งเป็นส่วนเยื่อหุ้มของเมล็ดข้าวโพด มีโปรตีนประมาณร้อยละ 12–16 และ เยื่อใยร้อยละ 10–12 ถ้านำเมล็ดข้าวโพดไปสกัดเอาน้ำมันออกเหลือส่วนที่เรียกว่า คอร์นเยอร์มมีล (Corn germ meal) เป็นส่วนของจมูกข้าวโพด มีโปรตีนประมาณร้อยละ 20 ส่วนกากข้าวโพดเป็นเศษของข้าวโพด ที่เหลือประกอบด้วยซัง จมูกข้าวโพด และแป้งส่วนที่เหลือโดยทั่วไปมีน้ำมันน้อยกว่าร้อยละ 4 และโปรตีนประมาณร้อยละ 10–11 นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้ที่เหลือจากการนำข้าวโพดไปทำแป้งและทำน้ำตาลหรือไซรัป ได้แก่ คอร์นกลูเตนมีล (Corn gluten meal) มีโปรตีนประมาณร้อยละ 40–60 ได้จากการนำข้าวโพดไปสกัดเอาแป้งเจอร์ม (Germ) และรำที่หุ้มออกแต่ถ้ายังคงมีส่วนรำที่หุ้มเมล็ดปนอยู่ เรียกว่า คอร์นกลูเตนฟีด (Corn gluten feed) มีโปรตีนประมาณร้อยละ 20–25 (ธาตรี, 2555)

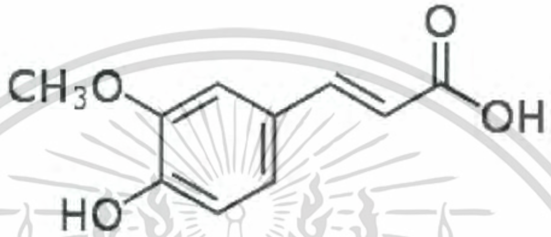
ภาพที่ 2.1 ภาพรำข้าวโพด

ที่มา: ธาตรี (2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กรดเฟอรูลิก / Ferulic acid

กรดเฟอรูลิก (Ferulic Acid) เป็นสารที่พบในใบและเมล็ดของพืชหลายชนิด มีคุณสมบัติช่วยให้ผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรง นอกจากนี้ยังสามารถสกัดได้จากรำข้าวสาลี และรำข้าวโพด กรดเฟอรูลิก เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงเป็นสารต้านมะเร็ง โดยปกติการให้ความร้อนจะทำให้กรดเฟอรูลิกในผนังเซลล์พืชออกมาได้มากขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์ถูกความร้อนสลายออกไป (กฤษดา, 2553)



ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของกรดเฟอรูลิก

ที่มา: วิภาภรณ์ (2557)

กรดเฟอรูลิก (4-hydroxy-3-methoxycinnamic acid) เป็นกรดฟีนอลิก (Phenolic acid) ที่พบได้ในอาหารที่รับประทานกันทั่วไป อาทิเช่น ธัญพืช ผลไม้กลุ่มที่มีรสเปรี้ยว มะเขือยาว กาแฟ หน่อไม้ ผักขม บร็อคโคลี่ กล้วย บีทรูต เป็นต้น (Moghadasian and Zhao, 2008) มีรายงานว่ากรดเฟอรูลิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านแบคทีเรีย สารต้านการอักเสบ สารต้านการเกิดลิ่มเลือด และสารต้านมะเร็ง รวมทั้งสามารถป้องกันโรคหัวใจ โรคความเสื่อมทางระบบประสาท ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลต่ำลง และเพิ่มความสามารถการมีชีวิตอยู่ของอสุจิ ซึ่งผลกระทบของสารนี้ต่อสุขภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่บริโภค (วิภาภรณ์, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ / Sodium hydroxide

โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซดาไฟ มีสถานะเป็นของแข็งสีขาวหรืออาจอยู่ในรูปของเหลวที่เป็นสารละลาย ถือเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญมากในภาคอุตสาหกรรม โดยปัจจุบันมีจำหน่ายทั้งในสถานะของแข็ง และของเหลว เรียกว่า ผงมัน ส่วนในรูปสารละลายมักพบในความเข้มข้นร้อยละ 50

โซดาไฟก้อน เป็นสถานะปกติของโซดาไฟที่อยู่ในรูปของแข็ง มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงสีขาว มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะให้ฤทธิ์เป็นด่างแก่ ส่วนมากใช้ในภาคอุตสาหกรรม และบางส่วนใช้ในภาคครัวเรือน และการเกษตร

โซดาไฟเหลว เป็นผลิตภัณฑ์ของโซดาไฟที่อยู่ในรูปของเหลวที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ มีฤทธิ์เป็นด่าง ไม่มีกลิ่น แต่สามารถเกิดไอระเหยได้ เมื่อสัมผัสลักษณะลื่นเหมือนสบู่ พบจำหน่ายมากในปัจจุบัน ได้แก่ โซดาไฟร้อยละ 32 และร้อยละ 50 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้มากในภาคอุตสาหกรรม (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560)

ลักษณะเฉพาะของโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. เป็นก้อนผลึกหรือผงสีขาว
2. ละลายน้ำได้ด่างแก่
3. มวลอะตอมเท่ากับ 39.9971 กรัมต่อโมล
4. ความหนาแน่น 2.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
5. จุดหลอมเหลวที่ 318 องศาเซลเซียส
6. จุดเดือดที่ 1390 องศาเซลเซียส
7. ความสามารถในการละลายน้ำ 111 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 2.3 ภาพโซเดียมไฮดรอกไซด์

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 น้ำด่าง / Alkaline Water

น้ำด่างหรือน้ำอัลคาไลน์เป็นผลของกระบวนการแยกองค์ประกอบทางเคมีของน้ำด้วยไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า กระบวนการอิเล็คโทรลิซิส (Electrolysis) ซึ่งเป็นการปล่อยกระแสไฟฟ้าโดยตรงไปในน้ำผ่านแผ่นตัวนำไฟฟ้าขั้วลบ (Cathode) ซึ่งจะได้น้ำอัลคาไลน์ที่มีประจุลบ และแผ่นตัวนำไฟฟ้าขั้วบวก (Anode) ซึ่งจะได้น้ำอะซิดิกที่มีประจุบวก และผลที่ได้อีกอย่างคือ แร่ธาตุในน้ำที่มีความเป็นด่างจะถูกแยกตัวออกจากแร่ธาตุในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด ทำให้น้ำนี้ประกอบไปด้วยแร่ธาตุที่มีความเป็นด่าง คือ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโปแตสเซียม ส่วนของน้ำอะซิดิกจะเต็มไปด้วยแร่ธาตุที่มีความเป็นกรด คือ คลอไรด์ ฟลูออไรด์ ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการอิเล็คโทรลิซิส จะทำให้กลุ่มโมเลกุลในน้ำลดลงจากปริมาณ 11 ถึง 13 โมเลกุลต่อกลุ่ม ลดเหลือเพียง 6 โมเลกุลต่อกลุ่มน้ำ ส่งผลให้น้ำอัลคาไลน์มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าน้ำธรรมดา โดยในทางวิทยาศาสตร์เรียกชื่อน้ำที่มีจำนวนกลุ่มโมเลกุลที่ลดลงกว่าปกตินี้ว่า “Electrolyzed Reduced Water” หรือ อีกชื่อว่า “Restructured Alkaline Water” เนื่องจากน้ำอัลคาไลน์มีจำนวนของกลุ่มโมเลกุลเล็กลงไปครึ่งหนึ่ง เมื่อมีการดื่มน้ำอัลคาไลน์นี้เข้าไปจึงช่วยทำให้ร่างกายที่ดื่มน้ำนี้เข้าไปจะสามารถดูดซึมน้ำเข้าไปยังเซลล์ได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้เซลล์ เนื้อเยื่อ ตลอดจนอวัยวะในร่างกายได้รับความชุ่มชื้นได้มากขึ้น และยังพาสารอาหารเข้าสู่เซลล์เพื่อเผาผลาญได้ดีและเร็วขึ้น ช่วยให้เซลล์ขับล้างของเสียที่ไม่ดีต่อร่างกายเผาผลาญออกทางเซลล์ได้ง่าย เป็นการช่วยขับของเสียออกจากร่างกายอีกทางหนึ่ง (Detoxification) จึงนับได้ว่าการดื่มน้ำอัลคาไลน์เป็นกระบวนการธรรมชาติในการขับล้างของเสียออกจากร่างกายที่ดี และในกระบวนการอิเล็คโทรลิซิสนั้นเป็นการทำให้น้ำอุดมไปด้วยไอออนประจุลบ (Native Ions) มีผลให้น้ำมีคุณสมบัติพิเศษในการช่วยต้านและทำลายสารอนุมูลอิสระในร่างกาย ชะลอวัย ชะลอการเสื่อมของร่างกาย รวมทั้งการเกิดโรคร้ายต่างๆ (จิตานันท์, 2554)

น้ำอัลคาไลน์ที่ได้จากกระบวนการอิเล็คโทรลิซิส มีคุณสมบัติดังนี้

1. ปรับสมดุลความเป็นกรด-ด่างในร่างกาย ทำให้ร่างกายไม่ต้องไปดึงแร่ธาตุอัลคาไลน์ที่เก็บสะสม เช่นในกระดูกและฟัน เพื่อมาทำการปรับสมดุลกรดของเสียในร่างกาย
2. มีแร่ธาตุอัลคาไลน์ในรูปประจุอิออน ซึ่งช่วยให้ร่างกายดูดซึมไปใช้งานได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ร่างกายแข็งแรงขึ้น
3. น้ำอัลคาไลน์ที่ได้จากกระบวนการอิเล็คโทรลิซิสจะมีโมเลกุลเล็กลง ทำให้ร่างกายดูดซึมได้ง่าย และขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายได้อย่างดี เพิ่มความชุ่มชื้นให้ผิวหนัง ทำให้รู้สึกสดชื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มีประจุลบสูงซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชั้นดี (Excellence Antioxidant) และเป็นธรรมชาติ ช่วยชะลอวัย ความเสื่อมต่างๆ และโรคร้ายที่อาจเกิดขึ้น เช่น โรคร้าย โรคข้อเสื่อม โรคกระดูกพรุน เป็นต้น (จิตานันท์, 2554)

2.5 น้ำปูนใส / Lime water

น้ำปูนใส คือสารละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หรือสารละลายของปูนขาว (CaO) ที่ได้จากการเผาหินปูนหรือเปลือกหอย จนได้ของแข็งที่เป็นผงหรือเกล็ดสีขาวขุ่นที่เรียกว่า ปูนขาว หลังจากนั้น นำผงปูนขาวมาละลายในน้ำหรือนำผงปูนขาวมาผสมกับขมิ้นจนได้ปูนแดงแล้วนำมาละลายน้ำ ซึ่งจะเรียกสารละลายนี้ว่า น้ำปูนขาวหรือน้ำปูนแดง หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ผงปูนตกตะกอน จนน้ำส่วนบนใส เรียกสารละลายส่วนบนนี้ว่า น้ำปูนใส คำว่า น้ำปูนใส เป็นคำเรียกที่นิยมใช้สำหรับประโยชน์ทางด้านอาหารเป็นหลัก ซึ่งมีทั้งชนิดที่ได้จากการละลายปูนขาว และการละลายปูนแดง ปูนแดง ซึ่งคือปูนขาวที่นำมาผสมกับผงขมิ้น และเกลือเข้าด้วยกัน โดยสารที่ให้สีเหลืองในขมิ้นเมื่อสัมผัสกับความเป็นด่างของปูนขาวในสภาพมีความชื้นหรือมีน้ำ จะทำให้ขมิ้นเปลี่ยนเป็นสีแดงเรื่อหรือแดงอมส้ม ขึ้นอยู่กับปริมาณผงขมิ้นที่ใช้ ซึ่งสีที่เกิดขึ้นจะคลุกผสม และกลบกับสีขาวของปูนขาวได้ดี (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560)

ประโยชน์ของน้ำปูนใสทางด้านอาหาร

1. ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหาร ไม่ว่าจะเป็นผัก แป้ง ขนม ของหวาน หรือเนื้อสัตว์ให้มี ความแข็งหรือความกรอบเพิ่มขึ้น โครงสร้างของอาหารยึดเกาะกันได้ดีขึ้น เนื้ออาหารไม่แฉะหรือติดมือ
2. ช่วยรักษาสภาพของเนื้อสัมผัสให้คงรูปอยู่เสมอ และป้องกันการเปื่อยยุ่ยของอาหารได้ เพราะแคลเซียมอิออนจากสารละลายจะแทรกตัวอยู่ในเนื้อเยื่อของอาหาร และเข้าทำปฏิกิริยากับ เพคตินในผนังเซลล์ของอาหารกลายเป็นแคลเซียมเพคเทดที่มีคุณสมบัติแข็งแรง โมเลกุลไม่ละลายน้ำ และไม่ยอมให้น้ำผ่านเข้าได้
3. เป็นแหล่งเพิ่มธาตุแคลเซียมให้แก่อาหาร เพราะเมื่อใช้น้ำปูนใสในการแช่หรือเติมในอาหารนั้นจะมีธาตุแคลเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำปูนใสผสมเข้ากับอาหารด้วย ซึ่งเมื่อรับประทานอาหารเหล่านี้ จะได้รับแคลเซียมเพิ่มขึ้น ช่วยลดความเสี่ยงโรคกระดูกพรุน ลดความเสี่ยงโรคข้อกระดูกเสื่อม และเสริมสร้างกระบวนการสร้างกระดูก เป็นต้น
4. การใช้น้ำปูนใสในผลไม้หรือเนื้อสัตว์ นอกจากจะทำให้เนื้อสัมผัสมีความกรอบแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสารกันบูด ต้านการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และป้องกันอาหารบูดเน่าได้
5. การใช้น้ำปูนใสในอาหารสามารถช่วยลดกลิ่นเหม็นหืน กลิ่นเหม็นบูดของอาหารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. น้ำปูนใสที่ใช้ฉีดพรมผักหรือผลไม้ มีส่วนสำคัญในการยืดอายุของผักหรือผลไม้ได้
7. การแช่ผักหรือผลไม้ด้วยน้ำปูนใส ความเป็นด่างของน้ำปูนใสจะช่วยล้างยาฆ่าแมลง และโลหะหนักที่ตกค้างได้ บางครั้งนิยมนำน้ำปูนใสมาล้างผักหรือผลไม้ก่อนรับประทานเช่นกัน

ข้อควรระวัง

1. การนำน้ำปูนใสในอาหารจำพวกแป้งหรือขนมของหวาน หากใช้ในความเข้มข้นมาก มักทำให้ตัวแป้งไม่เหนียว และเนื้อขนมมีรสชาติจากความเป็นด่าง
2. การใช้น้ำปูนใสในผักหรือผลไม้ หากใช้ในความเข้มข้นมากหรือแช่นานเกิน ทำให้ผิวของผักหรือผลไม้หยาบกระด้าง ผิวเปลือกแข็งมากขึ้น หากรับประทานจะไม่อร่อยหรือหากนำไปปรุงอาหารจะไม่มีรส เพราะน้ำปรุงไม่สามารถแทรกเข้าด้านในได้

ภาพที่ 2.4 ภาพน้ำปูนใส
ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 น้ำขี้เถ้า / Ash lye water

ส่วนประกอบหลักของขี้เถ้า (Wood Ash) คือโปแตสเซียมคาร์บอเนต, โซเดียมคาร์บอเนต และมีส่วนประกอบอื่น เช่น โซเดียมคลอไรด์, โปแตสเซียมคลอไรด์, ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อหมักกับน้ำเป็นเวลานาน โปแตสเซียม และโซเดียมจะละลายออกมาปนกับน้ำ ทำให้น้ำเป็นด่าง ส่วนซิลิกา กับ แคลเซียมคาร์บอเนต จะไม่ละลายน้ำและตกตะกอนที่ภาชนะ หลังจากนั้นนำน้ำที่หมักไว้มาใช้ และกรองตะกอนทิ้งไป

น้ำด่างจากหัวน้ำด่างเข้มข้น จะมีส่วนประกอบหลักคือ โปแตสเซียม และโซเดียม ซึ่งจัดว่าเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย แต่ถ้าหากเราดื่มน้ำที่มีโซเดียมเป็นจำนวนมากเข้าไป อาจก่อให้เกิดภาวะความดันโลหิตสูง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560)

2.7 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ / Autoclave

หม้อนึ่งความดันไอน้ำเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับนึ่งฆ่าเชื้อ โดยใช้ไอน้ำร้อนและแรงดันสูง ทำให้ของที่ผ่านการนึ่งแล้วอยู่ในสภาพปราศจากเชื้อ จึงมักใช้ในการนึ่งฆ่าเชื้อของเสียทางชีวภาพเพื่อกำจัดและป้องกันการปนเปื้อน และนอกจากจะใช้ป้องกันการปนเปื้อนแล้ว เครื่องนึ่งความดันไอน้ำยังสามารถใช้ ฆ่าเชื้อตัวอย่างก่อนจะนำมาใช้ในการทดลองได้ ส่วนการใช้งานหม้อนึ่งความดันไอน้ำควรมีการทดสอบเครื่องอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้สามารถใช้งานหม้อนึ่งความดันไอน้ำ

หลักการของหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)

คือการนำสิ่งของที่ต้องการทำให้ปราศจากเชื้อมาไว้ในห้องที่มีความร้อนและแรงดันของไอน้ำสูงกว่าสภาวะบรรยากาศปกติในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การนึ่งฆ่าเชื้อโดยทั่วไปจะใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้ระยะเวลานึ่ง 15 นาที หากใช้อุณหภูมิสูงมากๆ และแรงดันไอน้ำมากกว่า 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อาจจะมีผลเสียต่ออุปกรณ์ที่เป็นโลหะ เพราะอุณหภูมิที่สูงมากเกินจะทำให้เนื้อโลหะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปและมีอายุการใช้งานสั้นลง รวมทั้งแรงดันไอน้ำที่สูงเกินไปอาจทำให้ผิวโลหะเป็นสนิมและสึกกร่อนได้ (ถึงแม้จะใช้ระยะเวลาที่สั้น) ระยะเวลาในการนึ่งตามที่ได้กล่าวถึงนี้ เป็นเวลาที่ห้องนึ่งมีอุณหภูมิและแรงดันของไอน้ำเป็นไปตามที่กำหนดเท่านั้น ไม่รวมเวลาในการเตรียมห้องนึ่งให้มีอุณหภูมิและแรงดันตามที่กำหนด (ธีระยุทธ และคณะ, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.5 ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบของหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave)
ที่มา: ธีระยุทธ และคณะ (2546)

2.8 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

(High performance liquid chromatography; HPLC)

เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ระเหย (Non-Volatile Organic Compounds) หรือกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ปานกลาง (Semi-Volatile Organic Compounds) ทั้งนี้ตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงนี้ (แสดงดังภาพ 2.6) จำเป็นต้องพิจารณาถึงความสามารถในการละลายของสารที่ต้องการวิเคราะห์กับตัวทำละลายอินทรีย์ผสมที่ใช้ เพื่อป้องกันการไม่ละลายของตัวอย่าง หรือการตกตะกอนของตัวทำละลายอินทรีย์ผสม และไม่ให้เกิดการอุดตันในระบบ รวมถึงมีการพิจารณาค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวทำละลายอินทรีย์ร่วมด้วย เทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสมของเครื่องมือดังกล่าว อาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ (Stationary phase) ภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) สำหรับเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เฟสคงที่ คือ สารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ส่วนเฟสเคลื่อนที่ คือ ตัวทำละลายอินทรีย์ผสม เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง และสารดังกล่าวจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม เพื่อให้เกิดการแยกสาร (Separation) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) และความสามารถในการละลายของสารผสม (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.6 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2560)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Budaraju และคณะ (2018) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟีนอลิกในตัวอย่างข้าวบาร์เลย์โดยการเปรียบเทียบการให้ความร้อนด้วยวิธีต่างๆ คือ การสกัดโดยใช้ไอน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 120 วินาที การให้ความร้อนโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 นาที การให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ 160-800 วัตต์ ระยะเวลา 30-120 วินาที หลังจากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) และวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ดังนี้ แบบไม่ให้ความร้อนร้อยละ 17.5, การสกัดตัวอย่างแบบการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร้อยละ 49.9, การสกัดตัวอย่างแบบให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอร้อยละ 71.6 ซึ่งการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำมีประสิทธิภาพในการสกัดสารกลุ่มฟีนอลิกออกมาจากผนังเซลล์ได้มากที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นอุณหภูมิ ระยะเวลา และ ความดันที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากข้าวบาร์เลย์ได้มากที่สุด เนื่องจากการใช้ไอน้ำร้อนและแรงดันสูงสามารถทำลายผนังเซลล์ ทำให้เซลล์แตกและปลดปล่อยสารฟีนอลิกออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Shengqiang และคณะ (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสภาวะในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพด โดยมีการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาสภาวะในการสกัดกรดเฟอรูลิกที่ดีที่สุด โดยกำหนดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.25, 0.5, 0.75 และ 1 โมลาร์) และความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล (30, 50, 75 และ 90 ร้อยละปริมาตร) ซึ่งเป็นความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้สกัดแตกต่างกัน สัดส่วนของแข็งต่อของเหลว (1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20) อุณหภูมิที่ใช้สกัด (65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส) และเวลาที่ใช้สกัด (1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ชั่วโมง) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยผสม รำข้าวโพดกับสารละลายด่างปริมาณ 50 มิลลิลิตรสกัดในขวดรูปชมพู่ ควบคุมอุณหภูมิในการสกัดดังค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น กำหนดอัตราการกวนที่ 160 รอบต่อนาที จากนั้นนำสารผสมมากรองด้วยระบบสุญญากาศ และนำส่วนใส (ส่วนที่ผ่านเยื่อกรอง) มาวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Ubbelohde viscometer (Sunlex, Shasnghai, China) แล้วจึงนำไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ กำหนดอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) จากการทดลองพบว่ารำข้าวโพดที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายด่างเข้มข้น 0.25 โมลาร์ ร่วมกับสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีปริมาณกรดเฟอรูลิกอยู่ที่ 16.9 มิลลิกรัมต่อกรัมรำข้าวโพด ซึ่งเป็นสภาวะการสกัดกรดเฟอรูลิกในรำข้าวโพดที่ดีที่สุด

งานวิจัยของ นัทธพงศ์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) สรุปได้ว่าซังข้าวโพดมีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงสุด จากการเปรียบเทียบกับตัวอย่างวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ เปลือกหน่อไม้ รำข้าวหอมมะลิ แกลบข้าวหอมมะลิ ฟางข้าวหอมมะลิ รำข้าวหอมมะลิ เปลือกข้าวโพด ไหมข้าวโพด และรำข้าวโพด รวมถึงผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากซังข้าวโพดเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี RSM พบว่า การสกัดตัวอย่างซังข้าวโพดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ปริมาณ 60 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24.55 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ กำหนดอุณหภูมิที่ 32.68 องศาเซลเซียส รอบการเขย่า 150 รอบ ต่อนาที เป็นสภาวะการสกัดที่ให้ปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงสุด คือ 8.38 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง

งานวิจัยของ Ingkasupart และคณะ (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ในดอกดาวเรือง ทำการทดลองโดยใช้สารสกัดจากดอกดาวเรืองปริมาณ 20 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu ปริมาณ 100 ไมโครลิตร (ความเข้มข้น 1:10 เจือจางด้วยน้ำกลั่น) ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตปริมาณ 75 ไมโครลิตร (ความเข้มข้น 75 กรัมต่อลิตร) ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร ผลการทดลองพบว่าดอกดาวเรืองพันธุ์ 'Rodeo Gold' และพันธุ์ 'Optiva Orange' มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 79.04 และ 78.18 มิลลิกรัมแกลลิคต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Ingkasupart และคณะ (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในดอกดาวเรือง ทำการทดลองโดยใช้สารสกัดจากดอกดาวเรืองปริมาณ 22 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายดีพีพีเอช (DPPH) ปริมาณ 200 ไมโครลิตร (ความเข้มข้น 150 ไมโครโมลาร์) ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ผลการทดลองพบว่าดอกดาวเรืองพันธุ์ 'Rodeo Gold' และพันธุ์ 'Optiva Orange' มีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ สูงที่สุดเท่ากับ 89.90 และ 89.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1. วัตถุดิบ

รำข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรีย์ 2 จากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ จังหวัดนครราชสีมา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.2 สารเคมี

Hexane, AR grade, RCI Labscan, Thailand
Ethyl acetate, AR grade, RCI Labscan, Thailand
Sodium hydroxide 0.1 N, AR grade, Thermo Fisher Scientific, Australia
Hydrochloric acid 6 N, AR grade, RCI Labscan, Thailand
Sodium hydrogen phosphate, AR grade, S D Fine-Chem, India
Sodium sulphate anhydrous, AR grade, Thermo Fisher Scientific, Australia
Sodium phosphate dibasic anhydrous 99%, AR grade, Loba Chemie, India
Orthophosphoric acid, HPLC grade, Fisher Scientific, England
Methanol, HPLC grade, Fisher Scientific, England
Petroleum ether, AR grade, RCI Labscan, Thailand
2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, AR grade, Sigma-Aldrich, Germany
Folin-Ciocalteu's RS reagent, AR grade, Carlo Erba, France
Sodium carbonate, AR grade, Thermo Fisher Scientific, Australia
Gallic acid, AR grade, Sigma-Aldrich, China
Ethanol, AR grade, RCI Labscan, Thailand

3.2 อุปกรณ์

เครื่องปั่นลดขนาด : Philips HR2120, Thailand
ตู้อบลมร้อน : MP 0006/01, Thailand
ตะแกรงร่อนขนาดรู 20 เมช
เครื่องหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์ (Thermo Legend mach 1.6r, ประเทศเยอรมนี)
เครื่องกรองสุญญากาศ : WJ-20, Japan
เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง : METTLER TOLEDO S210-Bio, Switzerland
เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง : METTLER TOLEDO PB1502-L, Switzerland
เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง : METTLER TOLEDO ML204/01, Switzerland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องระเหยแบบสูญญากาศ : BUCHI Labortechnik AG, Switzerland

เครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท : Thermo Scientific 51119000, England

HPLC คอลัมน์ : C-18 TSKgel ODS-100v (4.6 mm I.D. × 150 mm, 5 μm), Japan

ตัวกรองสำหรับกระบอกฉีดยา (Cellulose acetate membrane Syringe filter) : 0.45 μm, Nipro, Thailand

ไมโครปิเปต : Rainin, U.S.A

กระดาษกรอง (Whatman No.1): GE Healthcare, China

ขวดรูปชมพู่ : 250 mL, Schott, Germany

บีกเกอร์ : 100 mL, Pyrex, Germany

ขวดปรับปริมาตร : 1000 mL, Witeg, Germany

ขวดก้นกลม : 250 mL, BUCHI Labortechnik AG, Switzerland

หม้อนึ่งความดันไอ : AutoclaveTomy, SX-500

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างรำข้าวโพด

นำกากข้าวโพดที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำนมข้าวโพด มาล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดแป้งออก และแยกส่วนของรำข้าวโพดมาใช้ อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 11 ชั่วโมง ทำการลดขนาดโดยใช้เครื่องปั่นแบบแห้งและนำไปผ่านตะแกรงร่อนที่มีรูขนาด 20 เมช ตัวอย่างรำข้าวโพดที่ได้ถูกนำมาวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยกำหนดค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 5-7 บรรจุตัวอย่างรำข้าวโพดแห้งในถุงพลาสติกชนิดสุญญากาศด้วยระบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอทำการทดลองต่อไป

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารอาหารหลักในรำข้าวโพด

- การวิเคราะห์หาค่าโปรตีนด้วยวิธี Kjeldhal

1. การย่อย ชั่งตัวอย่างรำข้าวโพดจากข้อ 3.3.1 ปริมาณ 0.5-5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน เติมตัวเร่ง (เตรียมจาก 1:10 ของ $CuSO_4/K_2SO_4$) 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 2-3 ลูก นำหลอดย่อยโปรตีนวางในตะแกรงใส่หลอดทดลอง ก่อนไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อย ปิดที่บังความร้อน (Heat shield) และสวมที่ดูดควัน ที่ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด (Exhaust) ก่อนเปิดสวิทซ์ (Power on) ตั้งอุณหภูมิที่ใช้ย่อย 370-400 องศาเซลเซียส ทำการย่อยจนได้สารลายใสหรือสีฟ้าใส ปิดสวิทซ์ พร้อมยกตะแกรงใส่หลอดทดลองที่มีหลอดย่อยตัวอย่างขึ้นพัก รอให้สารละลายใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีฟ้าเย็นลง ซึ่งในช่วงนี้ยังคงเปิดชุดกำจัดไอกรดไว้จนไม่มีไอกรด (สังเกตจากควันสีขาว) ก่อนนำไปต่อเข้ากับชุดกลั่น

2. การกลั่น นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน เติมกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาณ 60 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ทั้งสองอย่างละ 1 หยด ได้สารละลายสีม่วง เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ

3. การไตเตรท นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายที่กลั่นเสร็จแล้วซึ่งมีสีเขียวมาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูม่วง บันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง} = \frac{(A-B)*N*14*100}{W*1000} \qquad (1)$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ Blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (นอร์มอล)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหาร} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} * 6.25 \qquad (2)$$

- การวิเคราะห์หาค่าไขมันด้วยวิธี Soxhlet

อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W_1) ชั่งตัวอย่างรำข้าวโพดที่บดละเอียดอบไล่ความชื้นแล้ว 5.00-10.00 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบิล (Extraction thimble) ตวงตัวทำละลายปิโตเลียมอีเทอร์จำนวน 140-180 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ไขมัน ต่อทิมเบิลใส่ตัวอย่างและบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำบีกเกอร์ไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก นำบีกเกอร์ไขมันใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อรอให้เย็นก่อนนำบีกเกอร์ไขมันไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (W_2) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W}\right) * 100 \quad (3)$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันก่อนสกัด

W_2 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันหลังสกัด

- การวิเคราะห์หาค่าความชื้น ด้วยเครื่อง Halogen moisture analyzer

เปิดเครื่องวัดความชื้นโดยต้องทำการเสียบปลั๊กไว้อย่างน้อย 60 นาทีเพื่อเป็นการวอร์มเครื่อง กดปุ่ม [->0/T<-] เพื่อให้ชุดให้ความร้อนเปิด วางจานเปล่าที่ใช้ใส่ตัวอย่างบนเครื่องชั่ง เพื่อทำการหักค่าภาชนะ และกดปุ่มเดิมเพื่อปิดชุดให้ความร้อน เครื่องจะทำการหักค่าภาชนะ เมื่อเครื่องทำการหักค่าภาชนะเรียบร้อยแล้ว ชุดให้ความร้อนจะเปิดขึ้นเองแบบอัตโนมัติ หลังจากนั้น ชั่งตัวอย่าง 2.5 กรัมในจานใส่ตัวอย่างตั้งอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส กดปุ่ม [start drying] ชุดให้ความร้อนจะปิดลงอัตโนมัติ กระบวนการวัดความชื้นจะเริ่มต้นขึ้น เมื่อกระบวนการวัดความชื้นเสร็จสิ้นแล้ว ชุดให้ความร้อนจะเปิดอัตโนมัติ ปริมาณความชื้นจะแสดงในจอภาพแสดงผล

3.3.3 การทดลองหาตัวทำละลายธรรมชาติที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพด

นำตัวทำละลายธรรมชาติ คือ น้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว น้ำขี้เถ้าแกลบ น้ำปูนใส และตัวทำละลายควบคุม คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มาหาความเข้มข้นที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้เป็นค่ามาตรฐานของค่าพีเอช ซึ่งค่ามาตรฐานพีเอชของตัวทำละลายที่นำมาใช้ในการสกัด ถูกกำหนดที่พีเอช 11.6 ± 0.2 ทดสอบประสิทธิภาพของตัวทำละลายโดยการนำมาสกัดกับตัวอย่างรำข้าวโพดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที (Budaraju et al., 2018) วิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดโดยตัวทำละลายชนิดต่างๆ โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดเฟอรูลิกที่ได้จากการสกัดในแต่ละตัวทำละลายและคัดเลือกตัวทำละลายธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพดมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การหาสภาวะการสกัดรำข้าวโพดที่เหมาะสมโดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

การสกัดรำข้าวโพดโดยวิธีพื้นที่พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) แบบประสมกลาง (Central Composite Design) ใช้เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เมื่อพิจารณาปัจจัยที่กำหนด สามารถนำมาสร้างสมการโมเดลถดถอย และหาสภาวะที่เหมาะสมได้ (ธงชัย, 2557) ปัจจัยที่พิจารณาในการสกัดรำข้าวโพด คือ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในสกัด การกำหนดระดับของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย พิจารณาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทดลองเบื้องต้น และข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองนี้มีทั้งหมด 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (1) (ดาริกา, 2556) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และลำดับการทดลอง 13 หน่วย โดยคำนวณการทำซ้ำ 5 ครั้ง ที่จุดศูนย์กลาง (Central point of design) (0,0) ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		
	-1	0	1
อุณหภูมิที่ใช้สกัด (องศาเซลเซียส) (X_1)	111	121	131
เวลาที่ใช้สกัด (นาที) (X_2)	10	20	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทดลองการสกัดรำข้าวโพดออกแบบโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองแบบประสมกลาง

ลำดับการทดลองที่	อุณหภูมิที่ใช้สกัด (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้สกัด (นาที)
1	111 (-1)	10 (-1)
2	111 (-1)	20 (0)
3	111 (-1)	30 (1)
4	121 (0)	10 (-1)
5	121 (0)	20 (0)
6	121 (0)	20 (0)
7	121 (0)	20 (0)
8	121 (0)	20 (0)
9	121 (0)	20 (0)
10	121 (0)	30 (1)
11	131 (1)	10 (-1)
12	131 (1)	20 (0)
13	131 (1)	30 (1)

3.3.5 การสกัดรำข้าวโพดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติ

นำตัวอย่างรำข้าวโพดแห้งบดละเอียดที่เตรียมได้จากในหัวข้อ 3.3.1 ปริมาณ 1 กรัม มาเติมตัวทำละลายธรรมชาติที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.3.3 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และนำเข้าหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ตามสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรอง (Whatman No.1) เก็บส่วนสารละลายที่ได้ในขวดแก้วสีชาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การวิเคราะห์สารสกัดที่ได้จากการสกัดตัวอย่างรำข้าวโพดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติ

3.3.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกโดยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

- การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกโดยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

การเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกของสารสกัดจากรำข้าวโพด ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ทำได้โดยนำสารละลายที่ผ่านการกรองจากข้อ 3.3.5 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร มาสกัดด้วยสารละลายเฮกเซน ในอัตราส่วนของสารสกัดตัวอย่างต่อสารละลายเฮกเซน เท่ากับ 1 ต่อ 1 เขย่าเบาๆเพื่อให้เกิดการสกัดเป็นระยะเวลา 3-5 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 5-10 นาที เพื่อให้เกิดการละลายของสารละลายที่ไม่มีขั้วออกมาในชั้นของเฮกเซน และเกิดการแยกชั้นของสารสกัด ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายชั้นเฮกเซนทิ้ง ทำการสกัดเช่นนี้ 2 ครั้ง จากนั้นตัวอย่างจะถูกนำไปปรับให้มีค่าพีเอช (pH) น้อยกว่า 2.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์ และนำมาการสกัดด้วยสารละลายเอธิลอะซีเตท โดยอัตราส่วนของตัวอย่างต่อสารละลายเอธิลอะซีเตท เท่ากับ 1 ต่อ 1 เขย่าเบาๆ เพื่อให้เกิดการสกัดเป็นระยะเวลา 5-7 นาที และตั้งทิ้งไว้ 5-10 นาที โดยกรดเฟอรูลิกจะถูกสกัดออกมาในชั้นของเอทิลอะซีเตท ใช้ไมโครปิเปตดูดชั้นของสารละลายเอทิลอะซีเตทเก็บไว้ ทำการสกัดเช่นนี้ 3 ครั้ง นำชั้นของสารละลายเอทิลอะซิเตทที่ได้มากำจัดโมเลกุลน้ำ ด้วยการเติมสารโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส กำจัดสารละลายเอทิลอะซิเตทออก ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ ควบคุมอุณหภูมิที่ 35-40 องศาเซลเซียส ทำการระเหยจนการควบแน่นและกลั่นตัวหยุดลง ละลายสารสกัดที่ระเหยเอากรดเฟอรูลิกออกแล้วด้วยสารละลายเมธานอล (HPLC grade) ปรับปริมาตรให้มีปริมาณรวมเท่ากับ 2.00 กรัม ด้วยสารละลายเมธานอลเช่นเดียวกัน กรองสารละลายที่สกัดได้ด้วยไซริงค์ฟิลเตอร์ชนิดเซลลูโลสอะซีเตทเมมเบรน ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในขวดสีชา (Vial) ปิดฝาและเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป (นัทธพงศ์ และคณะ, 2559)

- การวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกโดยวิธีโครมาโทรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

คอลัมน์ HPLC ชนิด C-18 ถูกใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกในตัวอย่างที่สกัดได้ วัฏภาคเคลื่อนที่ คือ เมทานอล (A) และสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ (B) ปรับพีเอชให้เป็น 2.5 ด้วยกรดฟอสฟอริก (Orthophosphoric acid) อัตราส่วนระหว่างสารละลาย A ต่อ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 30 ต่อ 70 กำหนดอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ในลักษณะไอโซเครติกอิลูชั่น ควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ที่ 40 องศาเซลเซียส วัดที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร ระยะเวลาในการวิเคราะห์ได้แก่ 20 นาที ต่อ 1 ตัวอย่าง (นัทธพงศ์ และคณะ, 2559)

- การสร้างกราฟมาตรฐานกรดเฟอรูลิก

กราฟมาตรฐานกรดเฟอรูลิกถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเฟอรูลิกในตัวอย่างทำได้โดยนำกรดเฟอรูลิกมาตรฐานมาเจือจางด้วยเมทานอล (HPLC grade) ให้ได้ความเข้มข้น 0.50, 0.75, 1.00, 1.50 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ กรองสารละลายที่เตรียมได้ด้วยไซริงค์ฟิลเตอร์ชนิดเซลลูโลสอะซีเตทเมมเบรน ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ใส่ในขวดแก้วสีชา (Vial) นำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกด้วยเครื่องโครมาโทรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง รายละเอียดดังขั้นตอนที่กล่าวไว้ข้างต้น

3.3.6.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยวิธีดีพีพีเอช (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH)

ตัวอย่างสารสกัดที่ได้จากหัวข้อ 3.3.5 ถูกนำมาปรับพีเอชให้เท่ากับ 2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์ จากนั้นนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็วรอบ 9000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใสที่แยกได้ (Supernatant) ถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้ตัวอย่างมีความเข้มข้น 4, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตตัวอย่างปริมาณ 22 ไมโครลิตรลงในถาดหลุม (96-well plate) แล้วเติมสารละลายดีพีพีเอช (DPPH) เข้มข้น 750 ไมโครโมลาร์ (เตรียมก่อนใช้ (Daily fresh)) ปริมาณ 200 ไมโครลิตร เพื่อทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท (Microplate reader) โดยใช้น้ำกลั่นปริมาณ 22 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายดีพีพีเอช ปริมาณ 200 ไมโครลิตรเป็นตัวอย่างควบคุม (Control) และใช้เอทานอลความเข้นข้นร้อยละ 99 ปริมาณ 200 ไมโครลิตร ผสมกับตัวอย่างสารสกัดที่ได้จากรำข้าวโพดปริมาณ 22 ไมโครลิตรเป็นตัวอย่างแบลงค์ (Blank) นำค่าที่อ่านได้มาคำนวณเพื่อหาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลงร้อยละ 50 (50% Inhibitory concentration, IC_{50}) จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวอย่างสารสกัดจากรำข้าวโพด กับค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% Radical Scavenging) ของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ} = \frac{(\text{ค่าการดูดกลืนแสง}_{\text{ตัวอย่างควบคุม}} - \text{ค่าการดูดกลืนแสง}_{\text{แบลงค์}}) * 100}{\text{ค่าการดูดกลืนแสง}_{\text{ตัวอย่างควบคุม}}} \qquad (4)$$

3.3.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

ตัวอย่างสารสกัดที่ได้จากหัวข้อ 3.3.5 นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็วรอบ 9000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ส่วนใสที่แยกได้ (Supernatant) ถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตตัวอย่างที่เจือจางได้ปริมาณ 20 ไมโครลิตร ใส่ในถาดหลุม (96-well plate) เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาณ (เตรียมก่อนใช้ (Daily fresh)) ปริมาณ 100 ไมโครลิตร เพื่อทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาณ 75 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปคำนวณค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) รายงานผลเป็นมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกทำได้โดยนำกรดแกลลิกละลายในน้ำกลั่น เจือจางให้ได้ความเข้มข้น 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 0.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu และ โซเดียมคาร์บอเนต ดังวิธีข้างต้น วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (นาโนเมตร) กับความเข้มข้นของกรดแกลลิก นำสมการที่ได้จากกราฟมาคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัด

3.3.7 การทวนสอบความถูกต้องของสมการโมเดล (Model validation)

กำหนดสภาวะการทวนสอบความถูกต้องของสมการโมเดลทั้งหมด 5 สภาวะ แสดงดังตารางที่ 3.3 ทำการทดลองโดยสกัดตัวอย่างรำข้าวโพดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติที่คัดเลือกได้ตามสภาวะดังกล่าวที่กำหนดวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิก, ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ดังวิธีการดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3.6 ค่าวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองจริงจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการโมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้สำหรับการทวนสอบความถูกต้องของสมการโมเดล

ลำดับการทดลองที่	อุณหภูมิที่ใช้สกัด (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้สกัด (นาที)
1	113	28
2	115	15
3	120	25
4	127	15
5	120	10

3.3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดลองจากการออกแบบโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

3.3.8.1 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลองโดยพิจารณาจากค่า *p*-value ของเทอมต่างๆ ในตารางของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้เปรียบเทียบกับค่านัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด (ดาริกา, 2556) โดยใช้โปรแกรม Minitab® (เวอร์ชั่น 18; IBM, Pennsylvania, USA) ในการวิเคราะห์

3.3.8.2 การสร้างสมการการทำนาย

สมการการทำนายปริมาณกรดเฟอรูลิก, ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ถูกสร้างโดยการนำค่าวิเคราะห์ต่างๆจากการทดลองจริงภายใต้สภาวะการสกัดทั้ง 13 สภาวะการทดลอง (ตารางที่ 3.2) กรอกลงในโปรแกรม โดยโปรแกรมจะสร้างสมการโมเดลถดถอยแสดงดังสมการที่ 5 เพื่อใช้ในการทำนายค่าการวิเคราะห์ต่อไป

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{3} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1+1}^{3} \beta_{ij} X_i X_j \quad \text{——} \quad (5)$$

3.3.8.3 การสร้างกราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนอง

เมื่อได้สมการโมเดลเพื่อใช้ทำนายปริมาณกรดเฟอรูลิก ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟโครงร่างและกราฟพื้นที่ผิวตอบสนอง ระหว่างปัจจัยที่ใช้ในการสกัดรำข้าวโพดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติ คืออุณหภูมิและเวลาที่ใช้สกัด ต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เพื่อนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (ปัจจัย) และค่าตอบสนอง (Response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดรำข้าวโพดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติ

สภาวะการสกัดที่เหมาะสม ถูกดำเนินการโดยฟังก์ชั่น response optimizer จากโปรแกรมความน่าเชื่อถือและความเป็นไปได้ของสภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมที่ได้สามารถวัดได้จากค่าความพึงพอใจรวมของผลตอบสนอง (Composite desirability: D) โดยค่า D มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 หากค่า D มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 หมายความว่าค่าตอบสนอง (Response) นั้นมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารอาหารหลักในตัวอย่างรำข้าวโพด

ตัวอย่างรำข้าวโพดหลังจากผ่านการล้างส่วนของแป้งออก อบไล่ความชื้น และลดขนาด ถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารอาหารหลัก ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า โดยพบว่าตัวอย่างรำข้าวโพดแห้งมีความชื้นอยู่ร้อยละ 8.53 ไขมันร้อยละ 6.16 โปรตีนร้อยละ17.95 และเถ้าร้อยละ 10.31 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรรณา และคณะ (2547) ที่ทำการตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวโพดหวาน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารหลักในตัวอย่างรำข้าวโพดแห้ง

ชนิดของสารอาหาร	ปริมาณสารอาหาร (เปอร์เซ็นต์)
ความชื้น	8.53±0.03
ไขมัน	6.16±0.30
โปรตีน	17.95±0.19
เถ้า	10.31±0.48

หมายเหตุ : ข้อมูลปริมาณกลุ่มสารอาหารหลักในตัวอย่างใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเท่านั้น
: ค่าการทดลองในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารอาหารหลักในตัวอย่างรำข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ชนิดของสารอาหาร	ปริมาณสารอาหาร (เปอร์เซ็นต์)
ความชื้น	11.77
ไขมัน	8.49
โปรตีน	10.29
เถ้า	3.88

ที่มา : วรรณา และคณะ (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของชนิดตัวทำละลายธรรมชาติต่อการสกัดกรดเฟอรูลิกในตัวอย่างรำข้าวโพดแห้ง

ตัวทำละลายธรรมชาติที่นำมาทดสอบ ได้แก่ น้ำปูนใส น้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว และน้ำด่าง โดยมีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำละลายควบคุม ควบคุมพีเอชของตัวทำละลายธรรมชาติชนิดต่างๆ ให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 11.60±0.2 ที่อุณหภูมิเดียวกัน หลังจากนั้นตัวอย่างรำข้าวโพดแห้งถูกนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายธรรมชาติที่ผ่านการควบคุมพีเอช ด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่สภาวะเดียวกัน คือ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที ปริมาณกรดเฟอรูลิกถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) จากผลการทดลองพบว่า ตัวทำละลายธรรมชาติที่สามารถสกัดกรดเฟอรูลิกได้ปริมาณมากที่สุด คือ น้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว (0.90±0.07 มิลลิกรัมกรดเฟอรูลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง) รองลงมาคือ น้ำด่าง (0.78±0.09 มิลลิกรัมกรดเฟอรูลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 สาเหตุอาจเนื่องมาจากน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าวมีสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) (Robinson et al., 2012) โดยงานวิจัยของโครงการพัฒนาฐานข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (2555) กล่าวว่า ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่พบในพืชจะละลายได้ในสารละลายที่มีความเป็นด่าง และเมื่อโดนความร้อนจะเปลี่ยนรูปเป็นอสัณฐาน เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดเป็นผลึก ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นนี้อาจมีส่วนในการทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ถูกทำลาย หรือเปลี่ยนแปลงไป กรดเฟอรูลิกซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างในผนังเซลล์พืช จึงถูกสกัดออกมาได้ง่ายมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่ใช้ตัวทำละลายจากน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าวมีปริมาณมากกว่าการใช้ตัวทำละลายธรรมชาติชนิดอื่น

ตารางที่ 4.3 ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายธรรมชาติต่างชนิดกัน

ชนิดตัวทำละลาย	ปริมาณกรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)
NaOH	$11.31±0.71^{a}$
น้ำปูนใส	$14.49±0.52^{b}$
น้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว	$17.50±1.19^{c}$
น้ำด่าง	$15.62±2.06^{bc}$

หมายเหตุ : ตัวอักษร a-c ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดรำข้าวโพด ถูกออกแบบโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองแบบประสมกลาง โดยมีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการสกัด จำนวนหน่วยการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองมีทั้งสิ้น 13 หน่วยทดลอง ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้, ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ในแต่ละสภาวะหน่วยทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 โดยค่าผลตอบสนองทั้ง 3 ค่าถูกแสดงเป็นค่าที่ได้จากการทดลองจริง และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกรดเฟอรูลิก ค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด จากการสกัดรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าวในแต่ละสภาวะการทดลองจากการออกแบบการทดลองโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

ปัจจัยที่ศึกษา			ปริมาณกรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมกรดเฟอรูลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง)		ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})(มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิค/มิลลิลิตร)	
ลำดับการทดลองที่	อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้สกัด (นาที)	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย
1	121	10	10.72	10.26	13.57	13.41	2.43	2.86
2	131	10	6.53	6.66	12.47	12.54	2.68	2.50
3	121	30	11.56	11.19	11.21	11.94	4.48	4.31
4	121	20	12.44	11.33	12.68	11.37	4.65	4.39
5	131	20	8.94	8.73	9.70	10.0	4.46	4.52
6	121	20	11.12	11.33	11.57	11.37	4.45	4.39
7	121	20	10.90	11.33	11.08	11.37	4.45	4.39
8	111	20	13.33	12.72	7.22	7.49	4.24	4.44
9	131	30	9.51	9.59	10.44	10.07	4.81	4.93
10	111	30	11.29	11.58	8.91	8.55	3.81	3.86
11	121	20	10.94	11.33	11.67	11.37	4.44	4.39
12	121	20	10.42	11.33	10.43	11.37	4.24	4.39
13	111	10	12.32	12.65	8.95	9.04	3.64	3.39

4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการสกัดรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว

4.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมการโมเดลถดถอยของปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้

สมการโมเดลถดถอยที่ใช้ในการทำนายปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้นั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 จากข้อมูลในตารางสามารถสรุปได้ว่าสมการโมเดลถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจาก ค่า *p*-value ของ Model มีค่า ≤0.05 รวมถึงค่า *p*-value ของ Lack of fit >0.05 แสดงถึงความเหมาะสมในการนำสมการโมเดลถดถอยนี้มาใช้ทำนายค่าปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้

ตารางที่ 4.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้ (Analysis of Variance (ANOVA))

Source	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F-value	*p*-value	Significance of fitted quadratic regression
Model	32.425	5	6.4849	13.26	0.002	significant
Error	3.422	7	0.4889			
Lack of fit	1.119	3	0.3729	0.65	0.624	Not significant
Pure error	2.304	4	0.5759			
Total	35.847	12				

4.4.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณกรดเฟอรูลิก

สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยสำหรับการทำนายค่าปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้จากรำข้าวโพด แสดงดังตารางที่ 4.6 จากข้อมูลในตาราง พบว่า ปัจจัยอุณหภูมิ และอุณหภูมิร่วมกับเวลาในการสกัด เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) เป็นค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย (ประไพศรี และพงศ์ชนัน, 2551) มีค่าเท่ากับ 0.9045 หมายความว่าตัวแปรอิสระ (อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้) ได้ร้อยละ 90.45 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่ได้สามารถนำไปสร้างสมการทำนาย เพื่อหาค่าผลตอบสนองได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยสมการการทำนายค่าปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้ แสดงดังสมการที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

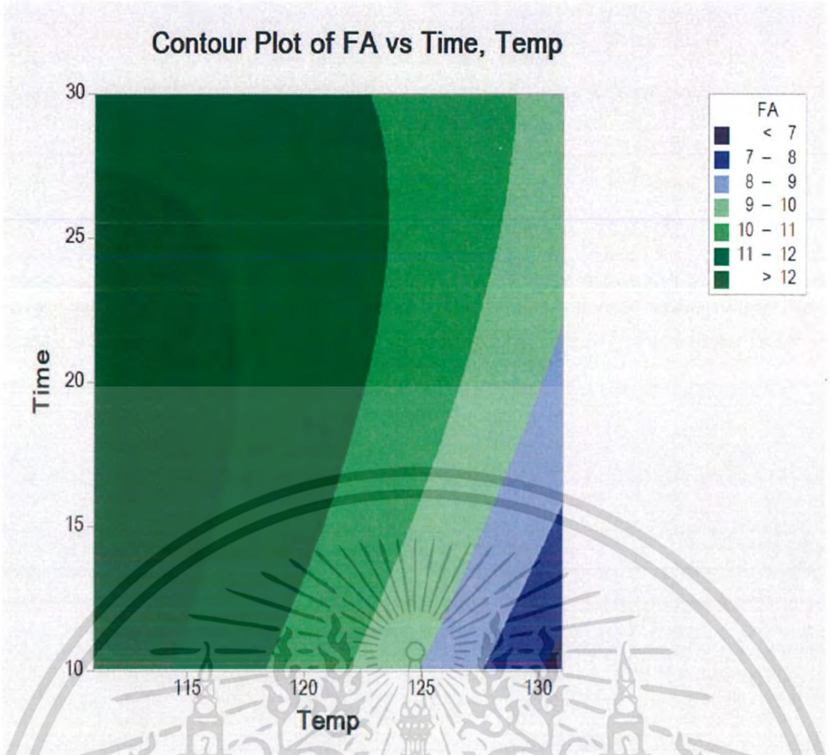
Term	Coef	SE Coef	*p*-value
ค่าคงที่	11.392	39.02	0.0000
อุณหภูมิ	-1.993	-6.98	0.0000
เวลา	0.465	1.63	0.1470
อุณหภูมิ*อุณหภูมิ	-0.608	-1.44	0.1920
เวลา*เวลา	-0.603	-1.43	0.1950
อุณหภูมิ*เวลา	1.003	2.87	0.0240
S = 0.699206 R^2 = 90.45 % ; R^2 (adj) = 83.63 %			

ปริมาณกรดเฟอรูลิก (มิลลิกรัมกรดเฟอรูลิกต่อมิลลิกรัมรำข้าวโพดแห้ง) = - 32.6 + 1.07(อุณหภูมิ) - 0.925(เวลา) - 0.00608(อุณหภูมิ)*(อุณหภูมิ) - 0.00603(เวลา)*(เวลา) + 0.01003(อุณหภูมิ)*(เวลา) ______(6)

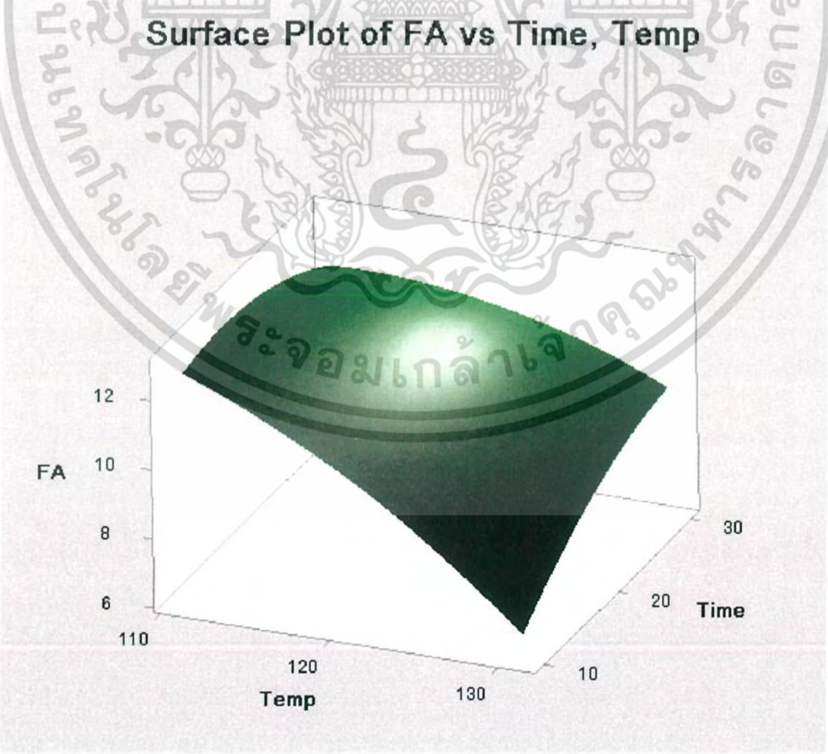
4.4.3 การวิเคราะห์กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนองของปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้จากรำข้าวโพด

กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก แสดงดังภาพที่ 4.1-4.2 ข้อมูลจากกราฟสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดตัวอย่างมากขึ้น ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่ได้มีแนวโน้มลดลง โดยผลจากปัจจัยอุณหภูมิส่งผลต่อการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้มากกว่าปัจจัยด้านระยะเวลา ซึ่งผลการวิจัยในนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Walter และคณะ (1967) ซึ่งกล่าวว่า ปริมาณกรดเฟอรูลิกจะลดลง เมื่อมีการให้ความร้อนที่สูงขึ้น (ภาพที่ 4.3) ทั้งนี้เนื่องมาจากการให้ความร้อนสูงแก่กรดเฟอรูลิก จะทำให้โครงสร้างของกรดเฟอรูลิกเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารชนิดอื่น เช่น วานิลลิน (4-vinylguaiacol) ซึ่งเป็นสารที่พบมากที่สุดเมื่อให้ความร้อนสูงแก่กรดเฟอรูลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

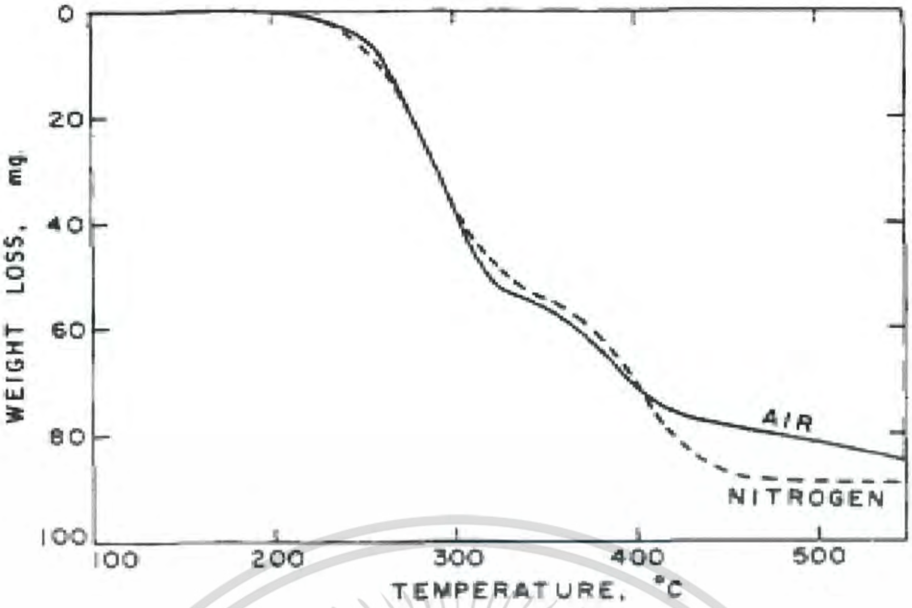


ภาพที่ 4.1 แสดงกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก



ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

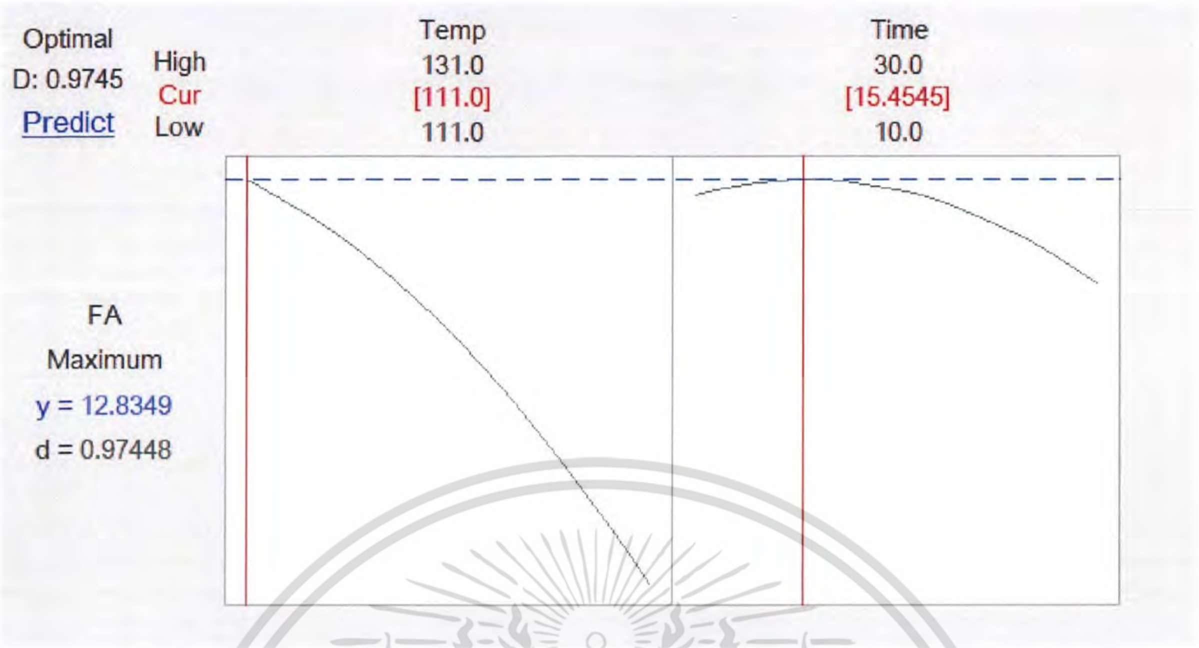


ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก
ที่มา : Walter และคณะ (1967)

4.4.4 ผลการหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงสุดจากการคำนวณโดยโปรแกรม

สภาวะการสกัดกรดเฟอรูลิก ขึ้นกับ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้สกัด การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สูงสุดภายหลังการสกัด ถูกดำเนินการโดยการใช้ฟังก์ชัน Response optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จากการคำนวณโดยโปรแกรม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพดโดยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว คือ ที่อุณหภูมิการสกัดที่ 111 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 15.45 นาที แสดงดังภาพที่ 4.4 ซึ่งสภาวะการสกัดดังกล่าว ส่งผลให้มีปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้ เท่ากับ 12.83 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่างรำข้าวโพดแห้ง โดยมีค่าความพึงพอใจรวมของผลตอบสนอง (Composite desirability: D) เท่ากับ 0.97448 ถือว่าเป็นค่าที่สูง (ค่า D มีค่าอยู่ในช่วง 0-1) เนื่องจากหากค่า D มีค่าเข้าใกล้ หรือเท่ากับ 1 แสดงถึง ผลตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการกำหนดค่าปัจจัยเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ (ดาริกา, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากฟังก์ชัน Response optimizer โดยโปรแกรม Minitab® (เวอร์ชั่น 18; IBM, Pennsylvania, USA).

4.4.5 การทวนสอบค่าความถูกต้องของสมการการทำนายปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดจากรำข้าวโพด

ผลการทวนสอบค่าความถูกต้องของสมการการทำนายปริมาณกรดเฟอรูลิกในสภาวะการสกัดใหม่ทั้ง 5 สภาวะ ถูกแสดงในตารางที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณกรดเฟอรูลิกที่ได้จากการทดลอง และปริมาณกรดเฟอรูลิกที่ได้จากสมการการทำนาย นำมาหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน พบว่า ทุกสภาวะการสกัดที่นำมาทวนสอบ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าสมการการทำนายปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดจากรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าวมีความน่าเชื่อถือ และเหมาะสมในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สกัดได้จากรำข้าวโพด และร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทวนสอบสมการ

ลำดับการทดลองที่	เวลาในการสกัด (นาที)	อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (มิลลิกรัมกรดเฟอรูลิกต่อมิลลิกรัมตัวอย่างแห้ง)	ค่าที่ได้จากการสมการ (มิลลิกรัมกรดเฟอรูลิกต่อมิลลิกรัมตัวอย่างแห้ง)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1	111	15	12.39	12.73	2.72
2	113	28	12.75	11.78	7.59
3	120	10	11.04	10.43	5.52
4	120	25	12.34	11.44	7.26
5	127	15	10.01	9.10	9.08

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมการโมเดลถดถอยของความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด

สมการโมเดลถดถอยที่ใช้ในการทำนายความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้นั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จากข้อมูลในตารางสามารถสรุปได้ว่า สมการโมเดลถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจาก ค่า *p*-value ของ Model มีค่า ≤0.05 รวมถึงค่า *p*-value ของ Lack of fit >0.05 แสดงถึงความเหมาะสมในการนำสมการโมเดลถดถอยนี้มาใช้ทำนายค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากรำข้าวโพดที่สกัดได้

ตารางที่ 4.8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้ (Analysis of Variance (ANOVA))

Source	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F-value	*p*-value	Significance of fitted quadratic regression
Model	33.0550	5	6.6110	12.16	0.002	significant
Error	3.8058	7	0.5437			
Lack of fit	1.0593	3	0.3531	0.51	0.694	Not significant
Pure error	2.7465	4	0.6866			
Total	36.8608	12				

4.4.7 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด

สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยสำหรับการทำนายค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด แสดงดังตารางที่ 4.9 จากข้อมูลในตารางพบว่า ปัจจัยอุณหภูมิ เวลา อุณหภูมิร่วมกับอุณหภูมิ และเวลาร่วมกับเวลาในการสกัด เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย (ประไพศรี และพงศ์ชนัน, 2551) มีค่าเท่ากับ 0.8968 หมายความว่า ตัวแปรอิสระ (อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้) ได้ร้อยละ 89.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองที่ได้สามารถนำไปสร้างสมการทำนาย เพื่อหาค่าผลตอบสนองได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสม โดยสมการการทำนายค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้ แสดงดังสมการที่ 7

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

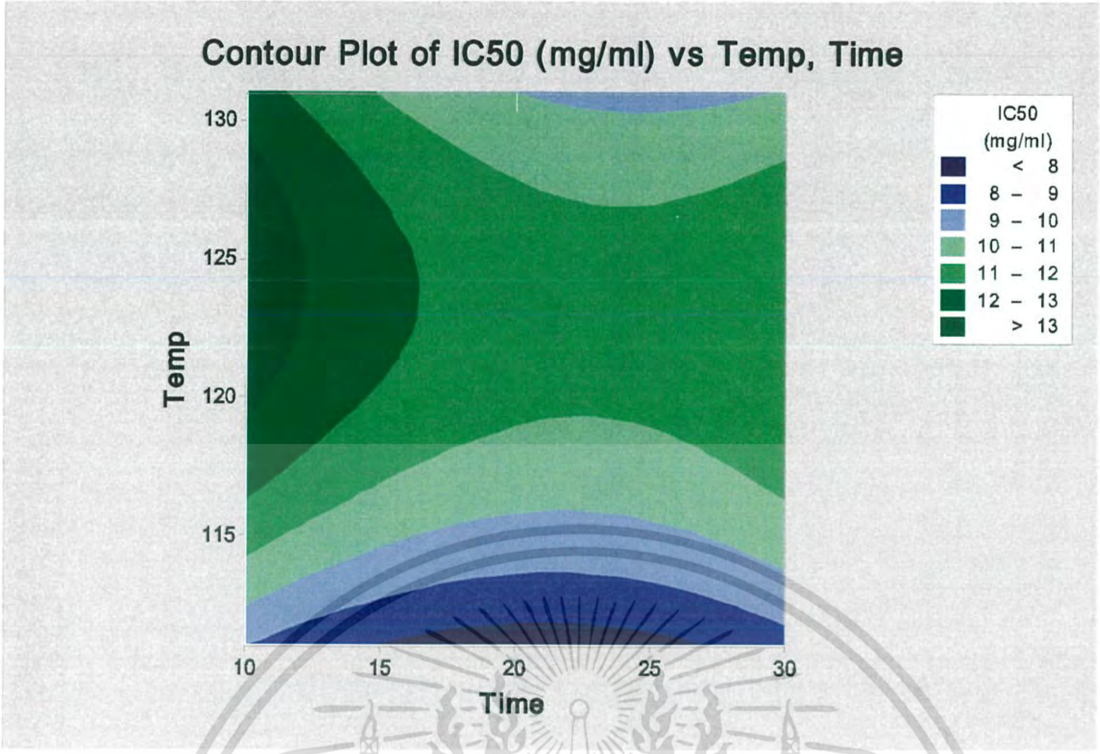
Term	Coef	SE Coef	*p*-value
ค่าคงที่	11.372	0.306	0.000
อุณหภูมิ	1.255	0.301	0.044
เวลา	-0.738	0.301	0.004
อุณหภูมิ*อุณหภูมิ	-2.626	0.444	0.001
เวลา*เวลา	1.304	0.444	0.022
อุณหภูมิ*เวลา	-0.498	0.369	0.219
S = 0.737350 R^2 = 89.68 % ; R^2 (adj) = 82.30 %			

ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) = - 393.6 + 0.007(เวลา) + 6.58(อุณหภูมิ) + 0.01304 (เวลา)*(อุณหภูมิ) - 0.02626(อุณหภูมิ)*(อุณหภูมิ) - 0.00498 (เวลา)*(อุณหภูมิ) (7)

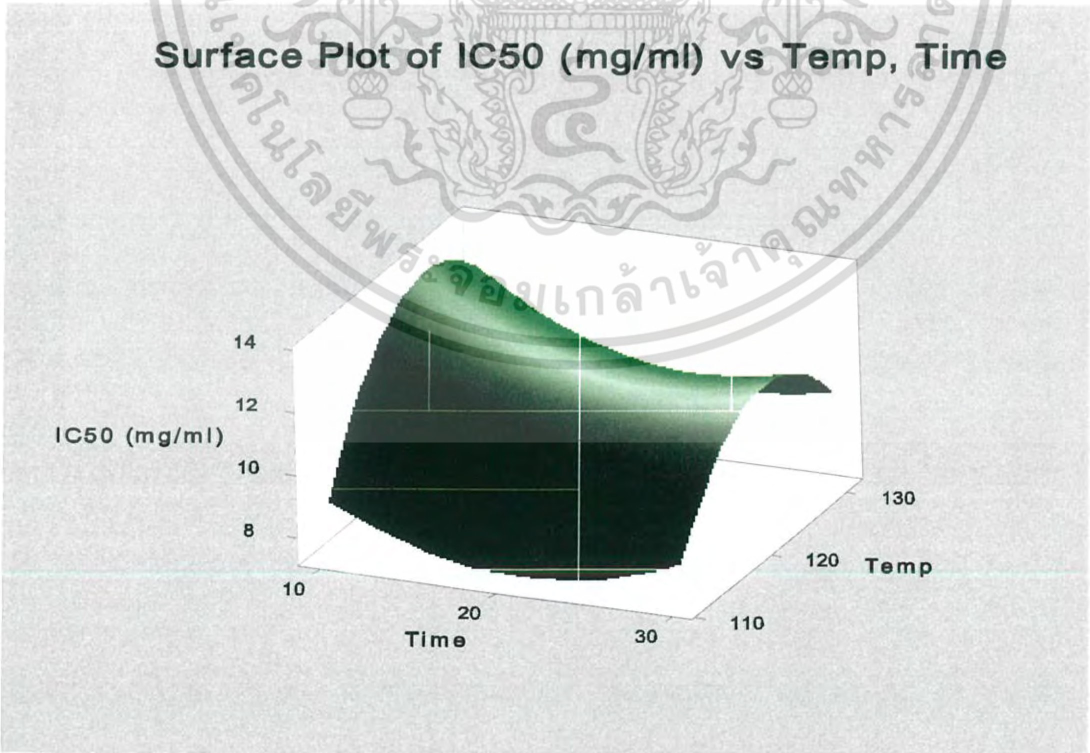
4.4.8 การวิเคราะห์กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนองของความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด

กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้ แสดงดังภาพที่ 4.5-4.6 ข้อมูลจากกราฟสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดตัวอย่างมากขึ้นหรือการให้ความร้อนสูงมากเกินไป ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลง โดยผลจากปัจจัยด้านอุณหภูมิส่งผลต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมากกว่าปัจจัยด้านระยะเวลา ซึ่งผลการวิจัยในนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jose และคณะ (1997) กล่าวว่าสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการทนความร้อนที่แตกต่างกัน หากได้รับความร้อนที่สูงมากเกินไป จะทำให้สารต้านอนุมูลอิสระนั้นสูญเสียสภาพ และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระก็จะลดลงตามไปด้วยเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

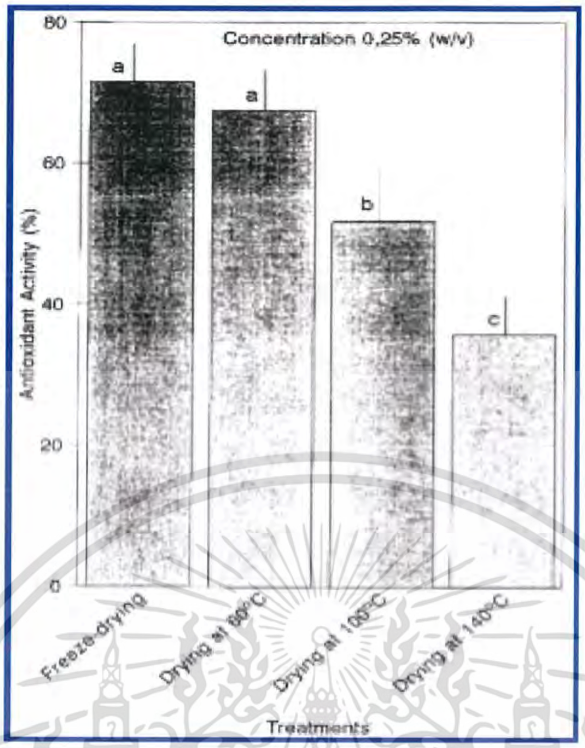


ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด



ภาพที่ 4.6 แสดงกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

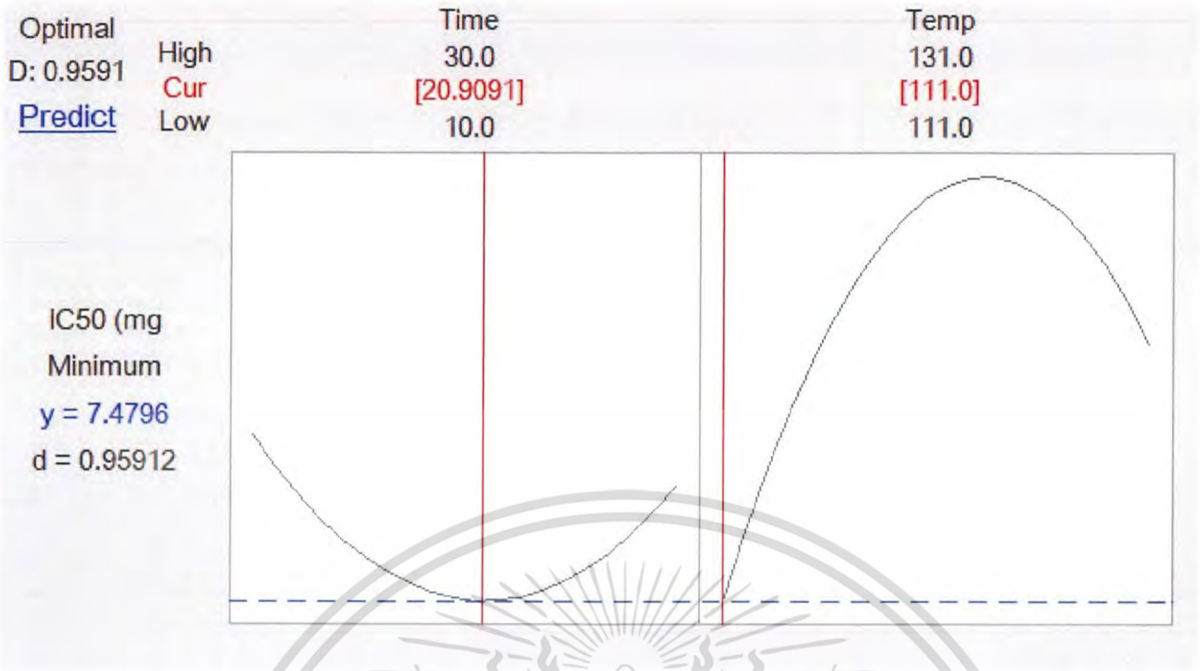


ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ
ที่มา : Jose และคณะ (1997)

4.4.9 ผลการหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้สารสกัดมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดจากการคำนวณโดยโปรแกรม

สภาวะการสกัดเพื่อให้สารสกัดมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ขึ้นกับ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้สกัด การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารสกัดมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงสุดภายหลังการสกัด ถูกดำเนินการโดยการใช้ฟังก์ชัน Response optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จากการคำนวณโดยโปรแกรม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้สารสกัดที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 20.90 นาที แสดงดังภาพที่ 4.8 ซึ่งสภาวะการสกัดดังกล่าว ส่งผลให้สารสกัดมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) เท่ากับ 7.48 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดย มีค่าความพึงพอใจรวมของผลตอบสนอง (Composite desirability: D) เท่ากับ 0.95912 ถือว่าเป็นค่าที่สูง (ค่า D มีค่าอยู่ในช่วง 0-1) เนื่องจากหากค่า D มีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 1 แสดงถึงผลตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการกำหนดค่าปัจจัยเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ (ดาริกา, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดรำข้าวโพดเพื่อให้ได้สารสกัดมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด จากฟังก์ชัน Response optimizer โดยโปรแกรม Minitab® (เวอร์ชั่น 18; IBM, Pennsylvania, USA).

4.4.10 การทวนสอบค่าความถูกต้องของสมการการทำนายค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด

ผลการทวนสอบความถูกต้องของสมการการทำนายค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ได้ในสภาวะการสกัดใหม่ทั้ง 5 สภาวะ ถูกแสดงในตารางที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการทดลอง และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากสมการการทำนาย นำมาหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน พบว่า ทุกสภาวะการสกัดที่นำมาทวนสอบ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า สมการการทำนายความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพดมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรำข้าวโพด และร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทวนสอบสมการ

ลำดับการทดลองที่	**เวลาในการสกัด (นาที)**	**อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)**	**ค่าที่ได้จากการทดลอง (IC_{50}) (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)**	**ค่าที่ได้จากการสมการ (IC_{50}) (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)**	**ร้อยละความคลาดเคลื่อน**
1	111	15	8.58	7.98	6.97
2	113	28	10.33	9.29	10.06
3	120	10	13.97	13.25	5.13
4	120	25	12.34	11.24	6.35
5	127	15	13.16	12.06	8.31

4.4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมการโมเดลถดถอยของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้

สมการโมเดลถดถอยที่ใช้ในการทำนายปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้นั้นสามารถวิเคราะห์ได้จาก การวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 จากข้อมูลในตารางสามารถสรุปได้ว่า สมการโมเดลถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจาก ค่า *p*-value ของ Model มีค่า ≤0.05 รวมถึง ค่า *p*-value ของ Lack of fit >0.05 แสดงถึงความเหมาะสมในการนำสมการโมเดลถดถอยนี้มาใช้ทำนายค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้

ตารางที่ 4.11 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการโมเดลถดถอยของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้ (Analysis of Variance (ANOVA))

Source	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F-value	*p*-value	Significance of fitted quadratic regression
Model	6.09565	5	1.21913	18.35	0.001	significant
Error	0.46495	7	0.06642			
Lack of fit	0.38083	3	0.12694	6.04	0.058	Not significant
Pure error	0.08412	4	0.02103			
Total	6.56060	12				

4.4.12 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยสำหรับการทำนายค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากรำข้าวโพด แสดงดังตารางที่ 4.12 จากข้อมูลในตารางพบว่า ปัจจัยเวลา เวลาร่วมกับเวลา และอุณหภูมิร่วมกับเวลาในการสกัด เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย (ประไพศรี และพงศ์ชนัน, 2551) มีค่าเท่ากับ 0.9291 หมายความว่า ตัวแปรอิสระ (อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้) ได้ร้อยละ 92.91 ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองสามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบสนองได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยสมการการทำนายปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้ แสดงดังสมการที่ 8

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเดลถดถอยโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

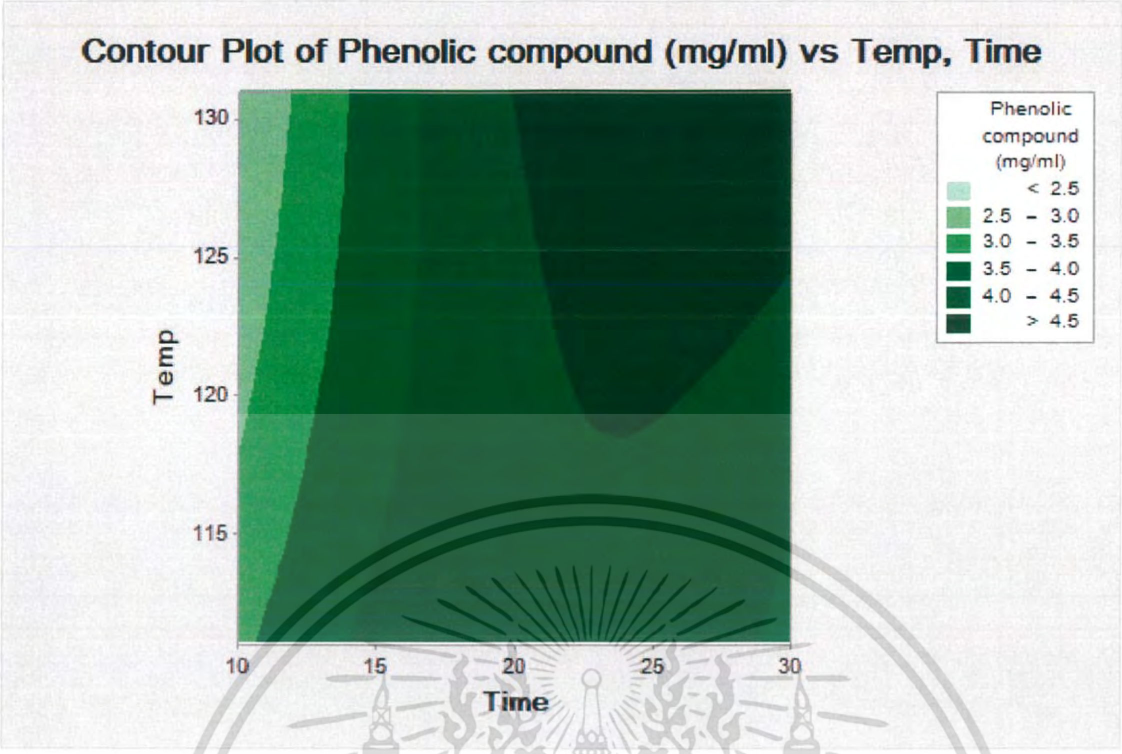
Term	Coef	SE Coef	*p*-value
ค่าคงที่	4.394	0.107	0.000
อุณหภูมิ	0.0043	0.105	0.693
เวลา	0.725	0.105	0.000
อุณหภูมิ*อุณหภูมิ	0.086	0.155	0.598
เวลา*เวลา	-0.809	0.155	0.001
อุณหภูมิ*เวลา	0.490	0.129	0.007
S = 0.2577725 R^2 = 92.91 % ; R^2 (adj) = 87.85 %			

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิคต่อมิลลิลิตร) = - 393.6 + 0.007(เวลา) + 6.58(อุณหภูมิ) + 0.01304 (เวลา)*(เวลา) - 0.02626(อุณหภูมิ)*(อุณหภูมิ) - 0.00498 (เวลา)*(อุณหภูมิ) ——— (8)

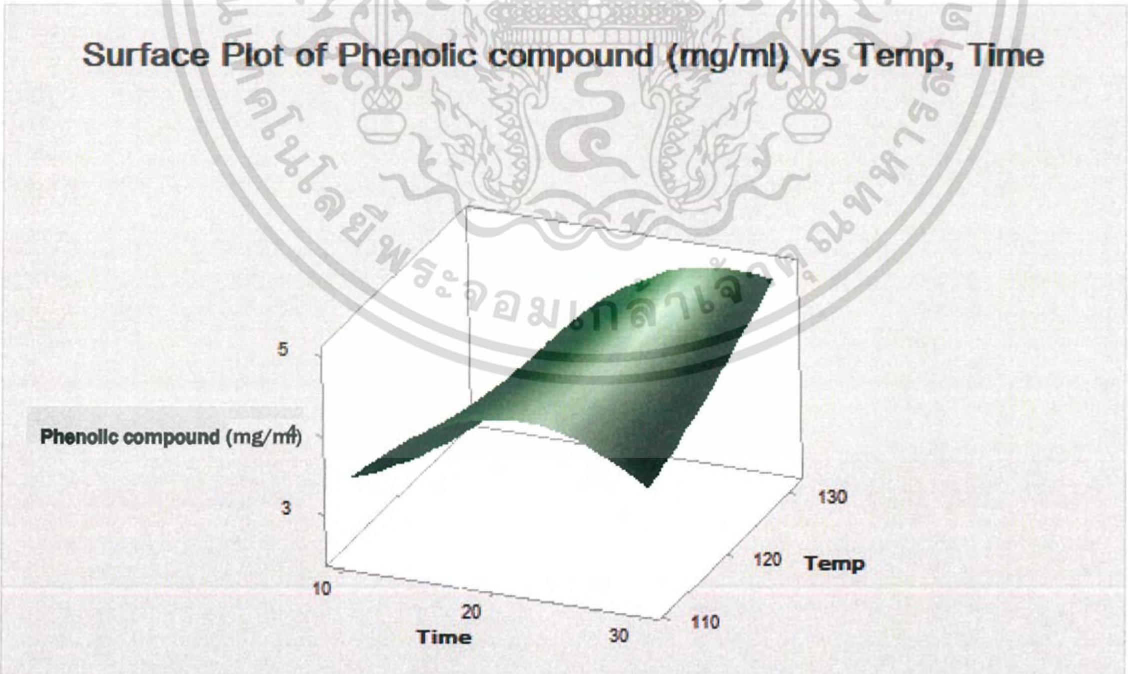
4.4.13 การวิเคราะห์กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนองของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดจากรำข้าวโพด

กราฟโครงร่างและกราฟพื้นผิวตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 4.9-4.10 ข้อมูลจากกราฟสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดตัวอย่างมากขึ้น ฟีนอลิกที่สกัดได้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยผลจากปัจจัยด้านเวลาส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้มากกว่าปัจจัยด้านอุณหภูมิ ซึ่งผลการวิจัยในนี้สอดคล้องกับงานวิจัย Thoo และคณะ (2010) ซึ่งได้กล่าวว่า เมื่อให้ความร้อนสูงกับลูกยอจะส่งผลให้ผนังเซลล์ของลูกยอถูกทำลาย และทำให้สารฟีนอลิกนั้นถูกปล่อยให้เป็นอิสระมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

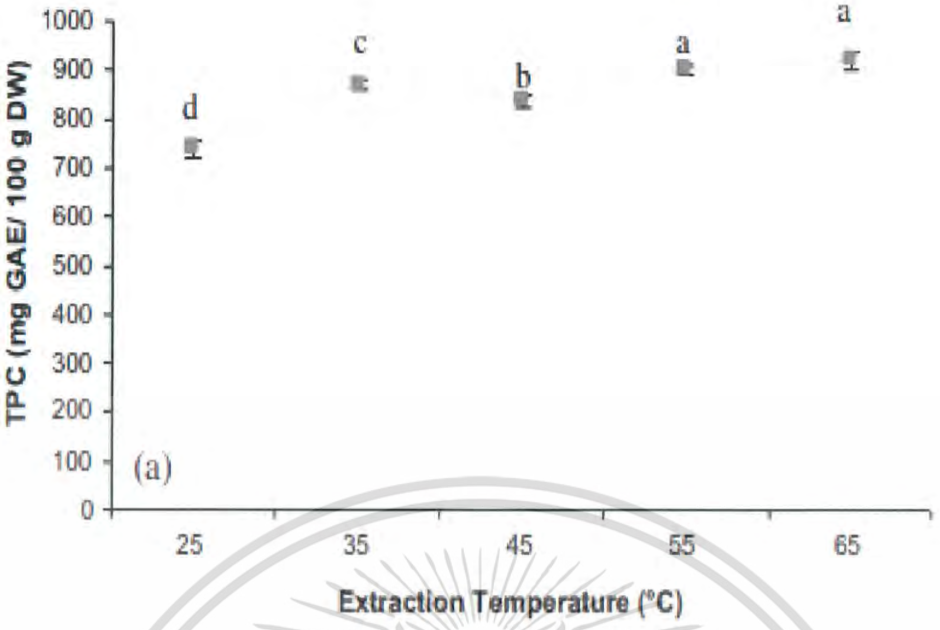


ภาพที่ 4.9 แสดงกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้



ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



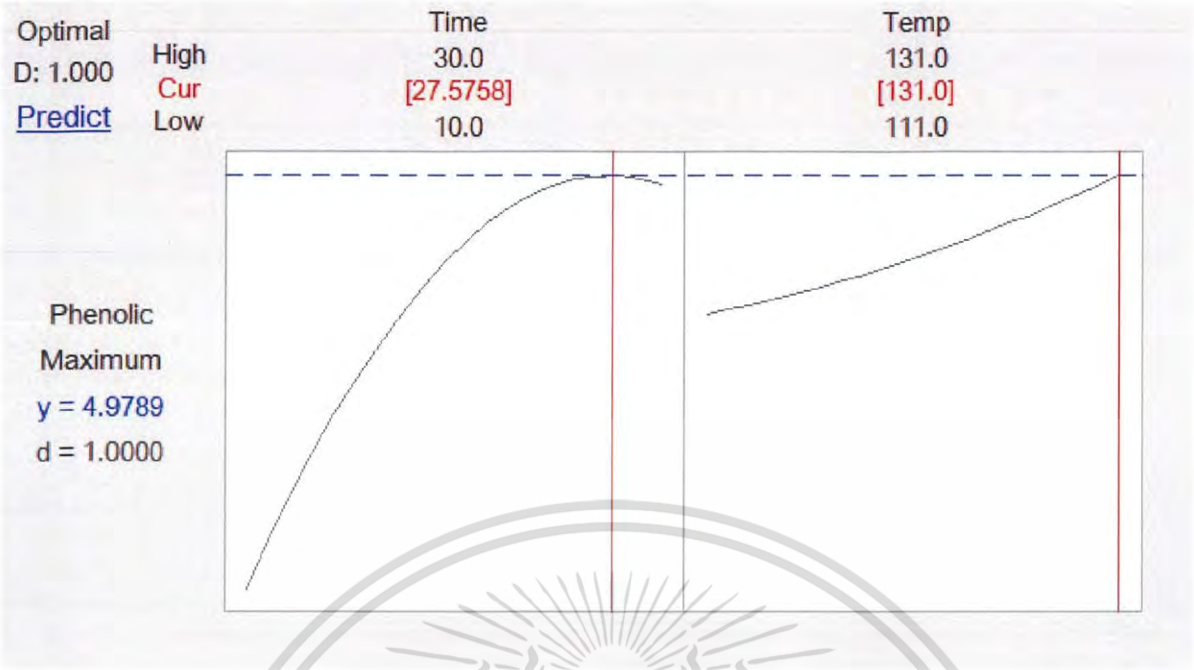
ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในลูกยอ

ที่มา : Thoo และคณะ (2010)

4.4.14 ผลการหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดจากการคำนวณโดยโปรแกรม

สภาวะการสกัดฟีนอลิกขึ้นกับ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้สกัด การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณฟีนอลิกที่สูงสุดภายหลังการสกัด ถูกดำเนินการโดยการใช้ฟังก์ชัน Response optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จากการคำนวณโดยโปรแกรม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดฟีนอลิกจากรำข้าวโพดโดยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 131 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 27.57 นาที แสดงดังภาพที่ 4.12 ซึ่งสภาวะการสกัดดังกล่าว ส่งผลให้มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้ เท่ากับ 4.98 มิลลิกรัมกรดแกลลิคต่อมิลลิลิตร โดยมีค่าความพึงพอใจรวมของผลตอบสนอง (Composite desirability: D) เท่ากับ 1.0000 ถือว่าเป็นค่าที่สูง (ค่า D มีค่าอยู่ในช่วง 0-1) เนื่องจากหากค่า D มีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 1 แสดงถึง ผลตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการกำหนดค่าปัจจัยเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ (ดาริกา, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของสารสกัดจากรำข้าวโพดเพื่อให้มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด

4.4.15 การทวนสอบค่าความถูกต้องของสมการการทำนายค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากรำข้าวโพด

ผลการทวนสอบค่าความถูกต้องของสมการการทำนายค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสภาวะการสกัดใหม่ทั้ง 5 สภาวะ ถูกแสดงในตารางที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดได้จากการทดลอง และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากสมการการทำนาย นำมาหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนพบว่า ทุกสภาวะการสกัดที่นำมาทวนสอบ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าสมการการทำนายปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดจากรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าวมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากรำข้าวโพด และร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทวนสอบสมการ

ลำดับการทดลอง	เวลาในการสกัด (นาที)	อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (มิลลิกรัมกรดแกลลิคต่อมิลลิลิตร)	ค่าที่ได้จากการสมการ (มิลลิกรัมกรดแกลลิคต่อมิลลิลิตร)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1	111	15	4.28	4.17	2.50
2	113	28	4.18	4.21	0.85
3	120	10	3.03	2.97	2.22
4	120	25	4.30	4.58	6.62
5	127	15	3.45	3.80	10.33

บทที่ 5
สรุปผล

จากการทดลองนำรำข้าวโพดซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำนมข้าวโพด มาวิเคราะห์เพื่อหาชนิดของตัวทำละลายธรรมชาติที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิก พบว่า ตัวทำละลายธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากรำข้าวโพดสูงสุด คือ น้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าว จากนั้นจึงหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมของการสกัดรำข้าวโพดด้วยน้ำขี้เถ้ากาบมะพร้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาการสกัดที่แตกต่างกันโดยการใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ซึ่งพบว่า การสกัดรำข้าวโพดที่อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 15.45 นาที เป็นสภาวะที่ให้ปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะการสกัดรำข้าวโพดที่อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 20.90 นาที และสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 131 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 27.57 นาที เป็นสภาวะที่ทำให้สารสกัดจากรำข้าวโพดมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษดา ศิรามพุช. 2553. พบข้าวโพดต้มสุกต้านมะเร็งได้. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.gotoknow.org/posts/342388. 18 เมษายน 2562.

จิตานันท์ พลายมี. 2554. น้ำด่าง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.livehealthy.co.th. 18 เมษายน 2562.

ดาริกา อวะภาค, ดลฤดี พิชัยรัตน์ และนพรัตน์ มะเห. 2556. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายผมนาง โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 41: 414-430.

ธงชัย พุฒทองศิริ. 2557. การผลิตหมึกดำผงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการบริการอาหาร. สาขาเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธาตรี จิราพันธุ์. 2555. อาหารและการให้อาหารสัตว์สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

ธีระยุทธ สุวรรณประทีป, พิชัย ลีละพัฒนะ, พงษ์ธร จรัญญากรณ์ และนพดล เวชสวัสดิ์. 2546. เตาอบไมโครเวฟ และเครื่องนึ่งความดันไอน้ำ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/5/microwave and autoclave/index.htm. 18 เมษายน 2562.

นัทธพงศ์ พละทรัพย์, อัฐพล อาจคงหาญ และปรเมศร์ เหล่าโรจน์ทวีกุล. 2559. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกรดเฟอรูลิกจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง. ปัญหาพิเศษปริญญาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป. 277-280.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิติยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. 2560. น้ำปูนใส. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/cookbook/ingredient/น้ำปูนใส. 18 เมษายน 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิติยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. 2560. โซเดียมไฮดรอกไซด์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0819/Sodium-hydroxide-โซดาไฟ. 18 เมษายน 2562.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. 2560. น้ำขี้เถ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0306/Ash lye water. 18 เมษายน 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. 2560. HPLC. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4537/HPLC. 18 เมษายน 2562.

วรรณา อ่างทอง, สดุดี พงษ์เพียจันทร์ และวารุณี พานิชผล. 2547. ตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.poonudom.com/book31.pdf. 18 เมษายน 2562.

วิภาภรณ์ ณ กลาง. 2557. กรดเฟอรูลิก (สารธรรมชาติมากคุณค่าปลอดภัยสูง). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2555. ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/info_index.php?cat_id=5. 18 เมษายน 2562.

Robinson, B., Hoh, P.D., Madakson, P., Nguyen T.N. and Shivashankar S.A. 1987. High Quality Deposition of SiO_2 Downstream from a Microwave Discharge. Watson Research Center. 98: 313-319.

Budaraju, S., Mallikarjunan, K., Raun, R. and Schoenfuss, T. 2018. Effect of pre-treatments on the antioxidant potential of phenolic extracts from barley malt rootlet. Food Chemistry. 266: 31-37.

Ingkasupart, P., Manochai, B., Song, W.T. and Hong, J.H. 2015. Antioxidant activities and lutein content of 11 marigold cultivars (*Tagetes spp.*) grown in Thailand. Food Science And Technology Campinas. 35: 380-385.

Jose, L.A., Rupe, R.P. and Saura, C.F. 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 45: 1390–1393.

Moghadasian, M.H. and Zhao, Z.H. 2008. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: a review. Food Chemistry. 109: 691–702.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shengqiang, Z., Shengwen, Y., Shiyi, O., Jing, L., Yong, W., Xichun, P., Aijun, L. and Bing, Y. 2016. Preparation of ferulic acid from corn bran: Its improved extraction and purification by membrane separation. Food and Bioproducts Processing. 14: 309-313.

Thoo, Y.Y., Swee, K.H., Jia, Y.L., Chun, W.H. and Chin, P.T. 2010. Effects of binary solvent extraction system, extraction time and extraction temperature on phenolic antioxidants and antioxidant capacity from mengkudu (*Morinda citrifolia*). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 120: 290–295.

Walter, F.W.E., Parker, A.E., Wasserman and Doerr, R.C. 1967. Thermal decomposition of ferulic acid. Food Chemistry. 15: 757-761.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ภาพประกอบวิธีการเตรียมตัวอย่างรำข้าวโพดแห้ง

ภาพที่ ก.1 การเก็บตัวอย่างกากข้าวโพดจากไร่สุวรรณ จังหวัด นครราชสีมา

ภาพที่ ก.2 ขั้นตอนการล้างแป้งออกจากกากข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.3 รำข้าวโพดเปียก

ภาพที่ ก.4 รำข้าวโพดภายหลังการอบแห้ง

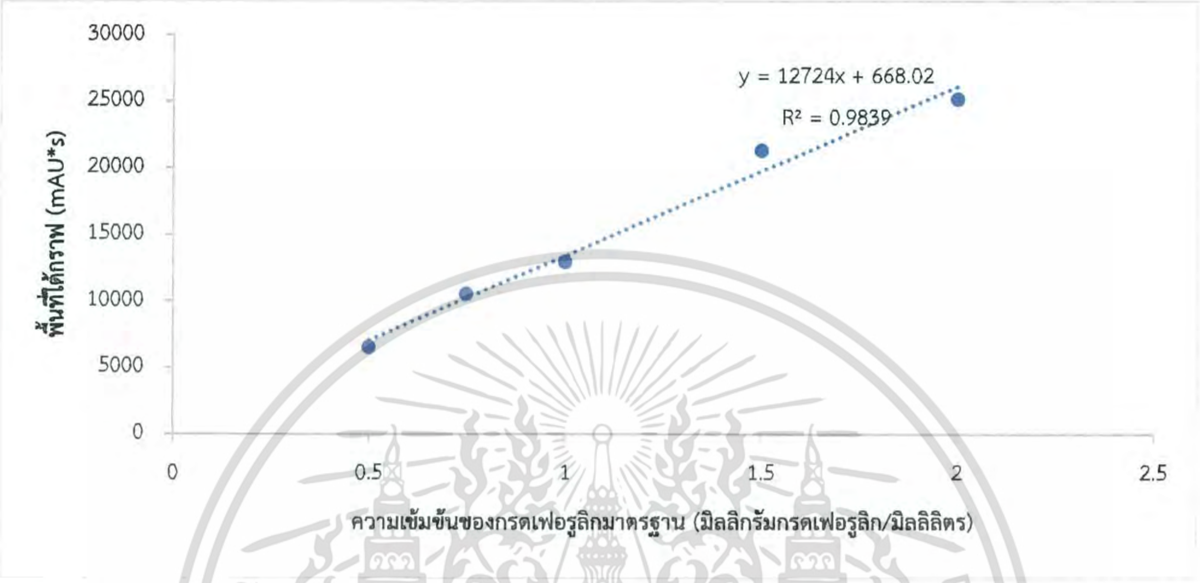
ภาพที่ ก.5 การบดรำข้าวโพด และร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

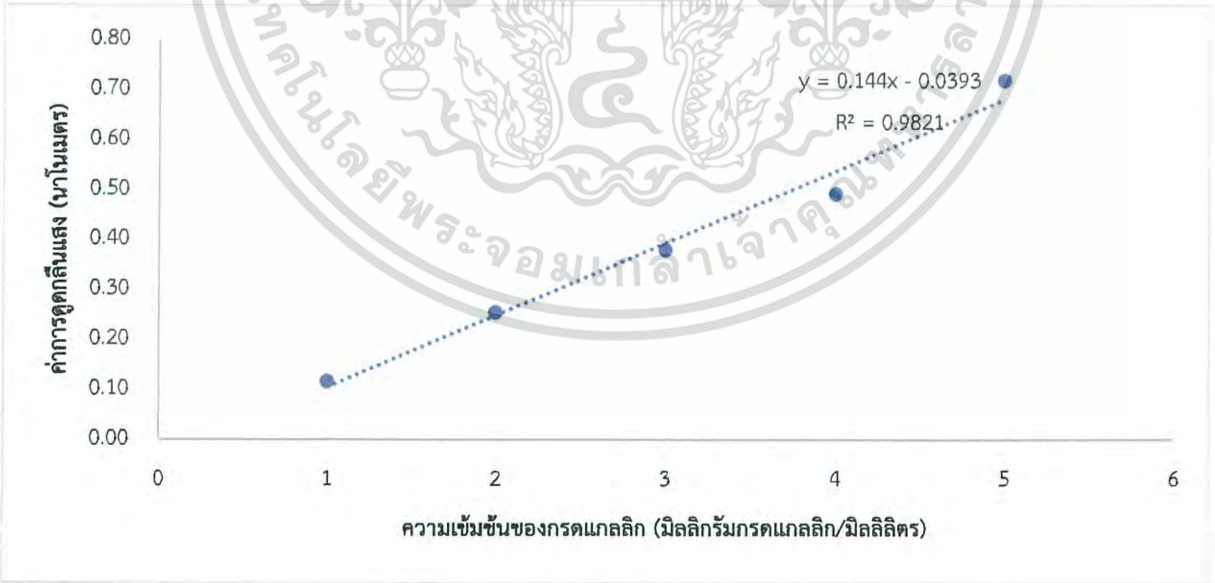
ภาพที่ ก.6 ตัวอย่างรำข้าวโพดแห้งบดละเอียด บรรจุในถุงสุญญากาศด้วยระบบการบรรจุแบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
กราฟที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

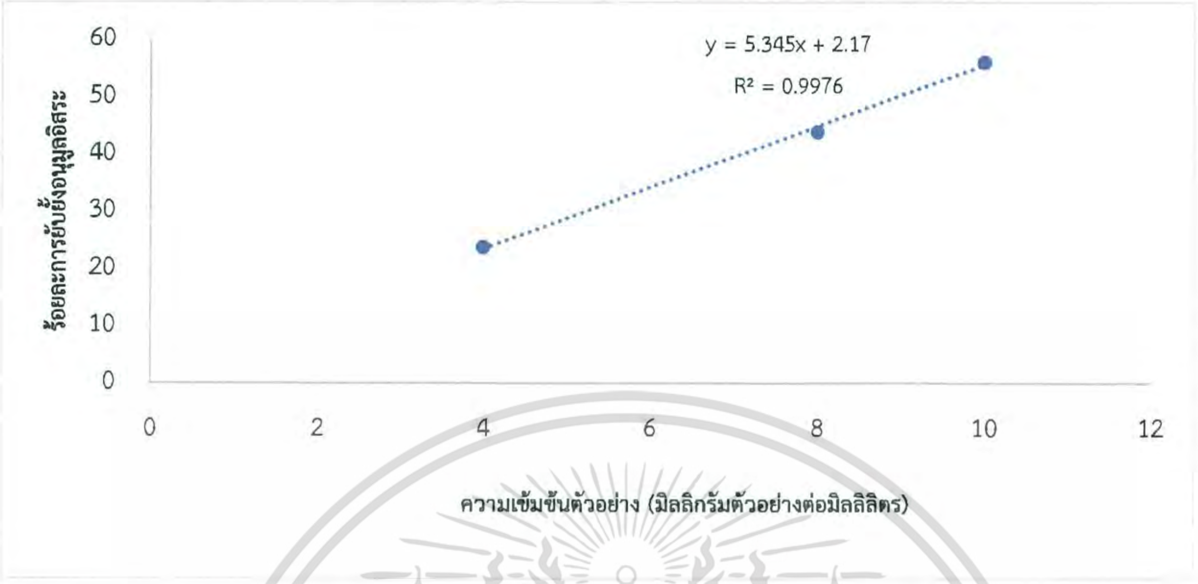


ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของกรดเฟอรูลิกมาตรฐาน

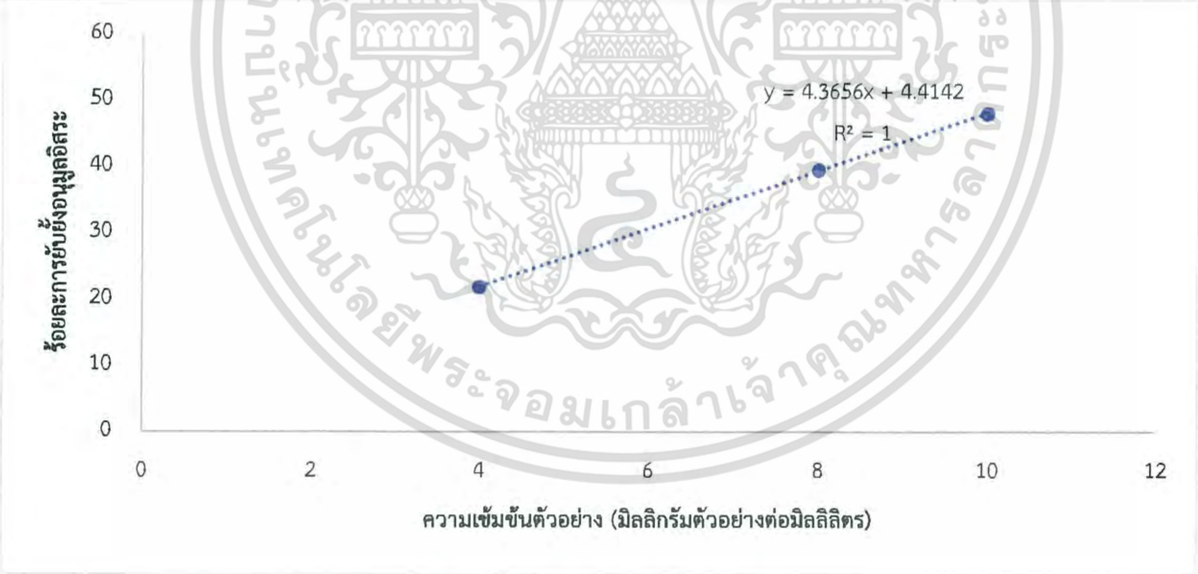


ภาพที่ ข.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของกรดแกลลิกมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



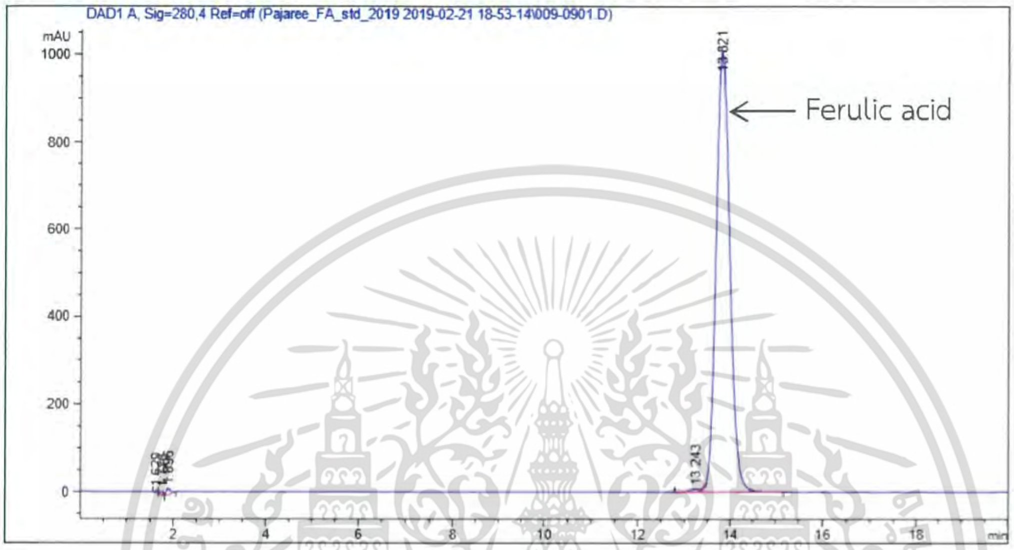
ภาพที่ ข.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระกับความเข้มข้นของสารสกัดจากข้าวโพดที่ผ่านการสกัดที่อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที



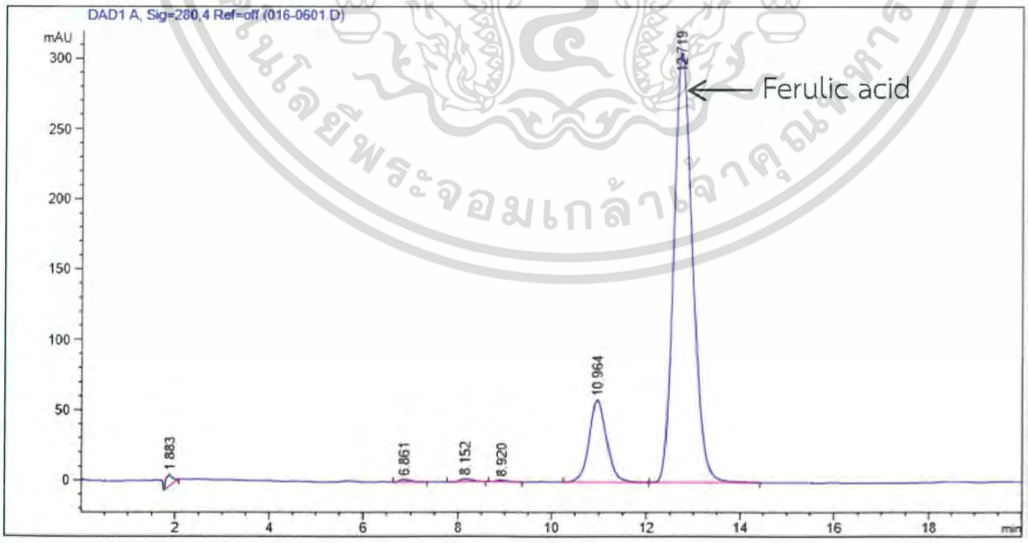
ภาพที่ ข.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระกับความเข้มข้นของสารสกัดจากรำข้าวโพดที่ผ่านการสกัดที่อุณหภูมิ 131 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์จากเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

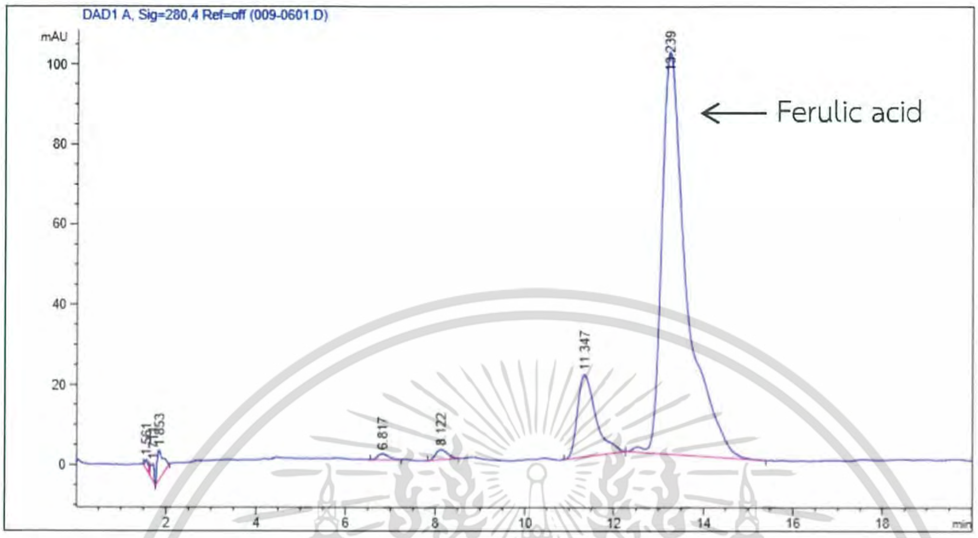


ภาคที่ ค.1 HPLC โครมาโตรแกรมของกรดเฟอรูลิกมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร



ภาพที่ ค.2 HPLC โครมาโตรแกรมกรดเฟอรูลิกของสารสกัดจากรำข้าวโพด ที่ผ่านการสกัดที่อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.3 HPLC โครมาโตรแกรมกรดเฟอรูลิกของสารสกัดจากรำข้าวโพด ที่ผ่านการสกัดที่อุณหภูมิ 131 องศาเซลเซียส เวลา 30 นา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวกมลฉัตร วงศ์จินดา
วัน เดือน ปี เกิด	13 มกราคม 2540
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	ฝึกงานที่ บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด
รางวัลที่เคยได้รับ	รางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 2 และรางวัลนำเสนอดีเด่น การประกวดนวัตกรรมอาหารจากงานวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวชญานุชต์ บุญสร้าง
วัน เดือน ปี เกิด	28 มีนาคม 2540
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	ฝึกงานที่ บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) จังหวัดฉะเชิงเทรา
รางวัลที่เคยได้รับ	รางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 2 และรางวัลนำเสนอดีเด่น การประกวดนวัตกรรมอาหารจากงานวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวชณิดาภา รุ่งเรืองยศ
วัน เดือน ปี เกิด	15 กรกฎาคม 2539
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	ฝึกงานที่ บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด
รางวัลที่เคยได้รับ	รางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 2 และรางวัลนำเสนอดีเด่น การประกวดนวัตกรรมอาหารจากงานวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้