ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246994

การสกัดร่วมอัตราไขมันสารประกอบฟีโนลิคจากใบสบู่ดำ

นางสาวชลธิรา กงสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2553

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246994

การสกัดร่วมอัลตราโซนิคสารประกอบฟีโนลิคจากใบสบู่ดำ

นางสาวชลธิรา คงสกุล วท.บ. (เคมี)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2553

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รศ.ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รศ.ดร.สุวัสสา พงษ์อำไพ)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.วิทยา เทพไพฑูรย์)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.นพดล เจียมสวัสดิ์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดร่วมอัลตราโซนิคสารประกอบฟีโนลิคจากใบสบู่ดำ
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวชลธิรา คงสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวัสสา พงษ์อำไพ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2553

บทคัดย่อ

246394

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการสกัดร่วมอัลตราโซนิคสารประกอบฟีโนลิคได้แก่ กรดแกลลิก กรดแอลลาจิก และคลอริลาจิน จากใบสบู่ดำโดยคำนวณค่าพารามิเตอร์การละลายจากวิธีการพิจารณากลุ่มของ Hoftyzer-Van Krevelen เพื่อเลือกช่วงความเข้มข้นของเมทานอลที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวทำละลายร่วมในการสกัด และออกแบบการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design (CCD) แบบ 3 ตัวแปร 5 ระดับ ช่วงของตัวแปรที่ทำการศึกษาคืออุณหภูมิ (30–70 องศาเซลเซียส) ความเข้มข้นของเมทานอล (0-100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (3-11)

จากการทดลองพบว่าสภาวะที่สามารถสกัดสารสำคัญได้ปริมาณสูงที่สุดคือการสกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และใช้เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลายร่วม เมื่อทำการสกัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่าปริมาณกรดแกลลิก กรดแอลลาจิก และคลอริลาจินที่สกัดได้สูงสุดเท่ากับ 4770.20, 5528.82 และ 12573.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมใบสบู่ดำแห้ง ตามลำดับ สำหรับสภาวะที่สามารถสกัดสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงสุด คือการสกัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5 และใช้เมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าสารสกัดใบสบู่ดำที่ได้จะมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันเท่ากับร้อยละ 78.36

จากผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีโนลิคจากใบสบู่ดำ โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) พบว่าค่าสัมประสิทธิการกำหนด (r^2) จากสมการสหสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายผลได้การสกัดของกรดแกลลิก กรดแอลลาจิก คลอริลาจิน และความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันคือ 0.905, 0.775, 0.636 และ 0.891 ตามลำดับ

246994

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลได้การสกัดกับพารามิเตอร์ในการดำเนินการ พบว่าอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญและมีผลมากที่สุดต่อผลได้การสกัดของกรดแกลลิกและคลอริลาจิน ส่วนความเข้มข้นของเมทานอลจะมีผลมากที่สุดต่อผลได้การสกัดของกรดแอลลาจิก ในขณะที่ความเข้มข้นของเมทานอล และอุณหภูมิจะมีผลมากที่สุดต่อความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัด

คำสำคัญ : การสกัด / สารประกอบฟีโนลิค / ใบสบู่ดำ / อัลตราโซนิค / วิธีพื้นผิวตอบสนอง

Thesis Title	Ultrasonic-assisted Extraction of Phenolic Compounds from Physic Nut Leaves
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Chontira Kongsakul
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suwassa Pongamphai
Program	Master of Engineering
Field of Study	Chemical Engineering
Department	Chemical Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2553

Abstract

246394

This research aimed to study the ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds (gallic acid, ellagic acid and coliragin) from physic nut (*Jatropha curcus* Linn.) leaves. Hoftyzer-Van Krevelen group contribution method was used to calculate solubility parameters in order to select an appropriate range of aqueous methanol concentrations used as a co-solvent for the extraction. The experiments were conducted according to a five level, three variables central composite design (CCD). The ranges of operating conditions were chosen as follows: the temperature (30-70 ^{0}C), the aqueous methanol concentration (0-100 % v/v) and pH (3-11).

The optimum condition for extraction with the highest yield was 70 °C, pH 7 and 50 % v/v aqueous methanol. Under the optimal condition, the highest extraction yields were 4,770.20 mg gallic acid, 5,528.82 mg ellagic acid and 12,573.98 mg corilagin per kg dried physic nut leaves. On the other hand, the optimum condition for extraction with the highest antioxidant activity (78.36 %) was 40 °C, pH 5 and 75 % v/v aqueous methanol.

Response surface methodology (RSM) was used to optimize operating parameters and provide polynomial regression models. The models were in good agreement with the experimental results with the coefficients of determination (R^2) of 0.905, 0.775, 0.636 and 0.891 for extraction yields of gallic acid, ellagic acid and coliragin and antioxidant activity, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การสกัดร่วมอัลตราโซนิคสารประกอบฟีโนลิคจากใบสบู่ดำ” สามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวัสสา พงษ์อำไพ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยซึ่งได้ให้แนวคิด คำแนะนำ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิทยา เทพไพฑูรย์ รศ.ดร.นพดล เจียมสวัสดิ์ และรศ.ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ละเอียด เพ็งโสภา และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและธุรการภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ สุดท้ายขอขอบคุณ พี่ ๆและเพื่อน ๆ ภายในห้องวิจัยวิศวกรรมเคมีประยุกต์ รวมถึงครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือโดยเสมอมา

ประโยชน์ที่ได้รับในงานวิจัยนี้ทั้งหมดเป็นผลมาจากความช่วยเหลือจากท่านทั้งหลายในข้างต้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ง

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญ ช

รายการตาราง ฌ

รายการรูปประกอบ ฎ

รายการสัญลักษณ์ ฑ

ประมวลศัพท์และคำย่อ ณ

บทที่

1. บทนำ **1**

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 3

2. ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **5**

2.1 สบู่ดำ 5

2.2 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ 8

2.3 โพลีฟีนอล 11

2.4 ไฮโดรไลเบอแทนนิน 13

2.5 ประโยชน์ของสารประกอบแทนนิน 15

2.6 การสกัด 16

2.7 พารามิเตอร์การละลาย 24

2.8 High Performance Liquid Chromatography 26

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

3. วิธีการทดลอง/ระเบียบวิธีวิจัย **35**

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 35

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี 35

3.3 วิธีการทดลอง 36

3.4 การวิเคราะห์ผลและการคำนวณ 41

4. ผลการทดลอง/วิจัย **44**

4.1 การเตรียมและการวิเคราะห์ความชื้นใบสบู่ดำ 44

4.2 การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากใบสบู่ดำ 44

4.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดใบสบู่ดำ 52

4.4 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดใบสบู่ดำ 55

4.5 สหสัมพันธ์สำหรับทำนายผลได้การสกัดสารสำคัญจากใบสบู่ดำ 70

4.6 การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารสำคัญจากใบสบู่ดำ 80

4.7 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารสกัดใบสบู่ดำระหว่างการเก็บรักษา 83

5. สรุป **87**

5.1 สรุปผลการทดลอง 87

5.2 ข้อเสนอแนะ 88

เอกสารอ้างอิง **89**

ภาคผนวก **95**

ก การวิเคราะห์ด้วยโครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง 95

ข การคำนวณ 100

ค ข้อมูลผลการทดลอง 105

ประวัติผู้วิจัย **125**

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	คุณสมบัติของกรดแกลลิก คลอริลาจิน และกรดแอลลาจิก	15
2.2	การประยุกต์ใช้งานคลื่นอัลตราซาวนด์ในสาขาต่าง ๆ	20
2.3	การคำนวณค่าพารามิเตอร์การละลายแบบแฮนเซนของลินาโลออล โดยวิธีของ Hoftyzer – Van Krevelen	25
2.4	การคำนวณค่าพารามิเตอร์การละลายแบบแฮนเซนของ 6,6 พอลิเอไมด์โดยวิธีของ Hoftyzer – Van Krevelen	26
3.1	สัญลักษณ์และระดับตัวแปรต่าง ๆ ในการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design	37
3.2	ผลการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ 5 ระดับ 3 ตัวแปร	38
4.1	องค์ประกอบพารามิเตอร์การละลายของกรดแกลลิก	45
4.2	องค์ประกอบพารามิเตอร์การละลายของกรดแอลลาจิก	47
4.3	องค์ประกอบพารามิเตอร์การละลายของคลอริลาจิน	49
4.4	ค่าพารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายบริสุทธิ์ที่ 25 องศาเซลเซียส	50
4.5	ค่าพารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายร่วมที่ใช้ในการสกัด	52
4.6	การเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญที่ได้จากการสกัดใบสบู่ดำที่สภาวะต่างกัน	56
4.7	ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดใบสบู่ดำ	66
4.8	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสมการอันดับสองของผลได้การสกัดกรดแกลลิก	72
4.9	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสมการอันดับสองของผลได้การสกัดกรดแอลลาจิก	72
4.10	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสมการอันดับสองของผลได้การสกัดคลอริลาจิน	73
4.11	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสมการอันดับสองของคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากใบสบู่ดำ	78
ก.1	ข้อมูลสำหรับใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกและกรดแอลลาจิก	96
ก.2	ข้อมูลสำหรับใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานของคลอริลาจิน	96
ค.1	การออกแบบการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design แบบ 5 ระดับ 3 ตัวแปร	106
ค.2	น้ำหนักใบสบู่ดำแห้งที่ใช้ในการสกัดที่สภาวะต่าง ๆ	107
ค.3	ผลการวิเคราะห์ HPLC แสดงปริมาณกรดแกลลิกที่ได้จากการสกัดใบสบู่ดำ	108
ค.4	ค่าผลได้การสกัดกรดแกลลิกที่สภาวะต่าง ๆ	109
ค.5	ผลวิเคราะห์ HPLC แสดงปริมาณกรดแอลลาจิกที่ได้จากการสกัดใบสบู่ดำ	110

ค.6	ค่าผลได้การสกัดกรดแอลลาจิกที่สภาวะต่าง ๆ	111
ค.7	ผลวิเคราะห์ HPLC แสดงปริมาณคลอริลาจินที่ได้จากการสกัดใบสบู่ดำ	112
ค.8	ค่าผลได้การสกัดคลอริลาจินที่สภาวะต่าง ๆ	113
ค.9	ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม (80%v/v EtOH 0.1 ml + DPPH 3.9 ml) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร	114
ค.10	ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากใบสบู่ดำที่สภาวะต่าง ๆ	115
ค.11	ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดใบสบู่ดำที่สภาวะต่าง ๆ	116
ค.12	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสมการอันดับสองของผลได้การสกัดกรดแกลลิก	117
ค.13	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสมการอันดับสองของผลได้การสกัดกรดแอลลาจิก	118
ค.14	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสมการอันดับสองของผลได้การสกัดคลอริลาจิน	119
ค.15	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสมการอันดับสองสำหรับทำนายความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดใบสบู่ดำ	120
ค.16	เปรียบเทียบผลได้การสกัดกรดแกลลิกที่ได้จากการทดลองและผลจากการใช้สหสัมพันธ์ทำนาย	121
ค.17	เปรียบเทียบผลได้การสกัดกรดแอลลาจิกที่ได้จากการทดลองและผลจากการใช้สหสัมพันธ์ทำนาย	122
ค.18	เปรียบเทียบผลได้การสกัดคลอริลาจินที่ได้จากการทดลองและผลจากการใช้สหสัมพันธ์ทำนาย	123
ค.19	เปรียบเทียบความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดใบสบู่ดำที่ได้จากการทดลองและผลจากการใช้สหสัมพันธ์ทำนาย	124

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ลักษณะต้นและใบสบู่ดำ	6
2.2	ลักษณะดอกและผลสบู่ดำ	7
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของกรดแกลลิก	13
2.4	โครงสร้างของกรดแอลลาจิก	14
2.5	โครงสร้างของคลอริลาจิน	14
2.6	ขั้นตอนการถ่ายเทมวลสารของการสกัดด้วยตัวทำละลายภายในอนุภาคของแข็ง	18
2.7	โครงสร้างผนังเซลล์พืช	21
2.8	การสกัดแบบกระบวนการทางอ้อมโดยอาศัยตัวกลาง ด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิค (cleaning bath)	22
2.9	การสกัดแบบกระบวนการโดยตรงแบบให้แหล่งกำเนิดคลื่นเสียงติดกับถังสกัด (ultrasonic bath)	22
2.10	การสกัดแบบกระบวนการโดยตรงแบบใช้โพรบหรือฮอร์นเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง (ultrasonic horn)	22
3.1	การออกแบบการทดลอง 3 ตัวแปร แบบ Central Composite Design	36
3.2	ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก	42
4.1	โครงสร้างโมเลกุลของกรดแกลลิก	45
4.2	โครงสร้างของกรดแอลลาจิก	47
4.3	โครงสร้างของคลอริลาจิน	48
4.4	ผลได้การสกัดคลอริลาจินจากใบสบู่ดำด้วยวิธีต่างกัน	53
4.5	ผลได้การสกัดกรดแอลลาจิกจากใบสบู่ดำด้วยวิธีต่างกัน	54
4.6	ผลได้การสกัดกรดแกลลิกจากใบสบู่ดำด้วยวิธีต่างกัน	54
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิกับความเข้มข้นของเมทานอล ต่อปริมาณกรดแกลลิกที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	57
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกรดแกลลิกที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	58
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของความเข้มข้นของเมทานอลกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกรดแกลลิกที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	59

4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของเมทานอลต่อปริมาณกรดแอลลาจิกที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	60
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิกับค่าความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณกรดแอลลาจิกที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	61
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของความเข้มข้นของเมทานอลกับค่าความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณกรดแอลลาจิกที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	62
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของเมทานอลต่อปริมาณคลอริลาจินที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	63
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิกับค่าความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณคลอริลาจินที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	64
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของความเข้มข้นของเมทานอลกับค่าความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณคลอริลาจินที่สกัดได้จากใบสบู่ดำ	65
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิกับความเข้มข้นของเมทานอลต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดใบสบู่ดำ	67
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิกับค่าความเป็นกรด-ด่างต่อความสามามรถในการการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดใบสบู่ดำ	68
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างผลของความเข้มข้นของเมทานอลกับค่าความเป็นกรด-ด่างต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดใบสบู่ดำ	71
4.19	ค่า t ของสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์สำหรับสหสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายผลได้การสกัดกรดแกลลิก	74
4.20	ค่า t ของสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์สำหรับสหสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายผลได้การสกัดกรดแอลลาจิก	74
4.21	ค่า t ของสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์สำหรับสหสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายผลได้การสกัดคลอริลาจิน	75
4.22	เปรียบเทียบผลได้การสกัดของกรดแกลลิกที่ได้จากการคำนวณกับผลการทดลอง	76
4.23	เปรียบเทียบผลได้การสกัดของกรดแอลลาจิกที่ได้จากการคำนวณกับผลการทดลอง	76
4.24	เปรียบเทียบผลได้การสกัดของคลอริลาจินที่ได้จากการคำนวณกับผลการทดลอง	77
4.25	ค่า t ของสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์สำหรับสหสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากใบสบู่ดำ	79
4.26	เปรียบเทียบความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากการคำนวณกับผลการทดลอง	80

4.27	ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดกรดแกลลิกจากใบสบู่ดำ	81
4.28	ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดกรดแอลลาจิกจากใบสบู่ดำ	81
4.29	ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดคลอริลาจินจากใบสบู่ดำ	82
4.30	ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารสำคัญจากใบสบู่ดำ ที่มีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน	83
4.31	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแกลลิกระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ	84
4.32	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอลลาจิกระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ	85
4.33	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอริลาจินระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ	85
4.34	การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดใบสบู่ดำในระหว่างการเก็บรักษา	86
ก.1	กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกและกรดแอลลาจิก	97
ก.2	กราฟมาตรฐานของคลอริลาจิน	97
ก.3	โครมาโตแกรมแสดงพีคของสารประกอบฟีโนลิค (กรดแกลลิก : 3.820 นาที กรดแอลลาจิก : 5.030 นาที และคลอริลาจิน : 11.540 นาที)	98
ก.4	โครมาโตแกรมของตัวอย่างสารที่สกัดด้วยเมทานอลความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7	98
ก.5	โครมาโตแกรมของตัวอย่างสารที่สกัดด้วยเมทานอลความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5	99

รายการสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ใต้กราฟ (มิลลิโวลต์.วินาที)
$A^{\bullet}$	=	อนุมูลอิสระของแอนติออกซิแดนท์ (-)
$A_{control}$	=	ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม (-)
A_{test}	=	ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (-)
AH	=	สารต้านอนุมูลอิสระ (-)
b_0	=	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของ (-)
b_i	=	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เชิงเส้น (-)
b_{ii}	=	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์กำลังสอง (-)
b_{ij}	=	สัมประสิทธิ์อันตรกิริยาระหว่างตัวแปร (-)
C	=	ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)
C_{ref}	=	ปริมาณสารเริ่มต้น (t=0) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมใบสบู่ดำแห้ง)
C_x	=	ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมใบสบู่ดำแห้ง)
C_t	=	ปริมาณสารที่เวลาต่างๆ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมใบสบู่ดำแห้ง)
E_{hi}	=	พลังงานยึดเหนี่ยวภายในของพันธะไฮโดรเจนขององค์ประกอบ I (J/mol)
F_{di}	=	พลังงานยึดเหนี่ยวภายในของส่วนที่ไม่มีขั้วขององค์ประกอบ i ($J^{1/2}cm^{3/2}/mol$)
F_{pi}	=	พลังงานยึดเหนี่ยวภายในของส่วนที่มีขั้วขององค์ประกอบ i ($J^{1/2}cm^{3/2}/mol$)
P	=	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (-)
pH	=	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (-)
R^2	=	coefficient of determination (-)
R_x	=	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติระหว่างการเก็บรักษา (เปอร์เซ็นต์)
T	=	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
V	=	ปริมาตรเชิงโมล (cm^3/mol)
X	=	ความเข้มข้นของเมทานอล
X_i, X_j	=	อุณหภูมิ ความเข้มข้นของเมทานอล และค่าความเป็นกรด-ด่าง
x_i	=	อัตราส่วนเชิงปริมาตร

Y	=	ผลได้การสกัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมใบสบู่ดำแห้ง) หรือความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (เปอร์เซ็นต์เทียบกับสารมาตรฐาน DPPH)
δ	=	ค่าพารามิเตอร์การละลายรวม $(MPa)^{1/2}$
δ_d	=	พารามิเตอร์การละลายของอันตรกิริยาของส่วนที่ไม่มีขั้ว $(MPa)^{1/2}$
δ_p	=	พารามิเตอร์การละลายของอันตรกิริยาของส่วนที่มีขั้ว $(MPa)^{1/2}$
δ_h	=	พารามิเตอร์การละลายของอันตรกิริยาในส่วนของพันธะไฮโดรเจน $(MPa)^{1/2}$
δ_m	=	พารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายร่วม $(MPa)^{1/2}$
δ_i	=	พารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลายบริสุทธิ์ i $(MPa)^{1/2}$

ประมวลศัพท์และคำย่อ

ANOVA	=	Analysis of Variance
CAT	=	catalase
CCD	=	Central Composite Design
DPPH	=	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
GPx	=	glutathioneperoxidase
RSM	=	Response Surface Methodology
ROS	=	Reactive Oxygen Species
HCl	=	hydrochloric acid
HHDP	=	hexahydroxydiphenic acid
HPLC	=	High Performance Liquid Chromatography
ISO	=	International Organization for Standardization
MS	=	Mean Squares
NaOH	=	sodium hydroxide
RPC	=	Reverse-Phase Chromatography
UV-VIS	=	UV-Vis spectrometer
SFE	=	Supercritical Fluid Extraction
SOD	=	superoxide dismutase
SS	=	Sum of Squares