

การสกัดสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิคร่วมกับน้ำ และการ
ประยุกต์ใช้ในบราวนี่

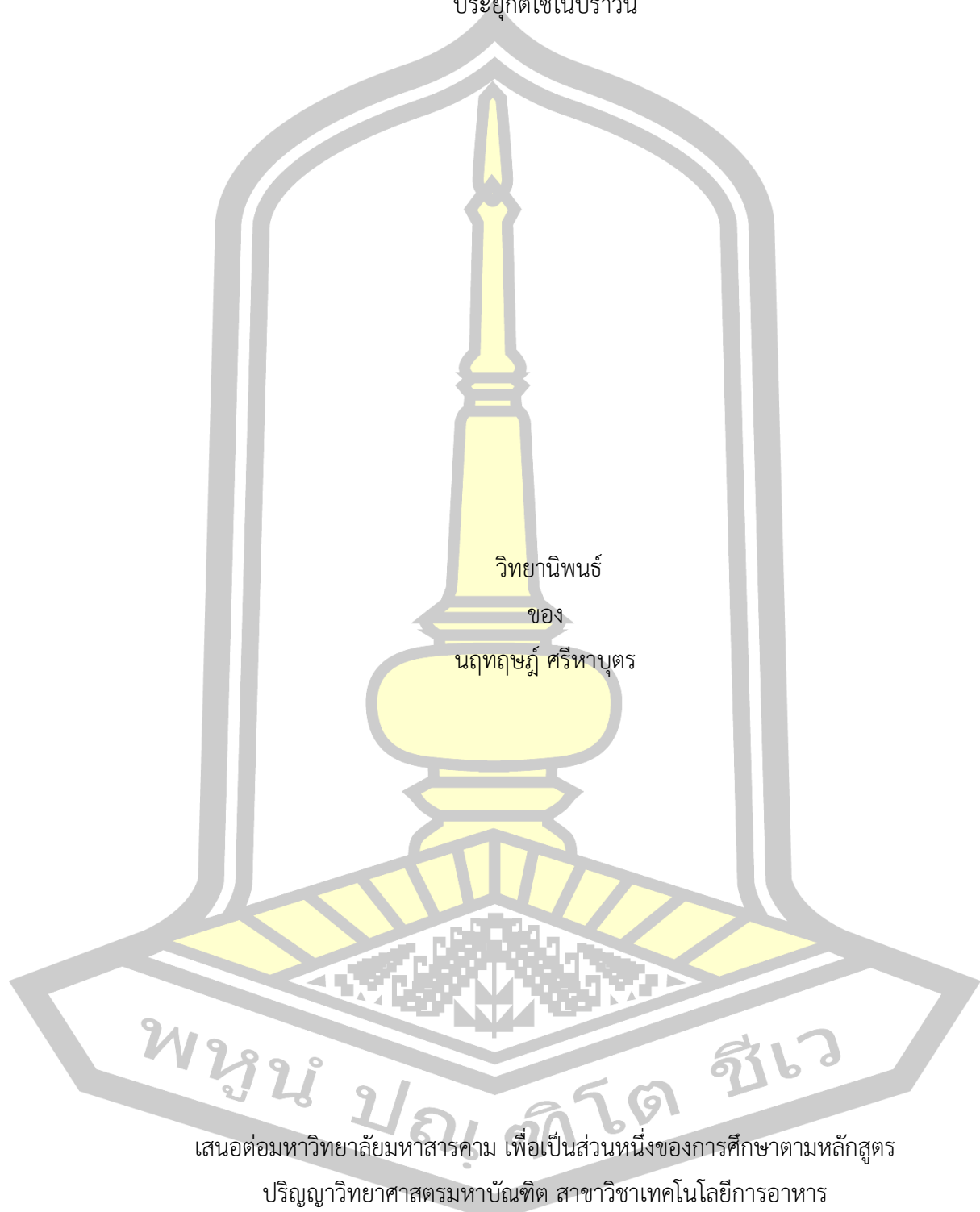
วิทยานิพนธ์
ของ
นฤพัชญ์ ศรีหาบุตร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

มิถุนายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การสกัดสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานด้วยการให้ความร้อนแบบโอ้หมั้มีคร่วมกับน้ำ และการ
ประยุกต์ใช้ในบรารนี้



วิทยานิพนธ์
ของ
นฤฤฤ ศรีหายุตร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

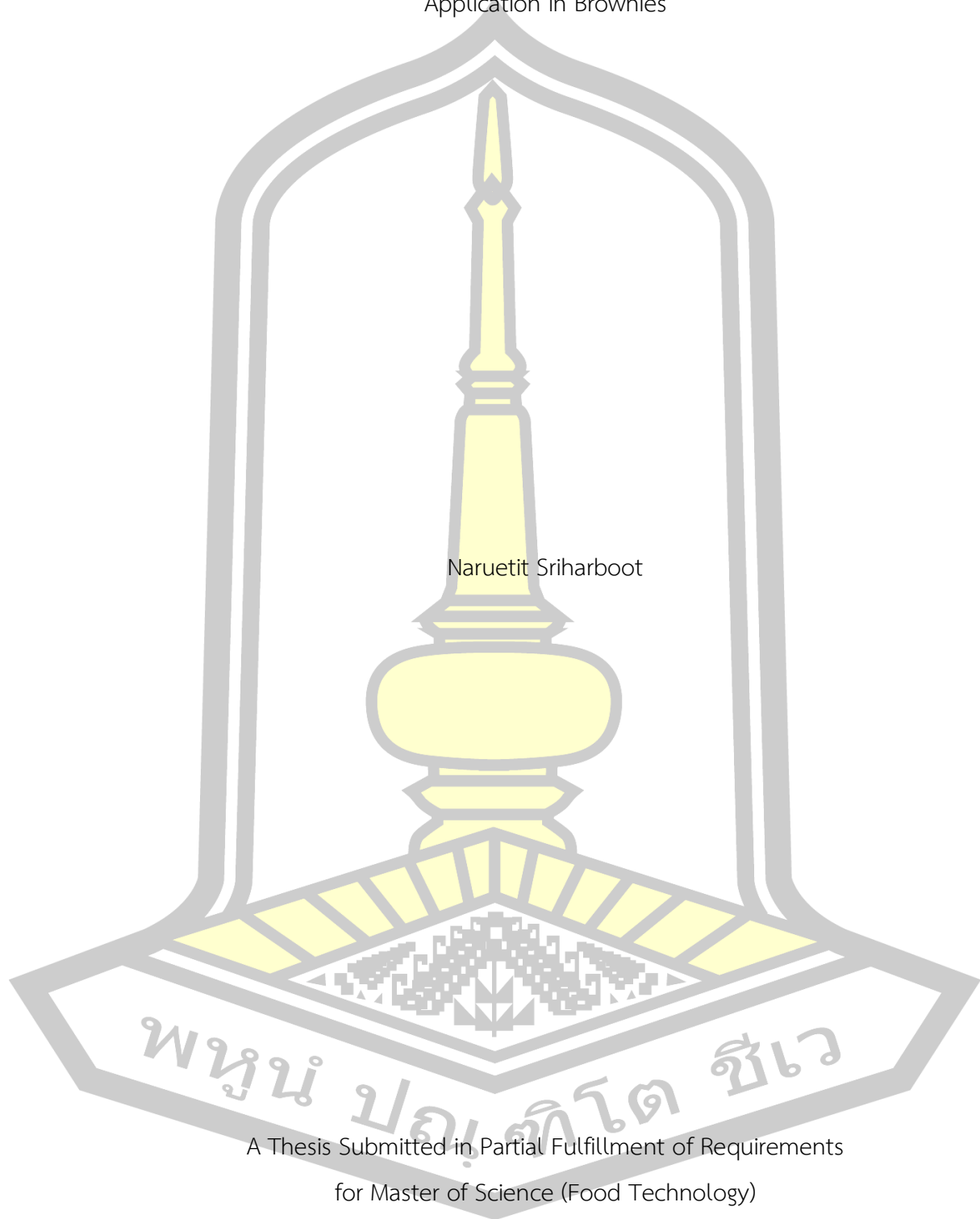
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

มิถุนายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Stevia Sweetening Agent Extraction Using Ohmic Heating and Water and Its
Application in Brownies

Naruetit Sriharboot



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Food Technology)

June 2020

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายณฤฤกษ์ ศรีหาบุตร
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. เกรียงศักดิ์ บรรลือ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผศ. ดร. ทนงศักดิ์ มูลตรี)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. พีรยา โชติถนอม)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผศ. ดร. ปวิวิทย์ ลอยพิมาย)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม)

คณบดีคณะเทคโนโลยี

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

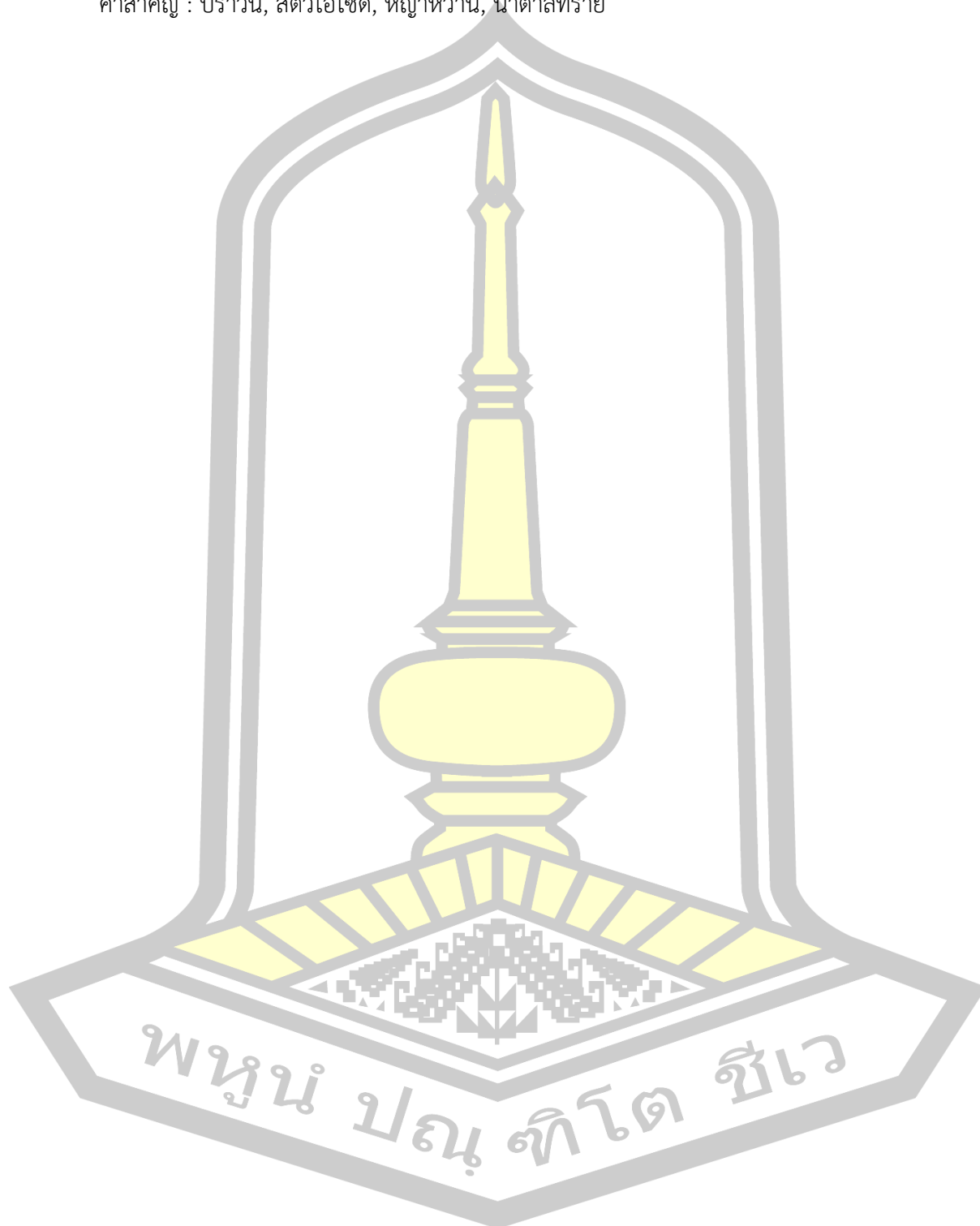
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การสกัดสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ร่วมกับน้ำ และการประยุกต์ใช้ในบราวนี่		
ผู้วิจัย	นฤฤกษ์ ศรีหาบุตร		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อนุชิตา มุ่งงาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทนงค์ดี มูลตรี		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	เทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2563

บทคัดย่อ

สตีวิโอไซด์ หรือสตีวียอลไกลโคไซด์ (Stevioside or Steviolglycoside) เป็นสารให้ความหวานสกัดที่ได้จากใบหญ้าหวานและมีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย ประมาณ 300 เท่า การสกัดด้วยตัวทำละลาย เมทานอล อาจทำให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายและเกิดต้นทุนสูง การสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวานด้วยน้ำจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความปลอดภัยและต้นทุนต่ำ แต่ประสิทธิภาพในการสกัดค่อนข้างต่ำ งานวิจัยนี้เป็นการสกัดสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกร่วมกับน้ำ โดยนำใบหญ้าหวานบดละเอียดปรับความชื้น 20 - 40% ให้ความร้อนแบบโอห์มมิกความเข้มของสนามไฟฟ้า 75 – 200 v/cm เป็นเวลา 2 นาที และนำมาสกัดด้วยน้ำกำจัดไอออน ให้ความร้อนที่ 55°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างหญ้าหวาน ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มของสนามไฟฟ้า 150 สามารถสกัดสตีวิโอไซด์ได้สูงสุดเท่ากับ 15.34 mg/g (น้ำหนักแห้ง) และ รีบาวดีโอไซด์ เอ เท่ากับ 7.72 mg/g (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งสูงกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม 37.89% และลดระยะเวลาในการสกัดลง 66% นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้ประยุกต์ใช้สกัดจากใบหญ้าหวานในขนมอบบราวนี่ในปริมาณ 0.125 - 0.50% พบว่าผู้ประเมินให้คะแนนความชอบของสูตรที่ใช้น้ำตาล 23.07% และสารสกัดหญ้าหวาน 0.12% ซึ่งให้ความหวานเทียบเท่ากับบราวนี่สูตรควบคุม โดยบราวนี่สูตรดังกล่าว มีค่าสี ค่าความหวาน ค่าความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.78 6.80 และ 7.02 ตามลำดับ ผลของการเติมสารสกัดหญ้าหวานต่อค่าสีของขนมอบบราวนี่ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากหญ้าหวานค่าความสว่างของขนมอบมีค่าลดลงจาก 27.11 เป็น 24.43 21.59 21.11 และ 19.42 ตามลำดับ ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมมีค่าความแข็งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นการใช้สารสกัดจากหญ้าหวานเพื่อทดแทนน้ำตาลในการทำบราวนี่จึงมีความเป็นไปได้สูง อย่างไรก็ตามยังคงต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในด้านคุณค่าทางโภชนาการ

คำสำคัญ : บรานี่, สตีวโไฮด์, หย้าหวาน, น้ำตาลทราย



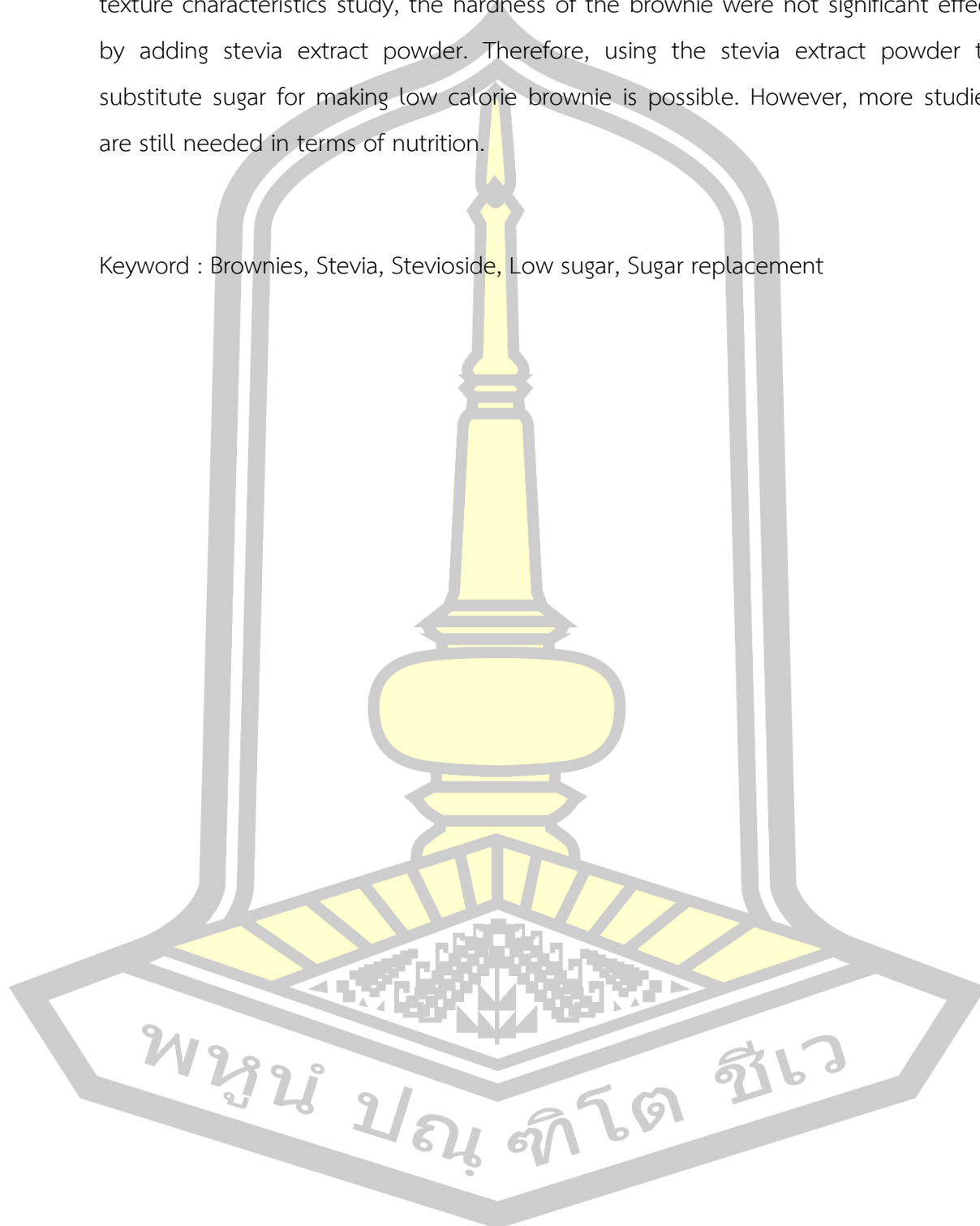
TITLE	Stevia Sweetening Agent Extraction Using Ohmic Heating and Water and Its Application in Brownies		
AUTHOR	Naruetit Sriharboot		
ADVISORS	Associate Professor Anuchita Moongngarm , Ph.D. Assistant Professor Tanongsak Moontri , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Food Technology
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2020

ABSTRACT

Stevioside or steviolglycoside is a sweetener extracted from stevia leaves. It is sweeter than sucrose 300 times approximately. In general, stevia leaves is extracted with methanol which may cause residue and toxic to consumer as well as high cost. Extraction of sweeteners from stevia using water is another method that is safe and low cost but low efficient. This research was conducted to extract sweeteners from stevia leaves using Ohmic heating (OMH) to assist the water extraction. The stevia leaves were finely ground, adjusting the moisture to 20, 30 and 40%, the electric field strength varied from 75 to 200 v/cm for 2 minutes. Then the leaves were extracted using deionized water at 55 °C for 1 hour. That stevia leaves containing 30% moisture and passing through the 150 electric field strength yielded the highest stevioside (15.34 mg/g; dry weight) and rebaudioside A (7.72 mg/g; dry weight) which was higher than the water extraction without using OMH by 37.89%. The extraction method using OMH to assist ater extraction could reduce the extraction time for 66%. The stevia leave extract was also applied to prepare the brownies to replace sugar. The amount of stevia extract powder was added to the mixture of brownies ranging from 0.125 to 0.50%. It was found that the formulas using 23.07% sugar and 0.125% stevia extract powder received the highest acceptant score which was equivalent to the control formula brownies. The color, sweetness, and overall preference were 6.78 6.80 and 7.02 respectively. The adding stevia extract powder affected the color value of brownies, the increasing the amount of

stevia extract, the decreasing of brightness ranging from 27.11 to 19.42. For the texture characteristics study, the hardness of the brownie were not significant effect by adding stevia extract powder. Therefore, using the stevia extract powder to substitute sugar for making low calorie brownie is possible. However, more studies are still needed in terms of nutrition.

Keyword : Brownies, Stevia, Stevioside, Low sugar, Sugar replacement



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสำบูรณ์ได้ด้วยความรู้ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ รศ.ดร. อนุชิตา มุ่งงาม อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ทะนงศักดิ์ มูลตรี อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์ บรรลือ ประธานกรรมการหลักสูตรบัณฑิตศึกษา ผศ.ดร. ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. พีรยา โชติถนอม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัย ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัย งบประมาณรายได้/แผ่นดิน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2561 ผู้วิจัยขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย เป็นอย่างสูง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุกสนับสนุนการวิจัยจาก บริษัท คิดถึงเบเกอรี่ จำกัด ผู้วิจัย ขอบพระคุณบริษัท คิดถึงเบเกอรี่จำกัดเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคามทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษา ในด้านงานวิชาการและงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับเครื่องมือและ ความรู้

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการห้องแปรรูปอาหาร เจ้าหน้าที่ ปฏิบัติการห้องจุลชีววิทยา สำหรับเครื่องมือและสารเคมี

ขอบคุณพี่ๆน้องๆ มหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิต คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกๆท่านที่ให้กำลังใจ คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านจากทำวิจัยตลอดมา

กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณน้า คุณยาย เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สำหรับความช่วยเหลือ และกำลังใจเสมอมา

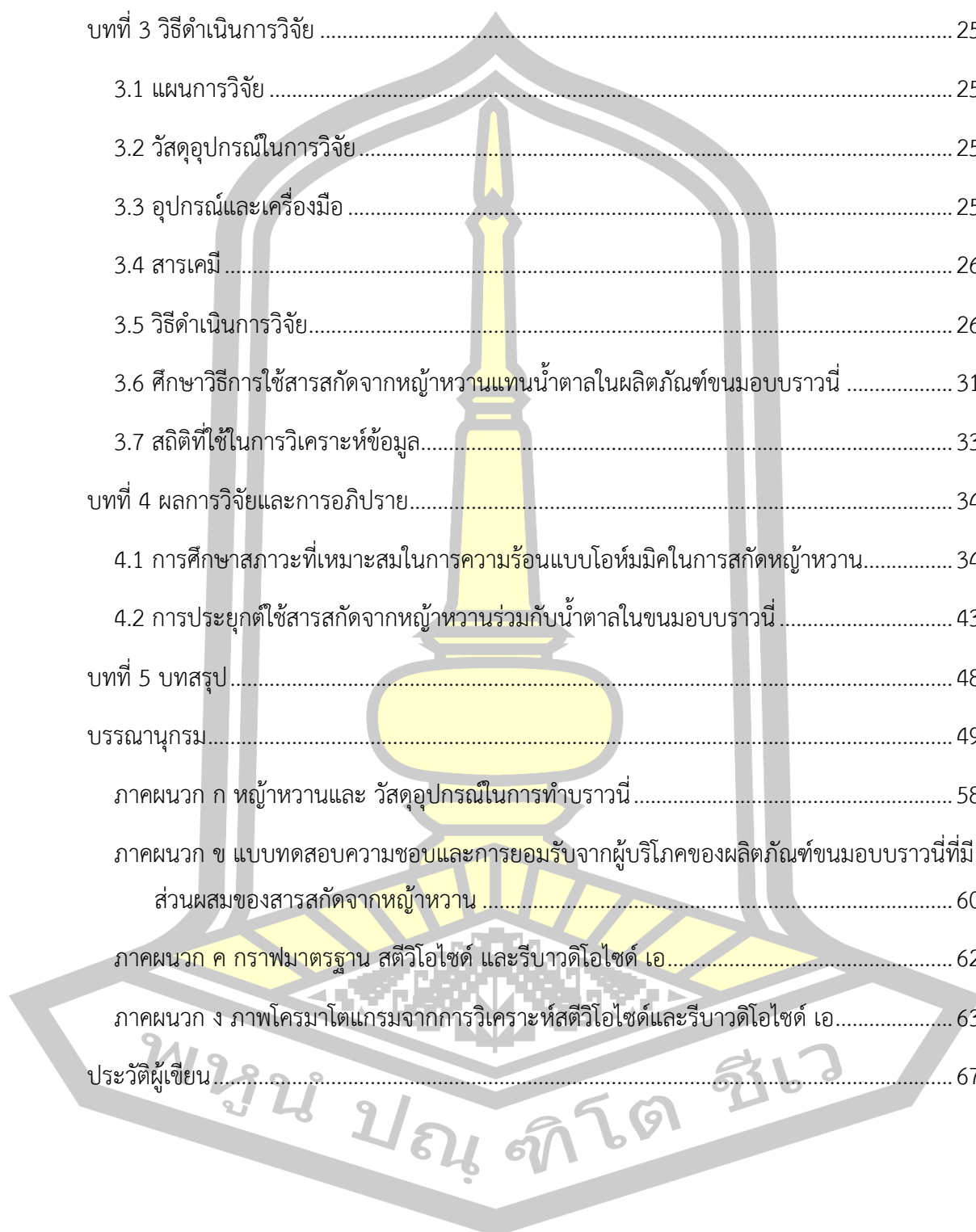
คุณค่าและคุณประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบบูชาพระคุณ พ่อ แม่และ คณาจารย์ที่ประสาทความรู้

นฤฤกษ์ ศรีหาบุตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
ตารางที่.....	ฉ
ภาพที่.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล.....	4
2.1 กล้วยหวาน.....	4
2.2 สารให้ความหวานที่ได้จากกล้วยหวาน.....	6
2.3 การสกัดสารให้ความหวานจากกล้วยหวาน.....	9
2.4 การตกตะกอนสิ่งเจือปนและการกำจัดสี.....	14
2.5 การกำจัดสี.....	15
2.6 การประยุกต์ใช้กล้วยหวานในอุตสาหกรรมอาหาร.....	16
2.7 การให้ความร้อนแบบ โอห์มมิก (Ohmic heating) และการประยุกต์ใช้.....	18

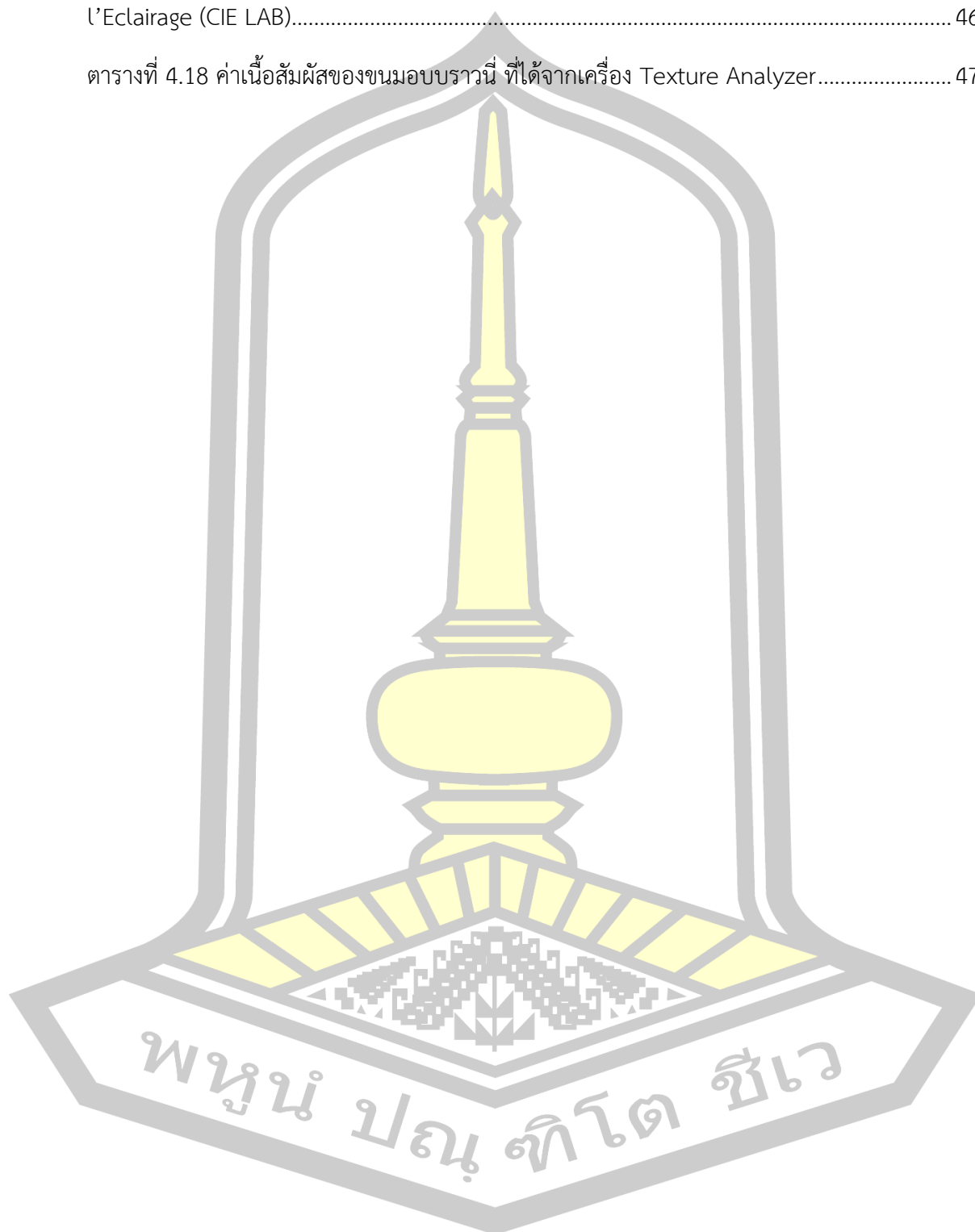
2.8 บราวน์ (Brownie)	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.1 แผนการวิจัย	25
3.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย	25
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ	25
3.4 สารเคมี	26
3.5 วิธีดำเนินการวิจัย	26
3.6 ศึกษาวิธีการใช้สารสกัดจากหญ้าหวานแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมอบบราวน์	31
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	34
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการความร้อนแบบโอห์มมิกในการสกัดหญ้าหวาน	34
4.2 การประยุกต์ใช้สารสกัดจากหญ้าหวานร่วมกับน้ำตาลในขนมอบบราวน์	43
บทที่ 5 บทสรุป	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก ก หญ้าหวานและ วัสดุอุปกรณ์ในการทำบราวน์	58
ภาคผนวก ข แบบทดสอบความชอบและการยอมรับจากผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ขนมอบบราวน์ที่มี ส่วนผสมของสารสกัดจากหญ้าหวาน	60
ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐาน สตีวียอไซด์ และรีบาวติอไซด์ เอ	62
ภาคผนวก ง ภาพโครมาโตแกรมจากการวิเคราะห์สตีวียอไซด์และรีบาวติอไซด์ เอ	63
ประวัติผู้เขียน	67



ตารางที่

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของหญ้าหวาน	6
ตารางที่ 2.2 สารให้ความหวานที่สกัดจากหญ้าหวานและโครงสร้างทางเคมี	7
ตารางที่ 2.3 สารให้ความหวานที่แยกได้จากหญ้าหวานและพันธะเชื่อมต่อ	9
ตารางที่ 2.4 ผลิตภัณฑ์จากสตีวียอไซด์ที่จำหน่ายในญี่ปุ่น	17
ตารางที่ 3.5 ปริมาณน้ำก้ำจัดไอออนและความชื้นที่ต้องการ	28
ตารางที่ 3.6 สิ่งทดลองตามแผนการทดลอง Mixture design	31
ตารางที่ 3.7 วัตถุดิบในการทำบราวนี่	32
ตารางที่ 4.8 ภาพถ่ายจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวอย่างหญ้าหวาน ในสถานะต่างๆ	36
ตารางที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวอย่างหญ้าหวาน ในสถานะต่างๆ(ต่อ)	37
ตารางที่ 4.10 ภาพถ่ายจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวอย่างหญ้าหวาน ในสถานะต่างๆ(ต่อ)	38
ตารางที่ 4.11 ภาพถ่ายจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวอย่างหญ้าหวาน ในสถานะต่างๆ(ต่อ)	39
ตารางที่ 4.12 ค่าดูดกลืนแสงของน้ำสกัดที่ผ่านการฟอกสี	40
ตารางที่ 4.13 ปริมาณสตีวียอไซด์และ รีบาวดิโอไซด์ เอ ในสารสกัดหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อน แบบโอทมมิกโดยวิธีการ High-performance liquid chromatography ; HPLC	42
ตารางที่ 4.14 ผลผลิตของสารสกัดผงจากหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอทมมิก	43
ตารางที่ 4.15 ส่วนผสมในการทำบราวนี่สูตรต่างๆ(%)	43
ตารางที่ 4.16 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของขนมอบบราวนี่โดยใช้สเกลคะแนนแบบ Hedonic test 9 scale	45

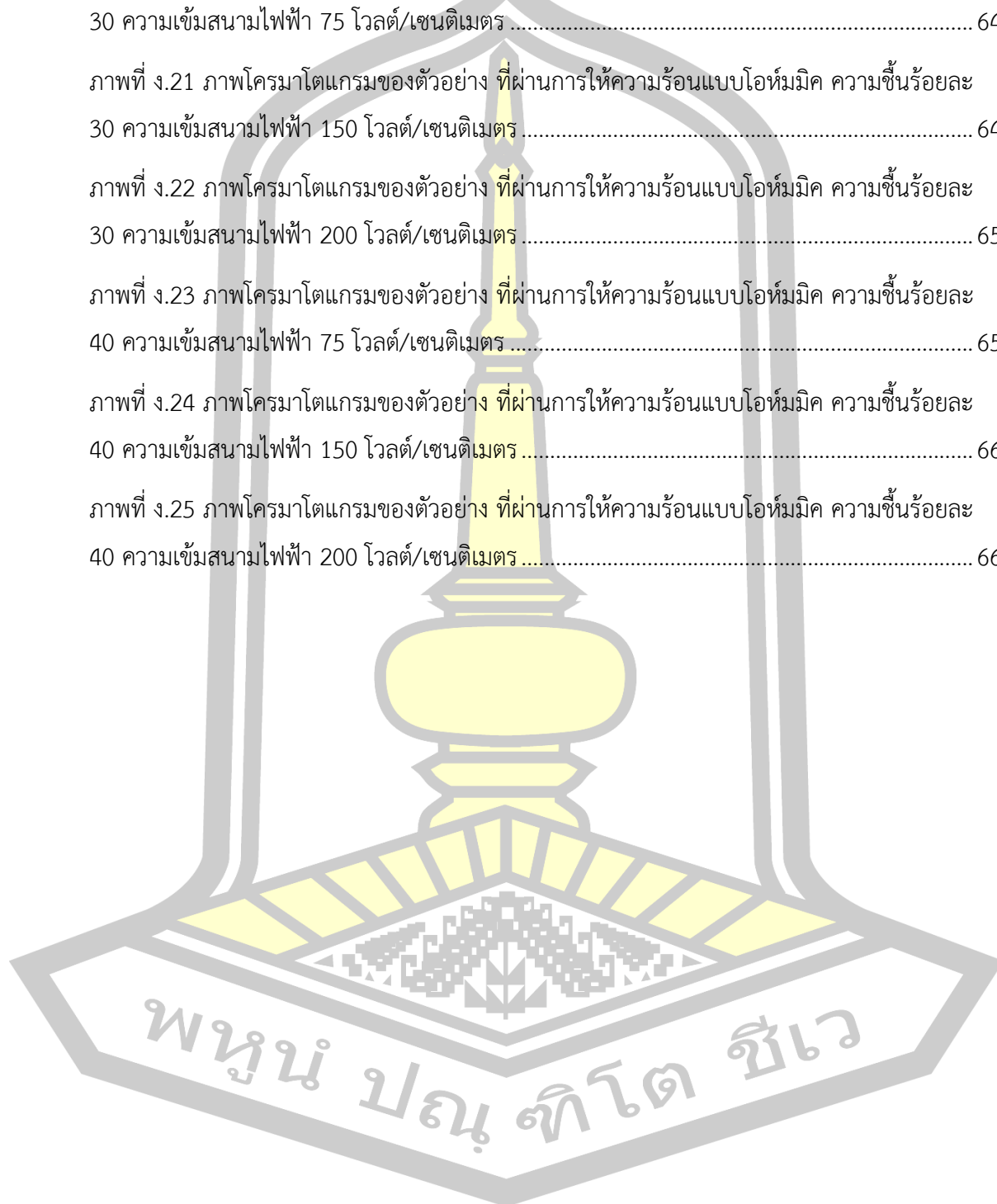
ตารางที่ 4.17 ค่าสีของขนมอบบราวนี่จากการวัดด้วยระบบ Commission International de l'Eclairage (CIE LAB).....	46
ตารางที่ 4.18 ค่าเนื้อสัมผัสของขนมอบบราวนี่ ที่ได้จากเครื่อง Texture Analyzer.....	47



ภาพที่

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ต้นหญ้าหวาน.....	5
ภาพที่ 2.2 ดอกหญ้าหวาน.....	5
ภาพที่ 2.3 สตีวียอล (Steviol).....	7
ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสตีวียอไซด์ (Stevioside).....	7
ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารให้ความหวานในใบหญ้าหวาน.....	8
ภาพที่ 2.6 ไดอะแกรมพื้นฐานของ Ohmic Heating.....	19
ภาพที่ 2.7 ภาพของลำข้าวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน 1)ลำดิบ 2)ให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 3)ให้ความร้อนแบบโอห์มมิก.....	24
ภาพที่ 3.8 เครื่อง Ohmic Heating.....	28
ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของตัวอย่างหญ้าหวานจากการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (MC คือ ปริมาณความชื้นหญ้าหวาน(%); E คือ ระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์/เซนติเมตร).....	35
ภาพที่ 4.10 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน ก) รีบาวติโอไซด์ เอ และ ข) สตีวียอไซด์.....	41
ภาพที่ 4.11 ภาพโครมาโตแกรมการวิเคราะห์สารให้ความหวานด้วยวิธี HPCL ตัวอย่างหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มข้นไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร ก) รีบาวติโอไซด์ เอ และ ข) สตีวียอไซด์.....	41
ภาพที่ ก.12 หญ้าหวานที่ผ่านการกำจัดสิ่งแปลกปลอมแล้ว.....	58
ภาพที่ ก.13 การสกัดสารให้ความหวานด้วยความร้อนและตัวทำละลาย.....	58
ภาพที่ ก.14 สารสกัดจากหญ้าหวานที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน.....	59
ภาพที่ ก.15 วัสดุอุปกรณ์ในการทำบรวนี้.....	59
ภาพที่ ค.16 กราฟมาตรฐานของสตีวียอไซด์.....	62
ภาพที่ ค.17 กราฟมาตรฐานของรีบาวติโอไซด์ เอ.....	62
ภาพที่ ง.18 ภาพโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานสตีวียอไซด์.....	63

ภาพที่ ง.19 ภาพโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน รีบาวติโอไซด์ เอ.....	63
ภาพที่ ง.20 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มข้นไฟฟ้า 75 โวลต์/เซนติเมตร	64
ภาพที่ ง.21 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มข้นไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร	64
ภาพที่ ง.22 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มข้นไฟฟ้า 200 โวลต์/เซนติเมตร	65
ภาพที่ ง.23 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 40 ความเข้มข้นไฟฟ้า 75 โวลต์/เซนติเมตร	65
ภาพที่ ง.24 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 40 ความเข้มข้นไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร	66
ภาพที่ ง.25 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 40 ความเข้มข้นไฟฟ้า 200 โวลต์/เซนติเมตร	66



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

สตีวิโอไซด์ หรือสตีวียอลไกลโคไซด์ (Stevioside or Steviolglycoside) เป็นสารให้ความหวานสกัดที่ได้จากใบหญ้าหวานซึ่งเป็นพืชที่ปลูกได้ทั่วโลก มีต้นกำเนิดมาจากอเมริกาใต้ และอเมริกา กลาง สตีวิโอไซด์บริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และมีความหวานมากกว่าน้ำตาล ซูโครส (Sucrose) ประมาณ 300 เท่า (Gasmalla, Yang et al. 2014) สตีวิโอไซด์เป็นสารให้ความหวานที่ไม่ให้พลังงาน ซึ่งทำให้เป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลที่น่าสนใจ ในอุตสาหกรรมอาหาร (Crammer and Ikan 1986) สารให้ความหวาน ที่สกัดได้จากใบหญ้าหวานมีหลายชนิด โดยเฉพาะ สตีวิโอไซด์ (Stevioside) และรีบาดีโอไซด์ เอ (Rebaudioside A) ที่มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 (น้ำหนักแห้ง)ของสารให้ความหวานทั้งหมดในใบหญ้าหวาน การสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวานนิยมสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น เอทานอล เมทานอล และ น้ำ (Tan and Ti 1988) จากการศึกษาของ (Nishiyama, Kusumoto et al. 1991) ได้ทำการสกัดสตีวิโอไซด์ด้วยน้ำ เมทานอล และตัวทำละลายผสมน้ำต่อเมทานอล (Methanol) (1:4) พบว่าน้ำมีประสิทธิภาพในการสกัดสตีวิโอไซด์และมีความปลอดภัย นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์และพัฒนารวมวิธีการสกัดเพื่อให้ได้สารที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เช่น การสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic wave) การสกัดด้วยของไหลความดันสูง (Supercritical fluid extraction) เป็นต้น การสกัดด้วยตัวทำละลายเช่น เมทานอล อาจทำให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายและเกิดต้นทุนสูง การสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวานด้วยน้ำอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความปลอดภัยและต้นทุนต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยน้ำเวลานาน งานวิจัย (Magomet, Tomov et al. 2011) รายงานค่าการสกัดสตีวิโอไซด์จากหญ้าหวานด้วยโดยน้ำเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิการสกัด 55 °C ใช้เวลานานถึง 10 ชั่วโมง ในทำนองเดียวกัน (Ciulu, Quirantes-Piné et al. 2017) ทำการสกัดสารประกอบฟีนอลิก จากใบหญ้าหวานโดยใช้ตัวทำละลายน้ำและเอทานอลด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายพบว่าใช้เวลาในการสกัดนานถึง 12 ชั่วโมงดังนั้นจึงมีการพยายามหาวิธีสกัดอื่นๆ มาใช้ในการสกัด สตีวิโอไซด์ การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic Heating) หรือ การทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (Electrical Heating) เป็นวิธีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับผ่านความร้อนลงไปในอาหารโดยตรง อาหารจะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอและรวดเร็วเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าของตัวอาหารเอง (วิลเลียม รังสาทอง. 2547) การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก มีอัตราการเกิดความร้อนที่รวดเร็วและสม่ำเสมอ โดยมีอัตราการเกิดความร้อนประมาณ 0.005 -1.2 °C ต่อวินาทีและมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าร้อยละ 95 (Meredith 1998) ซึ่ง

ในขณะที่การสร้างความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้เพียงร้อยละ 45-48 เท่านั้น มีงานวิจัยของ Loypimai, Moongarm et al. 2009, Loypimai, Moongarm et al. 2015, Loypimai และ Moongarm et al. 2016 รายงานว่าวิธีการความร้อนแบบโอห์มมิก ช่วยตัวทำละลายในการสกัดและมีประสิทธิภาพช่วยปรับปรุงความเข้มข้นของ แอนโทไซยานิน โทโทฟีรอล โทโคไตรอีนอล และแกรมมาอริซานอลในผงสีรำข้าวเหนียวดำ

ถึงแม้จะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ความร้อนแบบโอห์มมิก ในการสกัดสารสำคัญในพืช แต่งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในการสกัดหญาหวานยังไม่ปรากฏดังนั้น งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดสารให้ความหวานจากใบหญาหวาน โดยใช้วิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกร่วมกับตัวทำละลายน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารให้ความหวานจากใบหญาหวานด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกร่วมกับตัวทำละลายน้ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาการฟอกสีน้ำหญาหวานด้วยเรซินถ่านกัมมันต์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์

1.2.3 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้สารสกัดจากหญาหวานทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมอบรวานี้

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1.3.1 สภาวะที่ใช้ในการสกัดสารให้ความหวานจากใบหญาหวานด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกร่วมกับน้ำต่างกันมีประสิทธิภาพในการสกัดต่างกัน

1.3.2. ผลิตภัณฑ์ขนมอบรวานี้ที่ใช้สตีวิโอไซด์แทนน้ำตาลได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่ต่างกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำตาลซูโครส

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารให้ความหวานจากใบหญาหวานด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกร่วมกับน้ำ

1.4.2. ทราบองค์ประกอบทางเคมีในสารให้ความหวานจากหญาหวาน

1.4.3. ได้ผลิตภัณฑ์ขนมอบรวานี้ต้นแบบที่ใช้สารสตีวิโอไซด์ทดแทนน้ำตาล

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ตัวอย่างใบหญ้าหวานที่แห้งซื้อมาจากบริษัท กันโตะชาสมุนไพร จำกัด ทางภาคเหนือของประเทศไทย

1.5.2 การสกัดจะใช้น้ำเป็นตัวทำละลายและศึกษาสภาวะต่างๆในการใช้ ความร้อนแบบโอห์มมิก

1.5.3 สารให้ความหวานหลักที่วิเคราะห์ ได้แก่ Stevioside, Rebaudioside A

1.5.4 การประยุกต์ใช้ทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมอบบราวนี่

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

หญ้าหวาน (Stevia rebaudiana Bertoni) เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กอยู่ในวงศ์ Asteraceae พบได้แถบเมือง Amambay ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปารากวัย (Soejarto 2002)

สตีวียอลไกลโคไซด์ (Steviol glycosides) สารสกัดบริสุทธิ์จากใบหญ้าหวาน (Stevia rebaudiana Bertoni) เป็นผงสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนมีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย 200-300 เท่าซึ่งประกอบด้วย สตีวียอไซด์ (Stevioside) รีบาวดิอไซด์ เอ (Rebaudioside A) รีบาวดิอไซด์ บี (Rebaudioside B) รีบาวดิอไซด์ ซี (Rebaudioside C) รีบาวดิอไซด์ ดี (Rebaudioside D) รีบาวดิอไซด์ เอฟ (Rebaudioside F) ดัลโคไซด์ เอ (Dulcoside A) รูบูโซไซด์ (Rubusoside) และ สตีวียอลไบอไซด์ (Steviolbioside) สตีวียอไซด์ Stevioside มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และมีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส (sucrose) ประมาณ 300 เท่า (Gasmalla, Yang et al. 2014)

การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic heating) เป็นการให้ความร้อนโดยใช้ไฟฟ้า กระแสสลับเป็นการผ่านความร้อนลงไปในอาหารโดยตรง ซึ่งทำให้อาหารร้อนขึ้นเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าของตัวอาหารเอง โดยอาหารวางระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วซึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟ เมื่อไฟฟ้าไหลผ่าน อาหารจะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และรวดเร็ว (1 °ซ / 1วินาที) (Meredith 1998)

บราวนี่ช็อกโกแลต (Brownie) มีลักษณะแบบเบสที่เหนียวที่ถูกนำไปอบเริ่มพัฒนาขึ้นครั้งแรกในสหรัฐอเมริกาตอนปลายศตวรรษที่ 19 ในช่วงครึ่งแรกของศตวรรษที่ 20 บราวนี่ถูกผลิตมาในรูปแบบต่าง ๆ มีความหนึบหรือเป็นเนื้อเค้กและอาจจะมีส่วนผสมของถั่วชนิดต่าง ๆ เคลือบน้ำตาล วิปครีม ช็อกโกแลตชิป หรือส่วนผสมอื่น ๆ อาจจะมีการเปลี่ยนรูปแบบการทำเช่น ใช้น้ำตาลแดงและไมใส่ช็อกโกแลต โดยจะเรียกว่าบลอนด์ (Johnson-Feelings 1996)

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 หญ้าหวาน

หญ้าหวาน (*Stevia rebaudiana Bertoni*) เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กอยู่ในวงศ์ Asteraceae พบได้แถบเมือง Amambay ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปารากวัย นอกจากนี้ยังพบได้ในประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงคือ บราซิลและอาเจนติน่า (Soejarto 2002) ในปัจจุบันได้มีการเพาะปลูกหญ้าหวานกระจายไปตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก รวมไปถึงแคนาดา ยุโรปและเอเชีย (Gardana, Simonetti et al. 2003) หลังจากที่ถูกปลูกเป็นประเทศแรกในเอเชียที่ใช้สตีวียอไซด์จากหญ้าหวานเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลในอุตสาหกรรมอาหารและยา หลังจากนั้นก็ได้มีการเพาะปลูกกระจายไปตามประเทศต่างๆ ในแถบเอเชีย เช่น จีน มาเลเซีย สิงคโปร์ เกาหลีใต้ ไต้หวัน และไทย (Chatsudhipong and Muanprasat 2009)

2.1.1 ลักษณะของต้นหญ้าหวาน

หญ้าหวานมีมากกว่า 200 สายพันธุ์จัดเป็นสมุนไพรพุ่มขนาดเล็กที่อยู่ในวงศ์ Asteraceae โตได้สูงสุด 1 เมตร (Mishra, Singh et al. 2010) ค้นพบครั้งแรกโดย Moisés Santiago Bertoni ในปีค.ศ. 1899 (Barriocanal, Palacios et al. 2008) เป็นพืชสมุนไพรยืนต้น โดยมีระบบรากแบบแพร่กระจายลำต้นเล็กและเปราะใบมีลักษณะรูปไข่ (Loypimai, Moongngarm et al. 2009, Loypimai, Moongngarm et al. 2015, Loypimai, Moongngarm et al. 2016) ใบยาว 3-4 เซนติเมตรใบเดี่ยว รูปใบหอกกลับ ขอบใบหยักดังภาพที่ 2.1 ออกดอกเป็นช่อที่ปลายกิ่ง ดอกมีสีขาว ดอกเล็ก กลีบเป็นรูปไข่สีขาวเล็กมาก มีเกสรตัวผู้เป็นสีขาวงอไปมา ยื่นออกมา (Katayama, Sumida et al. 1976) ดังภาพที่ 2.2 หญ้าหวานสามารถปลูกได้เป็นแปลงขนาดใหญ่บนผืนดิน เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศเย็น 20-24°C ทนต่อสภาวะอุณหภูมิต่ำสุด 9 °C (Singh and Rao 2005) หญ้าหวานสามารถปลูกได้แม้สภาพดินจะไม่ดี มีอายุเก็บเกี่ยวยาวนานถึง 8 ปี สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 6 ครั้งใน 1 ปีรากสามารถแพร่กระจายและงอกต้นใหม่ขึ้นมาได้ ใบแห้งที่มีคุณภาพที่ดีหลังการเก็บเกี่ยวจะมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 15-35 ของน้ำหนักใบสด (Mishra, Singh et al. 2010)

2.1.2 องค์ประกอบทางโภชนาการของหญ้าหวาน

จากการศึกษาของ (Mishra, Singh et al. 2010) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของหญ้าหวาน 100 กรัม พบว่าหญ้าหวานเป็นแหล่งของ โปรตีน (10 กรัม) ไขมัน (3 กรัม) คาร์โบไฮเดรต (52 กรัม) แร่ธาตุ (11 กรัม) ไฟเบอร์ (18 กรัม) ตามตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ต้นหญ้าน้ำหวาน

ที่มา : (Lemus-Mondaca, Vega-Gálvez et al. 2012)



ภาพที่ 2.2 ดอกหญ้าน้ำหวาน

ที่มา : (Loypimai, Moonggarm et al. 2009, Loypimai, Moongngarm et al. 2015, Loypimai, Moongngarm et al. 2016)

หญ้าน้ำหวานสามารถปลูกได้เป็นแปลงขนาดใหญ่บนผืนดิน เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศเย็น 20-24°C ทนต่อสภาวะอุณหภูมิต่ำสุด 9 °C (Singh and Rao 2005) หญ้าน้ำหวานสามารถปลูกได้แม้สภาพดินจะไม่ดี มีอายุเก็บเกี่ยวนานถึง 8 ปี สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 6 ครั้งใน 1 ปีรากสามารถแพร่กระจายและงอกต้นใหม่ขึ้นมาได้ ใบแห้งที่มีคุณภาพที่ดีหลังการเก็บเกี่ยวจะมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 15-35 ของน้ำหนักใบสด (Mishra, Singh et al. 2010)

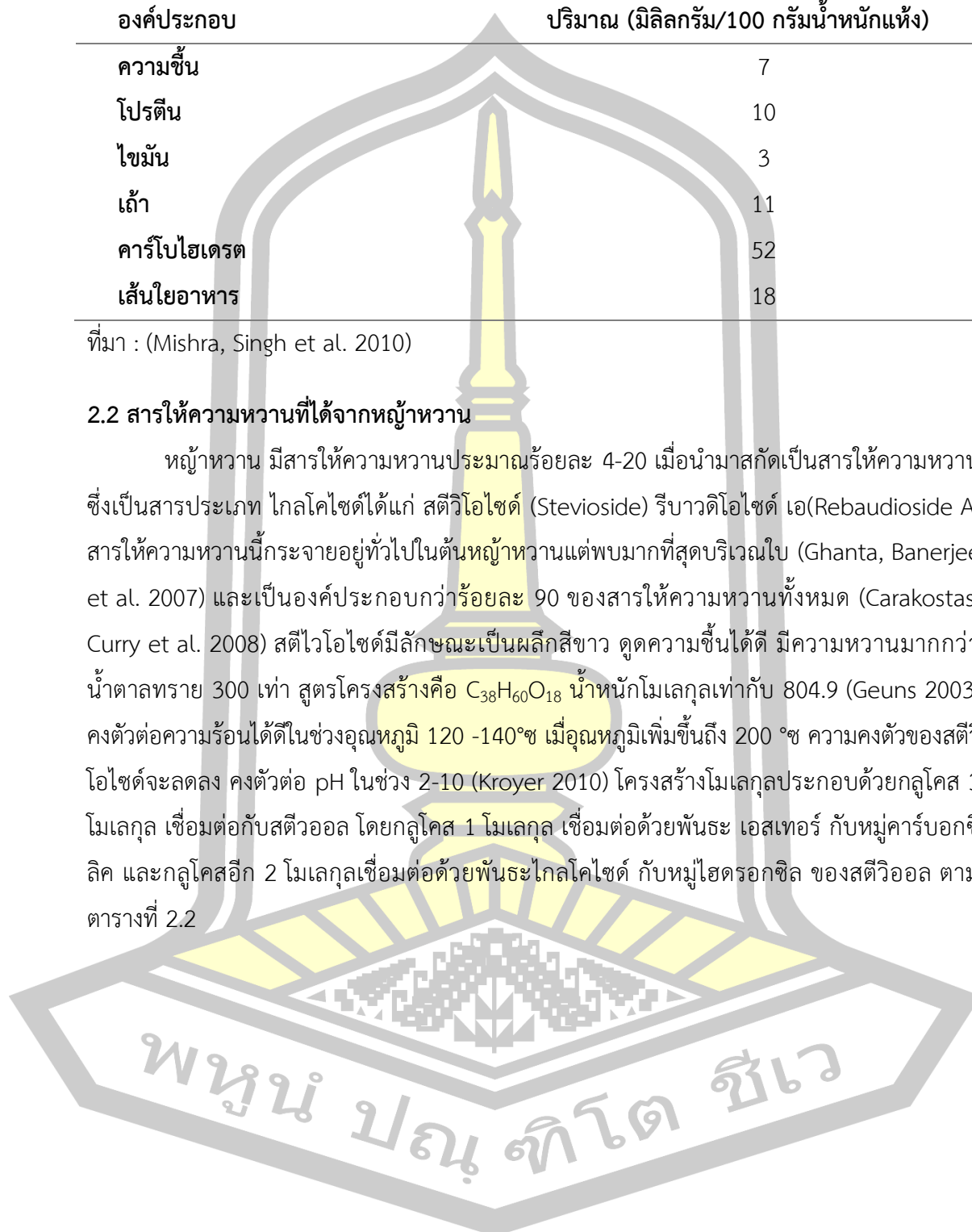
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของหญ้าหวาน

องค์ประกอบ	ปริมาณ (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	7
โปรตีน	10
ไขมัน	3
เถ้า	11
คาร์โบไฮเดรต	52
เส้นใยอาหาร	18

ที่มา : (Mishra, Singh et al. 2010)

2.2 สารให้ความหวานที่ได้จากหญ้าหวาน

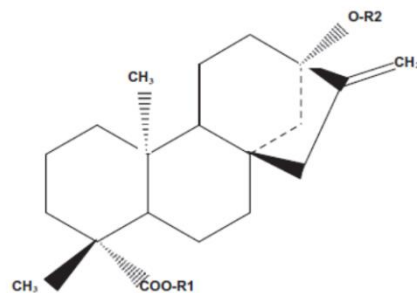
หญ้าหวาน มีสารให้ความหวานประมาณร้อยละ 4-20 เมื่อนำมาสกัดเป็นสารให้ความหวาน ซึ่งเป็นสารประเภท ไกลโคไซด์ได้แก่ สตีวิโอไซด์ (Stevioside) รีบาอิดิโอไซด์ เอ (Rebaudioside A) สารให้ความหวานนี้กระจายอยู่ทั่วไปในต้นหญ้าหวานแต่พบมากที่สุดบริเวณใบ (Ghanta, Banerjee et al. 2007) และเป็นองค์ประกอบกว่าร้อยละ 90 ของสารให้ความหวานทั้งหมด (Carakostas, Curry et al. 2008) สตีวิโอไซด์มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ดูดความชื้นได้ดี มีความหวานมากกว่า น้ำตาลทราย 300 เท่า สูตรโครงสร้างคือ $C_{38}H_{60}O_{18}$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 804.9 (Geuns 2003) คงตัวต่อความร้อนได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 120 -140°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 200 °ซ ความคงตัวของสตีวิโอไซด์จะลดลง คงตัวต่อ pH ในช่วง 2-10 (Kroyer 2010) โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยกลูโคส 3 โมเลกุล เชื่อมต่อกับสตีวอล โดยกลูโคส 1 โมเลกุล เชื่อมต่อด้วยพันธะ เอสเทอร์ กับหมู่คาร์บอกซิลิก และกลูโคสอีก 2 โมเลกุลเชื่อมต่อด้วยพันธะไกลโคไซด์ กับหมู่ไฮดรอกซิล ของสตีวอล ตามตารางที่ 2.2



ตารางที่ 2.2 สารให้ความหวานที่สกัดจากหญ้าหวานและโครงสร้างทางเคมี

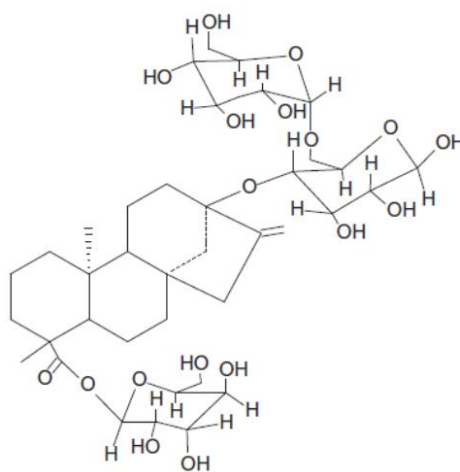
ชนิดไกลโคไซด์	ปริมาณ(%)	ระดับความหวาน	มวลโมเลกุล(กรัม/โมล)	อ้างอิงจาก
Stevioside	5.0-10.0	250-300	804.87	(Mishra, Singh et al. 2010)
RebaudiosideA	2.0-4.0	350-450	967.01	
RebaudiosideB	<<1	300-350	804.87	
RebaudiosideC	1.0-2.0	50-120	951.01	(Mishra, Singh et al. 2010)
RebaudiosideD	<<1.0	200-300	1129.15	(Mishra, Singh et al. 2010)
RebaudiosideE	<<1.0	250-300	967.01	(Mishra, Singh et al. 2010)
RebaudiosideF	<<1.0	Nd	936.99	
Steviolbioside	<<1.0	100-125	642.73	
Dulcoside A	0.4-0.7	50-120	788.87	

Nd=not demand ,ที่มา : (Geuns 2003)



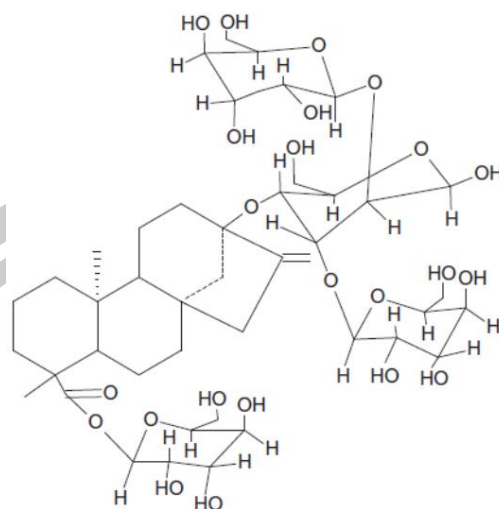
ภาพที่ 2.3 สตีวียอล (Steviol)

ที่มา : (Kochikyan, Markosyan et al. 2006)

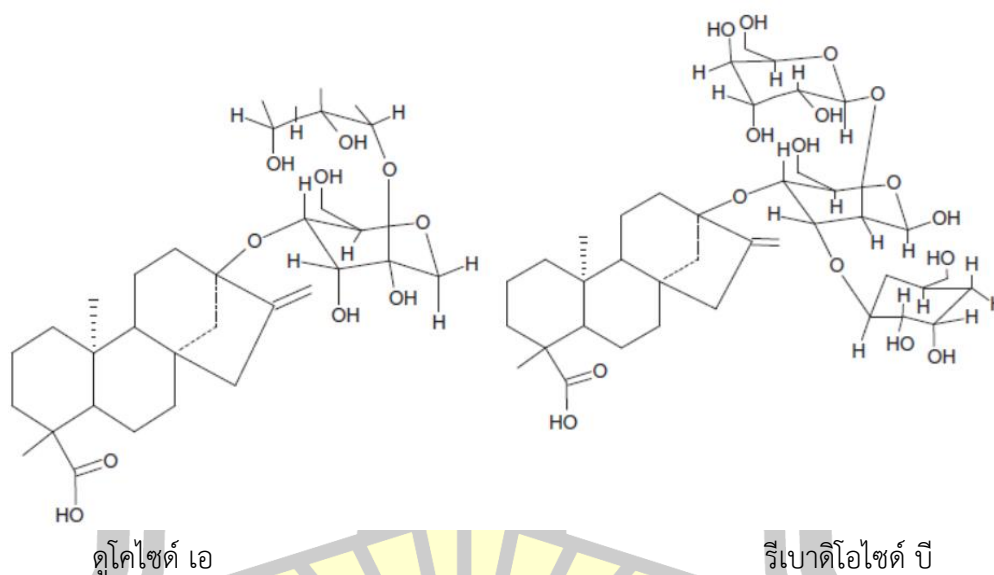


ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสตีวียอไซด์ (Stevioside)

ที่มา : (MOSETTIG and NES 1955)



รีบาดีโอไซด์เอ (RebaudiosideA)



ดูโคไซด์ เอ

รีบาดีโอไซด์ บี

ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารให้ความหวานในใบหญ้าหวาน

ที่มา : (MOSETTIG and NES 1955)

นอกจากนี้ยังมีอนุพันธ์อื่นๆที่สกัดได้จากหญ้าหวาน ได้แก่ สเตียวิโอไบโอไซด์ (Steviolbioside), รีบาดีโอไซด์ เอ (Rebaudioside A), รีบาดีโอไซด์ บี (Rebaudioside B), รีบาดีโอไซด์ ซี (Rebaudioside C), รีบาดีโอไซด์ ดี (Rebaudioside D), รีบาดีโอไซด์ อี (Rebaudioside E), รีบาดีโอไซด์ เอฟ (Rebaudioside F) ดูโคไซด์ เอ ซึ่งแตกต่างกันตามการแทนที่ของไฮโดรเจนคาร์บอนตำแหน่งที่ 13 และ Alpha carboxy ที่ตำแหน่งที่ 4 ของโครงสร้างหลักของสารให้ความหวาน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารให้ความหวานที่แยกได้จากหญ้าหวานและพันธะเชื่อมต่อ

สารประกอบ	R1(C4)	R2(C13)
Steviol	H	H
Steviolbioside	H	β - Glc- β - Glc(2-1)
Stevioside	β - Glc	β - Glc- β - Glc(2-1)
Rebaudioside A	β - Glc	β - Glc- β - Glc(2-1) β - Glc(3-1)
Rebaudioside B	H	β - Glc- β - Glc(2-1) β - Glc(3-1)
Rebaudioside C	β - Gluc	β - Glc- β - Rha(2-1) β - Glc(3-1)
Rebaudioside D	β - Glc- β - Glc(2-1)	β - Glc- β - Glc(2-1) β - Glc(3-1)
Rebaudioside E	β - Glc- β - Glc(2-1)	β - Glc- β - Glc(2-1)
Rebaudioside F	β - Glc	β - Glc- β - Xyl(2-1) β - Glc(3-1)
Dulcoside A	β - Glc	β - Glc(3-1) β - Glc- β - Rha(2-1)

ที่มา : ((Mishra, Singh et al. 2010)

2.3 การสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวาน

เป็นกระบวนการที่ใช้แยกสารที่ต้องการออกจากของผสมหรือสารละลาย โดยใช้ตัวทำละลาย และวิธีที่เหมาะสม สตีวิไซด์เป็นสารให้ความหวานที่มีอยู่ในหญ้าหวาน ดังนั้นการสกัดจึงใช้เป็นระบบ การสกัดของแข็งด้วยของเหลว (Liquid-Solid Extraction) ใบหญ้าหวานหลังจากบดให้มีขนาดเล็ก ลงแล้ว ถูกนำมาแช่ในตัวทำละลายที่เหมาะสมในระหว่างนั้นสาร สตีวิโอไกลโคไซด์ ที่อยู่ในหญ้าหวาน ก็ค่อยๆ ละลายออกมาผสมกับตัวทำละลาย ขั้นตอนของกระบวนการนี้จะเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. ตัวทำละลายเข้าสู่พืช
2. ตัวถูกละลายในใบพืชออกสู่ผิวหน้าหรือช่องว่างของพืช
3. ตัวถูกละลายจากผิวหน้าของพืชเข้าสู่สารละลาย

ถ้าขั้นตอนที่สอง เป็นกระบวนการควบคุมอัตราการสกัด พืชที่นำมาสกัดจะถูกบดให้มีขนาดเล็กลงก่อน เพื่อนำให้ตัวถูกละลาย ละลายสู่สารละลายได้มากยิ่งขึ้น ถ้าขั้นตอนที่ 3 มีผลต่อการสกัด การกวนในขนาดทำการสกัดจะช่วยให้การถ่ายเทมวลสารเกิดได้เร็วขึ้น (สถาพร ชูติมาสกุล 2529)

2.3.1 การถ่ายเทมวลสารในการสกัด

การถ่ายเทมวลสารภายในช่องว่างของพืชสู่สารละลายทำได้ยาก เพราะเราไม่สามารถประมาณขนาดของช่องว่างภายในพืชที่เกิดการถ่ายเทนั้นมีรูปร่างอย่างไร การคำนวณการถ่ายเทมวลสารในการสกัดอาจช่วยคาดคะเนได้จากการถ่ายเทมวลสารที่อยู่บนพื้นผิวของพืชเข้าสู่สารละลาย เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = \frac{K'A(C_s - C)}{b} \dots\dots\dots (2.1)$$

เมื่อ

A คือ พื้นที่ผิวสัมผัส (เซนติเมตร²)

B คือ Effective Thickness ของชั้นฟิล์มของเหลวรอบๆของแข็ง (มิลลิเมตร)

C คือ ความเข้มข้น ของตัวถูกละลายในสารละลายเมื่อเวลา t (กรัม/มิลลิลิตร)

C_s คือ ความเข้มข้นของสารละลายอิ่มตัวที่สัมผัสกับของแข็ง (กรัม/มิลลิลิตร)

M คือ มวลของตัวถูกละลายที่ถูกถ่ายเทในเวลา t (กรัม)

K คือ Diffusion Coefficient (เซนติเมตร²/วินาที)

พิจารณากระบวนการทำงานเป็นครั้งคราวแบบไม่ต่อเนื่อง มี V เป็นปริมาตรของสารละลายซึ่งมีค่าดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = V \frac{dC}{dt} = \frac{K'A(C_s - C)}{bV} \dots\dots\dots (2.2)$$

t เป็นเวลาที่ความเข้มข้น ของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก C₀ ถึง C ให้ b และ a เป็นค่าคงที่

$$\frac{dC}{C_s - C} = \frac{K'A}{Vb} dt$$

$$-\ln \frac{C_s - C}{C_s - C_0} = \frac{K'A t}{Vb} \dots\dots\dots (2.3)$$

ถ้าใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ C₀ = 0 และ

$$1 - \frac{C}{C_s} = e^{-(K'A/bV)t}$$

$$C = C_s(1 - e^{-(K'A/bV)t}) \dots\dots\dots (2.4) *$$

จากสมการ (2.4) เมื่อให้ค่า b A V คงที่ จะเห็นได้ว่าการสกัดจะขึ้นกับเวลา และ Diffusion Coefficient ซึ่งค่า Diffusion Coefficient ปกติจะแปรปรวนตาม อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า Diffusion Coefficient ก็สูงด้วย ดังนั้น ในการสกัดบางกรณี จึงใช้ความร้อนเข้าช่วย เพื่อเพิ่มค่า Diffusion Coefficient ให้อัตราการสกัดสูงขึ้น (Mishra, Singh et al. 2010) สำหรับการสกัดสตีโรไซด์ จากหญ้าหวาน มีข้อจำกัดคืออาจจะถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิสูง จึงไม่นิยมสกัดที่อุณหภูมิสูงมากนัก

2.3.2 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวานนิยมสกัดด้วยตัวทำละลายจากการวิจัยต่างๆ พบว่า ตัวทำละลายนิยมใช้ในการสกัดความหวานจากหญ้าหวานได้แก่ เอทานอล เมทานอล น้ำและ ไดออกเซน (Tan and Ti 1988) อย่างไรก็ตามการเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับความสามารถในการละลายให้ได้สารให้ความหวานที่ต้องการมากที่สุด นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในการสกัดด้วย จากรายงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดมีอยู่หลายช่วงด้วยกันเช่น อุณหภูมิสูงกว่า 80 °ซ อุณหภูมิระหว่าง 60-75 °ซ (Li and Ma 1983) และอุณหภูมิห้อง (Mishra, Singh et al. 2010) ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวานคือ เวลาที่ใช้ในการสกัด ขนาดอนุภาค โดยต้องเลือกใช้เวลาที่เหมาะสมและขนาดของอนุภาคของหญ้าหวานควรทำให้มีขนาดเล็กซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสกัด เพื่อให้สามารถสกัดสารให้ความหวานออกมาได้มากที่สุด (Mishra, Singh et al. 2010) สกัดสตีโรไซด์จากน้ำ เมทานอล และตัวทำละลายผสมน้ำต่อเมทานอล อัตราส่วน 1 ต่อ 4 พบว่าน้ำมีประสิทธิภาพในการสกัดสตีโรไซด์มากถึงร้อยละ 98 (Nishiyama, Alvarez et al. 1992) ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดหญ้าหวาน พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ใช้สกัด สตีโรไซด์ด้วยน้ำคือ 65 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (Brandle, Starratt et al. 1998) พบว่าการใช้เมทานอลในการสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวานมีประสิทธิภาพในการสกัดและแยกสตีโรไซด์ออกจากหญ้าหวานได้ดี (Bondarev, Reshetnyak et al. 2001) พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนใบหญ้าหวานแห้งต่อเมทานอล 1 : 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรใช้เวลาในการสกัด 7 ชั่วโมง สามารถสกัดสตีโรไซด์จากหญ้าหวานได้มากที่สุด (Rank and Midmore 2006) ทำการศึกษาการสกัดสตีโรไซด์ด้วยน้ำเดือด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของน้ำที่สามารถสกัดสตีโรไซด์ได้มากถึงร้อยละ 93-98

2.3.3 การสกัดด้วยตัวทำละลายในรูปแบบของไหลยิ่งยวด (Carbondioxide extraction / Supercritical fluid extraction)

การใช้ตัวทำละลายในรูปแบบของไหลยิ่งยวด ซึ่งตัวทำละลายอยู่ใน 2 สถานะ ได้แก่ แก๊ส และของเหลว จากการเพิ่ม อุณหภูมิ และความดัน ให้สูงกว่าจุดวิกฤตของก๊าซ หรือลดอุณหภูมิ

ลง ทำให้ก๊าซถูกควบแน่นโดนใช้ความดันสูงสุดโดยวิธีนี้ได้ถูกนำมาใช้สกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวานมีข้อดีคือ ไม่ใช้ความร้อน ทำให้สารให้ความหวานไม่เกิดการสลายตัว (Yoda, Marques et al. 2003) (Kienle 1992) สกัดหญ้าหวานด้วยวิธี ซุปเปอร์คริติคัลฟลูอิด ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้เวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20-31 °C ความดันแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 40-72.9 บาร์ สามารถแยกพวก ไช คลอโรฟิลล์ เม็ดสี ชนิดอื่นๆและกลั่นออกจากการสกัด ได้สตีวิโอไซด์และ รีบาติโอไซด์ เอที่มี ความบริสุทธิ์สูง (Yoda, Marques et al. 2003) สกัดไกลโคไซด์จากจากหญ้าหวานด้วยวิธี ซุปเปอร์คริติคัลฟลูอิด โดยใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร่วมกับน้ำ สกัดที่อุณหภูมิ 30 °C ความดัน 200 บาร์ และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของการสกัด ด้วยวิธีการ แก๊สโครมาโทกราฟี และ High-performance liquid chromatography (HPLC) พบว่า ปริมาณร้อยละ 72 เป็นสาร Austroinulin ซึ่งพบในสารที่สกัดด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับ น้ำที่อุณหภูมิ 10 และ 16 °C ความดัน 120 และ 250 บาร์ สามารถสกัด สตีวิโอไซด์และ รีบาติโอไซด์ เอได้ประมาณร้อยละ 50-72 (Erkucuk, Akgun et al. 2009) ได้ศึกษาการสกัดหญ้าหวานด้วย วิธี ซุปเปอร์คริติคัลฟลูอิดพบว่าสภาวะในการสกัดที่ดีที่สุดคือ สกัดที่ความดัน 211 บาร์ อุณหภูมิ 80 °C ได้ปริมาณสตีวิโอไซด์ 36.6 มิลลิกรัม และรีบาติโอไซด์ เอ 17.79 มิลลิกรัม การใช้น้ำเป็นตัวทำละลายร่วมสามารถสกัดสารได้มากกว่าการใช้เอทานอลเท่ากับ 64.49 และ 48.60 มิลลิกรัม ตามลำดับ

2.3.4 การสกัดด้วยไมโครเวฟ (microwave-assisted extraction; MAE)

การสกัดด้วยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพในการสกัดสูง ช่วยลดระยะเวลาในการเตรียมตัวอย่างและลดปริมาณตัวทำละลายที่ใช้เมื่อเทียบกับเทคนิคการสกัดสารละลายตัวอย่างแบบเดิม เป็นการให้ความร้อนโดยตรงของคลื่นไมโครเวฟ ต่อโมเลกุล พลังงานจากไมโครเวฟมีผลทำให้โมเลกุลเคลื่อนไหว และเกิดการเคลื่อนย้ายของไอออนและการหมุนของคู่ขั้ว โดยการหมุนของคู่ขั้วทำให้เกิดสนามไฟฟ้าของทั้งโมเลกุลตัวทำละลายและในตัวอย่าง ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน ซึ่งเทคนิคได้ถูกนำมาใช้ในการสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าหวาน เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายออกของสารให้ความหวานจากหญ้าหวาน (Jaitak, Bandna et al. 2009) ได้ทำการสกัดสตีวิโอไซด์ (Stevioside) และรีบาติโอไซด์ เอจากหญ้าหวานด้วย MAE ที่อุณหภูมิ 50 °C กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที พบว่า ได้ปริมาณผลผลิตของสตีวิโอไซด์และรีบาติโอไซด์ เอ สูงถึงร้อยละ 8.64 และ 2.34 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว

2.3.5 การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonically assisted extraction)

คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 เฮิรท์ ขึ้นไปและมีลักษณะเฉพาะเจาะจงซึ่งจากคุณสมบัตินี้จึงได้นำคลื่นอัลตราโซนิกมาใช้ในการสกัดสารให้ความหวานจากหญ้า

หวาน โดยใช้เทคนิคของคลื่นเสียงในการแยกเยื่อหุ้มเซลล์ของใบหญ้าหวาน ทำให้ไม่เหลือสิ่งตกค้าง หรือสิ่งเจือปนในผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Zhang, Kumar et al. 2000, Zhang, Zhang et al. 2006, Li, Momono et al. 2007)

(Jaitak, Bandna et al. 2009) สกัดสตีวิโอไซด์และรีบาติโอไซด์ เอ จากหญ้าหวานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 35 °ซ เป็นเวลา 30 นาที พบว่าได้ปริมาณผลผลิตของสตีวิโอไซด์ และรีบาติโอไซด์ เอ ร้อยละ 4.20 และ 1.98 ตามลำดับซึ่งมากกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว (Liu, Li et al. 2010) สกัดหญ้าหวานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกและวิเคราะห์ผลด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) พบว่าการสกัดหญ้าหวานที่อุณหภูมิ 68 °ซ Sonic Power 60 วัตต์เป็นเวลา 32 นาที ทำให้ปริมาณผลผลิตร้อยละของ รีบาติโอไซด์ เอ เพิ่มขึ้น 1.5 เท่า ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 68 °ซ

2.3.6 การสกัดด้วยของไหลความดันสูง (Pressurized liquid extraction ; PLE)

การสกัดด้วยของไหลความดันสูงเป็นเทคนิคการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายเป็นเฟสของเหลวโดยสกัดที่อุณหภูมิและความดันสูง การสกัดที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายที่ความดันบรรยากาศจะมีผลเพิ่มทั้งการละลายของสารที่ต้องการสกัดและคุณสมบัติการถ่ายเทมวล ใน ปี ค.ศ. 1995 บริษัท Dionex ได้แนะนำเทคโนโลยีการสกัดด้วย Accelerated Solvent Extraction Technology (ASE®) ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ได้ครอบคลุมถึง Pressurized Liquid Extraction (PLE), Pressurized Solvent Extraction, Accelerated Solvent Extraction และ Enhanced Solvent Extraction ในกรณีของการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดจะ หมายถึงเทคนิค Pressurized Hot Water Extraction (PHWE) ในที่นี้จะกล่าวเน้นถึงการสกัด ด้วยเทคนิค PLE โดยครอบคลุมถึงเครื่องมือ ตัวทำละลาย พารามิเตอร์ของการสกัด และการ ประยุกต์ใช้เทคนิค PLE ในการสกัดพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ

2.3.7 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการสกัด (Mishra, Singh et al. 2010)

2.3.7.1 ขนาดอนุภาค (Particle Size) ขนาดอนุภาคถ้ามีขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น และระยะทางของตัวถูกละลายที่อยู่ภายในของแข็งจะแพร่กระจายออกสู่ตัวทำละลายได้เร็วขึ้น ดังนั้นหญ้าหวานก่อนที่จะสกัด ควรนำมาบดเพื่อนำขนาดอนุภาคเล็กลงก่อน

2.3.7.2 ตัวทำละลาย (Solvent) ตัวทำละลายที่ดีควรมี Polarity ที่เหมาะสมกับตัวถูกละลายละมีความหนืด (Viscosity) ต่ำ เพื่อให้มีการไหลที่ดี โดยทั่วไป จะใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งในการสกัด ตัวทำละลายที่บริสุทธิ์ตอนเริ่มต้นจะไม่มีตัวถูกละลายอยู่เลย เมื่อทำการสกัดความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้นจนผลต่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายและอนุภาค

ของหญ้าหวานที่นำมาสกัดลดลง ทำให้ตัวถูกละลายสกัดได้น้อยลง ในการสกัดสตีโรไซด์ปริมาณของตัวทำละลายก็มีผล ถ้าใช้ตัวทำละลายปริมาณมาก ปริมาณการสกัดก็สูงขึ้นด้วย แต่ค่าใช้จ่ายก็เพิ่มขึ้น ดังนั้นควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

2.3.7.3 อุณหภูมิของตัวทำละลาย (Temperature of Solvent) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณการสกัดมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สัมประสิทธิ์ การแพร่กระจายเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวถูกละลายแพร่กระจายสู่ตัวทำละลายได้มากขึ้น ปริมาณการสกัดก็สูงขึ้นด้วย ส่วนการสกัดสตีโรไซด์จะไม่ใช่อุณหภูมิสูงมากนัก เพราะจะทำให้สตีโรไซด์สลายตัวได้บางส่วน

2.3.7.4 เวลาในการสกัด มีผลต่อการสกัด ถ้าใช้เวลาในการสกัดน้อย สารที่เราต้องการสกัดก็ถูกสกัดออกมาน้อย ดังนั้นจะต้องใช้เวลาที่เหมาะสมเพื่อให้การสกัดมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.3.7.5 การกวนของของไหล (Agitation of the Fluid) การกวนตัวทำละลายเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะจะช่วยเพิ่มอัตราการสกัด เนื่องจากการทำให้เกิดการแพร่มากขึ้น และทำให้การถ่ายเทมวลสารจากผิวสัมผัสของอนุภาคไปยัง สารละลายได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการกวนจะทำให้อนุภาคลอยตัว เกิดเป็นอนุภาคแขวนลอย จะมีผลให้พื้นที่ผิวระหว่างของแข็งและของเหลวมีมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงขึ้น

2.4 การตกตะกอนสิ่งเจือปนและการกำจัดสี

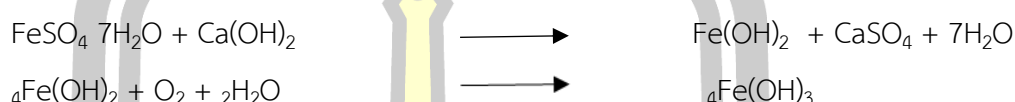
สารละลายหญ้าที่สกัดได้จากหญ้าหวานจะมีค่า pH ประมาณ 5.2 -5.6 ที่อุณหภูมิห้อง ในการทำสารละลายให้บริสุทธิ์ โดยการแยกสิ่งเจือปนออกด้วยการทำให้ตกตะกอน โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี และฟิสิกส์เรียกว่า ดีเฟเคชัน (Defecation) เป็นการทำสารละลายให้บริสุทธิ์โดยใช้ปูนขาวกับความร้อน โดยหมู่ OH^- ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ไปทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในสารละลายที่สกัดได้ทำให้เป็นกลางซึ่งสามารถแยกตะกอนออกได้ และทำให้สารประกอบที่ไม่ใช่สตีโรไซด์เช่น ขี้ผึ้ง และยางไม้ เกิดการรวมตัวกับ แคลเซียมเป็นตะกอนตกลงมา ตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นเม็ดยีสและสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ถูกกำจัดออกไป ทำให้สารละลายมีสีสว่างขึ้น

2.4.1 การตกตะกอนสิ่งเจือปน

การตกตะกอนสิ่งเจือปนในน้ำสกัดจากใบหญ้าหวานแห้ง เป็นวิธีการหนึ่งในการทำให้สารให้ความหวาน ที่สกัดมีความบริสุทธิ์มากขึ้น มีรายงานถึงการใช้ คลอโรฟอรม หรือ (Supercritical CO_2) ในการกำจัดคลอโรฟิลล์ ไขมัน รวมทั้งเม็ดยีสต่างๆ (Tan and Ti 1988) จากงานวิจัยของ (Li and Ma 1983) ทำการตกตะกอนสิ่งเจือปนด้วย โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$) และ แคลเซียมคาร์บอเนต, แคลเซียมออกไซด์ และ เพอร์ริคคลอไรด์

2.4.1.1 เฟอรัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

มีลักษณะเป็นผลึกสีเขียว ในการใช้งานเฟอรัสซัลเฟต เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำเพื่อให้เกิดเป็นเฟอรัสไฮดรอกไซด์ แต่เฟอรัสไฮดรอกไซด์ละลายน้ำได้ดีจึงต้องออกซิไดซ์เพื่อเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ซึ่งละลายน้ำได้น้อยกว่า สามารถตกตะกอนได้ การออกซิไดซ์เกิดขึ้นที่ pH ของน้ำสูงกว่า 8.4 เท่านั้น และสามารถออกซิไดซ์ได้โดยการพ่นอากาศเพื่อนำออกซิเจนแก่น้ำ ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นทั่วถึง (Parmar, Singla et al. 2011) ดังสมการ



2.4.1.2 เฟอริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)

มีลักษณะเป็นผงสีเขียว ละลายได้ดีในน้ำอุ่นและทำปฏิกิริยากับด่าง ในน้ำหรือกับปูนขาว ที่เติมลงไปเกิดเป็นเฟอรัสไฮดรอกไซด์ ในกรณีของเฟอรัสซัลเฟตไฮเดรท ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อออกซิไดซ์ (Parmar, Singla et al. 2011)



2.4.1.3 ปูนขาว (CaO)

มีลักษณะเม็ดหรือผงสีขาวละลายน้ำไม่ดี เมื่อผสมกับน้ำแล้วเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ และ alkalinity ในน้ำ (Kurbiel 1991) ดังสมการ



แคลเซียมคาร์บอเนตไม่ละลายน้ำสามารถตกตะกอนแล้วดึงเอาสารแขวนลอยต่างๆลงมาด้วยวิธีนี้มีปัญหาทำให้ตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย มีปริมาณสูงและ pH สูงไปด้วยอาจต้องเติมกรดให้ pH กลับมาเป็นกลางซึ่งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการใช้งานส่วนใหญ่มักใช้ร่วมกับสารส้มเพื่อให้เกิดการตกตะกอนที่ดีขึ้นและปรับค่า pH ของน้ำ

2.5 การกำจัดสี

นอกจากการตกตะกอนแล้วการกำจัดสียังสำคัญ ซึ่งการกำจัดสีที่นิยมใช้น้ำสกัดไบโหว่หวานคือ การใช้ เรซินแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-exchange resin) ทั้งชนิดแคทไอออน และแอนไอออน (Anion) (YOKOYAMA and SUGIYAMA 1990) รวมถึงการใช้สารดูดซับ (Buddhasukh and Vaneesorn 1991) และจากงานวิจัยของ (Buddhasukh and Vaneesorn 1991) ได้ใช้ถ่านกัมมันต์

(Activated carbon) ในการกำจัดสีของน้ำสกัดจากใบหญ้าหวาน แต่สารให้ความหวานถูกดูดซับไปมากด้วยเช่นกัน ซึ่งสำหรับสารที่นิยมใช้ในการกำจัดสีทั่วไปมีหลายชนิดได้แก่

2.5.1 เรซินกำจัดประจุ(Ion-exchange resin) มีสองชนิดคือ (1) Polystyrenic Resin มีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนอโรมาติก ของวงเบนซีน มีความสามารถในการกำจัดสีได้โดยกลไกการดูดซับ และการแลกเปลี่ยนประจุ และ (2) Polyacrylic Resin ดูดซับสารประเภท อลิฟาติก ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก การกำจัดสีส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยกลไกการแลกเปลี่ยนประจุ (Fuh and Chiang 1990)

2.5.2 ถ่านกัมมันต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ หรืออินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (Activation Process) จนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีดำ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดีวัตถุดิบที่ใช้ผลิตขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต อาจจะเป็นอินทรีย์วัตถุหรือถ่านก็ได้ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันมีอยู่ สองชนิดคือ ชนิดผงและชนิดเม็ด ถ่านกัมมันต์ชนิดผงผลิตจากขี้เลื่อยเป็นส่วนใหญ่มีรูพรุนเล็กกว่า โดยนำไปใช้ในสารละลายหรือของเหลว การฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ไซ และน้ำมันทั้งพืชและสัตว์ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ น้ำตาลกลูโคสและผงชูรส เป็นต้น (FUH and CHIANG 1990, Romano, Klebanowski et al. 2012) นำสารสกัดใบหญ้าหวานมาตกตะกอนด้วยเกลือของสารอินทรีย์ 3 ชนิด คือ อะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3% ปรับ pH เป็น 7.0 – 7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ ต่อมาเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อิ่มตัวผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปรับ pH เป็น 8.0 – 8.5 เติมเฟอร์รัสซัลเฟตปรับ pH เป็น 7.0 – 7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำไปกรองต่อด้วยเครื่องอัลตราฟิลเตรชันสามารถแยกสีได้ร้อยละ 96 ความบริสุทธิ์ของสตีวิโอไซด์ ร้อยละ 45 จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชันและรีวิสออสโมซิสได้สารสกัดที่มีความบริสุทธิ์ของสตีวิโอไซด์มากกว่าร้อยละ 90 ขั้นตอนสุดท้ายนำไปผ่านสารแลกเปลี่ยนประจุพวก Amberlite IR-120 และ Amberlite IRA-401 ได้สตีวิโอไซด์บริสุทธิ์ถึงร้อยละ 90 (Midmore and Rank 2006) สกัดสตีวิโอไซด์จากหญ้าหวานด้วยเมทานอล ตกตะกอนสิ่งเจือปนและกำจัดสีด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ได้สตีวิโอไซด์บริสุทธิ์ถึงร้อยละ 60 (Abou-Arab, Abou-Arab et al. 2010) กำจัดสีของสารสกัดจากหญ้าหวานด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำสารละลายมาผ่านเรซิน Amberlite IR -4B ได้สตีวิโอไซด์ที่มีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 85.47

2.6 การประยุกต์ใช้หญ้าหวานในอุตสาหกรรมอาหาร

ประเทศปารากวัยได้มีการนำเอาหญ้าหวานมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่สมัยโบราณส่วนมากชาวพื้นเมืองนำมาผสมลงในเครื่องดื่มที่มีรสขมเพื่อให้รสดีขึ้น เช่น ผสมกับใบชาเรียก มะเตะ (Mata) ญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกในทวีปเอเชียที่ได้มีการนำสารสกัดจากหญ้าหวานไปผสมกับผลิตภัณฑ์อาหาร

มากมายหลายชนิด เช่น ผักตบชวา อาหารทะเลทะเลทำแห้ง เนื้อปลาบด เต้าเจี้ยว เป็นต้น ในเครื่องดื่ม เช่น น้ำผลไม้ น้ำอัดลม อาหารว่าง เช่น ไอศกรีมและหมากฝรั่ง จนบริษัทใหญ่ได้มีการที่ผลิตอาหารสำเร็จรูปและยาได้ร่วมกันก่อตั้งบริษัทในรูปเครือข่ายมีชื่อว่า สตีเวียคอนวากาโก (Stevia conwakai) เพื่อส่งเสริมการนำสารสกัดจากหญ้าหวานมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้หญ้าหวานกว่า 750 ตัน หรือสตีวิโอไซด์ ไม่ต่ำกว่า 60 ตันต่อปี และไม่เคยมีรายงานถึงความเป็นพิษหรือผลเสียต่อสุขภาพเมื่อบริโภคติดต่อกันเป็นเวลานาน สำหรับประเทศไทยได้มีการส่งเสริมการปลูกหญ้าหวานมานานและมีการจำหน่ายหญ้าหวานในรูปของชา หญ้าหวานแห้งบดละเอียด ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์จากสตีวิโอไซด์มีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศต่างๆเช่น ญี่ปุ่น ซึ่งมีผลิตภัณฑ์จากสตีวิโอไซด์จำหน่ายทั้งในรูปแบบสารบริสุทธิ์และสารประกอบดังตารางที่ 2.4 ส่วนประเทศที่มีการใช้สตีวิโอไซด์เพิ่มขึ้นได้แก่ เกาหลีใต้ เยอรมัน ฝรั่งเศส เป็นต้น (Fujita and Edahiro 1979)

ตารางที่ 2.4 ผลิตภัณฑ์จากสตีวิโอไซด์ที่จำหน่ายในญี่ปุ่น

ชื่อผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบ(ร้อยละ)	ลักษณะหรือคุณสมบัติ
Stevia ST-AB	สารสกัดจาก stevia (100)	ผงสีขาว
Histevia-500	สาร stevioside(50) สารธรรมชาติ(50)	ผงสีขาว
lIstevia -J 00	สาร stevioside(10) สารธรรมชาติ(90)	ผงสีขาวหรือเป็นเกล็ดสีขาว
Licostevi.a A	สาร stevioside(2), glyerrhizine(7), Sodium citrate(16),สารธรรมชาติ(75)	ผงค่อนข้างเหลืองและมีแบบเม็ดเล็กๆ
Licostevia S-1	สาร stevioside(10), glyerrhizine(6), Sodium citrate(10),	ผงสีค่อนข้างเหลือง
Licostevia S-2	สารธรรมชาติ(74) สาร stevioside(5), glyerrhizine(3), Sodium citrate(5),	ผงสีเหลืองเล็กน้อย
Licostevia S-3	สารธรรมชาติ(87) สาร stevioside(3), glyerrhizine(5), Sodium citrate(10),สารธรรมชาติ(82)	ผงสีเหลืองเล็กน้อย

ที่มา : (Mishra, Singh et al. 2010)

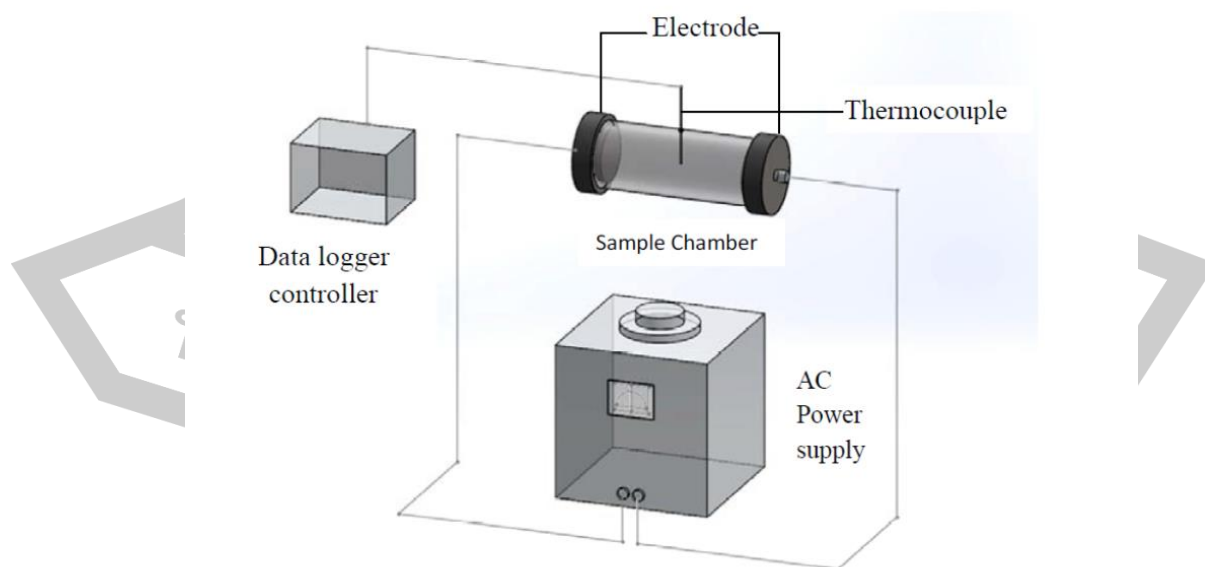
ประเทศญี่ปุ่นได้มีการใช้สตีวิโอไซด์มาปรุงแต่งรสอาหารเนื่องจากให้รสชาติที่คล้ายกับน้ำตาลทราย นอกจากนี้ยังทนต่อสภาวะกรดและความร้อน ในอุตสาหกรรมอาหารจึงได้นำไปทำ หมายเหตุ ลูกกวาด เครื่องดื่มเช่นน้ำอัดลม น้ำผลไม้ นมสดบรรจุขวดในรสต่างๆ ไอศกรีม เยลลี่ และอาหารหวานแช่แข็ง ใช้ปรุงรสอาหารที่ต้องการรสหวานเช่น ปลาหมึกแห้ง ปลาป่น ไข่ปลาแห้ง หรือปรุงรสในซอส ซิอิ้ว มายองเนส ผงกะหรี่ แป้ง เทมปุระ แม้แต่ของหมักดองที่มีรสเค็มมากช่วยรักษากลิ่นของที่ต้องช่วยให้รสกลมกล่อมยิ่งขึ้น นอกจากอุตสาหกรรมอาหารแล้วมีผู้นำไปใช้ทางยาและน้ำตาลและใช้ในการผลิตยาสีฟันอีกด้วย (Fujita and Edahiro 1979) และจากงานวิจัยของ (Hussain, Lin et al. 1990) รายงานว่าประชากรในประเทศฮ่องกงมีการนำหญ้าหวานมาผสมกับชาเพื่อให้ได้รสที่กลมกล่อมของชามากขึ้น (Mishra, Singh et al. 2010) รายงานว่ามีการนำสตีวิโอไซด์ (Stevioside) มาใช้ในผู้ป่วยที่ไม่สามารถบริโภคน้ำตาลคาร์โบไฮเดรตได้โดยตรง เช่นผู้ป่วยโรคอ้วน เบาหวาน ฟันผุ หัวใจ ไขมันในเลือด โรงพยาบาลรามาริบัติได้นำหญ้าหวานมาใช้ในการควบคุมน้ำหนักและโรคอื่นๆของบุคลากรของโรงพยาบาลรวมทั้งคนไข้แผนกผู้ป่วยนอกโดยนำมาชงน้ำร้อนและดื่มต่างน้ำวันละ 2-3 ครั้ง (Lisak, Lenc et al. 2012) ทำการประเมินทางประสาทสัมผัส 20 – point scoring system with weighted factors กับตัวอย่างโยเกิร์ต ที่เติมสารให้ความหวาน ซูโครส, หญ้าหวาน, ซูโครส+หญ้าหวาน โยเกิร์ตที่มีการเติม สารให้ความหวานจากหญ้าหวานและซูโครส ที่ความหวาน 4.5% ให้คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสที่ดีที่สุด (17.59/20) (Saniah and Samsiah 2012) ใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนองเพื่อสร้างระดับที่เหมาะสมของสารให้ความหวานจากหญ้าหวานแทนน้ำตาล ซูโครสในเครื่องดื่มอัดลม การทดลองแสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่ที่มีระดับการยอมรับที่สูงของเครื่องดื่มคาร์บอนเนตที่ผสมซูโครส 33.13% และสตีเวีย 0.43% งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าหญ้าหวานสามารถทดแทนน้ำตาลซูโครสได้บางส่วนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคและให้พลังงานน้อยลงถึง 42.9% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.7 การให้ความร้อนแบบ โอห์มมิก (Ohmic heating) และการประยุกต์ใช้

กระบวนการให้ความร้อนนี้พัฒนาโดย United Kingdom Electricity Research และ APV baker Ltd (De Alwis, Halden et al. 1989) การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic heating) นี้ทำให้อาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าของตัวอาหารเอง ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการใช้คลื่นไมโครเวฟคือ เป็นการนำพลังงานไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนในอาหาร แตกต่างกันตรงที่การให้ความร้อนโดยใช้ไฟฟ้าสามารถแทรกผ่านเข้าไปในอาหารได้ไม่จำกัดความลึก โดยอาหารวางอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วซึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟ เมื่อไฟฟ้าไหลผ่านอาหารจะร้อนขึ้นสม่ำเสมอ และรวดเร็วประมาณ 1 °ซ ต่อวินาที (Mishra, Singh et al. 2010) การเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกมีข้อได้เปรียบเชิงวิศวกรรมหลายประการทำให้นักวิจัยในกลุ่ม

เทคโนโลยีและวิศวกรรมอาหารต่างให้ความสนใจศึกษาการให้ความร้อนเพื่อการแปรรูปอาหาร เช่น กระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงแต่ใช้เวลาสั้น (High Temperature Short Time ; HTST) และการแปรรูปแบบอาหารปลอดเชื้อ บริษัท APV Baker ในประเทศอังกฤษได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก สำหรับการแปรรูปอาหารแบบปลอดเชื้อระบบต่อเนื่องโดยออกแบบระบบสร้างความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกเป็นท่อรูปทรงสี่เหลี่ยม (Ramaswamy, Balasubramaniam et al. 2005) และยังมีการนำเครื่องแปรรูปแบบปลอดเชื้อด้วยกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกระบบต่อเนื่อง ใช้ในอุตสาหกรรม และแปรรูปอาหารแบบปลอดเชื้อระบบต่อเนื่องในผลิตภัณฑ์แบบพวบน้ำผลไม้เข้มข้น น้ำซูป โดยส่งไปขายในประเทศ อิตาลี กรีซ ฝรั่งเศส เม็กซิโก และ ญี่ปุ่น ในขณะที่ในอุตสาหกรรมอาหารในประเทศอังกฤษใช้ในการพาสเจอไรซ์ไข่ไก่

ชุดอุปกรณ์การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก มีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ โอห์มมิกเซลล์ (Ohmic cell) ระบบการวัดสัญญาณไฟฟ้า (Digital Multimeter) และระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบปรับแรงดัน (Power supply) ซึ่งมีวงจรการทำงานตาม ภาพที่ 2.6 ซึ่งแสดงแผนภาพอุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้าในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก โดยมีรายละเอียดดังนี้. โอห์มมิกเซลล์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำ จากวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่มีความสามารถในการทนความร้อนสูง เช่น ท่ออะคริลิก (Acrylic Tube), ท่อเทฟลอน (Teflontube), ท่อไพเร็กซ์ (Pyrex Tube) หรือพลาสติกวิศวกรรมขั้นสูงชนิดอื่น เพื่อใช้บรรจุตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลองโดยที่ปลายทั้งสองด้านของโอห์มมิกเซลล์



ภาพที่ 2.6 ไดอะแกรมพื้นฐานของ Ohmic Heating

ที่มา : (Loypimai, Moongngarm et al. 2015)

ประกอบด้วยแผ่นอิเล็กโทรด ซึ่งมีหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลเข้าสู่อาหาร แผ่นอิเล็กโทรด ส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นโลหะ เช่น แผ่นเหล็กไร้สนิมซึ่งมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดจากอาหาร ได้ดีและมีความแข็งแรงของโครงสร้างเป็นอย่างดีระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าชนิดปรับแรงดัน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบซึ่งเป็นหม้อไฟฟ้าชนิดปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ได้ตามที่ต้องการ โดยการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิคไม่ นิยมระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้า กระแสตรง เนื่องจากการให้ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียว ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส ส่งผลให้เกิดการเกิดกร่อนที่ผิวของอิเล็กโทรดอย่างรุนแรง และเกิดเป็นตะกอนของสนิมออกไซด์ของโลหะเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในอาหาร (Assawarachan and Noomhorm 2008) ระบบการวัดและควบคุมสัญญาณทางไฟฟ้า มักเป็นชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการบันทึกสัญญาณทางไฟฟ้า อาทิ ปริมาณ, ความต่างศักย์ไฟฟ้า และอุณหภูมิในระหว่างการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิคโดยมีส่วนประกอบภายในชุดอุปกรณ์ แบ่งออกเป็นเซ็นเซอร์ วัดสัญญาณไฟฟ้า (ปริมาณกระแสไฟฟ้า, ความต่างศักย์ไฟฟ้า) และอุณหภูมิ โดยอุปกรณ์แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งรับข้อมูลมาจากเซ็นเซอร์เป็นสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐานในรูปแบบข้อมูลอนาล็อกหรือข้อมูลดิจิทัลและเครื่องบันทึกสัญญาณทางไฟฟ้าและอุณหภูมิ

2.7.1 ปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิค

2.7.1.1 สภาพการนำไฟฟ้าของอาหาร (Electrical Conductivity)

อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารขึ้นอยู่กับสภาพการนำไฟฟ้าของอาหาร ถ้าอาหารชนิดนั้นมีองค์ประกอบที่สามารถนำไฟฟ้าหรือมีสภาพนำไฟฟ้าสูงจะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงดังสมการ 1 และ 2 ตามลำดับ (Mishra, Singh et al. 2010); (PALANIAPPAN and SASTRY 1991) (Castro, Teixeira et al. 2004) สภาพการนำไฟฟ้าของผลไม้ชนิดต่าง ๆ และเนื้อสัตว์ที่ผ่านการตัดแยกส่วนไขมันออกมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นเส้นตรงโดยให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ (Sarang, Sastry et al. 2008)

$$\frac{dT}{dt} = \left[\frac{V^2 \sigma}{Kmc_p} \right] \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{L}{AR} \quad (2)$$

โดยที่ σ คือ ค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร

A พื้นที่หน้าตัดของชิ้นอาหาร

L ความยาวของชิ้นอาหาร

R ค่าความต้านทาน

นอกจากนี้สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำมะเขือเทศและน้ำส้มขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณของแข็ง สภาพการนำไฟฟ้าของผลไม้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของ น้ำผลไม้เพิ่มขึ้นและปริมาณของแข็งของน้ำผลไม้ลดลงตามลำดับ (PALANIAPPAN and SASTRY 1991) และสภาพการนำไฟฟ้าของซูริมีจะมีค่าเพิ่มเมื่อ ปริมาณความชื้นและปริมาณเกลือมีค่าเพิ่มขึ้น (Yongsawatdigul, Park et al. 1995) (Jakób, Bryjak et al. 2010) ทำการลวกด้วยวิธีโอห์มมิกสามารถยับยั้งเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (Alkaline phosphatase) เอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอเรส (Pectin Methyl Esterase ; PME) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในนม น้ำผัก และผลไม้ ได้ดีกว่าการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนหรือการพ่นละอองไอน้ำ

2.7.1.2 ความเข้มข้นไฟฟ้า

ถ้าความเข้มข้นไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นไฟฟ้าจะเป็นการเพิ่มกำลังงานให้กับระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกทำให้มีความต่างศักย์เพิ่มขึ้นจึงทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Mishra, Singh et al. 2010); (De Alwis, Halden et al. 1989)

2.7.1.3 ความถี่และลักษณะของคลื่น

การให้ความร้อนโดยโอห์มมิกแบบสถิตกับหัวผักกาดญี่ปุ่น (Japanese white radish) โดยเพิ่มความถี่จาก 50-10,000 เฮิรตซ์ ที่ระดับความเข้มข้นไฟฟ้า 40 โวลต์ต่อเซนติเมตร โดยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์กับความถี่ เมื่อความถี่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิลดลง เนื่องจากความถี่สูงจะมีการกลับขั้วเร็ว ดังนั้นไอออนซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าประจุไฟฟ้าจะไม่สามารถกลับตัวได้ทันจึงทำให้ไอออนเคลื่อนที่ได้น้อย ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิมิมีค่าลดลง (Imai, Uemura et al. 1995) ในทำนองเดียวกันผลของความถี่และรูปแบบลักษณะคลื่นต่อสภาพนำไฟฟ้าของ turnip โดยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิจะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นและคลื่นรูปฟันเลื่อยจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของสภาพนำไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าคลื่นรูปไซน์และรูปสี่เหลี่ยมตามลำดับ (LIMA, HESKITT et al. 1999)

2.7.1.4 ขนาดและรูปร่างของชิ้นอาหาร

ผลของขนาดชิ้นอาหารที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวที่มีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิเมื่อขนาดของชิ้นอาหารใหญ่ขึ้นจะมีผลทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิลดลง เนื่องจากชิ้นอาหารขนาดใหญ่จะฉุดหรือขัดขวางการเคลื่อนที่ของไอออนทำให้มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าต่ำลง (PALANIAPPAN and SASTRY 1991) และผลของรูปร่างของชิ้นอาหารต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิโดยการแปรค่าอัตราส่วนลักษณะความกว้างและความสูง (Aspect Ratio) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของของเหลว

ขึ้นอยู่กับค่า อัตราส่วนลักษณะซึ่งขึ้นอาหารที่มีค่า อัตราส่วนลักษณะต่ำจะมีพื้นที่ต่อหน่วยปริมาตรในการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าขึ้นอาหารที่มีอัตราส่วนลักษณะสูงจึงทำให้มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า (Wang and Sastry 1993)

ทิศทางการจัดเรียงของขึ้นอาหารผลการจัดเรียงขึ้นมันฝรั่งขนาด 40×75×30 มิลลิเมตร ในช่องเหลวที่มีสภาพการนำไฟฟ้า 0.58 ซีเมนส์/เมตร โดยวางในแนวนอนและแนวตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า พบว่าการจัดเรียงตัวในแนวตั้งฉากขึ้นอาหารจะร้อนเร็วกว่าการจัดเรียงในแนวนอนและของเหลวจะร้อนเร็วกว่าขึ้นอาหาร และจากการศึกษาการจัดเรียงของอาหารรูปทรงกลมและลูกบาศก์ พบว่าทิศทางการจัดเรียงของขึ้นอาหารไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากอัตราส่วนของความยาวต่อพื้นที่ตัดขวางของขึ้นอาหารไม่ขึ้นอยู่กับการจัดเรียง (De Alwis, Halden et al. 1989) การวางขึ้นมันฝรั่งรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 1×1×1 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น ในสารละลายโซเดียมฟอสเฟส เข้มข้น 0.1 โมล ในทิศทางขนานและวางทำมุม 45 องศา กับสนามไฟฟ้า พบว่าการวางตัวของขึ้นอาหารไม่มีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิของขึ้นมันฝรั่ง (Sastry and Palaniappan 1992) และในทำนองเดียวกันผลการจัดเรียงขึ้นอาหารที่มีต่อการเพิ่มอุณหภูมิ พบว่าขึ้นอาหารที่วางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่าขึ้นอาหารที่วางในแนวนอนกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (Wang and Sastry 1993)

2.7.1.5 ปริมาณของขึ้นอาหาร

สภาพการนำไฟฟ้าของแครอท มันฝรั่ง หัวผักกาด และส่วนผสมของวัตถุดิบแต่ละชนิด ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมล ในช่วงอุณหภูมิ 25-125 °ซ ที่สัดส่วนปริมาตร 20, 40 และ 60% มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับอุณหภูมิที่ถูกสัดส่วนกับปริมาตร และสภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) จะลดลงเมื่อสัดส่วนโดยปริมาตรของขึ้นวัตถุดิบในอาหารเพิ่มขึ้น แสดงดังสมการ 3 และ 4 (Mishra, Singh et al. 2010) ตามลำดับ

$$\sigma = a + bT \quad (3)$$

จากสมการ (1) กับ (3) จะได้สมการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังสมการที่ (4)

$$T = \frac{1}{b} [(a + bT_0) \exp \left[\frac{bV^2t}{K_c mc_p} \right] - a] \quad (4)$$

โดยที่

σ สภาพนำไฟฟ้า (S/m)

a ค่าคงที่

b ค่าคงที่

T อุณหภูมิ (°C)

T₀ อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)

V ความต่างศักย์ (V)

t เวลา (s)

K_C ค่าคงที่ของเซลล์ ($K_C = L/A$)

m มวลอาหาร (kg)

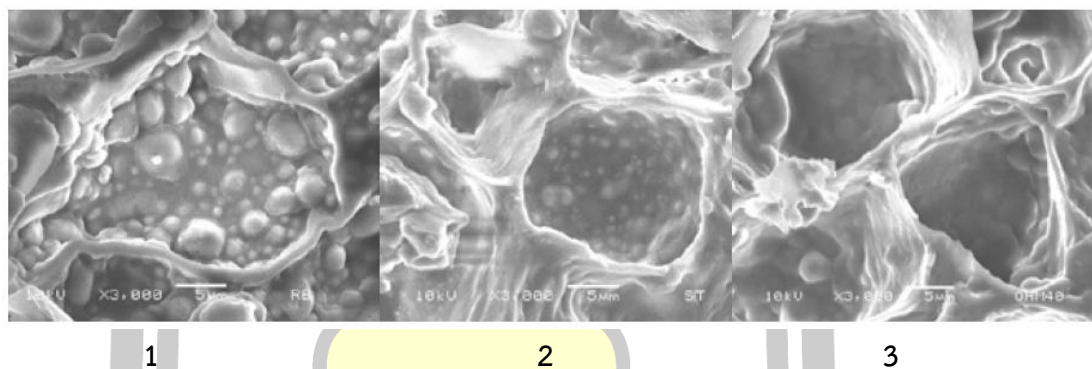
cp ความร้อนจำเพาะ (J/kg°C)

2.7.1.6 การออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic Heating)

การออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกนั้นสามารถจำกัดขอบเขตได้ค่อนข้างยากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน มีการออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกสำหรับการสกัดสารพฤกษเคมีในผักและผลไม้หลายชนิดเช่น (Khuenpet, Fukuoka et al. 2017) ทำการประยุกต์ใช้ การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในการสกัดน้ำมันพืชข้าวและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัด (Color Characteristics And The Contents Of β -Carotene And Lycopene) น้ำมันพืชข้าวจากการสกัดแบบเดิมกับแบบการให้ความร้อนด้วยโอห์มมิกพบว่า น้ำมันพืชข้าวที่สกัดด้วย การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก มีประสิทธิภาพสูงกว่าการสกัดน้ำมันพืชข้าวแบบเดิมถึงร้อยละ 81.40 (Pereira, Rodrigues et al. 2016) ได้ทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกต่อการสกัด สารพฤกษเคมีจากสีในมันฝรั่ง พบว่าเมื่อ ความเข้มข้นของสนามไฟฟ้า อุณหภูมิ และระยะเวลา ในการสกัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ปริมาณ แอนโทไซยานิน และ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เพิ่มขึ้น (Loypimai, Moongngarm et al. 2015) ประยุกต์ใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมาช่วยในการสกัดแอนโทไซยานินจากรำข้าวเหนียวดำได้ ปริมาณ แอนโทไซยานิน มากกว่าการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายนอกจากนี้ การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ยังไม่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินที่สกัดได้ (Saberian, Hamidi-Esfahani et al. 2017) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ความร้อนแบบโอห์มมิกสกัดเพคตินจากเปลือกส้ม ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณมากที่สุด (ร้อยละ 14.32) เมื่อใช้สภาวะการสกัด แรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ต่อเซนติเมตร อุณหภูมิ 90 °ซ เวลา 30 นาที และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ เพคตินที่ได้รับจากการสกัดแบบธรรมดา (ร้อยละ 13.53) และไม่มีผลต่อความคงตัวของเพคตินที่สกัดได้ ปัจจัยสำคัญสำหรับออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรด ช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด พื้นที่หน้าตัดของท่อหรือแซมเบอร์ (Internal cross sectional area) สามารถควบคุมอุณหภูมิโดยปรับตัวควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Biewer, Forest et al. 2003)

2.7.2 Electroporation Effect

ปรากฏการณ์อิเล็กโตรโพรเซชันไม่ได้เป็นผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยการให้ความร้อนแบบไอหุ้มมิก (An and King 2007) (Sensoy and Sastry 2004) เมื่อตัวอย่างอาหารอยู่ในสนามไฟฟ้าจะเกิดการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ทำให้มีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้ามากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตทำให้ผนังเซลล์เกิดรูพรุน การเกิด ปรากฏการณ์นี้สามารถเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ 1) Irreversible electroporation เป็นการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตอย่างมากจนทำให้ผนังเซลล์เกิดรูขนาดใหญ่อย่างถาวร 2) reversible electroporation เป็นการเกิดรูพรุนของเยื่อหุ้มเซลล์เนื่องจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตเพียงเล็กน้อยจึงเกิดรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลต่อการถ่ายโอนมวลสารเข้าออกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Töpfl 2006)



ภาพที่ 2.7 ภาพของรำข้าวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน 1)รำดิบ 2)ให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 3)ให้ความร้อนแบบไอหุ้มมิก

ที่มา : (Loypimai, Moongngarm et al. 2015)

2.8 บราวนี่ (Brownie)

บราวนี่ (Brownie) ขนมชิ้นสี่เหลี่ยมสีน้ำตาลเข้ม ขึ้นฟู เนื้อแน่นช็อคของ บราวนี่ปรากฏขึ้นครั้งแรกบนสื่อสิ่งพิมพ์ใน Sears, Roebuck and Company Catalog เมื่อปี ค.ศ.1897 ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นที่แรก ต่อมาไม่นานก็พบว่ามีสูตรการทำบราวนี่ตามตำราอาหารต่างๆด้วย อาทิเช่น Boston Cooking-School Cook Book, The Joy of Cooking จนคนรู้จักบราวนี่แพร่หลายขึ้น เป็นที่นิยมทำกินกันตั้งแต่ ค.ศ.1920 เป็นต้นมา บราวนี่เป็นลูกครึ่งระหว่างเค้กกับคุกกี้ บราวนี่ถูกผลิตมาในรูปแบบต่าง ๆ บางครั้งก็มีความหนึบหรือเป็นเนื้อเค้กขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและอาจจะมีส่วนผสมของถั่วชนิดต่าง ๆ, เคลือบน้ำตาล, วิปครีม, ช็อกโกแลตชิป, หรือส่วนผสมอื่น ๆ อาจจะมีการเปลี่ยนรูปแบบการทำ (Mishra, Singh et al. 2010)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

3.1.1 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับในการสกัดสารให้ความหวาน จากใบหญ้าหวานที่สภาวะต่างๆ ออกแบบการทดลองแบบ factorial 3x3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

3.1.2 ศึกษาการพอกสีน้ำตาลด้วยเรซินถ่านกัมมันต์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์

3.1.3 ศึกษาการประยุกต์ใช้สารสกัดจากหญ้าหวานทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมอบบราวนี่ ออกแบบการทดลองแบบ Mixture Design

3.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

3.2.1 วัตถุดิบ

ใบหญ้าหวานแห้ง (Stevia rebaudiana Bertoni), ดาร์คซ็อคโกแลต, ผงโกโก้, เนยจืด, แป้งสาลี อเนกประสงค์, ผงฟู, เกลือ, น้ำตาล, ไข่ไก่, วานิลา

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์

3.3.1.1 เครื่อง Ohmic heater (lab-scale)

3.3.1.2 เครื่อง High-performance liquid chromatography (HPLC)

3.3.1.3 เครื่อง Spectrophotometer

3.3.1.4 เครื่อง Ultrasonic Shaker

3.3.1.5 เครื่องแก้วต่าง ๆ สำหรับทดลอง

3.3.1.6 อุปกรณ์ประกอบการทดลอง เช่น เครื่องชั่ง, นาฬิกาจับเวลา เป็นต้น

3.3.1.7 เครื่อง Centrifuge

3.3.1.8 เครื่อง Blender MX AC-400

3.3.1.9 เครื่อง pH meter

3.3.1.10 ถุง aluminium foil bags

3.3.1.11 ถุง polyethylene เช่น กระดาษกรองเบอร์ 4, Data logger เป็นต้น

3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำบรวนี้

- 3.3.2.1 เตาอบ
- 3.3.2.2 ถาดรองอบ
- 3.3.2.3 กระดาษไข
- 3.3.2.4 ซ้อนดวง
- 3.3.2.5 ถ้วยตวง
- 3.3.2.6 ตะกร้อตีมือ
- 3.3.2.7 ชามผสม
- 3.3.2.8 ไม้พาย

3.4 สารเคมี

- 3.4.1 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดหญาหวาน น้ำกลั่นและน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน
- 3.4.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารให้ความหวาน Stevioside hydrate (HPLC grade), Rebaudioside A (HPLC grade), Acetonitrile และน้ำกลั่น

3.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 3.5.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในการสกัดจากใบหญ้าวหวาน

วางแผนการทดลองแบบ factorial 2x3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารให้ความหวานจากหญ้าวหวาน ปรับปรุงจากวิธีการของ (Loypimai, Moongngarm et al. 2015) โดยศึกษาตัวแปรอิสระ 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณความชื้น (ร้อยละ 20 30 40) น้ำหนักเปียก ความเข้มของสนามไฟฟ้า (75,150,200 V/cm) และเวลาในการให้ความร้อนนาน 120 วินาที

- 3.5.2 การเตรียมตัวอย่างหญ้าวหวาน

ใบหญ้าวหวานแห้งซื้อจาก จ.เชียงใหม่ นำมาร้อนตะแกรงขนาดใหญ่เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมและวัดปริมาณความชื้นเบื้องต้นตามวิธีการของ (Mishra, Singh et al. 2010) บดหญ้าวหวานด้วยเครื่องบดละเอียดให้ละเอียดเป็นผง เก็บตัวอย่างในถุง โพลีเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 4°ซ เพื่อรอในกระบวนการให้ความร้อนด้วยโอห์มมิกตามสภาวะการทดลองจากการออกแบบการทดลองตามข้อที่ 3.5.1 จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยโอห์มมิกมาสกัดสารให้ความหวานด้วยน้ำตาม

วิธีการของ (Abou-Arab, Abou-Arab et al. 2010) นำสารสกัดหยาบที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารให้ความหวานด้วยวิธีการ HPLC เพื่อหาปริมาณสารให้ความหวานที่สกัดได้

3.5.3 วิธีการปรับความชื้น

นำตัวอย่างใบหญ้าหวานที่ผ่านการกำจัดสิ่งแปลกปลอมจากข้อ 3.5.2 มาวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content) ตามวิธีของ (Mishra, Singh et al. 2010) โดยชั่งหญ้าหวานที่บดแล้ว 5 กรัม ใส่ใน moisture can อบในตู้อบ Hot air oven ที่อุณหภูมิ 102-105°C 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นใน โถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาณความชื้นตามสมการ

$$\text{Moisture Content (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100$$

$$\text{Total solid (\%)} = 100 - \text{Moisture(\%)}$$

เมื่อ

W1 = น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร ก่อนอบ

W2 = น้ำหนักของตัวอย่างอาหารแห้ง หลังอบ

จากนั้นนำตัวอย่างใบหญ้าหวานมา เติมน้ำกำจัดไอออนและควบคุมความชื้นให้ได้ตามระดับที่ต้องการ 3 ระดับ (ร้อยละ 20 30 40) โดย คำนวณปริมาณน้ำจากสมการ

$$M1 \times X1 + M2 \times X2 = M3 \times X3$$

เมื่อ

M1 = น้ำหนักของหญ้าหวานแห้ง (กรัม)

X1 = ความชื้นเริ่มต้นของหญ้าหวาน

M2 = ปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในระบบ

X2 = ความชื้นของน้ำ

M3 = น้ำหนักตัวอย่างหญ้าหวาน

X3 = ความชื้นที่ต้องการ

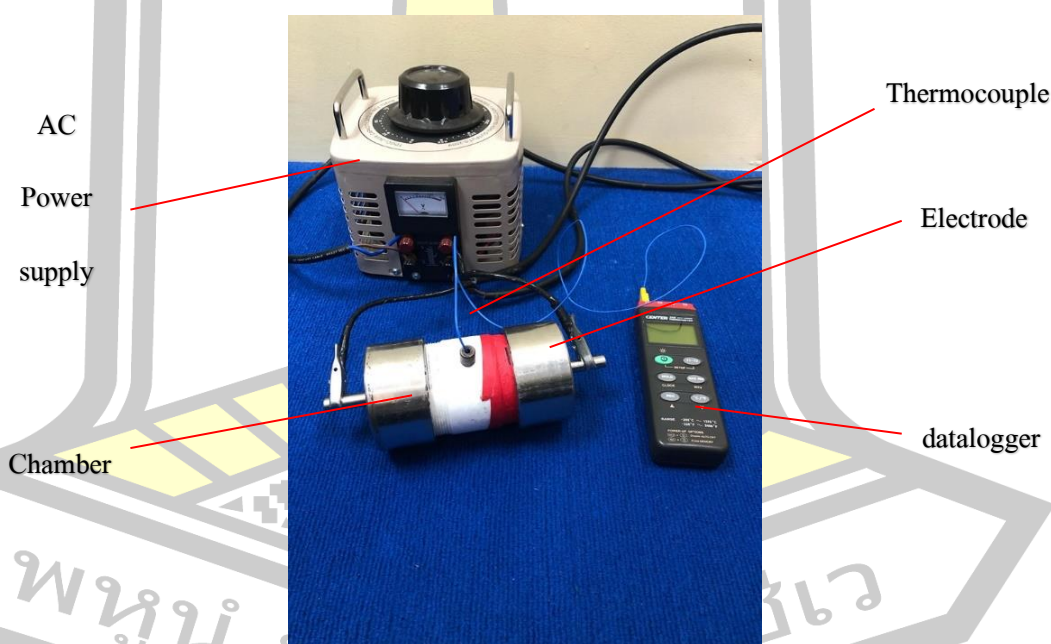
ปริมาณน้ำที่เติมและความชื้นที่ต้องการดังตารางที่ 3.5 จากนั้นควบคุมสถานะความชื้นสมดุลในถุงโพลีเอทิลีนเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อให้ได้ระดับความชื้นตามที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการวัดความชื้นตัวอย่างหญ้าหวานและเก็บใส่ถุง โพลีเอทิลีน ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการให้ความร้อนแบบไอซึมกับตัวอย่างในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.5 ปริมาณน้ำกำจัดไอออนและความชื้นที่ต้องการ

ความชื้นเริ่มต้น (%)	หย้าหวาน (g)	น้ำกำจัดไอออน (ml)	ความชื้นสุดท้าย (%)
9.18	500	67.5	20.51±0.79
	500	148.5	30.35±0.53
	500	256.66	40.46±0.612

3.5.4 วิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกและเก็บตัวอย่าง

นำตัวอย่างหย้าหวานที่ผ่านการปรับความชื้นตามที่ต้องการจากข้อ 3.5.3 จำนวน 90 กรัมลงในช่องใส่ตัวอย่างให้แน่น ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและเวลาในการให้ความร้อนตามสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.5.1 ที่ระดับความถี่คงที่เท่ากับ 50 เฮิร์ต ระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ติดตามวัดกระแสไฟและอุณหภูมิด้วย เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger controller) หลังจากให้ความร้อนเสร็จ นำตัวอย่างออกมาทำให้เย็นทันทีที่อุณหภูมิห้องและเก็บในถุงโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิ 4 °ซ สำหรับการสกัดสารให้ความหวานต่อไป



ภาพที่ 3.8 เครื่อง Ohmic Heating

3.5.5 ผลของการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไบโหย้าหวาน

นำตัวอย่างไบโหย้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกไปทำการส่งกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 300 1000 และ 3000 เท่า

3.5.6 วิธีการสกัดสารให้ความหวาน

นำตัวอย่างหย้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกด้วยสภาวะและขนาดไบที่เหมาะสม มาทำการสกัดสารให้ความหวานโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ดัดแปลงมาจากวิธีการของ (Abou-Arab, Abou-Arab et al. 2010) โดยชั่งตัวอย่างหย้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนจากข้อ 3.5.4 มา 100 กรัมลงในบีเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร นำบีเกอร์ให้ความร้อน 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองสารสกัดหยาบที่ได้ ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 เก็บสารสกัดหยาบที่ได้ในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °ซ เพื่อนำไปหาชนิดและปริมาณของสารให้ความหวานที่สกัดได้ด้วยวิธีการ HPLC ต่อไป

3.5.7 การทำแห้งสารสกัด

นำตัวอย่างสารสกัดมาทำให้แห้งดัดแปลงจากวิธีการของ (Ngowatana 1997) นำตัวอย่างน้ำสกัดไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160°ซ อุณหภูมิลมร้อนขาออก 90 องศาเซลเซียสที่อัตราการไหลเท่ากับ 12 มิลลิลิตรต่อวินาที ใช้สาร มอลโตเดกซ์ตริน เป็นสารให้ความคงตัว หลังจากนั้นนำผงตัวอย่างใส่ในถุง โพลีเอทิลีน เก็บที่อุณหภูมิ 4 °ซ เพื่อนำไปศึกษาการประยุกต์ใช้สารสกัดในบรารวนี้ต่อไป

3.5.8 การฟอกสีและทำให้บริสุทธิ์

ดัดแปลงจากวิธีของ(Mishra, Singh et al. 2010) นำสารละลายที่สกัดได้มาเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 (ของน้ำหนักไบแห้ง) คนเบาๆ 5 นาทีและทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมงเก็บสารละลายส่วนใสด้านบนกรองแยกตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 กำจัดแคลเซียมไฮดรอกไซด์และสีของสารละลายด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Amberlite IR-4B (Mishra, Singh et al. 2010) ซึ่งเรซิน 200 กรัม แขน้ในกำจัดไอออน 2 ครั้งๆละ 2 ชั่วโมง ล้างเรซินกำจัดไอออน 2-3 ครั้งบรรจุเรซินในกรวยแยก ปรับอัตราการไหลของสารสกัด เป็น 10 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง กรองน้ำสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปผ่าน ถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์ 200กรัมล้างน้ำกำจัดไอออนจนกว่าน้ำจะใสบรรจุลงในกรวยแยก ปรับอัตราการไหลของสารสกัดเป็น 10 มิลลิลิตรต่อนาที กรองน้ำสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 วัดค่า pH ของสารสกัดและปรับค่า pH ให้เป็นกลาง ด้วย กรดซิตริก 0.5 กรัม กรองน้ำสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4

หลังจากนั้นนำสารสกัดที่ได้ปั่นเหวี่ยงแยกตะกอน ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอน ที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ตูดสารสกัดส่วนใสด้านบนมา 0.25 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เหมาะสมนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำไปคำนวณหา ประสิทธิภาพในการฟอกสี(ร้อยละ) โดยคำนวณจาก

$$\text{ประสิทธิภาพในการฟอกสี(\%)} = ((A-B) \times 100) / A$$

เมื่อ A ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสกัดก่อนการฟอกสี

B ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสกัดหลังการฟอกสี

3.5.9 วิธีการวิเคราะห์สารให้ความหวานในหญ้าหวานด้วยวิธีการ High-performance liquid chromatography ; HPLC

3.5.9.1 การเตรียมตัวอย่างสารละลายมาตรฐาน

ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ(Mishra, Singh et al. 2010) เตรียมสารละลายมาตรฐาน Stevioside hydrate (HPLC grade) และ Rebaudioside A (HPLC grade) ให้มีความเข้มข้น 1.56, 3.12, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในน้ำกำจัดไอออน โดยชั่งสารมาตรฐาน 10 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกำจัดไอออน 10 มิลลิลิตร ในปิเกอร์ 25 มิลลิลิตร เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรและเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรเท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายตามความเข้มข้นที่ต้องการ กรองสารละลายมาตรฐานผ่านกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน และ 0.22 ไมครอน และนำไปกำจัดก๊าซด้วยเครื่อง vortex mixer เป็นเวลา 5 วินาที

3.5.9.2 การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยวิธีการ HPLC

ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ (Mishra, Singh et al. 2010) นำสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ในข้อ 3.1.1.1 วิเคราะห์สารให้ความหวานด้วยเครื่อง HPLC SHIMADZU® SPD-M20A ฉีดผ่าน คอลัมน์ InertSustain C18 ขนาด 4 x 250 mm, 5 µm เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ประกอบด้วย อซิโตนไนไตรท์ และ น้ำกำจัดไอออน โดยที่ปรับอัตราส่วนผสมของเฟสเคลื่อนที่ เป็น อซิโตนไนไตรท์และน้ำ อัตราส่วน 50 ต่อ 50 อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ฉีดตัวอย่างสารที่วิเคราะห์ที่ละ 20 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงโดย UV – detector ที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร

3.6 ศึกษาวิธีการใช้สารสกัดจากหญ้าหวานแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมอบบราวนี่

3.6.1 การเตรียมสารสกัดจากหญ้าหวานเพื่อใส่ในขนมอบบราวนี่

ออกแบบสูตรการทดลองด้วยโปรแกรม Design-Expert Version 7.0 ใช้การแผนการออกแบบ Mixture design ปริมาณสารให้ความหวานที่ใช้อยู่ระหว่างช่วง 0-30.76% (น้ำตาลทราย) และ 0.2-0.5% (สารสกัดหญ้าหวาน) ของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด (Saniah and Samsiah 2012)

ตารางที่ 3.6 สิ่งทดลองตามแผนการทดลอง Mixture design

สิ่งทดลอง	ระดับความแปรปรวน		รหัส	
	ซูโครส (g)	สติเวีย (g)	X ₁	X ₂
ควบคุม	200	-	-	-
1	100	1.62	0.5	0.5
2	0	3.25	0	1.0
3	150	0.81	0.75	0.25
4	50	2.43	0.25	0.75

3.6.2 การทำขนมอบบราวนี่

ดัดแปลงจากงานวิจัยของ (Selvakumaran, Shukri et al. 2017) ซึ่งส่วนผสมการทำบราวนี่เตรียมไว้ในชามขนาดกลางตามตารางที่ 3.5.9.2 ตั้งหม้อสแตนเลสใส่น้ำตั้งไฟกลาง วางชามผสมสแตนเลสในน้ำร้อนจากนั้นละลายช็อคโกแลตชิป เนยจืด และผงโกโก้ รวมกันจนเข้ากันดี และมีเจาน้ำมันลอยบนผิวหน้า ใส่ไข่และน้ำตาลลงไปตีด้วยตระกร้อไฟฟ้าให้น้ำตาลละลายและส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 10 นาที ใส่แป้งอเนกประสงค์ (ร่อนแล้ว) ตะล่อมแบ่งกับส่วนผสมของเหลวให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมหลีนวลลงไปจนให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน วอร์มเตาอบ ไฟ บน-ล่าง 180 เซลเซียส เทส่วนผสมทั้งหมดลงถาดอบ ปูพื้นถาดอบด้วยกระดาษไข อบ 20 นาที นำออกมาพักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมงหลังจากตัวอย่างเย็นแล้ว แบ่งเก็บตัวอย่างไว้ในถุง โพลีเอทิลีน เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อนำไปทำการประเมินทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 3.7 วัตถุดิบในการทำบราวนี่

วัตถุดิบ	ปริมาณ(%)
แป้งสาลี	11.54
ผงโกโก้	9.23
เนยจืด	23.08
ช็อคโกแลตชิป	7.70
ไข่ไก่	16.62
น้ำตาลทรายแดง	30.76
ผงฟู	0.23
วนิลา	0.61
เกลือ	0.23

3.6.3 การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมอบบราวนี่

นำบราวนี่จากข้อ 3.6.2 ตัดเป็นชิ้นขนาด $1 \times 1 \times 1$ นิ้ว ที่อุณหภูมิห้อง ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน โดยงานทดลองนี้ได้รับความเห็นจากกรรมการจริยธรรมในมนุษย์ คุณลักษณะที่ใช้ประเมิน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่น รส การยอมรับโดยรวม และความรู้สึกแปลกปลอม โดยใช้สเกลคะแนนแบบ Hedonic test 9 scale (1 = ไม่ชอบมาก, 9 = ชอบมาก)ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ (Lyon, Francombe et al. 2012)

3.6.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพด้านสี

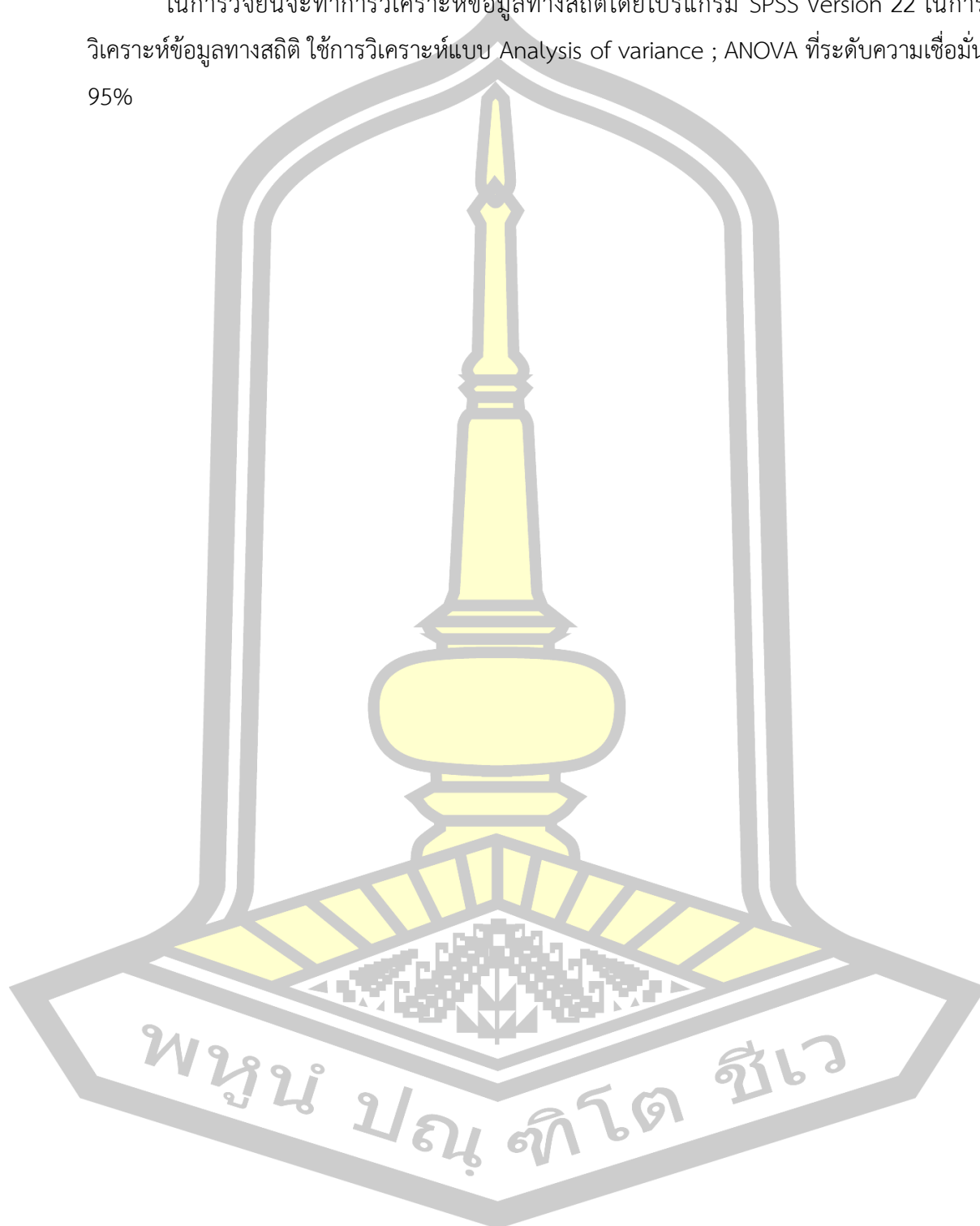
นำขนมอบบราวนี่ที่พักไว้ในตู้เย็น 4°C หลังอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดขนมเป็นชิ้นขนาด $1 \times 1 \times 1$ นิ้ว ทำการวัดค่าสีของขนมอบบราวนี่ในระบบ CIE LAB (Commission International de l'Eclairage) ด้วยเครื่อง Chroma meter โดยวัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*)

3.6.5 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

นำขนมอบบราวนี่ที่พักไว้ในตู้เย็น 4°C หลังอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดขนมเป็นชิ้นขนาด $1 \times 1 \times 1$ นิ้ว ทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ตามวิธีการของ (Selvakumaran, Shukri et al. 2017) ลักษณะที่ทำการประเมินได้แก่ Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness, Resilience

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS Version 22 ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ใช้การวิเคราะห์แบบ Analysis of variance ; ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

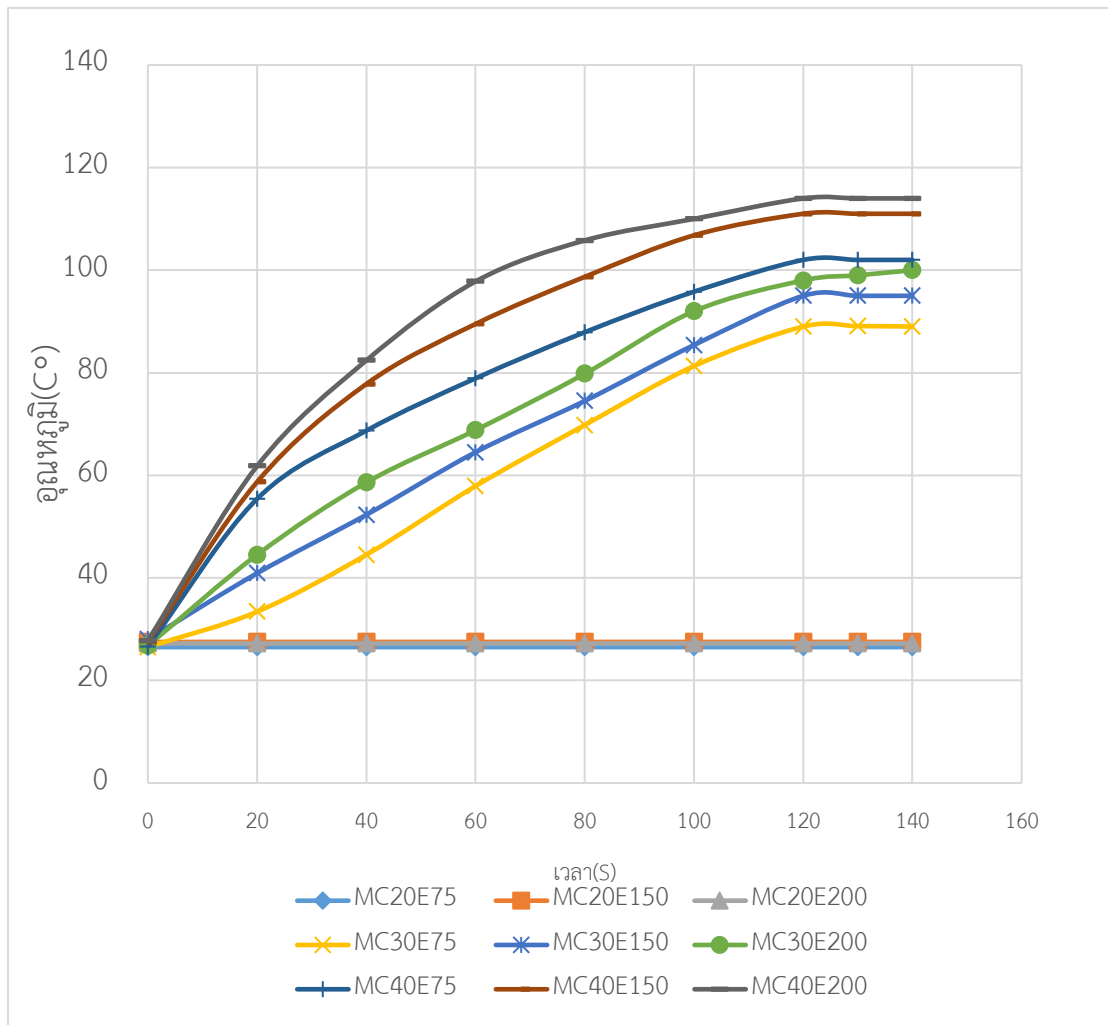
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการความร้อนแบบโอห์มมิกในการสกัดหญาหวาน

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารให้ความหวานจากหญาหวาน โดยศึกษาตัวแปรอิสระ 2 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณความชื้น (ร้อยละ 30 และ 40) ความเข้มข้นของสนามไฟฟ้า (75 150 200 โวลต์/เซนติเมตร) ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยโอห์มมิก

จากการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกแล้วทำการวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของตัวอย่างหญาหวานที่มีปริมาณความชื้นและแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่างกัน พบว่าที่ปริมาณความชื้นหญาหวานร้อยละ 40 และระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้า 200 โวลต์/เซนติเมตร มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 114 °ซ ดังภาพที่ 4.9 ส่วนหญาหวานที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 30 แรงเคลื่อนไฟฟ้า 75 โวลต์/เซนติเมตร มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่ำสุดเท่ากับ 89 °ซ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mishra, Singh et al. 2010) รายงานว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นและแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีผลทำให้อุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้น (Mishra, Singh et al. 2010) รายงานว่าสภาพการนำไฟฟ้าของซูริมีมีค่าเพิ่มเมื่อปริมาณความชื้นของซูริมีเพิ่มขึ้นในทำนองเดียวกัน (Mishra, Singh et al. 2010) พบว่ารำข้าวที่ไม่ปรับเพิ่มความชื้นมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำส่งผลให้อุณหภูมิการคงสภาพรำด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกต่ำกว่ารำข้าวที่เพิ่มระดับความชื้นเป็น 21% และงานวิจัยของ (Mishra, Singh et al. 2010) กล่าวว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้น เมื่อสภาพการนำไฟฟ้าของอาหารมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อนทางกายภาพอาหาร การออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกด้วย เซ็นพื้นที่หน้าตัดภายในแชมเบอร์ และระยะห่างระหว่าง อิเล็กโทรด (FDA-CFSAN. 2000) ในส่วนของตัวอย่างที่ทำการปรับความชื้นร้อยละ 20 อุณหภูมิของตัวอย่างไม่เพิ่มขึ้นในทุกความเข้มข้นสนามไฟฟ้า อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นต่ำเกินไปที่จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในแชมเบอร์

พญนั บณ จิต ชีเว

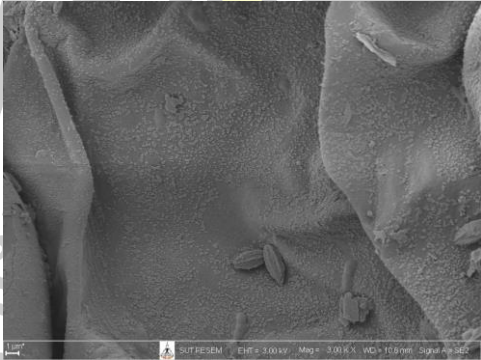
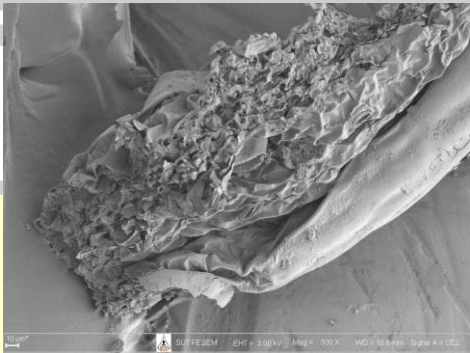
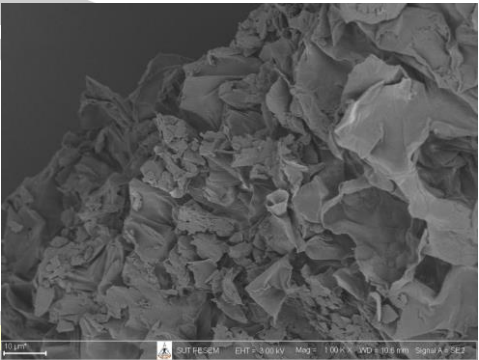
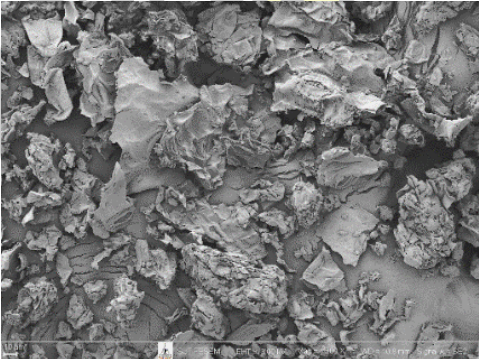
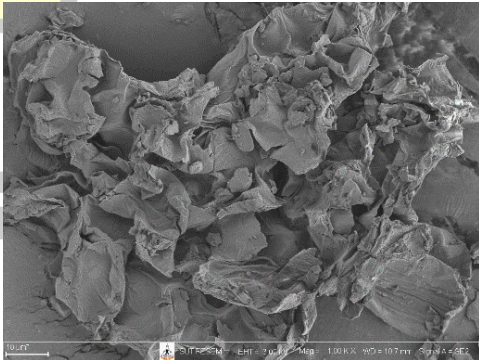
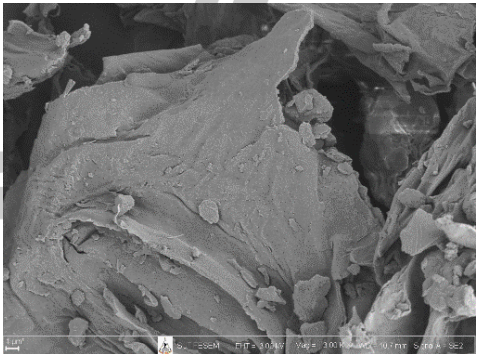


ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของตัวอย่างหญ้าหวานจากการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (MC คือ ปริมาณความชื้นหญ้าหวาน(%); E คือ ระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์/เซนติเมตร))

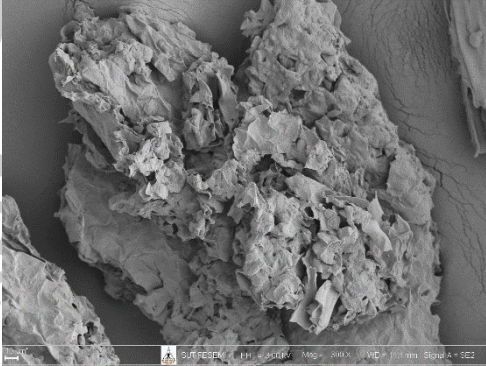
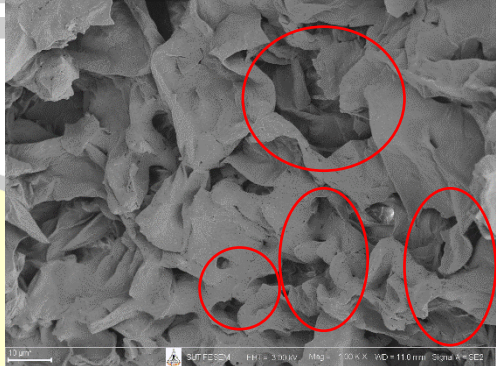
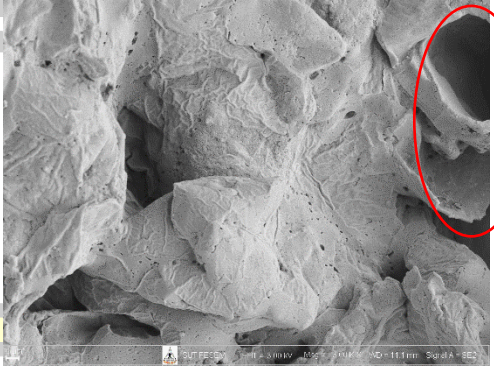
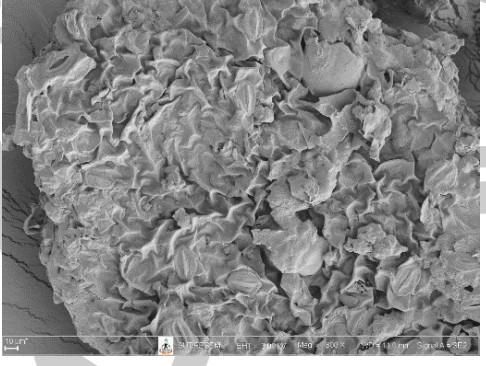
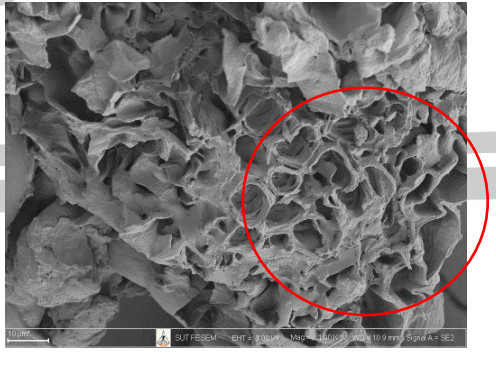
4.1.2 ลักษณะทางกายภาพของใบหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยโอห์มมิก

จากการนำใบหญ้าหวานปรับความชื้นและให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่างกันสามระดับเปรียบเทียบกับตัวอย่างใบหญ้าหวานที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวของอนุภาคใบหญ้าหวานหลังจากได้รับการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก โดยใบหญ้าหวานมีลักษณะเป็นรูพรุนเนื่องจากปรากฏการณ์อิเล็กโตรโพเรชันซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากความร้อนที่เกิดจากโอห์มมิก (Mishra, Singh et al. 2010) แต่เกิดจาก การเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ทำให้มีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้ามากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตทำให้เกิดรูพรุนที่ผนังเซลล์

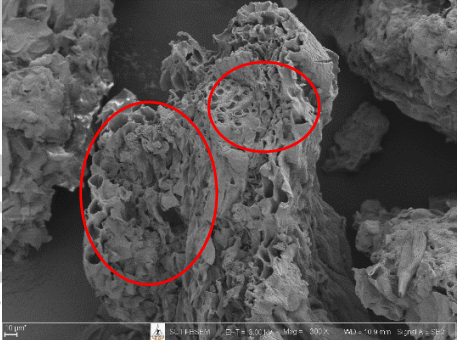
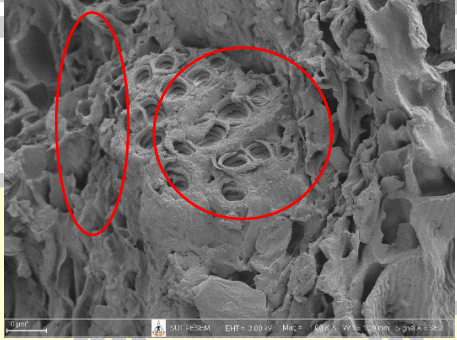
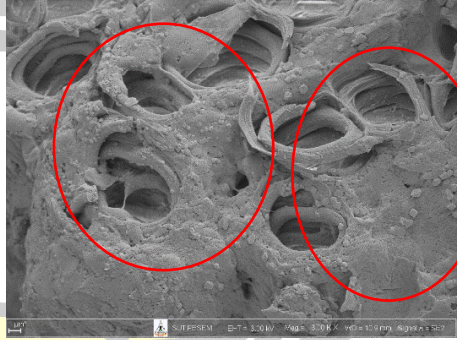
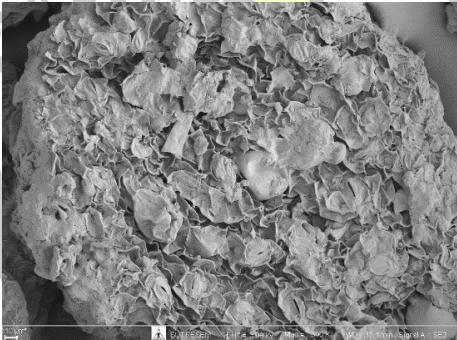
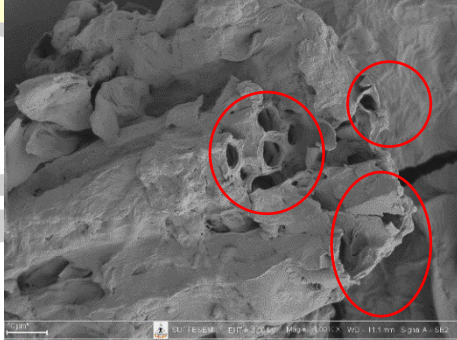
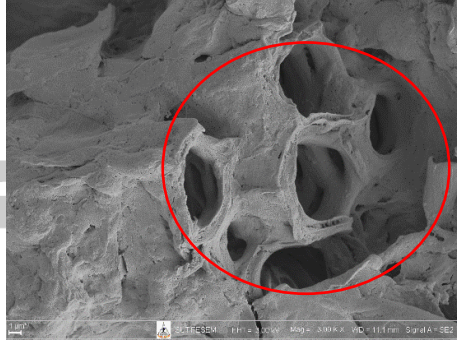
ตารางที่ 4.8 ภาพถ่ายจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวอย่างหญ้าหวานในสภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	กำลังขยาย 300 เท่า	กำลังขยาย 1000 เท่า	กำลังขยาย 3000 เท่า
หญ้าหวาน ไม่ผ่านการ บด			
หญ้าหวาน ที่ผ่านการ บด			

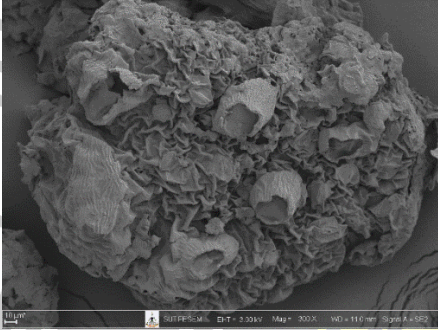
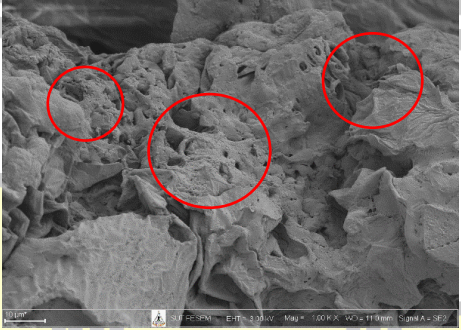
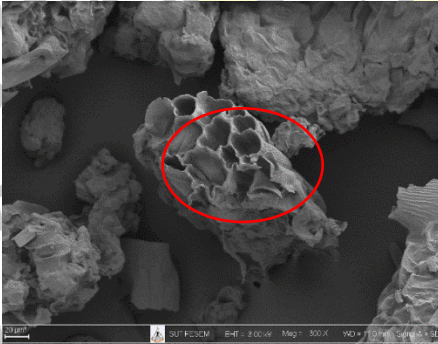
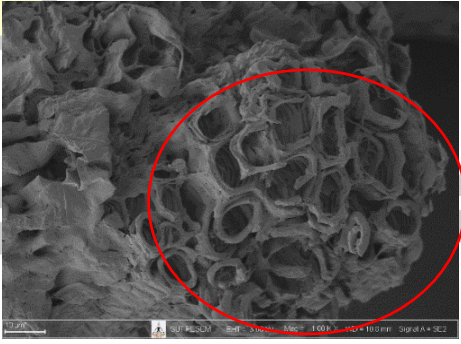
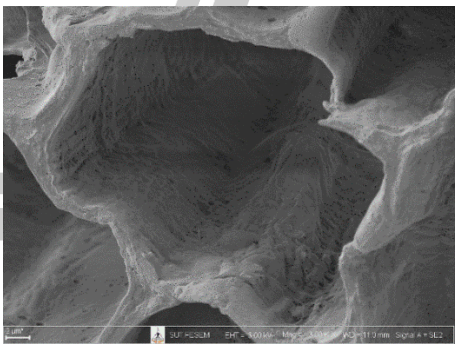
ตารางที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวอย่างหญ้าหวานในสภาวะต่างๆ(ต่อ)

ตัวอย่าง	กำลังขยาย 300 เท่า	กำลังขยาย 1000 เท่า	กำลังขยาย 3000 เท่า
หญ้าหวานบด ความชื้น30% ให้ความร้อน ด้วยโอห์มมิก ความเข้ม สนามไฟฟ้า 75 V/cm			
หญ้าหวานบด ความชื้น30% ให้ความร้อน ด้วยโอห์มมิก ความเข้ม สนามไฟฟ้า 150 V/cm			

ตารางที่ 4.10 ภาพถ่ายจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวอย่างหญ้าหวานในสภาวะต่างๆ(ต่อ)

ตัวอย่าง	กำลังขยาย 300 เท่า	กำลังขยาย 1000 เท่า	กำลังขยาย 3000 เท่า
หญ้าหวานบด ความชื้น30% ให้ความร้อน ด้วยโอห์มมิก ความเข้ม สนามไฟฟ้า 200 V/cm			
หญ้าหวานบด ความชื้น40% ให้ความร้อน ด้วยโอห์มมิก ความเข้ม สนามไฟฟ้า 75 V/cm			

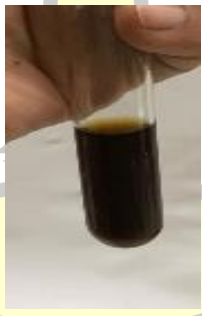
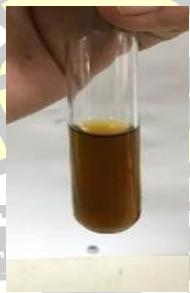
ตารางที่ 4.11 ภาพถ่ายจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของตัวอย่างหญ้าหวานในสภาวะต่างๆ(ต่อ)

ตัวอย่าง	กำลังขยาย 300 เท่า	กำลังขยาย 1000 เท่า	กำลังขยาย 3000 เท่า
หญ้าหวานบด ความชื้น40%ให้ความร้อนด้วย โอห์มมิกความเข้มสนามไฟฟ้า 150 V/cm หญ้าหวานบดความชื้น40%ให้ความร้อนด้วย โอห์มมิกความเข้มสนามไฟฟ้า 200 V/cm			
			

4.1.3 การฟอกสีและการทำให้บริสุทธิ์

ผลการนำน้ำสกัดเหี่ยวหวานมาทำการฟอกสี 2 แบบได้ค่าดูดกลืนแสงตามตารางที่ 4.12

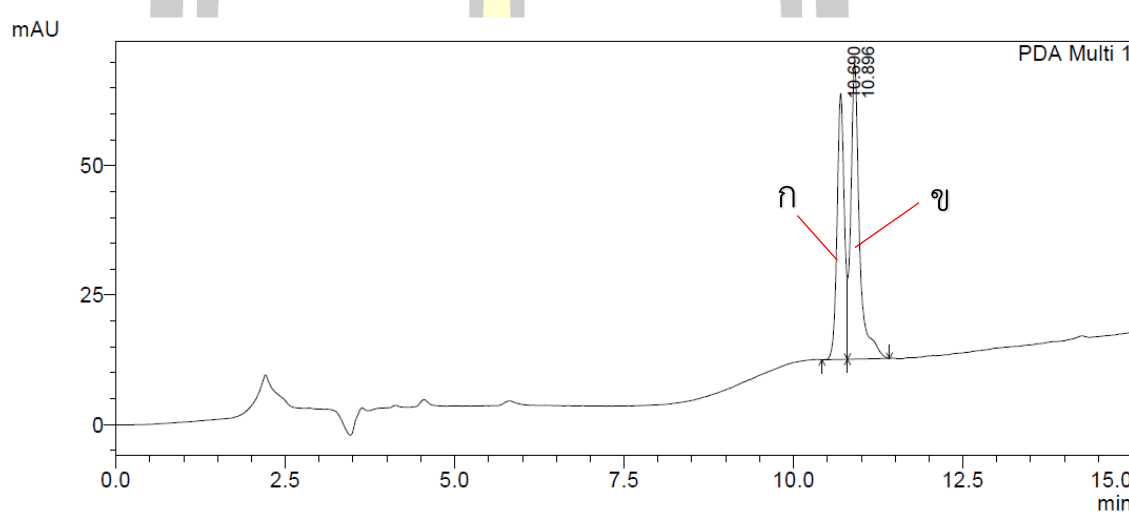
ตารางที่ 4.12 ค่าดูดกลืนแสงของน้ำสกัดที่ผ่านการฟอกสี

การฟอกสีน้ำสกัด	สีของน้ำสกัด	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร
ไม่ฟอก		0.742
ฟอกสีด้วยเรซินและ ถ่านกัมมันต์		0.572
ฟอกสีด้วย Ca(OH)_2 + เรซินและถ่านกัมมันต์		0.150

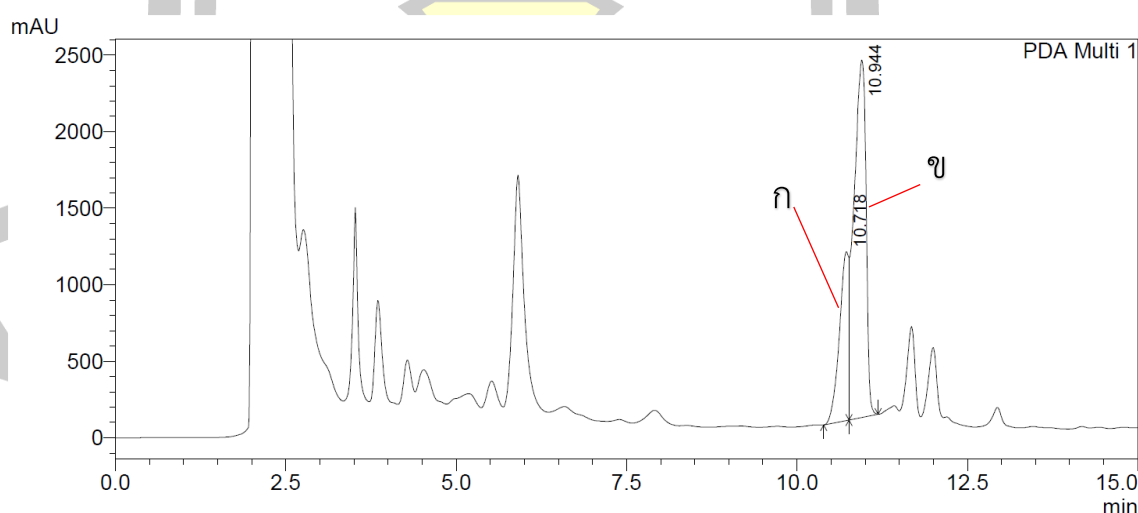
เมื่อฟอกสีน้ำสกัดด้วยเรซินร่วมกับถ่านกัมมันต์ ตัวอย่างน้ำสกัดมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 22.91 จากตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างน้ำสกัดที่ฟอกสีด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักก่อนผ่านเรซินและถ่านกัมมันต์ ตัวอย่างน้ำสกัดมีค่าดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 79.71 จากตัวอย่างควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mishra, Singh et al. 2010) การทำน้ำสกัดให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นวิธีการที่เหมาะสมและ สะดวก

4.1.4 การวิเคราะห์สารให้ความหวานในน้ำหวานด้วยวิธีการ High-performance liquid chromatography ; HPLC

ผลการวิเคราะห์สาร สตีวิโอไซด์และรีบาวดิโอไซด์ เอ ด้วยเทคนิค HPLC ตรวจจับสารทั้งสองชนิดด้วยUV visible HPLC detector สามารถตรวจจับสารมาตรฐานรีบาวดิโอไซด์ เอ ได้นาทีที่ 10.69 นาที และตรวจจับสารมาตรฐานสตีวิโอไซด์ได้นาทีที่ 10.89 ที่ความยาวคลื่น 200นาโนเมตร โดยนำพื้นที่ใต้กราฟของสารตัวอย่างที่ได้เทียบกับสารมาตรฐาน แปลผลการวิเคราะห์เทียบเท่ามิลลิกรัมสาร ให้ความหวานมาตรฐานดังตารางที่ 4.13



ภาพที่ 4.10 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน ก) รีบาวดิโอไซด์ เอ และ ข) สตีวิโอไซด์



ภาพที่ 4.11 ภาพโครมาโตแกรมการวิเคราะห์สารให้ความหวานด้วยวิธี HPCL ตัวอย่างน้ำหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชันร้อยละ 30 ความเข้มสนามไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร
ก) รีบาวดิโอไซด์ เอ และ ข) สตีวิโอไซด์

ตารางที่ 4.13 ปริมาณสติวไอโซต์และ รีบาวดิไอโซต์ เอ ในสารสกัดหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกโดยวิธีการ High-performance liquid chromatography ; HPLC

ตัวอย่าง	สติวไอโซต์ (mg/gใบแห้ง)	รีบาวดิไอโซต์ เอ (mg/gใบแห้ง)
Mc30E75	14.54±0.31 ^{ab}	7.42±1.20 ^a
Mc30E150	15.34±1.92 ^a	7.72±1.43 ^a
Mc30E200	14.23±1.50 ^{ab}	8.58±1.01 ^a
Mc40E75	11.48±1.31 ^b	7.13±1.05 ^a
Mc40E150	13.45±0.01 ^{ab}	7.80±0.04 ^a
Mc40E200	13.85±1.12 ^{ab}	6.53±1.03 ^a
NP-no-ohm*	3.64±0.13 ^c	1.01±0.20 ^b
Np-ref*	3.19±1.35 ^c	1.01±0.20 ^b
P-ref*	2.63±2.4 ^c	1.01±0.91 ^b
P-no-ohm*	4.29±1.18 ^c	1.31±0.18 ^b

แสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (P<0.05)

*NP-no-ohm หญ้าหวานใบเต็ม ไม่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกเวลาสกัด 1 ชั่วโมง

*NP-ref หญ้าหวานใบเต็ม ไม่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกสกัดตามวิธีการของ Abou-Arab และคณะ (2010) เวลาสกัด 3 ชั่วโมง

*p-ref หญ้าหวานบดละเอียด ไม่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกสกัดตามวิธีการของ Abou-Arab และคณะ (2010) เวลาสกัด 3 ชั่วโมง

*p-no-ohm หญ้าหวานบดละเอียด ไม่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกเวลาสกัด 1 ชั่วโมง

จากตารางพบว่าหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ในตัวอย่างหญ้าหวาน ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มสนามไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร มีปริมาณสติวไอโซต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับตัวอย่าง หญ้าหวานความชื้นร้อยละ 40 ความเข้มสนามไฟฟ้า 75 โวลต์/เซนติเมตร ปริมาณรีบาวดิไอโซต์ เอ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตัวอย่างหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก และตัวอย่างหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมีปริมาณสติวไอโซต์และรีบาวดิไอโซต์ เอ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างหญ้าหวานที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก โดยในตัวอย่างหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกความเข้มของสนามไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร ความชื้นร้อยละ 30 มีปริมาณสติวไอโซต์มากที่สุดที่ 15.34 มิลลิกรัม/กรัม จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกมีส่วนช่วยในการสกัดสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานมากกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ (Mishra, Singh et al. 2010) ความเข้มของสนามไฟฟ้าจากให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ในการคงสภาพรำข้าวมีผลทำให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดได้จากรำข้าวมีปริมาณ มากกว่ารำข้าวที่ไม่ได้ทำการคงสภาพด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก และลดเวลาจากการสกัด แบบดั้งเดิม

4.1.5 การหาผลผลิตของสารสกัดผง

จากตัวอย่างหญ้าหวานแห้งบดละเอียด 100 กรัม นำมาสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ผลผลิตสารสกัดผง 5.70 กรัม คิดเป็นร้อยละ 5.70 ของใบหญ้าหวานแห้ง และตัวอย่างหญ้าหวานแห้งบดละเอียดที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ที่สภาวะ ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มสนามไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร ลดระยะเวลาการสกัดเหลือ 1 ชั่วโมง ได้ผลผลิตสารสกัดผง 7.86 กรัม ได้สารสกัดผงเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 37.89 จากวิธีการสกัดแบบเดิม แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในกระบวนการสกัดหญ้าหวานมีผลให้ผลผลิตของสารสกัดผงมีปริมาณเพิ่มขึ้น และลดระยะเวลาในการสกัดจากวิธีเดิมลงร้อยละ 66

ตารางที่ 4.14 ผลผลิตของสารสกัดผงจากหญ้าหวานที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

ตัวอย่าง	Yield(g)	เวลาในการสกัด(ชม.)
ควบคุม	5.70	3
MC30E150V/Cm	7.86	1

4.2 การประยุกต์ใช้สารสกัดจากหญ้าหวานร่วมกับน้ำตาลในขนมอบบราวนี่

ตารางที่ 4.15 ส่วนผสมในการทำบราวนี่สูตรต่างๆ(%)

วัตถุดิบ	สูตรควบคุม	สูตร 905	สูตร 020	สูตร 126	สูตร 860
แป้งสาลี	11.54	13.59	16.67	12.48	14.92
ผงโกโก้	9.23	10.87	13.33	9.98	11.93
เนยจืด	23.08	27.19	33.33	24.96	29.85
ซีอิ๊วขาว	7.7	9.07	11.12	8.33	9.96
ไข่ไก่	16.62	19.58	24.00	17.98	21.49
น้ำตาลทรายแดง	30.76	18.12	0	24.95	9.94
ผงฟู	0.23	0.27	0.33	0.24	0.29
วนิลา	0.61	0.71	0.88	0.65	0.78
เกลือ	0.23	0.27	0.33	0.24	0.29

4.2.1 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของขนมอบบรวนี้

ได้ผลตามตารางที่ 4.16 ผลการประเมินจากผู้สอบชิมจำนวน 50 คน ให้คะแนนลักษณะปรากฏของตัวอย่างอยู่ระหว่าง 7.200 - 4.760 (ชอบปานกลาง-ไม่ชอบเล็กน้อย) โดยตัวอย่าง 126 และ 905 มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ลักษณะปรากฏของตัวอย่าง 249, 860 และ 020 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ให้คะแนนสีของตัวอย่างอยู่ระหว่าง 7.130-5.020 (ชอบปานกลาง-เฉยๆ) โดยตัวอย่าง 249 และ 126 มีสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสีของตัวอย่าง 860 ไม่แตกต่างกันกับ 020 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ให้คะแนนกลิ่นของตัวอย่างอยู่ในช่วง 6.900-5.200 (ชอบน้อยที่สุด-เฉยๆ) โดยกลิ่นของตัวอย่าง 249 ไม่แตกต่างกับตัวอย่าง 905 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลิ่นของตัวอย่าง 905 กับ 126 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลิ่นตัวอย่าง 126 และ 860 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ให้คะแนนความหวานของตัวอย่างอยู่ในช่วง 7.220-5.200(ชอบปานกลาง-เฉยๆ) โดยตัวอย่าง 249 และ 126 มีความหวานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตัวอย่าง 905 และ 020 หวานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ให้คะแนนความรู้สึกแปลกปลอมของตัวอย่างอยู่ในช่วง 6.200-3.070 (ชอบน้อยที่สุด-ไม่ชอบปานกลาง) โดยให้ความรู้สึกแปลกปลอมของตัวอย่าง 249 และ 126 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และให้ความรู้สึกแปลกปลอมของตัวอย่าง 905 และ 806 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ให้คะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างอยู่ในช่วง 7.600-3.310 (ชอบปานกลาง-ไม่ชอบปานกลาง) โดยให้คะแนนความชอบของแต่ละตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ตารางที่ 4.16 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของขนมอบบราวนี่โดยใช้สเกลคะแนนแบบ Hedonic test 9 scale

สูตร	สารให้ความหวาน		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความหวาน	ความรู้สึกแปลกปลอม	ความชอบโดยรวม
	Sucrose(%)	SteviaEx.(%)						
Con.	30.67	-	7.20±1.10 ^a	7.13±1.14 ^a	6.90±1.40 ^a	7.220±1.350 ^a	6.200±1.550 ^a	7.600±0.840 ^a
126	23.07	0.12	6.42±1.51 ^b	6.78±1.11 ^a	6.27±1.62 ^{bc}	6.800±1.420 ^a	5.890±1.710 ^a	7.020±1.060 ^b
905	15.38	0.25	6.09±1.69 ^b	5.98±1.60 ^b	6.51±1.06 ^{ab}	5.40±1.96 ^b	4.93±1.72 ^b	6.02±1.22 ^c
860	7.69	0.37	5.47±1.46 ^c	5.33±1.54 ^c	5.76±1.49 ^c	4.51±1.86 ^c	4.53±1.71 ^b	5.07±1.60 ^d
020	-	0.50	4.76±1.49 ^d	5.02±1.62 ^c	5.20±1.82 ^d	5.20±1.82 ^b	3.07±1.50 ^c	3.31±1.50 ^e

แสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (P<0.05)

4.2.2 ค่าสีของขนมอบบรวานี้

ตารางที่ 4.17 ค่าสีของขนมอบบรวานี้จากการวัดด้วยระบบ Commission International de l'Eclairage (CIE LAB)

สูตร	สารให้ความหวาน		L	a*	b*
	Sucrose(%)	Stevia Ex.(%)			
Con. ²⁴⁹	30.67	-	27.11±1.06 ^a	3.24±0.18 ^a	5.80±0.19 ^a
126	23.07	0.125	24.43±0.73 ^b	2.46±0.18 ^b	4.96±0.29 ^b
905	15.38	0.25	21.59±1.34 ^c	-0.25±0.14 ^e	2.12±0.09 ^d
860	7.69	0.37	21.11±0.71 ^c	0.13±0.02 ^d	2.21±0.03 ^d
020	-	0.50	19.42±0.47 ^d	1.37±0.18 ^c	3.06±0.88 ^c

แสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (P<0.05)

เมื่อนำขนมอบบรวานี้ที่เติมสารให้ความหวาน 5 ระดับมาทำการวัดค่าสี ได้แก่ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง(b*) ได้ค่าตามตารางที่ 4.17 ตัวอย่างขนมอบบรวานี้ทั้ง 5 ตัวอย่าง มีค่า L* อยู่ระหว่าง 27.110-19.420 ตัวอย่างที่ 905 กับตัวอย่าง 860 มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตัวอย่าง 249 126 020 มีค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า a* อยู่ระหว่าง 3.240-(-0.250) ทุกตัวอย่างมีค่าสีแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตัวอย่างที่905มีค่าออกไปทางสีเขียว (-0.250) และค่า b* อยู่ระหว่าง 5.800-2.120 ตัวอย่าง 905 และ 860 มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตัวอย่าง 249 126 020 มีค่าสีเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.3 ค่าเนื้อสัมผัสของขนมอบบรวานี้

ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมอบบรวานี้จากการวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer ใช้การวัดแบบ Texture profile analysis (TPA) แสดงดังตารางที่ 4.18 ค่า Hardness ของตัวอย่างขนมอบบรวานี้มีค่าอยู่ระหว่าง 21.74-208.77 ขนมอบบรวานี้ที่เติมสารให้ความหวานจากหญ้าหวานอย่างเดียวมีความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความแข็งของตัวอย่างขนมอบบรวานี้สูตร 905 มีค่า Hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม ในขณะที่เดียวกับการลดน้ำตาลและเพิ่มสัดส่วนของสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานทำให้ Hardness ของขนมอบบรวานี้เพิ่มขึ้น ค่า Adhesiveness ของตัวอย่างขนมอบบรวานี้มีค่าอยู่ระหว่าง -0.05-(-0.53) ตัวอย่างที่ 126 และ 020 มีค่า Adhesiveness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตัวอย่าง 905 กับตัวอย่าง 860 มีค่า Adhesiveness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า Springiness ของ

ตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 4.27-7.63 ตัวอย่างขนมอบบรานี่ที่มีการเติมสารให้ความหวานจากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวมีค่าการคั่นตัวมากที่สุด (7.63) ในขณะที่ตัวอย่างขนมอบบรานี่ที่มีการเติมสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานเพียงอย่างเดียวมีค่าการคั่นตัวน้อยที่สุด (4.27) ขนมที่มีการคั่นตัวได้น้อยจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น ค่า Cohesiveness ของตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.40 ตัวอย่างขนมอบบรานี่ที่มีการเติมสารให้ความหวานจากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวมีค่าการเสีรูปร่างก่อนที่จะแตกหักน้อยที่สุด (0.22) และเมื่อลดปริมาณน้ำตาลลงและใส่สารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานลงไปทำให้ตัวอย่างขนมอบบรานี่มีค่า Cohesiveness ที่เพิ่มขึ้น ค่า Gumminess ของตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 4.88-84.45 ตัวอย่างที่มีการเติมสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานเพียงอย่างเดียวมีค่า Gumminess มากที่สุด (84.45) ค่า Chewiness ของตัวอย่างขนมอบบรานี่มีค่าอยู่ระหว่าง 37.29-360.97 ตัวอย่างที่มีการเติมสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานเพียงอย่างเดียวมีค่า Chewiness มากที่สุด (360.97) ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการใช้สัดส่วนสารให้ความหวานระหว่างน้ำตาลทราย (ร้อยละ 15.38) กับสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวาน (0.25%) ใช้พลังงานในการเคี้ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 4.18 ค่าเนื้อสัมผัสของขนมอบบรานี่ ที่ได้จากเครื่อง Texture Analyzer

	Con	126	905	860	020
Hardness(N)	21.74±1.43 ^a	47.97±0.69 ^b	26.18±2.83 ^a	70.64±1.87 ^c	208.77±8.89 ^d
Adhesiveness(N/s.)	-0.05±0.03 ^c	-0.42±0.01 ^a	-0.12±0.03 ^b	-0.21±0.06 ^b	-0.53±0.06 ^a
Springiness	7.63±0.36 ^c	5.98±0.04 ^b	6.47±0.64 ^b	6.48±0.17 ^b	4.27±0.27 ^a
Cohesiveness	0.22±0.01 ^a	0.31±0.01 ^b	0.35±0.00 ^c	0.34±0.01 ^c	0.40±0.02 ^d
Gumminess	4.88±0.17 ^a	15.10±0.12 ^c	8.46±1.39 ^b	24.37±1.14 ^d	84.45±0.82 ^e
Chewiness	37.29±3.04 ^a	90.32±1.36 ^b	59.02±0.55 ^a	158.01±11.55 ^c	360.97±19.68 ^d

แสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (P<0.05)

พูน ปณ ทิโต ชีเว

บทที่ 5

บทสรุป

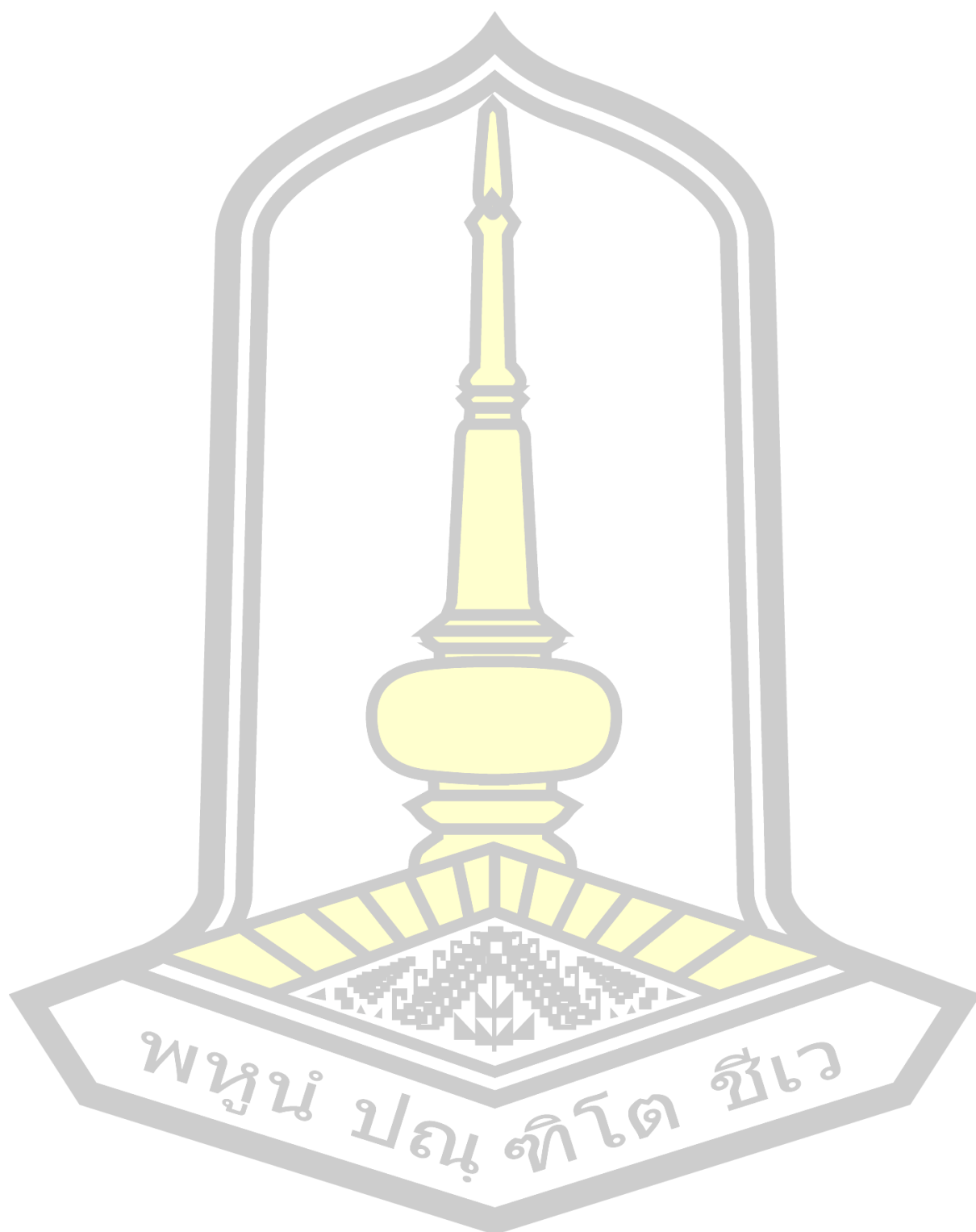
สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารให้ความหวานจากใบหญ้าหวานด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกสามารถใช้ได้ทุกสภาวะตั้งแต่ความชื้นร้อยละ 30 ขึ้นไปโดยคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านการเลือกสภาวะไปใช้ในการปฏิบัติงาน สภาวะที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ ตัวอย่างหญ้าหวานบดละเอียดที่มีความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มของสนามไฟฟ้า 150 V/cm ให้ปริมาณสตีริโอไซด์ 15.34 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักใบแห้ง) และให้ปริมาณรีบาดีโอไซด์ เอ 7.72 มิลลิกรัมต่อกรัม (ใบแห้ง) การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกส่งผลให้ปริมาณสารสกัดที่สกัดได้มากกว่าวิธีการสกัดแบบเดิม ความเข้มของสนามไฟฟ้าจากให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในการคงสภาพหญ้าหวานมีผลทำให้ปริมาณสารให้ความหวานที่สกัดได้จากหญ้าหวานมีปริมาณมากกว่าหญ้าหวานที่ไม่ได้ทำการคงสภาพด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก และลดเวลาจากการสกัดแบบดั้งเดิมร้อยละ 66

ตัวอย่างน้ำสกัดที่ฟอกสีด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักก่อนผ่านเรซินและถ่านกัมมันต์ ตัวอย่างน้ำสกัดมีค่าดูดกลืนแสงลดลงร้อยละ 79.71 จากตัวอย่างควบคุม โดยการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นวิธีการที่เหมาะสม

จากผลการทดลองการประเมินทางประสาทสัมผัสขนมอบบรานนี้ทั้ง 5 สูตร ที่ได้มีการใส่สารให้ความหวานจากหญ้าหวานร่วมกับน้ำตาลซูโครส พบว่าในสูตรที่ใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับสารสกัดจากหญ้าหวานในอัตราส่วนน้ำตาลซูโครส 23.07% และสารสกัดจากหญ้าหวาน 0.125% มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด สารสกัดจากหญ้าหวานสามารถทดแทนปริมาณน้ำตาลทรายในขนมอบบรานนี้ได้บางส่วน ข้อเสนอแนะการนำสารสกัดจากหญ้าหวานมาใช้ทดแทนน้ำตาลในขนมอบบรานนี้ไม่สามารถใช้ทดแทนน้ำตาลได้ 100% อาจมีการใช้ร่วมกับมันเทศเพื่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น เนื่องจากน้ำตาลส่งผลต่อเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ รสชาติของขนม แต่สามารถใช้ควบคู่ไปกับน้ำตาลทรายได้เป็นการลดปริมาณน้ำตาลทรายลง

พูน ปรณ จิตโต ชีเว

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- ประศาสตร์ พุตระกูล. 2540. สตีวียอไซด์จากหญ้าหวาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ปนิรัตน์ พลายชุมพล. 2545. การให้ความร้อนโดยวิธีโอห์มมิกเพื่อพาสเจอไรซ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มผสมเนื้อสับประด. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : ม.ป.ท.
- วิไล รังสาดทอง. (2547). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- สถาพร ชูติมาสกุล. 2529. การศึกษาการสกัดและการทำแห้งสตีวียอไซด์จากหญ้าหวาน (*Stevia rebaudiana bertonii*). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : ม.ป.ท
- สุพร กาญจนกิจสกุล. 2542. สภาพนำไฟฟ้ายังผลของอาหารประเภทกรดต่ำขณะให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : ม.ป.ท.et al. (2017).
- อนุชิตา มุ่งงาม. อนุชิตา มุ่งงาม. 2553. หลักการวิเคราะห์อาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- Abou-Arab, A. E., A. A. Abou-Arab, et al. (2010). "Physico-chemical assessment of natural sweeteners steviolosides produced from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant." *African Journal of Food Science* **4**(5): 269-281.
- An, H. and J. King (2007). "Thermal characteristics of ohmically heated rice starch and rice flours." *Journal of food science* **72**(1).
- Aranda-González, I., Y. Moguel-Ordoñez, et al. (2014). "Rapid HPLC method for determination of rebaudioside D in leaves of *Stevia rebaudiana* Bertoni grown in the southeast of México." *American Journal of Analytical Chemistry* **5**(13): 813.
- Assawarachan, R. and A. Noomhorm (2008). "Effect of operating condition on the kinetic of color change of concentrated pineapple juice by microwave vacuum evaporation." *International Journal Food Agricultural and Development* **6**(3&4): 47-53.

- Barriocanal, L. A., M. Palacios, et al. (2008). "Apparent lack of pharmacological effect of steviol glycosides used as sweeteners in humans. A pilot study of repeated exposures in some normotensive and hypotensive individuals and in Type 1 and Type 2 diabetics." *Regulatory toxicology and pharmacology* **51**(1): 37-41.
- Biewer, T., C. Forest, et al. (2003). "Electron heat transport measured in a stochastic magnetic field." *Physical review letters* **91**(4): 045004.
- Bondarev, N., O. Reshetnyak, et al. (2001). "Peculiarities of diterpenoid steviol glycoside production in in vitro cultures of *Stevia rebaudiana* Bertoni." *Plant Science* **161**(1): 155-163.
- Brandle, J., A. Starratt, et al. (1998). "Stevia rebaudiana: its agricultural, biological, and chemical properties." *Canadian journal of plant science* **78**(4): 527-536.
- Buddhasukh, D. and Y. Vaneesorn (1991). Research and development project on stevia products (Chemistry group). [Seminar on Stevia Research], Chiang Mai (Thailand), 9-10 May 1990.
- Carakostas, M., L. Curry, et al. (2008). "Overview: the history, technical function and safety of rebaudioside A, a naturally occurring steviol glycoside, for use in food and beverages." *Food and Chemical Toxicology* **46**(7): S1-S10.
- Castro, I., J. Teixeira, et al. (2004). "Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics." *Innovative food science & Emerging technologies* **5**(1): 27-36.
- Chatsudhipong, V. and C. Muanprasat (2009). "Stevioside and related compounds: therapeutic benefits beyond sweetness." *Pharmacology & therapeutics* **121**(1): 41-54.
- Ciulu, M., R. Quirantes-Piné, et al. (2017). "Evaluation of new extraction approaches to obtain phenolic compound-rich extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves." *Industrial Crops and Products* **108**: 106-112.
- Crammer, B. and R. Ikan (1986). "Sweet glycosides from the stevia plant." *Chemistry in Britain* **22**: 915.

- De Alwis, A., K. Halden, et al. (1989). "Shape and conductivity effects in the ohmic heating of foods." *Chemical Engineering Research and Design* **67**(2): 159-168.
- Erkucuk, A., I. Akgun, et al. (2009). "Supercritical CO₂ extraction of glycosides from *Stevia rebaudiana* leaves: Identification and optimization." *The Journal of Supercritical Fluids* **51**(1): 29-35.
- FUH, W. S. and B. H. CHIANG (1990). "Purification of steviosides by membrane and ion exchange processes." *Journal of food science* **55**(5): 1454-1457.
- Fujita, H. and T. Edahiro (1979). "Safety and Utilisation of Stevia Sweetener." *The Food Industry* **8**.
- Gardana, C., P. Simonetti, et al. (2003). "Metabolism of stevioside and rebaudioside A from *Stevia rebaudiana* extracts by human microflora." *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(22): 6618-6622.
- Gasmalla, M. A. A., R. Yang, et al. (2014). "Nutritional composition of *Stevia rebaudiana* bertoni leaf: effect of drying method." *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* **13**(1): 61-65.
- Geuns, J. M. (2003). "Stevioside." *Phytochemistry* **64**(5): 913-921.
- Ghanta, S., A. Banerjee, et al. (2007). "Oxidative DNA damage preventive activity and antioxidant potential of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni, a natural sweetener." *Journal of agricultural and food chemistry* **55**(26): 10962-10967.
- Hussain, R. A., Y.-M. Lin, et al. (1990). "Plant-derived sweetening agents: saccharide and polyol constituents of some sweet-tasting plants." *Journal of ethnopharmacology* **28**(1): 103-115.
- Imai, T., K. Uemura, et al. (1995). "Ohmic heating of Japanese white radish *Rhaphanus sativus* L." *International journal of food science & technology* **30**(4): 461-472.
- Jaitak, V., B. S. Bandna, et al. (2009). "An efficient microwave-assisted extraction process of stevioside and rebaudioside-A from *Stevia rebaudiana* (Bertoni)." *Phytochemical Analysis* **20**(3): 240-245.

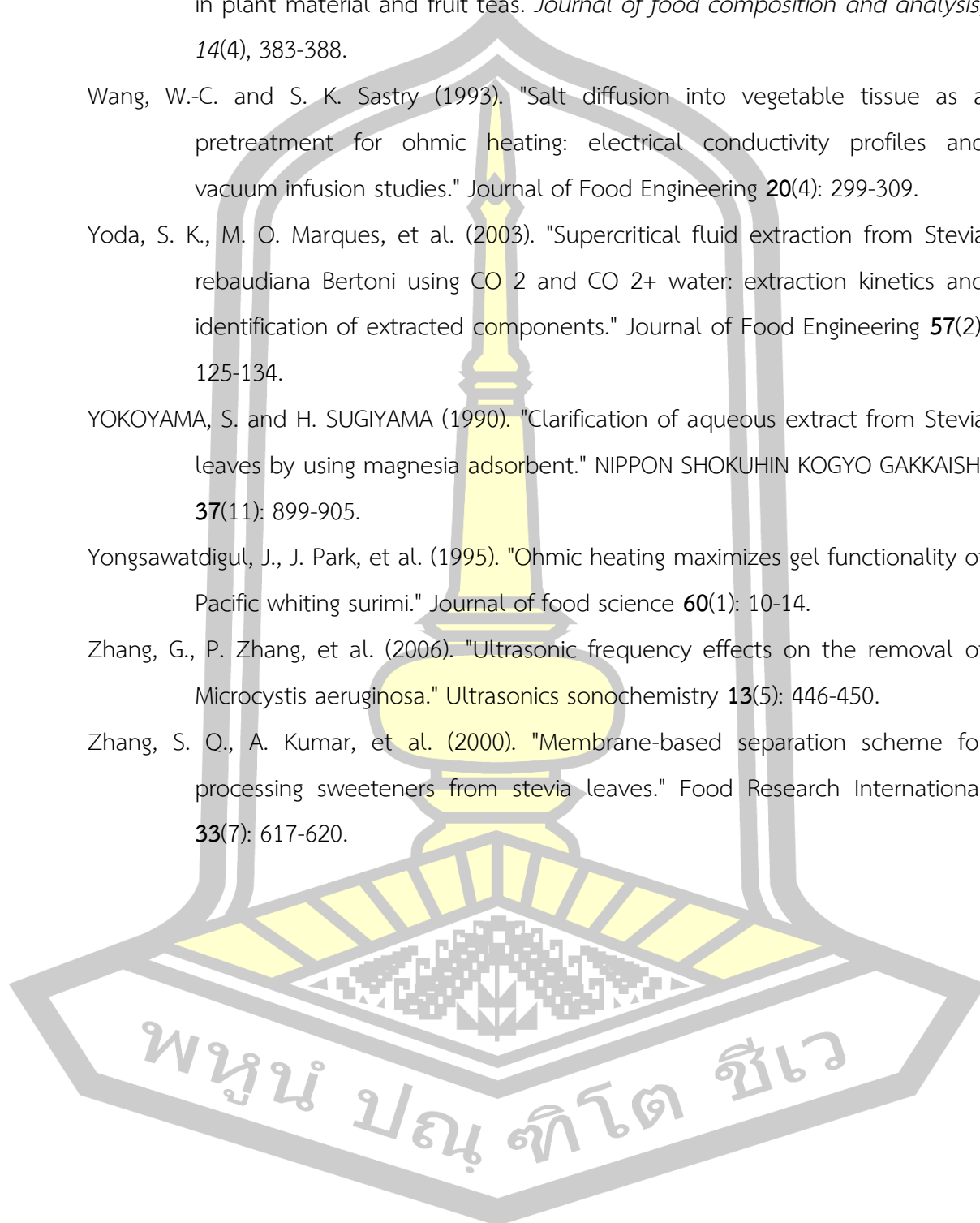
- Jakób, A., J. Bryjak, et al. (2010). "Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating." *Food Chemistry* **123**(2): 369-376.
- Johnson-Feelings, D. (1996). *The best of the Brownies' book*, Oxford University Press.
- Katayama, O., T. Sumida, et al. (1976). "The practical application of Stevia and research and development data." Tokyo. ISU Co. 747p.
- Khuenpet, K., M. Fukuoka, et al. (2017). "Spray drying of inulin component extracted from Jerusalem artichoke tuber powder using conventional and ohmic-ultrasonic heating for extraction process." *Journal of Food Engineering* **194**: 67-78.
- Kienle, U. (1992). Method of making a natural sweetener based on *Stevia rebaudiana*, and use thereof, Google Patents.
- Kochikyan, V., A. Markosyan, et al. (2006). "Combined enzymatic modification of stevioside and rebaudioside A." *Applied biochemistry and microbiology* **42**(1): 31-37.
- Kroyer, G. (2010). "Stevioside and Stevia-sweetener in food: application, stability and interaction with food ingredients." *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* **5**(2): 225-229.
- Kurbiel, J. (1991). *Advanced Wastewater Treatment and Reclamation: Proceedings of the IAWPRC Conference Held in Cracow, Poland, 25-27 September 1989*, Pergamon Press.
- Lemus-Mondaca, R., A. Vega-Gálvez, et al. (2012). "Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects." *Food Chemistry* **132**(3): 1121-1132.
- Li, J.-W., T. Momono, et al. (2007). "Effect of ultrasonic stirring on temperature distribution and grain refinement in Al-1.65% Si alloy melt." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* **17**(4): 691-697.
- Li, T.-P. and Y.-Q. Ma (1983). "Analysis methods for results in gamma-ray astronomy." *The Astrophysical Journal* **272**: 317-324.

- LIMA, M., B. F. HESKITT, et al. (1999). "ASCORBIC ACID DEGRADATION KINETICS DURING CONVENTIONAL and OHMIC HEATING." *Journal of Food Processing and Preservation* **23**(5): 421-443.
- Lisak, K., M. Lenc, et al. (2012). "Sensory evaluation of the strawberry flavored yoghurt with stevia and sucrose addition." *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam* **7**(SPECIAL ISSUE-7th): 39-43.
- Liu, J., J.-w. Li, et al. (2010). "Ultrasonically assisted extraction of total carbohydrates from *Stevia rebaudiana* Bertoni and identification of extracts." *Food and bioproducts processing* **88**(2): 215-221.
- Loypimai, P., A. Moongarm, et al. (2009). "Effects of ohmic heating on lipase activity, bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran." *Aust J Basic Appl Sci* **3**(4): 3642-3652.
- Loypimai, P., A. Moongarm, et al. (2016). "Thermal and pH degradation kinetics of anthocyanins in natural food colorant prepared from black rice bran." *Journal of food science and technology* **53**(1): 461-470.
- Loypimai, P., A. Moongarm, et al. (2015). "Ohmic heating-assisted extraction of anthocyanins from black rice bran to prepare a natural food colourant." *Innovative food science & Emerging technologies* **27**: 102-110.
- Lyon, D. H., M. A. Francombe, et al. (2012). *Guidelines for sensory analysis in food product development and quality control*, Springer Science & Business Media.
- Magomet, M., T. Tomov, et al. (2011). *Process for manufacturing a sweetener and use thereof*, Google Patents.
- Meredith, R. J. (1998). *Engineers' handbook of industrial microwave heating*, let.
- Midmore, J. and A. Rank (2006). "An intense natural sweetener-laying the ground work for a new rural industry." *RIRDC Publication* **6**: 020.
- Mishra, P., R. Singh, et al. (2010). "*Stevia rebaudiana*—A magical sweetener." *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry* **5**(1): 62-74.
- Montgomery, D. C. and C. M. Mastrangelo (1991). "Some statistical process control methods for autocorrelated data." *Journal of Quality Technology* **23**(3): 179-193.

- Mosettig, E. and W. R. NES (1955). "Stevioside. II. The structure of the aglucon." The Journal of Organic Chemistry **20**(7): 884-899.
- Ngowatana, N. (1997). "Improvement of extraction and purification of stevioside and its products from *Stevia rebaudiana*."
- Nishiyama, P., M. Alvarez, et al. (1992). "Quantitative analysis of stevioside in the leaves of *Stevia rebaudiana* by near infrared reflectance spectroscopy." Journal of the Science of Food and Agriculture **59**(3): 277-281.
- Nishiyama, P., I. Kusaumoto, et al. (1991). "Correlation between total carbohydrate content and stevioside content in *Stevia rebaudiana* leaves." Arquivos de Biologia e Tecnologia **34**: 3-4.
- PALANIAPPAN, S. and S. K. SASTRY (1991). "Electrical conductivities of selected solid foods during ohmic heating." Journal of Food Process Engineering **14**(3): 221-236.
- PALANIAPPAN, S. and S. K. SASTRY (1991). "Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size." Journal of Food Process Engineering **14**(4): 247-260.
- Parmar, N., N. Singla, et al. (2011). "Study of cosurfactant effect on nanoemulsifying area and development of lercanidipine loaded (SNEDDS) self nanoemulsifying drug delivery system." Colloids and Surfaces B: Biointerfaces **86**(2): 327-338.
- Pereira, R. N., R. M. Rodrigues, et al. (2016). "Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato." LWT-Food Science and Technology **74**: 493-503.
- Ramaswamy, R., V. Balasubramaniam, et al. (2005). "Ohmic Heating of Foods—Fact Sheet for Food Processors." Extension Fact Sheet. The Ohio State University. Available from: <http://fst.osu.edu/Ohmicfactsheet.pdf>. Accessed May 6: 2010.
- Rank, A. H. and D. J. Midmore (2006). *Stevia: An Intense, Natural Sweetner: Laying the Groundwork for a New Rural Industry: a Report for the Rural Industries Research and Development Corporation, Rural Industries Research and Development Corporation.*

- Romano, A., H. Klebanowski, et al. (2012). "Determination of biogenic amines in wine by thin-layer chromatography/densitometry." *Food Chemistry* **135**(3): 1392-1396.
- Saberian, H., Z. Hamidi-Esfahani, et al. (2017). "Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating." *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* **117**: 154-161.
- Saniah, K. and M. S. Samsiah (2012). "The application of Stevia as sugar substitute in carbonated drinks using Response Surface Methodology." *J. Trop. Agric. and Fd. Sc* **40**(1): 23-34.
- Sarang, S., S. K. Sastry, et al. (2008). "Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating." *Journal of Food Engineering* **87**(3): 351-356.
- Sastry, S. K. and S. Palaniappan (1992). "Mathematical modeling and experimental studies on ohmic heating of liquid-particle mixtures in a static heater." *Journal of Food Process Engineering* **15**(4): 241-261.
- Selvakumaran, L., R. Shukri, et al. (2017). "Orange sweet potato (*Ipomoea batatas*) puree improved physicochemical properties and sensory acceptance of brownies." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Sensoy, I. and S. Sastry (2004). "Extraction using moderate electric fields." *Journal of food science* **69**(1).
- Singh, S. and G. Rao (2005). "Stevia: the herbal sugar of 21st century." *Sugar Tech* **7**(1): 17-24.
- Soejarto, D. D. (2002). "Botany of Stevia and *Stevia rebaudiana*." *Stevia*. Department of Medicinal Chemistry and Pharmacognosy University of Illinois at Chicago USA: 18-39.
- Tan, T. and H. Ti (1988). "Isobaric vapour—liquid equilibria of ethanol—toluene—sodium acetate mixtures at various system pressures." *Fluid phase equilibria* **43**(1): 91-104.
- Töpfl, S. (2006). "Pulsed Electric Fields (PEF) for Permeabilization of Cell Membranes in Food-and Bioprocessing—Applications, Process and Equipment Design and Cost Analysis.

- Vaněk, Tomáš, Nepovim, Aleš, Vali, &ček, Pavel. (2001). Determination of stevioside in plant material and fruit teas. *Journal of food composition and analysis*, 14(4), 383-388.
- Wang, W.-C. and S. K. Sastry (1993). "Salt diffusion into vegetable tissue as a pretreatment for ohmic heating: electrical conductivity profiles and vacuum infusion studies." *Journal of Food Engineering* 20(4): 299-309.
- Yoda, S. K., M. O. Marques, et al. (2003). "Supercritical fluid extraction from *Stevia rebaudiana* Bertoni using CO₂ and CO₂+ water: extraction kinetics and identification of extracted components." *Journal of Food Engineering* 57(2): 125-134.
- YOKOYAMA, S. and H. SUGIYAMA (1990). "Clarification of aqueous extract from *Stevia* leaves by using magnesia adsorbent." *NIPPON SHOKUHIN KOGYO GAKKAISHI* 37(11): 899-905.
- Yongsawatdigul, J., J. Park, et al. (1995). "Ohmic heating maximizes gel functionality of Pacific whiting surimi." *Journal of food science* 60(1): 10-14.
- Zhang, G., P. Zhang, et al. (2006). "Ultrasonic frequency effects on the removal of *Microcystis aeruginosa*." *Ultrasonics sonochemistry* 13(5): 446-450.
- Zhang, S. Q., A. Kumar, et al. (2000). "Membrane-based separation scheme for processing sweeteners from *stevia* leaves." *Food Research International* 33(7): 617-620.



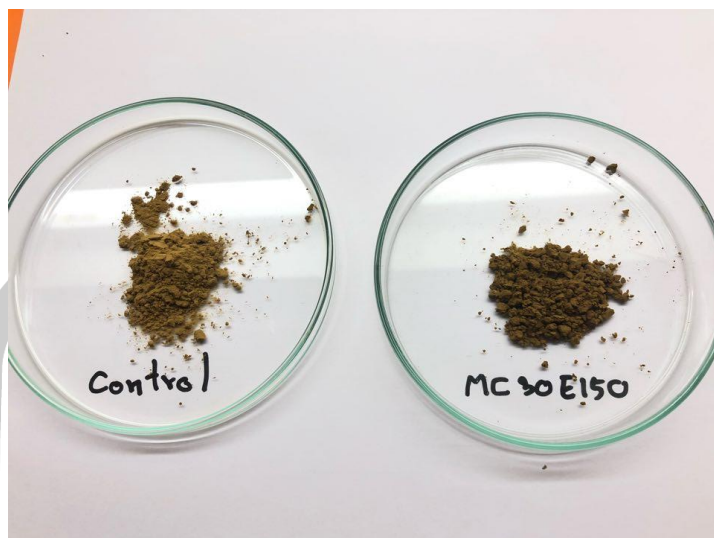
ภาคผนวก ก
หญ้าหวานและ วัสดุอุปกรณ์ในการทำบราวน์



ภาพที่ ก.12 หญ้าหวานที่ผ่านการกำจัดสิ่งแปลกปลอมแล้ว



ภาพที่ ก.13 การสกัดสารให้ความหวานด้วยความร้อนและตัวทำละลาย



ภาพที่ ก.14 สารสกัดจากหญ้าหวานที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน



ภาพที่ ก.15 วัสดุอุปกรณ์ในการทำบราวนี่

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบความชอบและการยอมรับจากผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ขนมอบบราวนี่ที่มีส่วนผสม
ของสารสกัดจากหญ้าหวาน

โดย นิสิตระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ คณะเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คำแนะนำ : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ ที่คิดว่าตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1.1 เพศ ☐ หญิง ☐ ชาย

1.2 อายุ
☐ 20-30 ปี ☐ 31-40 ปี
☐ 41-50 ปี ☐ 51-60 ปี

1.3 อาชีพ
☐ นักเรียน / นักศึกษา ☐ ค้าขาย / ธุรกิจส่วนตัว
☐ พนักงานบริษัทเอกชน ☐ ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ
☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

1.4 ยินดีให้ความร่วมมือ การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ขนมอบบราวนี่ที่มี
ส่วนผสมของสารสกัดจากหญ้าหวาน

☐ ยินดีให้ความร่วมมือ ☐ ไม่ประสงค์เข้าร่วม

คำชี้แจง : ขอให้ท่านผู้ชิมบ้วนปากด้วยน้ำสะอาดที่เตรียมไว้ โดยบ้วนไล่ในโถบ้วน จากนั้นทำการชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมอบบรานี่ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากหญ้าหวานตัวอย่างแรก แล้วให้กาเครื่องหมาย ✓ ในช่องระดับความชอบที่ท่านคิดว่าตรงกับที่ท่านรู้สึกต่อตัวอย่างนั้นๆ ที่สุด หลังจากที่ได้คำตอบแล้วให้คายออกทิ้ง ไม่กลืนลงท้อง จากนั้นบ้วนปากด้วยน้ำสะอาดที่ให้ก่อนชิมตัวอย่างถัดไป

ผลิตภัณฑ์ขนมอบบรานี่ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากหญ้าหวาน

คำอธิบาย : กรุณาชิมตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบของตัวอย่างแต่ละคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบน้อยที่สุด 5 = เฉย ๆ
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด (กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง)

คุณลักษณะ / รหัส							
ตัวอย่าง							
ลักษณะปรากฏ							
สี							
กลิ่น							
ความหวาน							
ความรู้สึกแปลกปลอม							
ความชอบโดยรวม							

ข้อเสนอแนะ

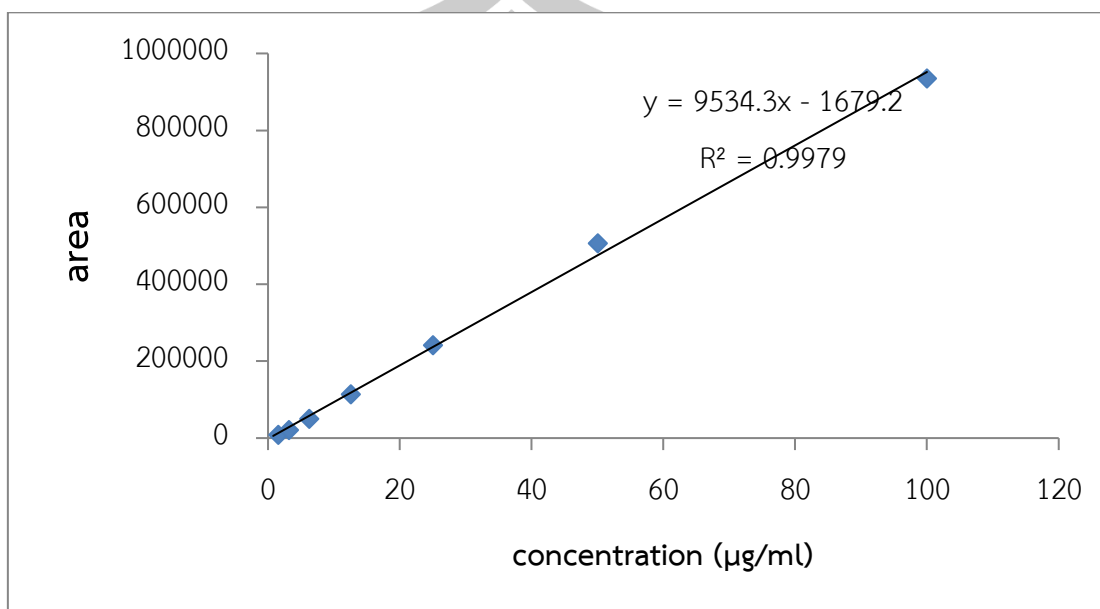
.....

.....

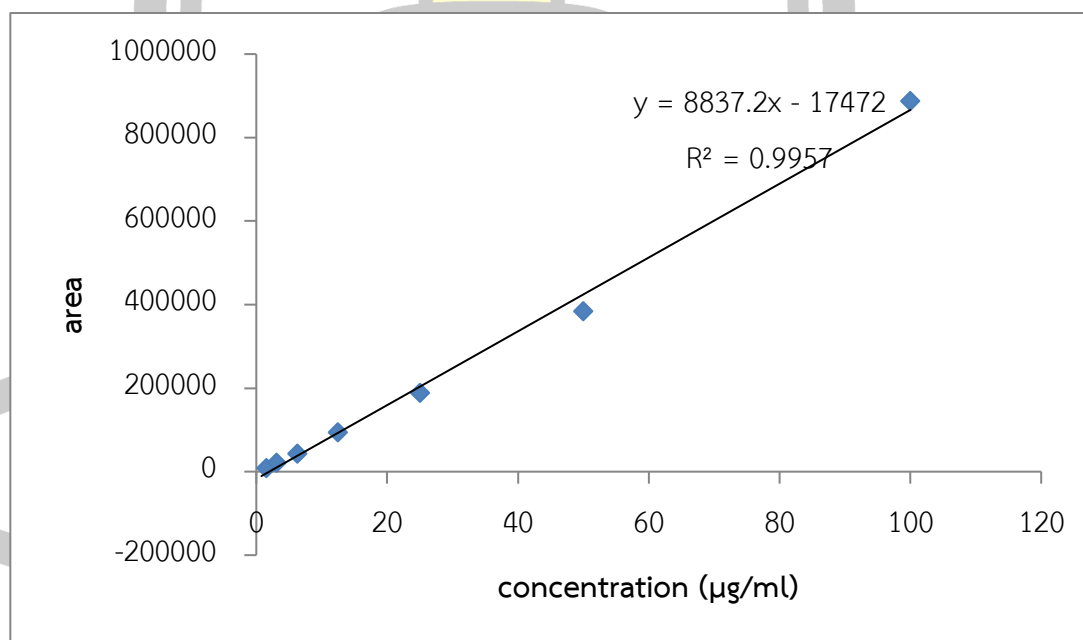
.....

.....สิ้นสุดคำถามขอพระคุณเป็นอย่างสูงที่ให้ความร่วมมือ.....

ภาคผนวก ค
กราฟมาตรฐาน สตีวิโอไซด์ และรีบาวติโอไซด์ เอ



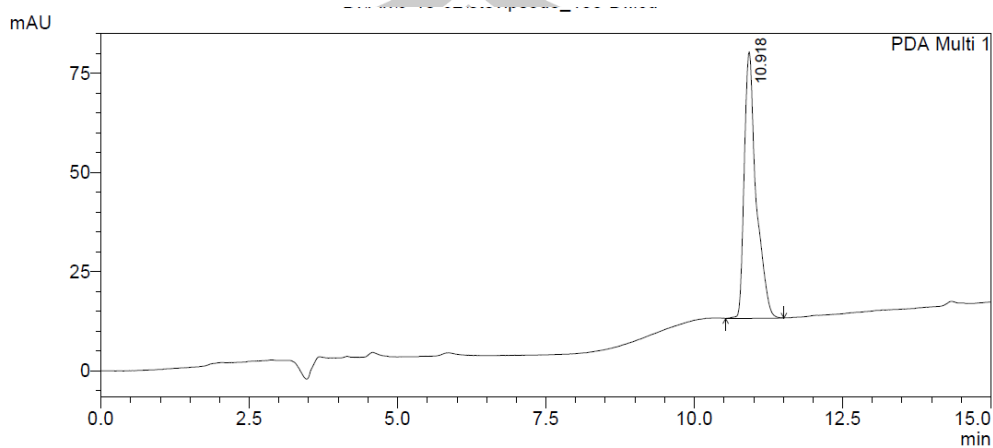
ภาพที่ ค.16 กราฟมาตรฐานของสตีวิโอไซด์



ภาพที่ ค.17 กราฟมาตรฐานของรีบาวติโอไซด์ เอ

ภาคผนวก ง

ภาพโครมาโตแกรมจากการวิเคราะห์สตีโรไซด์และรีบาวดีไฮด์ เอ

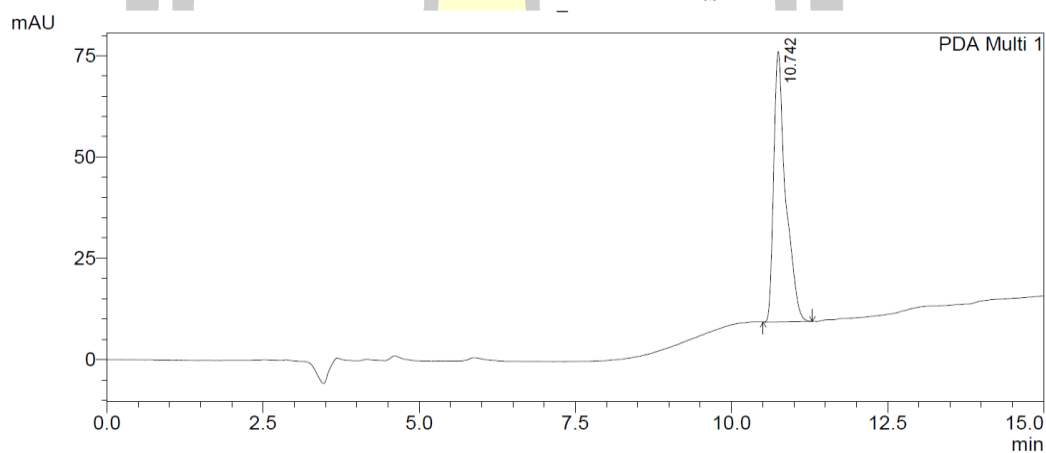


PeakTable

PDA Ch1 200nm 4nm

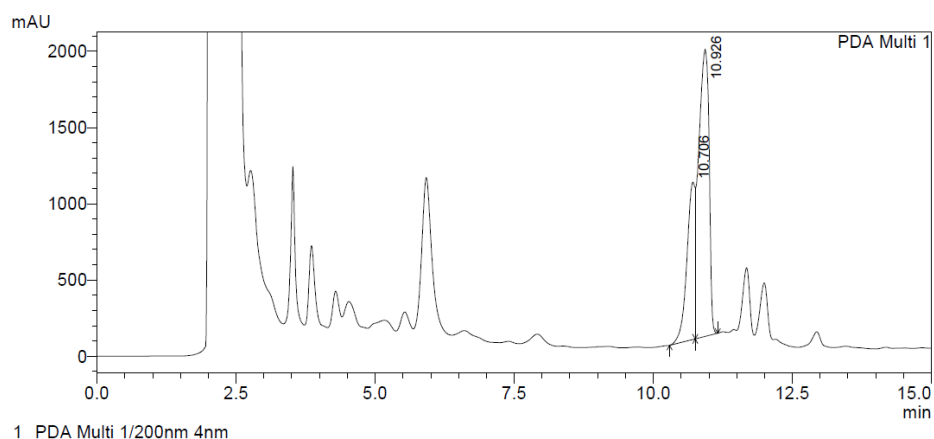
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	10.918	935515	67194	100.000	100.000
Total		935515	67194	100.000	100.000

ภาพที่ ง.18 ภาพโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานสตีโรไซด์



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	10.742	888494	66666	100.000	100.000
Total		888494	66666	100.000	100.000

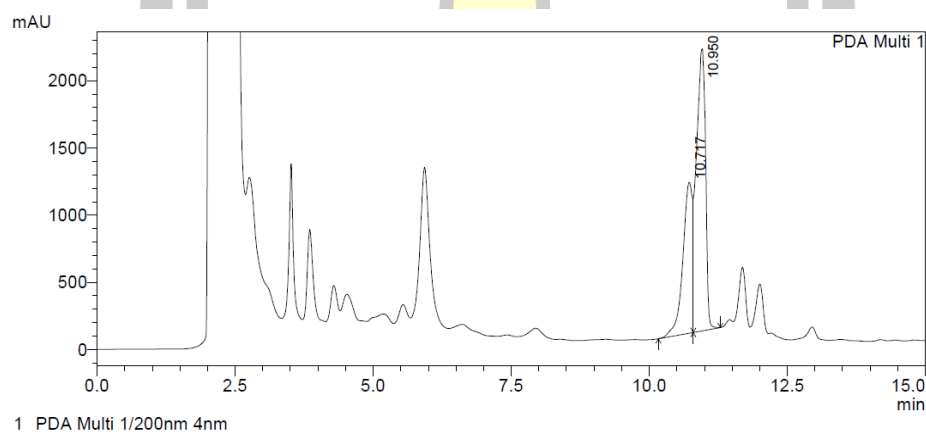
ภาพที่ ง.19 ภาพโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน รีบาวดีไฮด์ เอ



PeakTable

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	10.706	10437776	1032197	29.808	35.393
2	10.926	24578560	1884171	70.192	64.607
Total		35016336	2916368	100.000	100.000

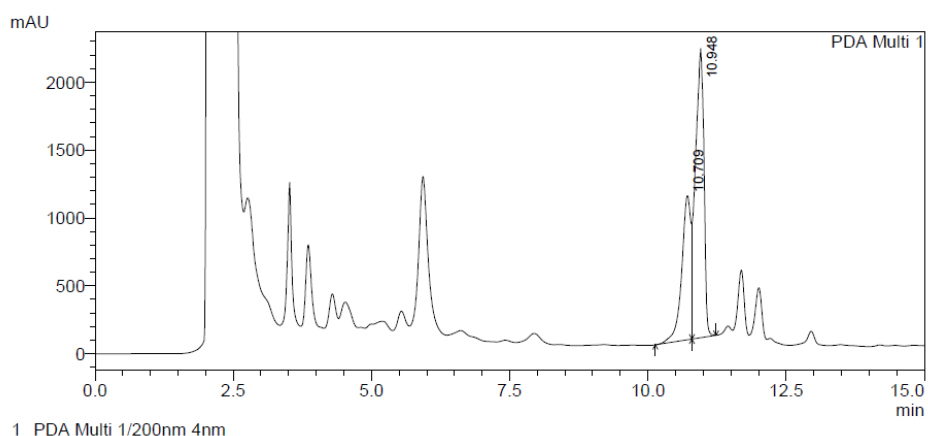
ภาพที่ ง.20 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มสนามไฟฟ้า 75 โวลต์/เซนติเมตร



PeakTable

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	10.717	13881134	1124375	36.657	34.859
2	10.950	23986036	2101121	63.343	65.141
Total		37867169	3225496	100.000	100.000

ภาพที่ ง.21 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มสนามไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร



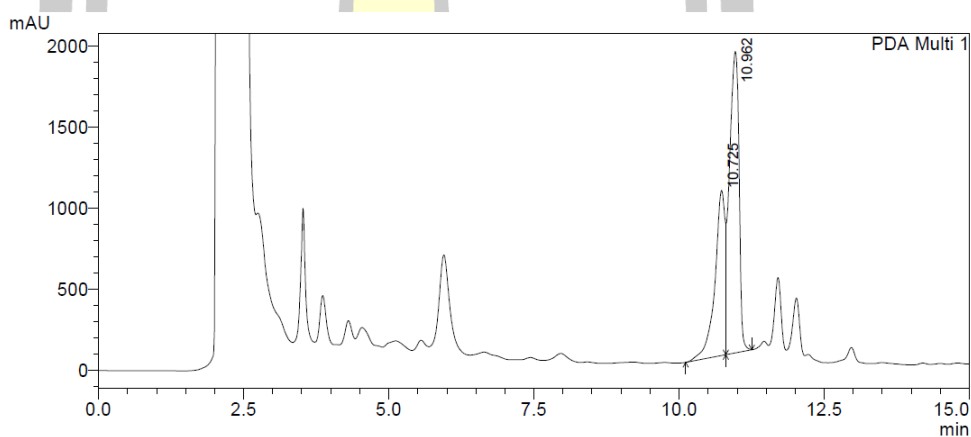
1 PDA Multi 1/200nm 4nm

PeakTable

PDA Ch1 200nm 4nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	10.709	12490640	1060764	35.597	33.243
2	10.948	22598153	2130165	64.403	66.757
Total		35088793	3190929	100.000	100.000

ภาพที่ ง.22 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 30 ความเข้มสนามไฟฟ้า 200 โวลต์/เซนติเมตร



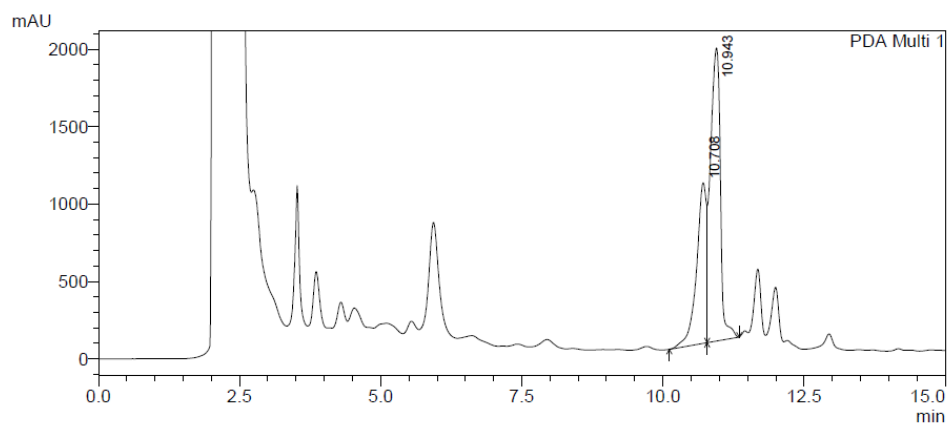
1 PDA Multi 1/200nm 4nm

PeakTable

PDA Ch1 200nm 4nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	10.725	12512407	1019159	37.015	35.410
2	10.962	21290793	1859008	62.985	64.590
Total		33803201	2878167	100.000	100.000

ภาพที่ ง.23 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 40 ความเข้มสนามไฟฟ้า 75 โวลต์/เซนติเมตร



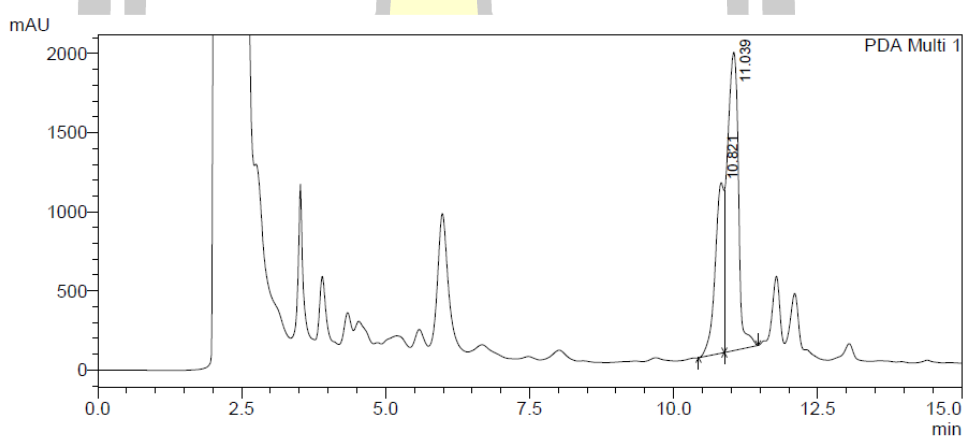
1 PDA Multi 1/200nm 4nm

PeakTable

PDA Ch1 200nm 4nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	10.708	12856811	1038238	35.753	35.399
2	10.943	23103571	1894681	64.247	64.601
Total		35960382	2932919	100.000	100.000

ภาพที่ ง.24 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 40 ความเข้มสนามไฟฟ้า 150 โวลต์/เซนติเมตร



1 PDA Multi 1/200nm 4nm

PeakTable

PDA Ch1 200nm 4nm

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Area %	Height %
1	10.821	11549410	1077876	31.472	36.377
2	11.039	25147568	1885213	68.528	63.623
Total		36696979	2963089	100.000	100.000

ภาพที่ ง.25 ภาพโครมาโตแกรมของตัวอย่าง ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ความชื้นร้อยละ 40 ความเข้มสนามไฟฟ้า 200 โวลต์/เซนติเมตร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นฤพัชญ์ ศรีหาบุตร
วันเกิด	2 เมษายน 2533
สถานที่เกิด	ชัยภูมิ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	199/95 หมู่ 14 ต. ศิลา อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นักศึกษา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2544 ประถมศึกษา โรงเรียนมารีย์อุปถัมภ์ ชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ พ.ศ. 2547 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล จังหวัดชัยภูมิ พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล พ.ศ. 2554 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีการอาหาร และโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2563 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเทคโนโลยีการ อาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

พจนัน ปณฺ ทิโต ชีเว