การศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน

Study of Prebiotics and Phenolic Compounds Extraction from Jackfruit Seeds

วรรณพิชญ์ จุลกัลป์

Wannapit Junlakan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Chemical Engineering

Prince of Songkla University

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน
ชื่อผู้เขียน นางสาววรรณพิชญ์ จุลกัลป์
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

…….....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……..
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราม แย้มแสงสังข์)

คณะกรรมการสอบ

…….……...ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์)

…….....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

…….....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์)

…….....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราม แย้มแสงสังข์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

….....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน

ชื่อผู้เขียน นางสาววรรณพิชญ์ จุลกัลป์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน โดยเมล็ดขนุนถูกนำมาสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็กเพื่อศึกษาสภาวะการสกัดที่เหมาะสม และนำสภาวะที่ได้มาใช้กับเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง สภาวะที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิในการสกัด (50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส) เวลาในการสกัด (0, 30, 60, 90 และ 120 นาที) และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้ เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลาย จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้ทั้งพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่มีปริมาณสูง คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร จะได้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ 217 มิลลิกรัมต่อกรัมกลูโคสของเมล็ดขนุนแห้งและสารประกอบฟีนอลิกส์ 15 มิลลิกรัมของแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง การสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์สูงกว่า คือได้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ 35 มิลลิกรัมต่อกรัมกลูโคสของเมล็ดขนุนแห้งและสารประกอบฟีนอลิกส์ 12 มิลลิกรัมของแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง และจากการวิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์ของการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนโดยใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าติดลบ แสดงว่ายังไม่คุ้มค่าในการลงทุนระดับอุตสาหกรรม ถ้าจะให้กระบวนการมีความเป็นไปได้มากขึ้นควรเป็นการสกัดเมล็ดขนุนที่ไม่มีต้นทุนของเมล็ดขนุน เช่นเป็นกระบวนการต่อเนื่องของผู้ผลิตเนื้อขนุนกระป๋อง หรือมีการสร้างรายได้เพิ่มจากองค์ประกอบอื่นๆ ของสารสกัดหรือตัวกากเมล็ดขนุนที่ผ่านการสกัดแล้ว

Thesis Title	Study of Prebiotics and Phenolic Compounds Extraction from Jackfruit Seeds
Author	Miss Wannapit Junlakan
Major Program	Chemical Engineering
Academic Year	2009

ABTRACT

This research aims to study the extraction of prebiotics and phenolic compounds from jackfruit seeds. Jackfruit seeds were extracted with a lab scale extraction unit to study the optimal extraction conditions, which were then applied in a pilot scale batch extraction unit. The investigated extraction conditions included extraction temperatures (50, 70 and 90 ^{o}C), extraction times (0, 30, 60, 90 and 120 minutes) and solid to solvent ratios (1:8, 1:10 and 1:15 w/v) using 50% ethanol as a solvent. The results show that the optimal extraction conditions of both prebiotics and phenolic compounds were extraction temperature of 90 ^{o}C for 60 minutes and solid to solvent ratio 1:15 w/v, which gave non-reducing sugars of 217 mg/g dried-jackfruit seeds and phenolic compounds of 15 mg GAE/g dried-jackfruit seeds. The extraction using pilot scale batch extraction unit presented higher amount of non-reducing sugars (35 mg glucose/g dried-jackfruit seeds) and phenolic compounds (12 mg GAE/g dried-jackfruit seeds). From economic analysis of extraction of prebiotics and phenolic compounds from jackfruit seeds using the batch extraction unit with the net present value method (NPV), it was found that the net present value is negative. Therefore, the project is not worthwhile yet. To make the process more feasible the cost of jackfruit seeds should be free, e.g. in the case of jackfruit can manufacturer or making more profit from other extracted components or extracted jackfruit seeds.

สารบัญ

เรื่อง		หน้า
สารบัญ		(6)
รายการตาราง		(8)
รายการภาพประกอบ		(12)
บทที่ 1	บทนำ	1
	บทนำต้นเรื่อง	1
	บทตรวจเอกสาร	3
	วัตถุประสงค์	27
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	27
บทที่ 2	วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	28
	ตัวอย่างพืชที่นำมาใช้ในการสกัด	28
	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	28
	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
	วิธีการทดลอง	29
	วิธีการวิเคราะห์	41
บทที่ 3	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	47
	ผลของอุณหภูมิในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก	47
	ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก	50
	ผลของเวลาในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก	53
	ผลของผลได้ของการสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองก่อนและหลังการปรับปรุง	56
	ผลของการสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดสกัดขนาดเล็กเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองหลังการปรับปรุง	57
	ผลของการวิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์ด้วยวิธี GC	59

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ผลของการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ในตัวอย่างสารสกัดก่อนและหลังผ่านการทำให้ได้ฟีนอลิกส์บริสุทธิ์ด้วยวิธี HPLC	61
ผลของการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	62
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	67
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก การปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์	76
ภาคผนวก ข การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์	80
ภาคผนวก ค ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	88
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	93
ประวัติผู้เขียน	115

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สถิติการปลูกขนุนหนังในประเทศไทยแยกรายภาค ปี พ.ศ. 2546	5
2	สถิติการปลูกขนุนหนังในภาคใต้ ปีการเพาะปลูก 2546	5
3	ชนิด Oligosaccharides ที่ใช้เป็นพรีไบโอติกส์ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาดโลก	7
4	กลุ่มย่อยต่างๆ ของสารประกอบฟีนอลิกส์ในพืช	11
5	คุณสมบัติทางเคมี - กายภาพ ของ Packing ใน Sep-Pak	22
6	ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิในการสกัด 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส	50
7	ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร	53
8	ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่เวลาในการสกัด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที	56
9	ค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิกของสารสกัดเมล็ดขนุนก่อนและหลังผ่าน C18 Cartridge	61
10	ข้อมูลรายได้และค่าใช้จ่ายของการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ ที่กำลังผลิตสูงสุดของเครื่องในแต่ละครั้งของการสกัด ที่จำนวนครั้งในการสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน	65

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	เปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิจากการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง ในกรณีเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดเป็น 1, 2, 3 และ 4 ครั้งต่อวัน	66
12	ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร	88
13	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร	88
14	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลายเวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร	89
15	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาทีและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร	89
16	ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	89

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	90
18	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	90
19	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	90
20	ผลของเวลาในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	91
21	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	91

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	92
23	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	92
24	อัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในเวลา 15 นาทีสูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว	93
25	การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดที่จำนวนครั้งในการสกัด 1 ครั้งต่อวัน	94
26	การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดที่จำนวนครั้งในการสกัด 2 ครั้งต่อวัน	95
27	การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดที่จำนวนครั้งในการสกัด 3 ครั้งต่อวัน	96
28	การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดที่จำนวนครั้งในการสกัด 4 ครั้งต่อวัน	97
29	ข้อมูลเชิงเทคนิคสำหรับการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนที่จำนวนครั้งในการสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน	103

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
1	ลักษณะภายนอกและภายในของขนุน	3
2	เนื้อที่เพาะปลูกขนุนหนังในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2546	4
3	โครงสร้างอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์	7
4	องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกส์	9
5	โครงสร้างของ Gallic Acid	12
6	ภาพเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบแบทช์และเครื่องชะละลายน้ำตาลจากหัวบีท	16
7	ขั้นตอนการใช้ Sep-Pak C18 Cartridge ในการทำสารตัวอย่างให้บริสุทธิ์	21
8	กระบวนการหาปริมาณและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน	29
9	ภาพวาด 3 มิติ ของชุดสกัดแบบแบทช์	32
10	ภาพถ่ายถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์	33
11	ภาพถ่ายตะแกรงด้านนอกและชั้นตะแกรงด้านในสำหรับบรรจุวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์	33
12	ภาพถ่ายด้านในของถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์	34
13	ภาพถ่ายลักษณะการบรรจุวัตถุดิบลงด้านในของถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์	34
14	ภาพถ่ายถังระเหยขนาดใหญ่ที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์	35
15	ภาพถ่ายถังระเหยขนาดเล็กที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์	36
16	ภาพถ่ายเครื่องควบแน่นที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์	37
17	ภาพถ่ายคอลัมน์ดักตัวทำละลายที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์	38
18	ภาพถ่ายถังให้ความร้อนที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์	39
19	ภาพถ่ายชุดสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนแบบแบทช์	39
20	กระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน (น้ำตาล กรดอินทรีย์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ) ออกจากสารสกัดดิบโดยใช้ C18 Sep-Pak Cartridges เพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์	41

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
21	ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลายเวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร	48
22	ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร	49
23	ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	51
24	ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	52
25	ผลของเวลาในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอล เป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	54
26	ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
27	ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ทำการสกัดเมล็ดขนุนสด โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	57
28	ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็กและเครื่องสกัดแบบแบทช์ หลังจากทำการปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว ทำการสกัดเมล็ดขนุนอบแห้ง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	58
29	โครมาโทรแกรมของสารมาตรฐานสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์ พีคที่เวลา 3.601 นาที อะซีโตนเป็น Mobile Phase พีคที่เวลา 2.898 นาที	59
30	โครมาโทรแกรมของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการระเหยครั้งที่ 1 พีคที่เวลา 3.654 นาที อะซีโตนเป็น Mobile Phase พีคที่เวลา 2.977	60
31	โครมาโทรแกรมของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการระเหยครั้งที่ 2 พีคที่เวลา 3.646 นาที อะซีโตนเป็น Mobile Phase พีคที่เวลา 2.961 นาที	60
32	โครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ กรดแกลลิก กรดพีคูมาริก และกรดเฟอรูลิก ของสารมาตรฐาน ที่เวลา 2.50 13.72 และ15.01 นาที ตามลำดับ	61
33	โครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ของสารสกัดเมล็ดขนุน ก่อนและหลังผ่าน C18 Cartridge	62
34	ภาพถ่ายด้านในของถังสกัดแบบแบทช์ก่อนการปรับปรุง	77
35	ภาพถ่ายด้านในของถังสกัดแบบแบทช์หลังการปรับปรุง	77
36	กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	81
37	กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	83
38	กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด	85

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
39	กราฟมาตรฐานสารละลายเอทานอลสำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์	87

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับอาหารสุขภาพ (Functional Food) มากขึ้น อาหารสุขภาพเหล่านี้จะมีวางขายทั่วไปในร้านอาหารเพื่อสุขภาพและซุปเปอร์มาเก็ตโดยเฉพาะในแถบยุโรปหรือญี่ปุ่น เช่น น้ำอัดลมหรือน้ำผลไม้ที่เติมแคลเซียมหรือวิตามินซีลงไป หรือในผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เติมสารไฟโตสเตอรอล (Phytosterol) เพื่อป้องกันการดูดซึมคลอเรสเตอรอลและเติมวิตามินลงไป อาหารสุขภาพที่ให้ประโยชน์เฉพาะด้าน เช่น ลดคลอเรสเตอรอล เพิ่มแร่ธาตุ และวิตามิน ฯลฯ อาหารสุขภาพประเภทหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจในขณะนี้ คือ อาหารที่ช่วยให้ระบบการย่อย หรือระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดีขึ้น

ระบบทางเดินอาหารเริ่มจากปากจนถึงทวารหนัก ตลอดระบบทางเดินอาหารจะมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่โดยเฉพาะแบคทีเรีย จำนวนแบคทีเรียในแต่ละส่วนของระบบทางเดินอาหารจะแตกต่างกันไป ที่พบมากที่สุด คือ ลำไส้ใหญ่ส่วนกลาง (Colon) ซึ่งจะมีอัตราการย่อยสลายอาหารมากกว่าส่วนอื่นๆ ของระบบทางเดินอาหาร อีกทั้งจุลินทรีย์ภายในลำไส้มีทั้งที่ให้ประโยชน์และให้โทษ หากจัดการดูแลจุลินทรีย์เหล่านี้ไม่ดีจะทำให้เกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้แก่ ภาวะลำไส้อักเสบ (Ulcerative Colitis) โรคโครห์น (Crohn's Disease) และ Irritable Bowel Syndrome (IBS) การปรับเปลี่ยนระบบนิเวศน์กลุ่มจุลินทรีย์ภายในลำไส้อย่างเหมาะสมจะส่งผลให้ระบบการทำงานต่างๆ เป็นไปอย่างปกติ ทำให้สุขภาพร่างกายแข็งแรง ในปัจจุบันมีการคิดค้นอาหารสุขภาพเพื่อปรับสภาพหรือเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศน์จุลินทรีย์ภายในลำไส้ให้เหมาะสม ได้แก่ พรีไบโอติกส์ พรีไบโอติกส์เป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยหรือดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก จึงเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียโปรไบโอติกส์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ ซึ่งโปรไบโอติกส์มีประโยชน์ คือ ช่วยป้องกันและลดอาการท้องเสียที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ลดความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งลำไส้และช่วยลดคอเลสเตอรอลชนิด Low Density Lipoprotein (LDL) พรีไบโอติกส์ คือคาร์โบไฮเดรตที่มีกลุ่มโมโนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 3 หน่วยขึ้นไป ได้แก่ โอลิโกแซคคาไรด์และโพลีแซคคาไรด์ (Mario et al., 2008) โดยพรีไบโอติกส์ในเชิงพาณิชย์ที่สำคัญประกอบด้วยฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์และอินนูลิน (Gibson และ Roberfroid, 1995)

นอกจากนี้ยังมีกลุ่มสารอาหารอีกชนิด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการปกป้องร่างกายโดยต่อต้านปฏิกิริยาที่เกี่ยวกับออกซิเจน ไนโตรเจนและกระบวนการเกี่ยวกับเมตาบอลิซึมหรือการบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกาย ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกส์ ซึ่งจะพบอยู่ในผักและผลไม้ เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งอนุมูลอิสระเป็นต้นเหตุแห่งความชรา โรคอ้วน โรคหัวใจ ภูมิแพ้ มะเร็ง ฯลฯ ด้วยเหตุนี้จึงต้องคำนึงถึงความสำคัญในการบริโภคปริมาณฟีนอลิกส์ในอาหารมนุษย์และเพิ่มคุณค่าอาหารด้วยการผสมสารประกอบฟีนอลิกส์เข้าไปในอาหาร ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์อาจจะมีความเป็นพิษต่อร่างกาย อีกทั้งใช้ต้นทุนการผลิตสูงแต่กลับมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่าส่วนของผักผลไม้ที่รับประทานได้มีปริมาณฟีนอลิกส์น้อยกว่าส่วนที่รับประทานไม่ได้

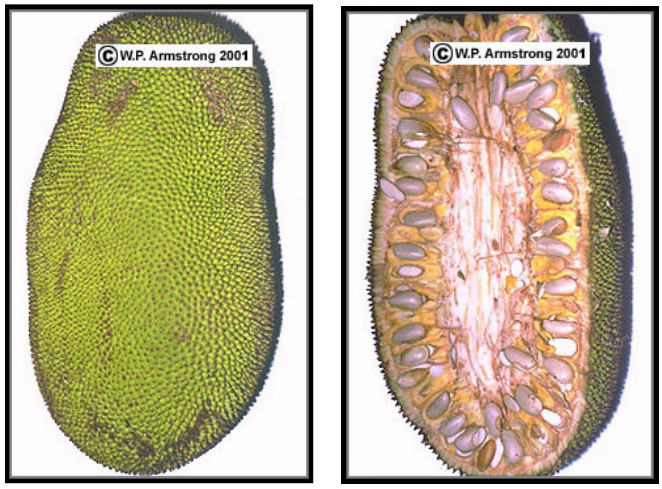
ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2530 – 2534 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2530) ระบุว่าประเทศไทยจะต้องเปลี่ยนแผนจากประเทศเกษตรกรรมเป็นประเทศอุตสาหกรรม จึงจะสามารถอยู่รอดและมีการพัฒนาประเทศได้ แต่เนื่องจากสภาพภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศของประเทศไทยเหมาะในการเพาะปลูก จึงมีผลผลิตทางการเกษตรและของเหลือทิ้งทางการเกษตรมากมาย การพัฒนาอุตสาหกรรมจึงได้มุ่งเน้นไปทางด้านอุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหารเพื่อแปรรูปวัสดุเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและส่งออก เป็นการเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นแทนที่จะเป็นผลผลิตทางการเกษตรเพียงอย่างเดียว ของเสียจำพวกของเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้จะมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากและก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าของเสียเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมดังกล่าว แต่ก็ยังมีคุณค่าทางเศรษฐกิจอยู่ หากมีการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ในการแยกสารอินทรีย์เหล่านี้ให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณค่าสูงขึ้น

โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน การแยกเพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์ที่บริสุทธิ์เพิ่มขึ้น และศึกษาการปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ผลจากงานวิจัยนี้เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของเมล็ดขนุน และพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารเสริมสุขภาพในประเทศไทยต่อไป

บทตรวจเอกสาร

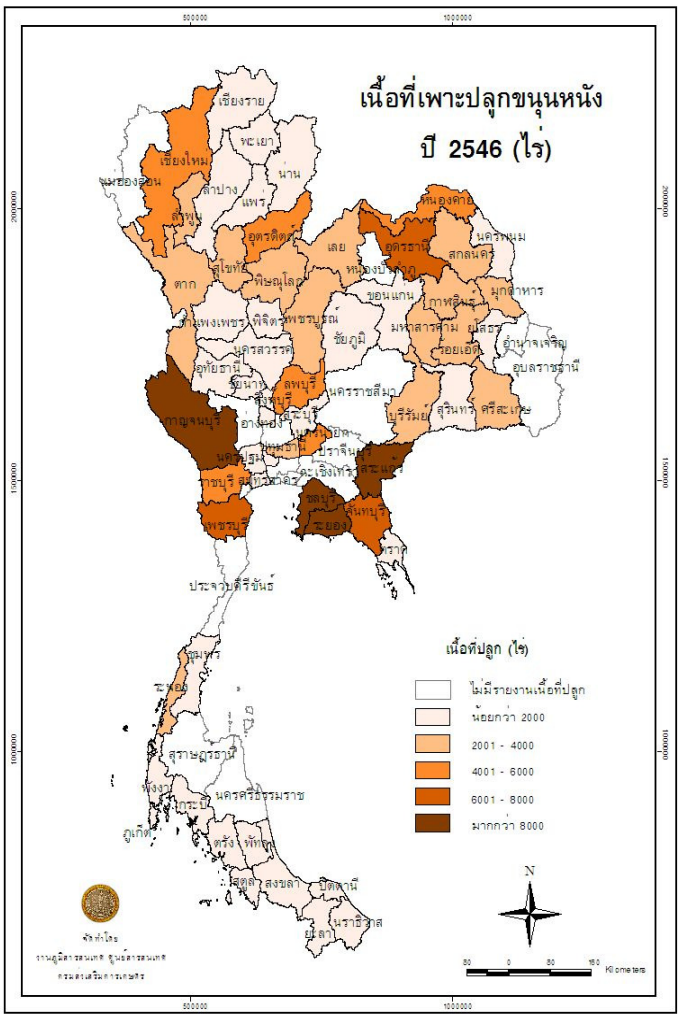
1. ขนุน (Jackfruit)

ขนุน หรือมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Artocarpus Heterophyllus Lam*. ขนุนเป็นผลไม้ที่มีรูปทรงของผลขนาดใหญ่ เปลือกมีสีเทา และภายในบรรจุไปด้วยกลีบซึ่งเป็นที่อยู่ของเมล็ด (ภาพประกอบที่ 1)



ภาพประกอบที่ 1 ลักษณะภายนอกและภายในของขนุน (http://waynesword.palomar.edu)

ขนุนเป็นผลไม้ที่มีเนื้อนุ่ม สีเหลือง รสชาติหวานและมีกลิ่นที่หอม ลำต้นมีขนาดใหญ่ สูง 15 - 30 เมตร ส่วนของเนื้อที่รับประทานเจริญมาจาก กลีบดอก ส่วนซังคือกลีบเลี้ยง ผล เป็นผลรวมมีขนาดใหญ่ ขนุนมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย เป็นพืชเศรษฐกิจเมืองร้อนที่ให้ผลมีขนาดใหญ่ที่สุด สามารถบริโภคได้ทั้งผลดิบและผลสุก นอกจากนี้ยังนำไปแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ มีปลูกทั่วทุกภาคของประเทศไทย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2 และตารางที่ 1 และจังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีปริมาณการปลูกขนุนค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับจังหวัดอื่นๆ ในภาคใต้ ดังแสดงในตารางที่ 2 ต้นขนุนออกดอกปีละ 2 ครั้ง คือช่วงเดือนธันวาคมถึงมกราคม และเมษายนถึงพฤษภาคม อีกทั้งเมล็ดขนุนยังอุดมไปด้วยพรีไบโอติกส์และสารประกอบเชิงซ้อนพวกฟีนอลิกส์ ซึ่งมีส่วนช่วยให้ระบบขับถ่ายดี กระตุ้นภูมิคุ้มกันโรค ลดความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุแห่งความชรา โรคอ้วน โรคหัวใจ ภูมิแพ้และมะเร็ง



ภาพประกอบที่ 2 เนื้อที่เพาะปลูกขนุนหนังในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2546

(กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546)

ตารางที่ 1 สถิติการปลูกขนุนหนังในประเทศไทยแยกรายภาค ปี พ.ศ. 2546

(http://www.moacinfo.net)

ภาค	ปลูกเป็นกลุ่ม			ปลูกปะปนกัน	
	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	จำนวนต้นทั้งสิ้น (ต้น)	จำนวนต้นให้ผลแล้ว (ต้น)	จำนวนต้นทั้งสิ้น (ต้น)	จำนวนต้นให้ผลแล้ว (ต้น)
1 . กรุงเทพ	65	1,897	1,502	12,485	9,048
2 . ภาคกลาง(ไม่รวม	52,575	1,417,618	905,883	1,074,445	771,897
3 . ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	11,049	311,940	154,701	189,811	129,645
4 . ภาคเหนือ	6,201	169,132	72,743	254,810	172,073
5 . ภาคใต้	1,924	54,023	20,153	174,022	91,736

ตารางที่ 2 สถิติการปลูกขนุนหนังในภาคใต้ ปีการเพาะปลูก 2546 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546)

จังหวัด	**พื้นที่ปลูก (ไร่)**			**ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)**	**ผลผลิตรวม (ตัน)**	**ราคาเฉลี่ย (บาท/กก.)**
	ให้ผลแล้ว	**ยังไม่ให้ผล**	**รวม**			
ประจวบคีรีขันธ์	17,775	7,347	25,122	3,912	69,532	7.18
กระบี่	739	76	815	3,627	2,680	8.43
ชุมพร	975	319	1,294	3,779	3,685	6.73
นครศรีธรรมราช	989	16	1,005	2,657	2,627	5.91
นราธิวาส	498	38	536	2,085	1,038	14.03
ปัตตานี	419	417	836	1,434	601	12.35
สงขลา	1,618	151	1,769	3,586	5,801	12.69
ภูเก็ต	202	90	292	2,994	605	5.21
ระนอง	2,056	456	2,512	1,503	3,091	7.19
สตูล	428	153	581	2,079	890	7.60

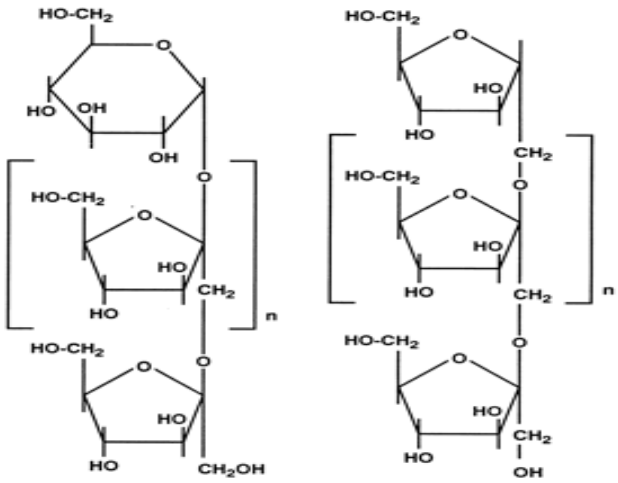
จังหวัด	พื้นที่ปลูก (ไร่)			ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)	ราคาเฉลี่ย (บาท/กก.)
	ให้ผลแล้ว	ยังไม่ให้ผล	รวม			
สุราษฎร์ธานี	330	21	351	2,954	975	7.14
พังงา	90	30	120	2,104	189	6.67
พัทลุง	916	246	1,162	3,218	2,947	6.05
ยะลา	99	30	129	3,962	392	10.21
ตรัง	610	176	786	3,086	1,883	8.85

2. พรีไบโอติกส์ (Prebiotics)

พรีไบโอติกส์ (Prebiotics) คือคาร์โบไฮเดรตที่มีกลุ่มโมโนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 3 หน่วยขึ้นไป ได้แก่ Fructooligosaccharide (ภาพประกอบที่ 3), Inulin (ภาพประกอบที่ 3), Chicory Root Extract หรือเป็นที่รู้จักในชื่อ น้ำตาลสายสั้น (Oligosaccharides) ซึ่งมี กลูโคส (Glucose), กาแลคโตส (Galactose) และฟรุคโตส (Fructose) เป็นองค์ประกอบ (Mario et al., 2008) ด้วยโครงสร้างซึ่งซับซ้อน ทำให้เอนไซม์ในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กไม่สามารถย่อยสลายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ โดยเฉพาะกลุ่มที่ผลิตกรดน้ำนม หรือกรดแลคติก (Lactic Acid) ได้แก่ Bifidobacteria และ Lactobacilli สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดอื่นๆ และเมื่อรับประทานพรีไบโอติกส์ไประยะหนึ่ง ประชากรแบคทีเรียในลำไส้จะมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดสภาพสมดุลของจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลให้เกิดความสมดุลของลำไส้ ทำให้สุขภาพร่างกายสมบูรณ์แข็งแรง (Grajek et al., 2005) พรีไบโอติกส์มีทั้งที่สกัดมาจากพืชและสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ขายกันอยู่ในปัจจุบัน ตัวอย่างของพรีไบโอติกส์ประเภท Oligosaccharides ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาดโลก แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่าง Oligosaccharides ที่ใช้เป็นพรีไบโอติกส์ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาดโลก (http://www.be-v.net)

Oligosaccharides ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาดโลก
Lactulose
Galacto-Oligosaccharides
Fructo-Oligosaccharides
Isomalto-Oligosaccharides
Soybean Oligosaccharides
Lactosucrose
Xylo-Oligosaccharides
Gentio-Oligosaccharides
Inulin



ภาพประกอบที่ 3 โครงสร้างอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

(Chrzanowski et al., 2007)

3. สารประกอบฟีนอลิกส์ (Phenolic Compounds)

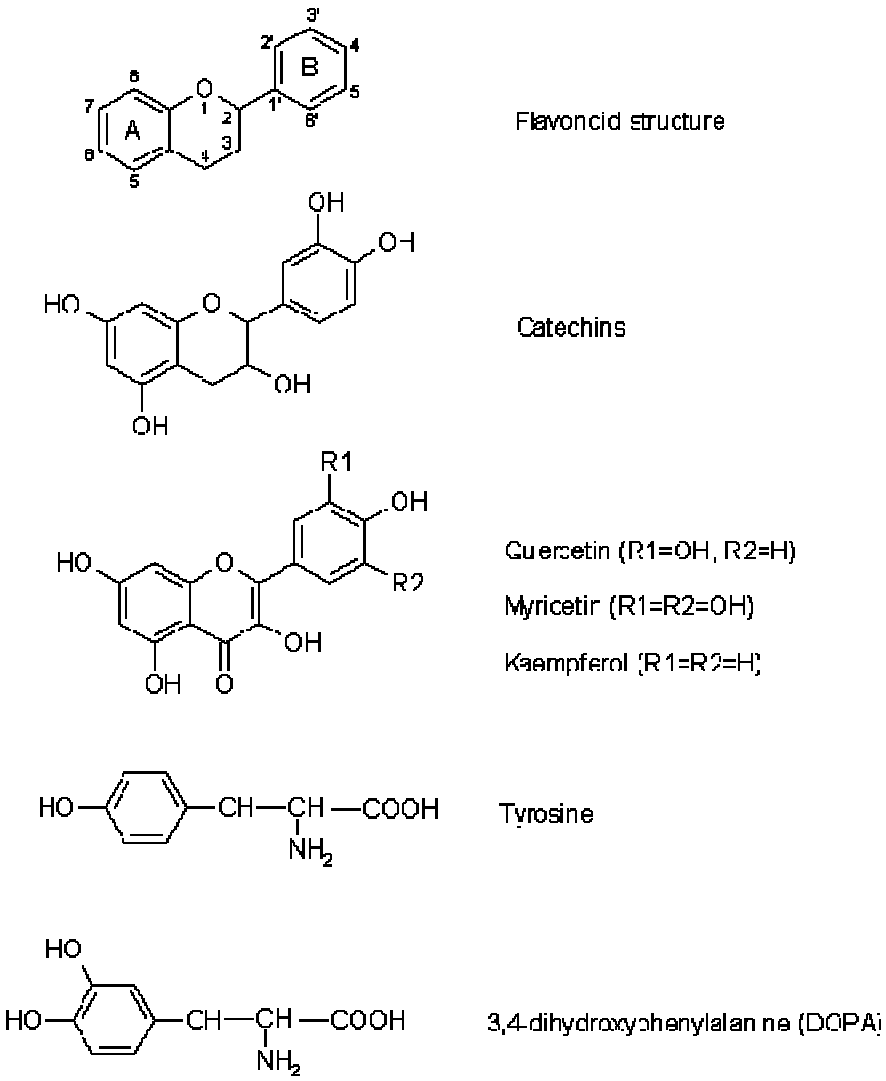
สารประกอบฟีนอลิกส์เป็นอนุพันธ์ของเบนซินที่มีหมู่ไฮดรอกซิลต่ออยู่เป็นหลัก และอาจมีหมู่แทนที่ต่างๆ แทนที่ในตำแหน่ง ออโท (Orto) เมตา (Meta) หรือพารา (Para) ได้อีก (Chrzanowski et al., 2007) สารฟีนอลิกส์ตัวพื้นฐาน คือ ฟีนอล ประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ มีมวลโมเลกุล 94.11 เป็น ผลึกรูปเข็ม ไม่มีสี เมื่อโดนอากาศจะมีสีชมพูอ่อนๆ จุดหลอมเหลว 40.85 องศาเซลเซียส จุดเดือด 182 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟ 79 องศาเซลเซียส สารละลายของฟีนอลเป็นกรดอ่อน โดยมีค่า pKa 10.0 ฟีนอลละลายได้ในกลีเซอรอลคาร์บอนไดซัลไฟด์ อัลกอฮอล์ อีเธอร์และคลอโรฟอร์ม พบได้ในพืช ผักและผลไม้ทั่วไป อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ (Hertog และ Katan, 1998; Newmark et al., 1996; Agarwal และ Mulkhtar, 1996)

(1) Simple Phenols/Phenolic Acid และอนุพันธ์เช่น Gallic Acid, Ellagic Acid, Tannic Acid, Vanillin, Catechol, Resorcinol และ Salicylic Acid เป็นต้น สารกลุ่มนี้พบได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น Raspberry and Blackberry

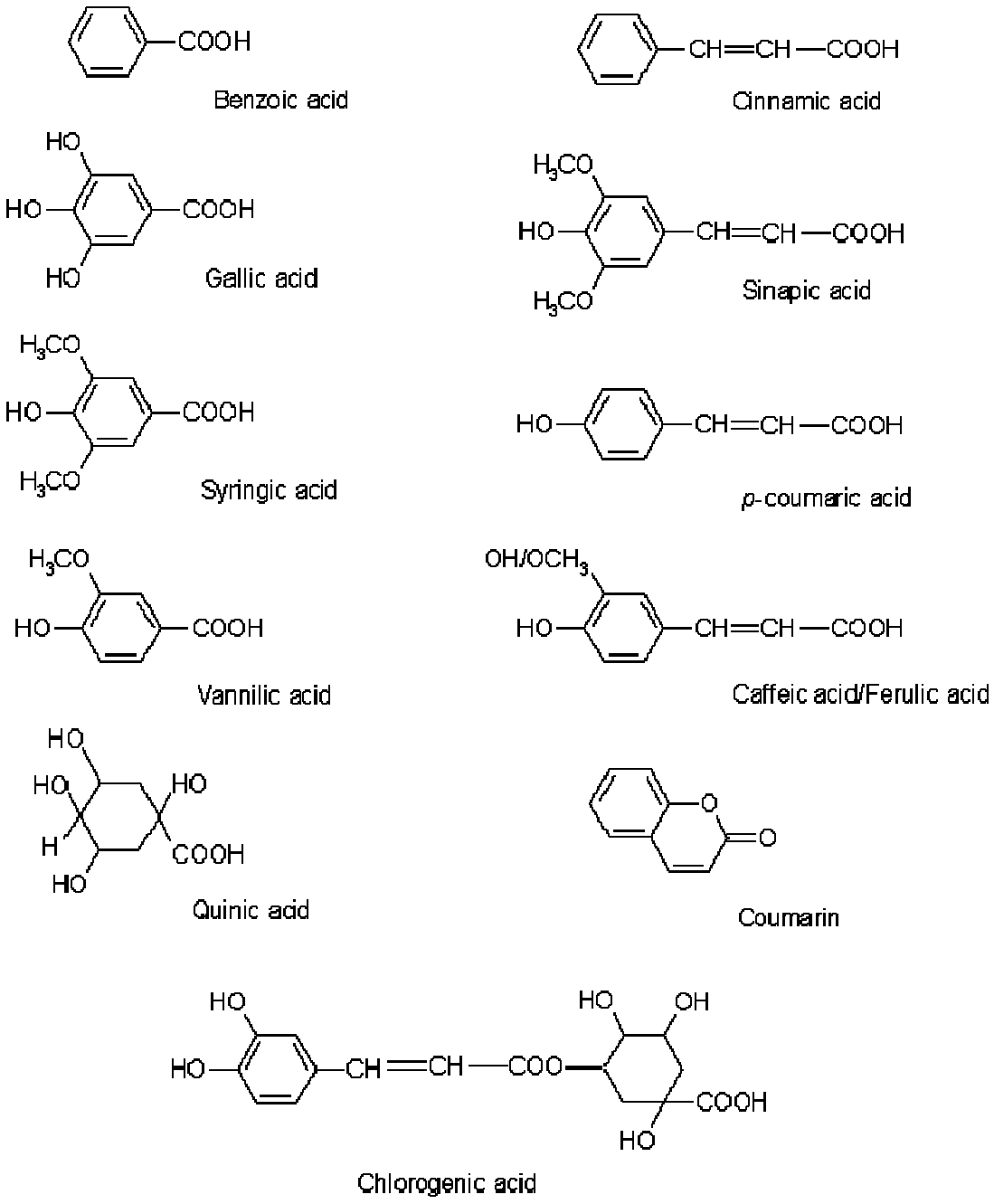
(2) Phenylpropanoids ได้แก่ Phenolic Compound ที่ Aromatic Ring มี Three-Carbon Side Chain เกาะอยู่ แยกย่อยออกได้หลายกลุ่มได้แก่ Hydroxycinnamic Acids (Ferulic Acid, Caffeic Acid หรือ Coumaric Acid), Coumarins (Umbelliferone, Scopoletin, Aesculetin หรือ Psoralen), Lignans (Pinoresinol, Eugenol หรือ Myristicin) พบได้ใน แอปเปิ้ล แพร์และกาแฟ

(3) Flavonoids เป็นกลุ่มสำคัญของ Phenolic Compounds จะได้แก่สารที่มีสูตรโครงสร้างเป็น C6-C3-C6 แยกย่อยออกได้เป็นหลายกลุ่มได้แก่ Catechins, Proanthocyanins, Anthocyanidins, Flavones, Flavonols, Flavonones และ Isoflavones จากการที่พบ Flavonoids ได้อย่างกว้างขวางทั้งพืช ผัก ผลไม้รวมทั้งเครื่องดื่มที่เตรียมมาจากพืช เช่น ชา ซึ่งพบว่าในใบชาจะมี Catechins อยู่ถึง 30% ของน้ำหนักแห้งและเชื่อว่าเป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์เป็น Antioxidant ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

และตัวอย่างองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกส์ แสดงดังภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกส์ (Betti et al.., 1983)



ภาพประกอบที่ 4 (ต่อ) องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกส์ (Betti et al., 1983)

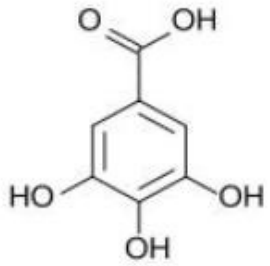
นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกส์ในพืชยังสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มย่อยต่างๆ ตามจำนวนคาร์บอนอะตอมดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กลุ่มย่อยต่างๆ ของสารประกอบฟีนอลิกส์ในพืช (Harborne, 1980)

The Most Important Classes of Phenolic Compounds in Plants		
Number of C-Atoms	Basic Skeleton	Class
6	C_6	Simple Phenols, Benzoquinones
7	$C_6 - C_1$	Phenolic Acids
8	$C_6 - C_2$	Acetophenone, Phenylacetic Acid
9	$C_6 - C_3$	Hydroxycinnamic Acid, Polypropene, Coumarin, Isocoumarin
10	$C_6 - C_4$	Naphtoquinone
13	$C_6 - C_1 - C_6$	Xanthone
14	$C_6 - C_2 - C_6$	Stilbene, Anthrachinone
15	$C_6 - C_3 - C_6$	Flavonoids, Isoflavonoids
18	$(C_6 - C_3)_2$	Lignans, Neolignans
30	$(C_6 - C_3 - C_6)_2$	Biflavonoids
n	$(C_6 - C_3)_n$ $(C_6)_n$ $(C_6 - C_3 - C_6)_n$	Lignins Catecholmelanine (Condensed Tannins)

3.1. Gallic Acid

Gallic Acid จัดเป็นอนุพันธ์ชนิดหนึ่งของสารประกอบฟีนอลิกส์ มีสูตรโมเลกุล $C_6H_2(OH)_3COOH$ ลักษณะโครงสร้างของ Gallic Acid แสดงดังภาพประกอบที่ 5



ภาพประกอบที่ 5 โครงสร้างของ Gallic Acid (http://en.wikipedia.org)

Gallic Acid มีมวลโมเลกุล 170.12 กรัมต่อโมล มีลักษณะ คือ White, Yellowish-White, or Pale Fawn-Colored Crystals. ความหนาแน่น 1.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซลติเมตร (Anhydrous) จุดหลอมเหลว 250 องศาเซลเซียส (523 เคลวิน) ความสามารถในการละลาย 1.1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำ @ 20 องศาเซลเซียส (Anhydrous) และ 1.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำ @ 20 องศาเซลเซียส (Monohydrate) ความเป็น Acidity (p*K*a) คือ COOH: 4.5, OH: 10. โดยทั่วไป Gallic Acid จะใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเภสัชกรรม ใช้เป็นสารมาตรฐานในการคำนวณค่า Total Phenolic Content โดยวิธี Folin-Ciocalteau Assay และใช้สังเคราะห์ Hallucinogenic Alkaloid Mescaline เป็นที่รู้จักกันในชื่อ 3, 4, 5 Trimethoxyphenethyl amine (http://en.wikipedia.org)

3.2. ประโยชน์ของสารประกอบฟีนอลิกส์

อนุมูลอิสระ (Free Radicals) ไม่ว่าจะเป็นชนิด Reactive Oxygen Species (ROS: O_2^-, OH^-, H_2O_2, HOCl) หรือ Reactive Nitrogen Species (RNS:NO, $OONO^{2-}$) จะเป็นสารที่ไม่คงตัวและสามารถทำให้เกิด Cell Damage โดยการเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะ Oxidative Stress ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดปกติของ Cell Membrane, Protein และ DNA (Frankel et al., 1995; Newmark, 1996)

ปัจจุบันมีรายงานการทดลองยืนยันว่าสารประกอบฟีนอลิกส์หลายตัวมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและมีฤทธิ์ต้านมะเร็ง (Anticancer) โดยสารต้านออกซิเดชันเป็นกลุ่มสารซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงสามารถป้องกันเซลล์จากการถูกทำลายได้ สารกลุ่มนี้ทำงานโดยการเอาตัวเองเข้ารับอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระหมดฤทธิ์ และปฏิกิริยาลูกโซ่หยุดลง ขณะเดียวกัน

สารต้านออกซิเดชันเองก็ถูกทำลายไปด้วย สารต้านออกซิเดชันจึงมีส่วนช่วยป้องกันหรือลดการเกิดโรคต่างๆ (Premalantha et al., 1999; Owen et al., 2000)

3.3. วิธีที่ใช้ในการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ในน้ำ (ทรงพล รดิศพงศ์ และคณะ, 2546; Betti et al., 1983)

1. วิธี Thin Layer Chromatography เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายแต่ไม่มีทั้งความไวและความแม่นยำที่ดีในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์

2. วิธี Gibbs Method หลักการของวิธีนี้ เป็นการเกิดสีของไดโบรโมอินโดฟีนอล (Dibromoindophenol) โดยให้ 2, 6-ไดโบรโมควิโนนคลอริไมด์ (2, 6-Dibromoquinone Chlorimide) ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกส์ที่มีตำแหน่งพาราว่างในสารละลายที่เป็นเบส (Buffered Alkaline Solution) ปรับ pH ให้เท่ากับ 9.4 หลังจากนั้นสกัดสีที่เกิดขึ้นด้วยนอร์มอลบิวทิล- อัลกอฮอล์ (Normal-Butyl Alcohol) และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้สเปคโตรโฟโตเมตร (Spectrophotometry)

3. วิธีไนโตรโซฟีนอล (Nitrosophenol Method) เป็นวิธีที่ใช้หาปริมาณฟีนอลที่มีหมู่แทนที่ในตำแหน่งออโท เมตาและพารา วิธีการนี้อาศัยปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลิกส์ที่อยู่ในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ (Acetate Buffer) ที่ประกอบด้วยกรดกลาเซียลอะซิติก (Glacialacetic Acid) โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) 10% และน้ำ กับกรดไนตรัส (Nitrous Acid) ที่เกิดขึ้นจากการเติมโซเดียมไนเตรท (Sodium Nitrate) ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีสารละลายตัวอย่างอยู่ ตามด้วยกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) จะได้ไนโตรฟีนอล (Nitrophenol) เมื่อทำให้เย็นด้วยน้ำแข็ง แล้วเติมแอลกอฮอลิก แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Alcoholic Ammonium Hydroxide) จะเปลี่ยนเป็นเกลือควินนอยด์ (Quinoid Salt) หลังจากนั้นหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของเกลือควินนอยด์ (Quinoid Salt)

4. วิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (4-Aminoantipyrine, 4-AAP Method) วิธีนี้อาศัยหลักการเกิดสีของแอนติไพรีน (Antipyrine Dye) โดยให้สารละลายตัวอย่างฟีนอลทำปฏิกิริยากับ 4-AAP ในสารละลายที่มีตัวออกซิไดซ์เป็นเบส (Alkaline Oxidizing Agent) เช่น โพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (Potassium Ferrocyanide) ซึ่ง 4-AAP นี้จะทำปฏิกิริยาที่เฉพาะเจาะจงกับฟีนอลแล้วเกิดสีของแอนติไพรีน (Antipyrine Dye) หลังจากนั้นสกัดสีด้วยคลอโรฟอร์ม (Chloroform) วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร

5. วิธีอินฟาเรด (Infared Method) ใช้หลักการอาศัยการทำสารประกอบฟีนอลิกส์ให้เป็นอนุพันธ์ของโบรมีนโดยใช้ปฏิกิริยาโบรมิเนชั่น (Bromination) ของสารตัวอย่างที่ทำให้เป็นกรด

แล้วสกัดอนุพันธ์ของโบรมีนที่เกิดขึ้นด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) นำสารละลายที่ได้จากการสกัดนี้มาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์โดยใช้อินฟาเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Infared Spectrophotometer)

6. วิธีอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet Method) ใช้หลักการของบาโทโครมิกชิพท์ (Bathochromic Shift) สารประกอบฟีนอลิกส์ที่แตกตัวแล้วจะแสดงแถบการดูดกลืนแสงเลื่อนไปในทางที่มีความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อมี pH เพิ่มขึ้น คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ได้จากกราฟระหว่างผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น

7. วิธี 3-Metyl-2-Benzo-Thiazolione Hydrazone (MBTH) อาศัยหลักการเช่นเดียวกับวิธี 4-AAP แต่ให้สารประกอบฟีนอลิกทำปฏิกิริยากับ MBTH ในสภาวะที่เป็นกรดโดยมีซิริกแอมโมเนียมซัลเฟต (Ceric Ammonium Sulphate) เป็นตัวออกซิไดซ์ แล้วหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ในรูปของสาร ประกอบเชิงซ้อนที่มีสี โดยใช้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

8. วิธีการวิเคราะห์โดยการใช้ High Performance Liquid Chromatography, HPLC การวิเคราะห์โดย HPLC และใช้ดีเทคเตอร์ชนิด UV Detector จะให้ความไวที่ไม่ดีและมีผลของสิ่งเจือปนอื่นๆ รบกวนในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลิกส์ให้อยู่ในรูปของอนุพันธ์ (Derivative) โดยใช้ 3-Metyl-2-Benzo-Thiazolione Hydrazone และ P-Nitrobenzene Diazonium Tetrafluoroborate เพื่อปรับปรุง Resolution ของสารประกอบที่มีค่า Retention Time ใกล้กันมากๆ และเพื่อเพิ่มความไวในการตอบสนองของดีเทคเตอร์ต่อสารปริมาณน้อย (Trace Component)

9. วิธีวิเคราะห์โดยใช้ Gas Chromatography (Gas Chromatography Method) การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ถ้าใช้ดีเทคเตอร์ชนิด Flame Ionization Detector, FID จะมีขอบเขตของความไวในการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเป็นการปรับปรุงความไวของการวิเคราะห์และสามารถเลือก ใช้ดีเทคเตอร์อื่นที่เหมาะสม เช่น Electron Capture Detector, ECD และ Nitrogen Phosphorous Detector, NPD ได้โดยที่ไม่ต้องแยกสารออกจาก Matrix จึงได้มีการทำสารประกอบฟีนอลิกส์ให้อยู่ในรูปของอนุพันธ์ โดยใช้ Heptafluorobutyric Anhydride และสามารถใช้ดีเทคเตอร์ชนิด ECD ได้

4. กระบวนการสกัด

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) คือ วิธีการแยกสารโดยอาศัยสมบัติการละลายของสารในตัวทำละลาย หรือการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารที่ต้องการออกจากของผสม โดยมีหลักการสกัด คือ เติมตัวทำละลายที่เหมาะสมลงในสารที่ต้องการสกัด

จากนั้นก็เขย่าหรือนำไปให้ความร้อน เพื่อให้สารที่ต้องการสกัดละลายในตัวทำละลาย สารที่สกัดที่ได้จะอยู่ในรูปของสารละลาย หากต้องการต้องทำให้บริสุทธิ์สามารถทำได้โดย นำสารที่ได้ไปแยกตัวทำละลายออก โดยวิธีการระเหย หรือกลั่นต่อไป หลักการเลือกตัวทำละลาย คือ ตัวทำละลายสามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้ โดยไม่ละลายสารอื่นๆ ที่ไม่ต้องการสกัด ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด สามารถแยกออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ง่าย ไม่เป็นพิษ และมีราคาถูก (ชาคริต ทองอุไร, 2548)

Liquid-Solid Extraction คือ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยอาศัยกระบวนการทางกายภาพ ทำให้เกิดการถ่ายเทสารประกอบจากของแข็งไปในของเหลว ซึ่งจะเกิดการแยกของส่วนประกอบในของแข็งตั้งต้น และเป็นวิธีที่เลือกใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธีนี้ คือ สารสกัดอาจมีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วย และมีปัญหาการตกค้างของตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นอันตราย ทำให้ต้องมีการเพิ่มขั้นตอนการทำสารสกัดให้บริสุทธิ์ เพื่อกำจัดสารตกค้างต่างๆ (สุวัสสา พงษ์อำไพ และคณะ, 2548)

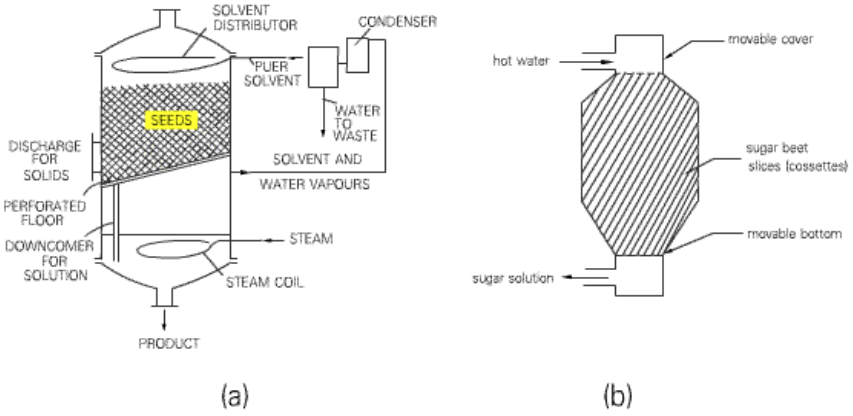
4.1. กลไกการสกัดแบบกะ (Sing-Stage Batch Extraction)

มีกรรมวิธีจำนวนมากในการสกัดสารสำคัญออกจากของแข็ง ไม่ว่าจะเป็นการสกัดด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่องหรือกระบวนสกัดแบบกะ กระบวนการสกัดแบบกะเป็นกรรมวิธีสามัญที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมแร่ ฯลฯ โดยจะปล่อยตัวทำละลายให้ซึมผ่านชั้นของแข็งที่อยู่นิ่ง ในภาชนะซึ่งมีก้นเป็นรูให้ตัวทำละลายผ่านออกได้ ซึ่งของแข็งจะต้องไม่มีขนาดเล็กเกินไปหรือมีความต้านทานต่อการไหลสูง (ชาคริต ทองอุไร, 2548)

กลไกการสกัดแบบกะ คือ กระบวนการผ่านตัวทำละลายให้สัมผัสกับวัตถุดิบที่ต้องการสกัดหรือวัตถุดิบอาจแช่ในตัวทำละลายที่มีการกวนหรือไม่มีการกวนก็ได้ กระทำที่อุณหภูมิสูงหรือต้มที่อุณหภูมิของจุดเดือดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด ตัวทำละลายจะถ่ายโอน (แพร่) จากสารละลายบัลค์ (Bulk) ไปยังผิวของแข็งและแพร่เข้าไปภายในของแข็ง ตัวละลายจะละลายในตัวทำละลายและแพร่ผ่านสารผสมของแข็ง-ตัวทำละลาย ออกมายังผิวของอนุภาค ท้ายสุดตัวละลายถูกถ่ายโอนสู่สารละลายบัลค์ จากนั้นตัวทำละลายถูกระบาย (Drained) ออกจากวัตถุดิบโดยการทำให้สารละลายเดือดอย่างต่อเนื่องด้วยความร้อน (ชาคริต ทองอุไร, 2548)

ตัวอย่างกรรมวิธีการสกัดด้วยชุดสกัดแบบกะ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 6 (a) ซึ่งเป็นการสกัดของเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบกะ ในกระบวนการนี้ของแข็งจะสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่มีตัวถูกละลายอยู่จนถึงสมดุล โดยการปั๊มตัวทำละลายผ่านชั้นของของแข็งแล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ หรือในภาพประกอบ (b) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลจากหัวบีท

ส่วนที่ปิดด้านบนสามารถเลื่อนออกเพื่อใส่หัวบีทที่เฉือนเป็นชิ้นบางเข้าไปในถังแล้วปล่อยน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 71 ถึง 77 องศาเซลเซียส ไหลเข้าไปในชั้นของของแข็งเพื่อชะละลายน้ำตาลออกมา ของแข็งอาจแช่อยู่ในตัวทำละลายที่มีการกวนหรือไม่ก็ได้ หลังจากสมดุล เฟสของตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่จะถูกระบาย (Drained) ออกไปจากของแข็ง จากนั้นตัวทำละลายและน้ำที่สกัดได้จะถูกทำให้เดือดอย่างต่อเนื่องโดยได้รับความร้อนจากขดลวดไอน้ำ (Steam Coil) ตัวอย่างการสกัด อื่นๆ เช่นการสกัดกาแฟหรือชาและการกำจัดคาเฟอีนด้วยน้ำ (Water Decaffeination) ของเมล็ดกาแฟดิบ (Charm, 1978; Geankoplis, 1993)



ภาพประกอบที่ 6 (a) เครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบกะ (b) เครื่องชะละลายน้ำตาลจากหัวบีท (Charm, 1978; Geankoplis, 1993)

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดพรีไบโอติกส์

1. ขนาดเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด

การเตรียมตัวอย่างเมล็ดขนุนก่อนการสกัดมีผลต่อการสกัดพรีไบโอติกส์ โดย ขนาดของของแข็งที่ใช้สกัดควรมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ จะส่งผลให้การกระจายตัวของตัวทำละลายเข้าไปภายในของแข็งเกิดขึ้นได้ดี (สุกัญญา วงศ์พรชัย และคณะ, 2547)

2. ตัวทำละลายที่ใช้สกัด

การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์ คือ จะต้องเป็นตัวทำละลายที่สามารถละลาย Oligosaccharide ได้ดี รวมทั้งมีจุดเดือดต่ำ ง่ายต่อการกำจัดด้วยวิธีระเหย (สุกัญญา วงศ์พรชัย และคณะ, 2547)

3. อุณหภูมิ

Oligosaccharide จะสกัดออกจากของแข็งได้ดีที่อุณหภูมิในการสกัดสูงๆ แต่ต้องไม่เกินอุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลาย เนื่องจากจะส่งผลให้ตัวทำละลายระเหยทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดน้อยลง (Xiaoli et al., 2008)

4. ระยะเวลาสกัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์ เวลาจะสั้นหรือนานขึ้นอยู่กับลักษณะของ Oligosaccharide ที่อยู่ในของแข็ง ถ้าเพียงดูดซับ Oligosaccharide ที่ผิวของของแข็ง การสกัดจะใช้เวลาไม่นาน แต่ถ้า Oligosaccharide อยู่ภายในของแข็งจะต้องใช้เวลายาวนานขึ้น (สุกัญญา วงศ์พรชัย และคณะ, 2547)

5. อัตราส่วนตัวทำละลายต่อของแข็ง

อัตราส่วนตัวทำละลายต่อของแข็ง เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสกัดพรีไบโอติกส์ โดย เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อของแข็งมาก ความต่างของความเข้มข้นระหว่างของเหลวและของแข็งมีมาก ทำให้เกิด Driving Force ระหว่างการถ่ายโอนมวลมาก ส่งผลให้สามารถสกัด Oligosaccharide ออกจากของแข็งได้มาก และหากใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อของแข็งน้อยเกินไปจะทำให้ตัวทำละลายไม่เพียงพอต่อการดูดซึมของแข็ง และในขณะที่ถ้าใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อของแข็งมากเกินไปจะทำให้สารละลายมีความเจือจางส่งผลให้ตัวทำละลายมีประสิทธิภาพในการสกัด Oligosaccharide ลดลง (Kim et al., 2003)

6. ความชื้นของวัตถุดิบ

การอบแห้งหรือการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจะมีส่วนช่วยในการไปทำลายผนังเซลล์ของวัตถุดิบ ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถเข้าไปละลาย Oligosaccharide ออกจากวัตถุดิบได้ดี (Boudhrioua et al., 2009)

6. ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์

1. ขนาดเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด

การเตรียมตัวอย่างเมล็ดขนุนก่อนการสกัดมีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์ โดย ขนาดของของแข็งที่ใช้สกัดควรมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ จะส่งผลให้การกระจายตัวของตัวทำละลายเข้าไปภายในของแข็งเกิดขึ้นได้ดี (สุกัญญา วงศ์พรชัย และคณะ, 2547)

2. ตัวทำละลายที่ใช้สกัด

การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารฟีนอลิกส์ คือ จะต้องเป็นตัวทำละลายที่สามารถละลายสารฟีนอลิกส์ได้ดี มีจุดเดือดต่ำ ง่ายต่อการแยกออกด้วยวิธีระเหย (สุกัญญา วงศ์พรชัย และคณะ, 2547)

3. อุณหภูมิ

สารฟีนอลิกส์จะสกัดออกจากของแข็งได้ดีที่อุณหภูมิในการสกัดสูงๆ โดยตัวทำลายจะสามารถเข้าไปละลายสารฟีนอลิกส์ภายในของแข็งได้ง่ายขึ้น แต่อุณหภูมิต้องไม่เกินอุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลาย เนื่องจากจะส่งผลให้ตัวทำละลายระเหยทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดน้อยลง (Li et al., 2006; Xiaoli et al., 2008)

4. ระยะเวลาสกัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดสารฟีนอลิกส์ คือ เวลาจะสั้นหรือนานขึ้นอยู่กับลักษณะของสารฟีนอลิกส์ที่อยู่ในของแข็ง ถ้าเพียงดูดซับสารฟีนอลิกส์ที่ผิวของของแข็ง การสกัดจะใช้เวลาไม่นาน แต่ถ้าสารฟีนอลิกส์อยู่ภายในของแข็ง ก็จะต้องใช้เวลายาวนานขึ้น (สุกัญญา วงศ์พรชัย และคณะ, 2547)

5. อัตราส่วนตัวทำละลายต่อของแข็ง

อัตราส่วนตัวทำละลายต่อของแข็ง เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสกัดสารฟีนอลิกส์ โดยเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อของแข็งมาก ความต่างของความเข้มข้นระหว่างของเหลวและของแข็งมีมาก ทำให้เกิด Driving Force ระหว่างการถ่ายโอนมวลมาก ส่งผลให้สามารถสกัดสารฟีนอลิกส์ออกจากของแข็งได้มาก และหากใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อของแข็งน้อยเกินไปจะทำให้ตัวทำละลายไม่เพียงพอต่อการดูดซึมของแข็ง และในขณะที่ถ้าใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อของแข็งมากเกินไปจะทำให้สารละลายมีความเจือจางส่งผลให้ตัวทำละลายมีประสิทธิภาพในการสกัดสารฟีนอลิกส์ลดลง (Kim et al., 2003)

6. pH

ตัวทำละลายจะสามารถสกัดสารฟีนอลิกส์ได้ดีที่ pH ต่ำๆ โดยตัวทำละลายที่ pH ต่ำๆ จะเข้าไปเปิดผนังเซลล์ของของแข็ง ทำให้ตัวทำละลายสามารถเข้าไปละลายสารฟีนอลิกส์ และแพร่ออกจากของแข็งได้ง่ายขึ้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามหากตัวทำละลายมี pH ต่ำเกินไปก็อาจส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ทำให้สารจำพวก Anthocyanin สลายตัวได้ (Chirinos et al., 2007)

7. ความชื้นของวัตถุดิบ

การอบแห้งหรือการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจะมีส่วนช่วยในการไปทำลายผนังเซลล์ของวัตถุดิบ ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถเข้าไปละลายสารประกอบฟีนอลิกส์ออกจากวัตถุดิบได้ดี (Boudhrioua et al., 2009)

7. วิธีการแยกและทำให้บริสุทธิ์

กระบวนการแยกและทำให้ได้สารจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติบริสุทธิ์เป็นขั้นตอนที่จำเป็นในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมปริมาณและคุณภาพของอาหาร (Chirinos et al., 2007) และเนื่องจากสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีขนาดโมเลกุลเล็ก และมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน ดังนั้นในการศึกษากระบวนการแยกและทำให้บริสุทธิ์จึงต้องใช้เทคนิคทางโครมาโทกราฟี ซึ่งมีความซับซ้อนแตกต่างกันไปด้วย ปัจจุบันมีวิธีการแยกสารและทำให้สารบริสุทธิ์ด้วยวิธีที่ทันสมัย เพื่อทำให้การแยกสารเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ สารมีความคงสภาพอยู่โดยโครงสร้างเคมีไม่ถูกทำลายในระหว่างขั้นตอนการแยกสารนั้น มีขั้นตอนการแยกสารที่ไม่ยุ่งยาก จึงทำให้ง่ายและสะดวก ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย อีกทั้งโดยทั่วไปสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมักมีอยู่ในสัดส่วนที่ต่ำมาก จึงเป็นการยากที่จะแยกสารหรือโมเลกุลที่มีปริมาณน้อยมากๆ ออกจากสารสกัด ดังนั้นก่อนทำการแยกสารให้บริสุทธิ์ควรมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารนั้น และเทคนิคเบื้องต้นทางโครมาโทกราฟีที่ใช้ในการแยกสารให้บริสุทธิ์ก่อน เพื่อให้การแยกสารนั้นเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์และสารสำคัญไม่สลายตัวไประหว่างการแยก

เทคนิคทางโครมาโทกราฟีที่นิยมใช้ในการแยกสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ ได้แก่ Solid Phase Extraction (SPE), Thin Layer Chromatography (TLC), Column Chromatography (CC) และ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการแยกและชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีในสารสกัดหยาบ

1. Solid Phase Extraction (SPE)

Solid Phase Extraction เป็นการแยกสารโดยให้สารที่สนใจติดอยู่บนคอลัมน์ในขณะที่สารที่ไม่สนใจหรือไม่ต้องการจะถูกชะออกมาจากคอลัมน์ จากนั้นใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมชะสารที่สนใจให้ออกมาจากคอลัมน์ในภายหลัง โดยทั่วไปสารที่สนใจจะจับอยู่กับวัฏภาคคงที่ (Stationary Phase) ซึ่งเป็นสารดูดซับ (Adsorbent) ที่มีรูปร่างเป็นเม็ดเล็ก (Bead) หรือเรซิน (Resin) ซึ่งอาจเป็น Nomal Phase, Reverse Phase หรือ Ion-Exchance Media ก็ได้ และสามารถบรรจุไว้ในคอลัมน์ได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นไซริงค์ (Syringe) ตัวอย่างเช่นนำสารที่สกัดด้วย

น้ำมาแยกด้วย SPE ที่มีวัฏภาคคงที่เป็น Reverse Phase พบว่าสารที่มีขั้วต่ำจะติดในคอลัมน์ แต่สารที่มีขั้วสูงจะถูกชะออกมาก่อน จากนั้นจึงใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำชะสารที่ติดอยู่ในคอลัมน์ออกมา ซึ่งสารที่ถูกชะออกมานี้ค่อนข้างบริสุทธิ์

ในปัจจุบันได้มีการนำ SPE ไปใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น การใช้แยกสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มีขั้วต่ำ โดยสารที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำจะจับอยู่กับ Resin ที่เป็น Reverse Phase การแยกสารโดยปรับความแรงของ Elution Power ให้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อชะสารออกมาเป็นลำดับตามความมีขั้ว ใช้ศึกษาความเหมือนกันของสาร เนื่องจากสารที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกันจะจับวัฏภาคคงที่ได้เหมือนกันและแสงฤทธิ์ทางชีวภาพได้เหมือนกันอีกด้วย จึงช่วยตัดสินใจได้ว่าสารสกัดหยาบที่แยกด้วย SPE มาแล้วจะเป็นสารชนิดเดียวกันกับที่เคยแยกได้หรือไม่ นอกจากนี้ยังใช้ SPE เตรียมสารปริมาณมากให้บริสุทธิ์ขึ้น หรือนิยมใช้แยกสารสกัดหยาบก่อนที่จะแยกต่อไปด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีชนิดอื่น ซึ่งการแยกด้วย SPE ในขั้นแรกนี้เรียกว่า Clean-Up โดยจะแยกสารปนเปื้อนจำนวนมากออกไปจากสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่สนใจ เช่น การใช้ SPE กำจัดสารมีขั้วจำนวนมากที่ไม่ต้องการ อีกทั้งยังใช้ SPE ในการเตรียมสารให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น โดยผ่านสารละลายที่เจือจางลงไปในคอลัมน์ SPE จากนั้นชะสารที่ต้องการซึ่งติดค้างอยู่บนคอลัมน์ให้ออกมาโดยใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อยๆ และ SPE จะถูกใช้ในการเตรียมสารในปริมาณน้อยมาก เช่น เมแทบอไลท์ของยาในตัวอย่างเลือด สารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมในน้ำทะเล และสารสกัดหยาบจากสิ่งมีชีวิตในน้ำทะเล ให้บริสุทธิ์มากขึ้น ก่อนนำไปแยกด้วยเทนนิคอื่นทางโครโมโทกราฟี (Hennion, 1999)

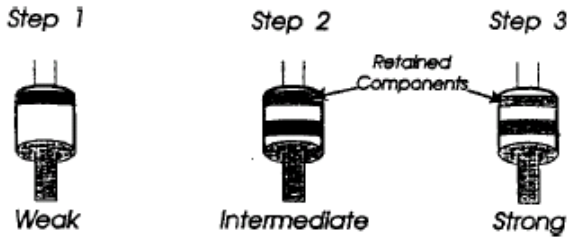
Solid Phase Extraction (SPE) เป็นวิธีหนึ่งในการทำสารตัวอย่างให้บริสุทธิ์ ซึ่งใช้หลักการ Partition เหมือนกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย แต่ต่างกันที่ใช้ของแข็งเป็นตัวจับสารที่เราสนใจ โดยของ แข็งจะถูกบรรจุอยู่ในแท่ง SPE เรียกว่า Sep-Pak*

(1) ขั้นตอนการใช้ Sep-Pak ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 7

(1.1) นำสารตัวอย่างผ่าน Sep-Pak โดยสารตัวอย่างละลายใน Weak Solvent (Solvent ที่ทำให้สารที่สนใจจับกับ Sep-Pak ได้ โดยไม่นำสารที่สนใจหลุดออกมาด้วย) โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของสารตัวอย่างที่เราสนใจ และชนิดของ Sep-Pak

(1.2) ใช้สารละลายที่เป็น Intermediate Solvent ผ่าน Sep-Pak เพื่อชะสารที่ไม่ต้องการออกจาก Sep-Pak หรือเพื่อต้องทำการแยกชนิดของสารที่สนใจออกมา

(1.3) ใช้สารละลายที่เป็น Strong Solvent เพื่อชะสารที่เราสนใจออกจาก Sep-Pak หรือเพื่อไล่สารที่ตกค้างในSep-Pak ออก



ภาพประกอบที่ 7 ขั้นตอนการใช้ Sep-Pak C18 Cartridge ในการทำสารตัวอย่างให้บริสุทธิ์ (http://www.sithiphorn.com)

(2) การเลือกใช้ Sep-Pak ในการทำสารตัวอย่างให้บริสุทธิ์

(2.1) การเลือกโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของสารตัวอย่าง

(2.1.1) ตรวจสอบคุณสมบัติของสารตัวอย่างทั้งหมด ได้แก่ คุณสมบัติการละลาย ความมีขั้ว-ไม่มีขั้ว ความเสถียรของสารตัวอย่าง เป็นต้น

(2.1.2) เลือกชนิดของ Sep-Pak ให้เหมาะสมกับสารตัวอย่าง โดยให้สารที่สนใจสามารถจับกับ Packing ที่บรรจุใน Sep-Pak ได้

(2.1.3) เลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการใส่ตัวอย่างลงใน Sep-Pak และเลือกตัวทำละลายที่ใช้ชะสารออกจาก Sep-Pak

(2.2) การเลือกจาก Waters Sep-Pak Cartridge Application Bibliography

Waters Sep-Pak Cartridge Application Bibliography เป็นหนังสือ ที่รวบรวมเกี่ยวกับ Application ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างโดยใช้ Sep-Pak สำหรับเตรียมสารภายในหนังสือจะแสดงชื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ ประเภทของตัวอย่าง ชนิดของ Sep-Pak ที่ใช้ ตลอดจนเอกสารอ้างอิงจากวารสารที่ได้รับการตีพิมพ์ในทางวิชาการซึ่งมีมากกว่า 2000 เรื่อง

คุณสมบัติทางเคมี - กายภาพ ของ Packing ใน Sep-Pak สรุปในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเคมี - กายภาพ ของ Packing ใน Sep-Pak (http://www.sithiphorn.com)

ชนิดของ Packing	หมู่ที่ผิว	% Carbon	Pore Sige (^{o}A)	ขนาด (μm)
C18	$Si(CH_3)_2C_{18}H_{37}$	12	125	55-105
tC18	$SiC_{18}H_{37}$	17	125	37-55
C8	$Si(CH_2)_2C_8H_{17}$	9	125	37-55
NH2	$Si(CH_2)_3NH_2$	3.5	125	55-105
CN	$Si(CH_3)(CH_2)_3CN$	6.5	125	55-105
DIOL	$Si(CH_2)_3OCH_2CH(OH)$	2	300	37-55
Florisil	Si(OH)	N/A	60	50-200
Alumina	Al(OH)	N/A	120	50-300
Accell plus CM	$CO_2^-Na^+$	5.5	300	37-55
Accell plus QMA	$C(O)NH(CH_2)_3N(CH_3)_3^+Cl^-$	6	300	37-55

จะเห็นได้ว่า Packing ใน Sep-Pak จะมีหมู่ที่ผิวเหมือนกับหมู่ที่ผิวของPacking ใน Column ที่ใช้ในระบบ HPLC เพียงแต่ %Carbon อาจต่างกันและขนาดของ Packing จะใหญ่กว่าพวกที่ใช้ใน Column ส่วนขนาดเฉลี่ยของ Pore ที่เท่ากับ 125 Å จะเท่ากับ Pore ที่อยู่ใน Packing ของ Column µBondapak C18 การที่ Pore ของ Packing มีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นเท่ากับ 300 Å ใน Diol จะทำให้เราสามารถ Load ตัวอย่างได้มากขึ้น

การทำความสะอาดสารโดยใช้ Sep-Pak นั้น ให้ถือหลักการเดียวกับปรากฏการณ์การแยกที่เกิดขึ้นในระบบ HPLC โดยที่ตัว Sep-Pak เองเปรียบได้กับ Column ความดันที่เรากดให้กับเข็มฉีดที่ต่อกับ Sep-Pak ก็เปรียบเสมือนการตั้งอัตราการไหลของ Solvent ที่ปั๊มนั่นเอง (http://www.sithiphorn.com)

2. Thin Layer Chromatography (TLC)

เป็นโครมาโทกราฟีแบบระนาบ (Plane Chromatography) โดยทำเฟสอยู่กับที่ให้มีลักษณะเป็นครีมข้น แล้วเคลือบบนแผ่นกระจกให้ความหนาของการเคลือบเท่ากันตลอดแล้วนำไปอบให้แห้ง หยดสารละลายของสารผสมที่ต้องการแยกบนแผ่นที่เคลือบเฟสอยู่กับที่นี้ไว้ แล้วนำไปจุ่มในภาชนะที่บรรจุตัวทำละลายที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ไว้ โดยให้ระดับของตัวทำละลายต้องอยู่ต่ำกว่าระดับของจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะซึมไปตามเฟสอยู่กับที่ด้วยการซึมตามรูเล็กเหมือนกับน้ำที่ซึมไปในกระดาษหรือผ้า เมื่อซึมถึงจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะชะเอาองค์ประกอบในสารผสมนั้นไปด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพมีขั้ว (Polarity) ของ

สารที่เป็นองค์ประกอบกับสารที่เป็นตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายเป็นโมเลกุลมีขั้ว (Polar Molecules) จะชะเอาสารในสารผสมที่เป็นสารมีขั้วไปด้วยได้เร็ว ส่วนสารที่ไม่มีขั้วในสารผสมจะถูกชะพาไปได้ช้า สารผสมก็จะแยกออกจากกัน

เทคนิคนี้จะให้ประสิทธิภาพในการแยกสารดี เนื่องจากสารที่ใช้เคลือบมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของใยกระดาษหรือสารที่ใช้บรรจุคอลัมน์ทั่วไป (Tyihak et al., 1979)

3. Column Chromatography (CC)

ทำได้โดยการบรรจุสารที่เป็นเฟสอยู่กับที่ เช่น อลูมินาหรือซิลิกาเจลไว้ในคอลัมน์ แล้วเทสารผสมที่เป็นสารละลายของเหลวลงสู่คอลัมน์ สารผสมจะผ่านคอลัมน์ช้าๆ โดยตัวทำละลายซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่เป็นผู้พาไป สารในเฟสอยู่กับที่จะดูดซับสารในสารผสมไว้ ส่วนประกอบใดของสารผสมที่ถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ช้า ส่วนที่ถูกดูดซับไม่ดีจะเคลื่อนที่ได้เร็ว ทำให้สารผสมแยกจากกันได้

เทคนิคนี้นิยมใช้ในการแยกสารปริมาณมากกว่า 50 มิลลิกรัม ขึ้นไปและเป็นวิธีที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อใช้แยกสารปริมาณมากๆ (Tyihak et al., 1979)

4. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

HPLC เป็นเทคนิคแยกสารผสมแบบใช้เครื่องสูบแรงดันสูง (High Pressure Pump) สูบตัวทำละลายซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) พาสารตัวอย่างที่ถูกฉีดเข้าทางช่องฉีดสาร (Injector) ผ่านอนุภาคที่เป็นเฟสอยู่กับที่ (Stationary Phase) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ (Column) สารผสมตัวอย่างจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์และถูกแยกออกมา ผ่านเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (Detector) ในเวลาที่ต่างกัน สัญญาณที่วัดได้จะอยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าตามเวลาและปริมาณของสารแต่ละตัวที่ตรวจวัดได้ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณ เพื่อแสดงผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram)

เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพสูงในการแยกองค์ประกอบฟีนอลิกส์ของสารสกัดจากพืช เทคนิคนี้ใช้สารปริมาณน้อยกว่า 50 นาโนกรัมก็สามารถแยกได้ (Tyihak et al., 1979)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Grajek et al. (2005) ศึกษาความสำคัญของพรีไบโอติกส์ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม พรีไบโอติกส์เป็นสารอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ หรือย่อยได้น้อยในลำไส้เล็ก และกระเพาะอาหาร จึงสามารถผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่ และเป็นอาหารของแบคทีเรียโปรไบโอติกส์ในลำไส้ใหญ่ โดยพรีไบโอติกส์คือสารอาหารประเภทคาร์ไฮเดรต ได้แก่ Oligosaccharides และ Polysaccharides เช่น Lactulose, Galactooligosaccharides, Fructooligosaccharides, Inulin ฯลฯ อาหารเสริมพรีไบโอติกส์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ Carbohydrate Metabolism ของ Short-Chained Fatty Acids ได้แก่ Acetate, Butyrate และ Propionate พรีไบโอติกส์ที่ได้รับความสนใจในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ Inulin และ Oligofructans ซึ่งพบในหัวหอม กระเทียม หน่อไม้ฝรั่ง ต้นกระเทียม กล้วย มันฝรั่งและพืชชนิดอื่นๆ

Xiaoli et al. (2008) ศึกษาการสกัด Oligosaccharide จาก Defatted Chickpea Seed Meal (DCM) โดยใช้ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 0, 30, 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในการสกัดที่อุณหภูมิห้อง, 50, 70 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลาย ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อ DMC 5:1, 10:1, 15:1 และ 20:1 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อ DCM เป็น 10:1 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที สกัดโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้สารสกัดที่มีปริมาณ Oligosaccharide มากที่สุด และสารสกัดที่ได้จะมีปริมาณ Oligosaccharide ต่ำเมื่อใช้น้ำกลั่นหรือ เอทานอลที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไปในการสกัด ซึ่งตัวทำละลายลักษณะนี้จะเหมาะสำหรับใช้สกัดสารจำพวกน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และตัวทำละลายนี้จะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาอาจส่งผลให้รบกวนการเกิดปฏิกิริยาของสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต และ Hydrophilic เช่น Polysaccharides และโปรตีน และอาจมีผลต่อสารสกัดจากพืช เช่น ลดปริมาณแป้ง และ α-Galactosides และเมื่อใช้ เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปในการสกัด จะส่งผลให้ตะกอนภายในเกิดการรวมตัว ไปขัดขวางการแพร่ของ Oligosaccharide ที่จะเข้าไปภายในสาร ละลายเอทานอล ส่งผลให้สารสกัดที่ได้มีปริมาณ Oligosaccharide ต่ำเช่นกัน

Kim et al. (2003) ศึกษาการสกัด Soybean Oligosaccharides (SOS) จาก Defatted Soybean Meal (DSM) โดยทำการสกัดที่อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อ DSM เป็น 5:1 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่นและเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ ในการสกัด พบว่าการใช้เอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ ในการสกัดจะได้สารสกัดที่มีปริมาณ Oligosaccharide มากมากกว่าการใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

สุพจน์ นวลละอองและคณะ (2552) ได้ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุนสดด้วยชุดทดลองแบบแบทช์ขนาดเล็ก โดยใช้น้ำกลั่น, เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ และเอทานอล 90 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลายในการสกัด ศึกษาการสกัดที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย 1:2, 1:4, 1:6 และ 1:8 ที่อุณหภูมิในการสกัด คือที่อุณหภูมิห้องและ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 30, 60, 90, 120, 150, 180, 360 และ 480 นาที จากการศึกษานี้ทำให้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุน คือ การสกัดโดยใช้เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลาย ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย 1:8 สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและเวลาในการสกัด 90 นาที

วีระพงศ์ พรสมิทธิกุลและคณะ (2551) ได้ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์จากเปลือกด้านในขนุนด้วยชุดทดลองแบบต่อเนื่องขนาดเล็ก โดยใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลายในการสกัด เวลาในการสกัด 120 นาที ที่อุณหภูมิในการสกัด 50 องศาเซลเซียส โดยศึกษาการสกัดที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเปลือกขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย 1:8, 1:10, 1:15 และ 1:20 จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเปลือกขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์ คือ 1:15

Boudhrioua et al. (2009) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากใบมะกอก โดยใช้ใบมะกอกสด และใบมะกอกแห้ง (อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลซียส) เป็นวัตถุดิบในการสกัด พบว่าการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากใบมะกอกแห้งจะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดสูงกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดที่ได้จากการสกัดใบมะกอกสด เนื่องจากการอบแห้งจะทำลายผนังเซลล์ของวัตถุดิบ ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถเข้าไปละลายสารประกอบฟีนอลิกส์ออกจากใบมะกอกได้ดี

Mohamed et al. (2008) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดอินทผลัม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อของแข็ง 60:1 ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำการสกัด 2 ครั้ง โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดต่างชนิดกัน คือ น้ำ, เอทานอล, เมทานอล, อะซิโตน และเอทานอล, เมทานอล, อะซิโตน 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการสกัดโดยใช้อะซิโตน 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้สารสกัดที่มีค่าปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมา คือ เอทานอล, เมทานอล และเอทานอล, เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้ค่าปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน

Li et al. (2006) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเปลือกของพืชตระกูลส้มมะนาว โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และเมทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยเมทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่ง

สัมพันธ์กับสภาพขั้วของตัวทำละลาย คือ เมทานอลมีความเป็นขั้วสูงกว่าเอทานอล ทำให้สามารถละลายสารฟีนอลิกส์ออกมาได้ดีกว่า เอทานอล (http://www.gpo.or.th) แต่เนื่องจากเมทานอลเป็นตัวทำลายที่เป็นพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นหากพิจารณาด้านความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เอทานอล จึงเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมมากกว่า และจากการศึกษาการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายในการสกัด คือ เอทานอล 0, 20, 50, 72, 85 และ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการสกัดโดยใช้ เอทานอล 85, 72 และ 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้สารสกัดที่มีค่าปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดค่อนข้างสูงใกล้เคียงกันจากมากไปน้อยตามลำดับ

และศึกษาการแยกและทำให้ได้ฟีนอลิกส์บริสุทธิ์ด้วยวิธี Modification โดยใช้ C18 Catridges โดยใช้เมทานอล และ Acidified Water กระตุ้นให้สารประกอบฟีนอลิกส์ Sugars กรดอินทรีย์ และสารประกอบมีขั้วต่างๆ แยกออกจากสารสกัด จากนั้นเติม Acidified Water เพื่อล้าง Sugars, กรดอินทรีย์ และสารประกอบมีขั้วต่างๆ ออก และใช้ Acidified Methanol ในการแยกสารประกอบฟีนอลิกส์ออกจากสารสกัด

ศิวาพร ศิวเวชช และคณะ (2546) ศึกษาการนำสารสกัดแห้งที่ได้จากการสกัดเปลือกมันฝรั่งด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ สกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที อัตราส่วนระหว่างตัวตัวทำละลายต่อเปลือกมันฝรั่งแห้ง 10:1 มาทดสอบความคงตัวโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 5 และ 10 องศาเซลเซียส แต่ละอุณหภูมิเก็บในขวดสีชา และขวดใสที่มีฝาปิดเป็นเวลา 45 วัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ที่เปลี่ยนแปลงไปเปรียบเทียบกับสารสกัดแห้งเริ่มต้นด้วยเครื่อง HPLC พบว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกส์ในสารสกัดแห้งจะเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเก็บในขวดใสที่อุณหภูมิห้อง และจะมีความคงตัวเมื่อเก็บในที่มืดมากกว่าที่สว่าง และมีแนวโน้มว่าการเปลี่ยนแปลงจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้น

Soong et al. (2004) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเนื้อและเมล็ดขนุน พบว่าค่าปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากการสกัดจากส่วนของเมล็ดมีค่ามากกว่าส่วนของเนื้อขนุน

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและปรับปรุงชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน

3. เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ในการสกัดสารสำคัญจากเมล็ดขนุน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน

2. ทราบข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ในการสกัดสารสำคัญจากเมล็ดขนุน

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. ตัวอย่างพืชที่นำมาใช้ในการสกัด

เมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐที่ซื้อจากห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัส สาขาหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำกลั่น
2. 95% Ethanol (Commercial Grade, Sigma-Aldrich)
3. Phenol (Laboratory Grade, Fisher Scientific)
4. 98% Conc. Sulfuric Acid (Laboratory Grade, Merck)
5. Sodium Sulfite (Laboratory Grade, Merck)
6. Sodium Hydroxide (Laboratory Grade, Merck)
7. Sodium Potassium Tartrate (Laboratory Grade, Merck)
8. Glucose (Laboratory Grade, Ajex Finechem)
9. Folin Ciocalteu's Phenol Reagent (Laboratory Grade, R&M Chemicals)
10. Sodium Carbonate Anhydrous (Laboratory Grade, R&M Chemicals)
11. 98% Gallic Acid (HPLC Grade, Sigma)
12. 98% p-Coumaric Acid (HPLC Grade, Sigma)
13. 99% Ferulic Acid (HPLC Grade, Sigma)
14. 99.8% Ethanol (HPLC Grade, Merck)
15. 99.9% Acetone (HPLC Grade, Merck)

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) : Memmert รุ่น UNB 400
2. เครื่องปั่น (Blender) : Moulinex รุ่น Delicio

3. ตะแกรงร่อนมาตรฐาน (Sieve) : Endocotts รุ่น EFL 2000

4. อ่างน้ำเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath Shaker) : Memmert รุ่น WNB 45

5. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter) : Sibata รุ่น WJ-20

6. เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Vacuum Evaporator) : Buchi Rotavapor รุ่น V-700

7. เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze Dryer) : รุ่น Flexi-Dry μP

8. ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 2-20 และ 20-200 ไมโครลิตร : Labmate

9. มัลติไมเชลเนลปิเปต (Multichannel Pipette) ขนาด 2-20 และ 20-200 ไมโครลิตร : Multimate

10. Microtiter Plate Reader : Biotex รุ่น Power Wave XS

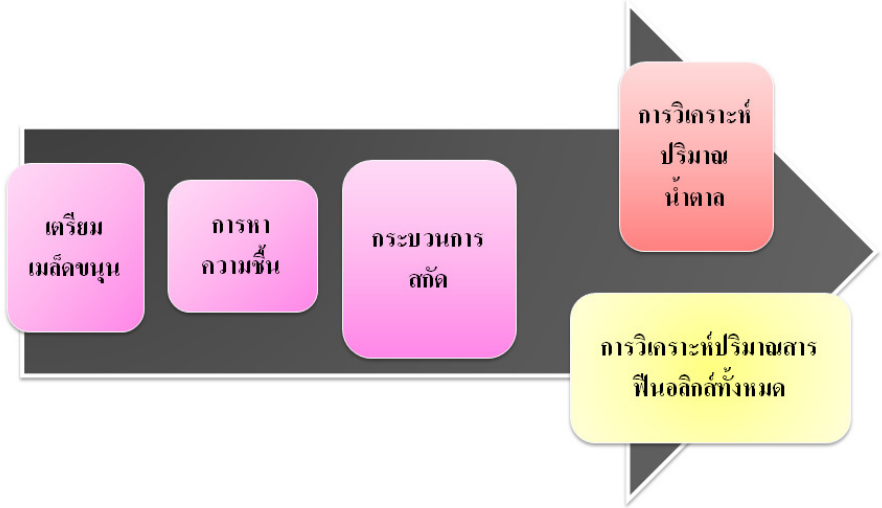
11. 96 Well Microtiter Plate : รุ่น U-Shape

12. C18 Sep-Pak Cartridges ขนาดบรรจุ 300 มิลลิกรัม : Verti-Pak™

13. เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟฟี (GC) : Hewlett Packard รุ่น 6890

4. วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งลักษณะการวิจัยออกเป็น 3 กิจกรรมด้วยกัน ประกอบด้วย **กิจกรรมที่ 1** ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน ซึ่งสรุปกระบวนการดังภาพประกอบที่ 8



ภาพประกอบที่ 8 กระบวนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน

กิจกรรมที่ 2 ปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น (ซึ่งเครื่องสกัดนี้ได้ทำการจัดสร้างโดยสุพจน์ นวลละออง และคณะ (2552))

กิจกรรมที่ 3 ศึกษาการแยกสารประกอบฟีนอลิกส์

กิจกรรมที่ 4 วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

โดยรายละเอียดในการทดลองมีดังนี้

4.1 การเตรียมวัสดุ

ใช้เมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐที่ซื้อจากห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัส สาขาหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นวัตถุดิบ โดยนำมาล้างทำความสะอาดและนำไปอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส ให้ผิวด้านนอกแห้งด้วยตู้อบ จากนั้นนำมาหั่น บดละเอียดด้วยเครื่องบด Moulinex และร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร

4.2 การหาความชื้น

การหาความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดขนุนทำได้โดย ชั่งเมล็ดขนุนบดละเอียดน้ำหนัก 20 กรัมใส่ในกระป๋องหาความชื้น (Moisture Can) ทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบ แล้วอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักหลังอบ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก) ซึ่งคำนวณจากการนำค่าน้ำหนักเมล็ดขนุนเริ่มต้นลบด้วยน้ำหนักเมล็ดขนุนหลังอบ จากนั้นหารด้วยน้ำหนักเมล็ดขนุนเริ่มต้น และคูณด้วย 100

4.3 การสกัด

4.3.1 การสกัดด้วยชุดทดลองแบบแบทช์ขนาดเล็ก

นำเมล็ดขนุนที่ได้จากการบดขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร ที่ได้หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ปริมาณ 15 กรัม มาทำการสกัดโดยจะใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดา โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้สัดส่วนเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิในการสกัด 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที โดยใช้ขวดขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่ตัวทำละลายและเมล็ดขนุนแล้วจึงนำไปสกัด จากนั้นกรองกากของเมล็ดขนุนที่อาจตกค้างอยู่ในสารสกัดออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นจึงนำไป

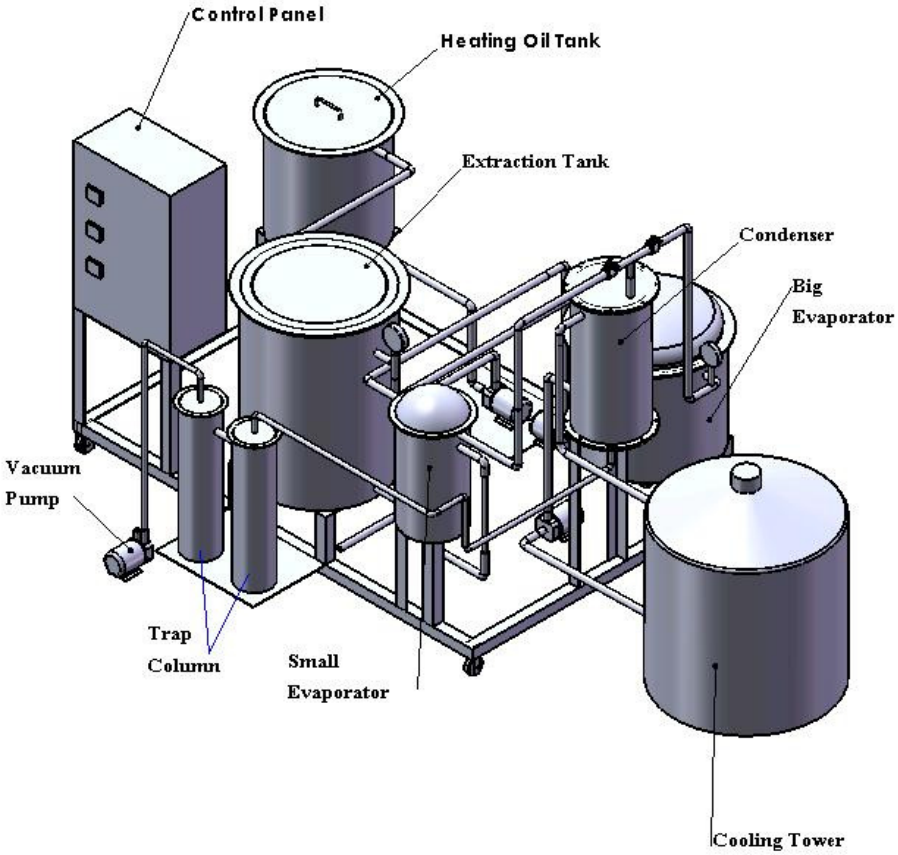
ทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน แล้วนำสารสกัดซึ่งจะอยู่ในรูปของเหลวไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง แล้วนำไปวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ต่อไป

4.3.2 การสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง

นำเมล็ดขนุนที่ได้จากการบดขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร ที่ได้หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ปริมาณ 4 กิโลกรัม มาทำการสกัดโดยจะใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดาด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 8 โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้สัดส่วนเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กระบวนการสกัดจะเกิดจากการปั๊มสารละลายจากทางด้านล่างถังผ่านสเปรย์ทางด้านบน กระบวนการจะเกิดอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ตัวทำละลายสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ทั่วถึง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างสารสกัด 220 มิลลิลิตร กรองกากของเมล็ดขนุนที่อาจตกค้างอยู่ในสารสกัดออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นจึงนำไปทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน แล้วนำสารสกัดซึ่งจะอยู่ในรูปของเหลวไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง แล้วนำไปวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ต่อไป

4.3.2.1 กลไกการสกัดของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนแบบแบทช์ คือ เติมตัวทำละลายลงในถังสกัดซึ่งภายในมีวัตถุดิบที่ต้องการสกัด จากนั้นปรับอุณหภูมิของถังให้ความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิการสกัด ตัวทำละลายจะถ่ายโอนไปยังผิวของแข็งแพร่เข้าไปภายในของแข็งและละลายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ ออกจากของแข็ง จากนั้นนำสารละลายที่ได้นี้ผ่านเข้าไปยังถังระเหย เพื่อระเหยเอาตัวทำละลายออก จะได้สารสกัดตั้งต้น (Crude Extract) ส่วนสารละลายสถานะไอจะถูกส่งผ่านเครื่องควบแน่นเพื่อทำให้เป็นของเหลวและกักเก็บไว้ในคอลัมน์เพื่อหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่

4.3.2.2 ส่วนประกอบของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนแบบแบทช์ ประกอบด้วย ถังสกัด ถังระเหย เครื่องควบแน่น ถังให้ความร้อน และคอลัมน์กักเก็บตัวทำละลาย แสดงดังภาพประกอบที่ 9 ถึง 18



ภาพประกอบที่ 9 ภาพวาด 3 มิติ ของชุดสกัดแบบแบทช์

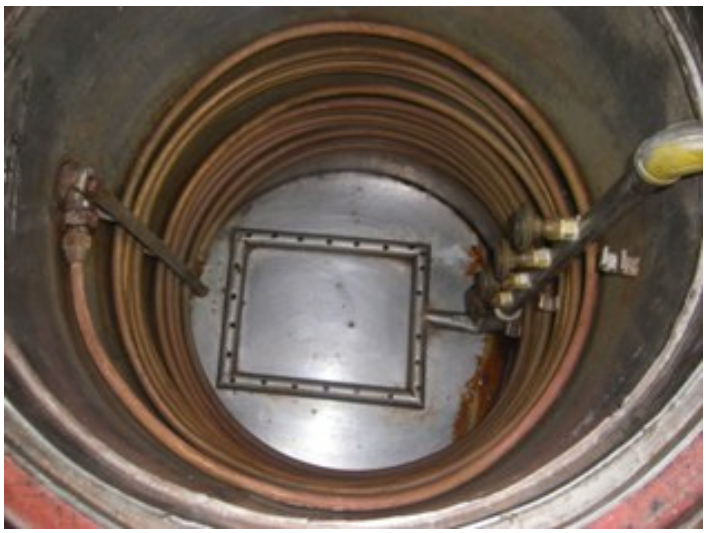
(1) ถังสกัด

ถังสกัดเป็นถังทรงกระบอก ฝาถังเป็นแบบแบน (ภาพประกอบที่ 10) มีสองชั้น ทำจากสแตนเลส ชั้นนอกมีขดลวดทองแดงสำหรับบรรจุสารให้ความร้อน ชั้นในมีถังตะแกรงและชั้นตะแกรงสำหรับบรรจุวัตถุดิบ (ภาพประกอบที่ 11) ด้านข้างของถังจะติดตั้งสเปรย์ที่ต่อกับท่อด้านบนซึ่งสารละลายจะถูกปั๊มจากทางด้านล่างของถัง เพื่อให้สารละลายเกิดการไหลเวียน (ภาพประกอบที่ 12 และ 13)

ภาพประกอบที่ 10 แสดงถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 11 (ก) และ (ข) ตะแกรงด้านนอกและชั้นตะแกรงด้านในสำหรับบรรจุวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์



ภาพประกอบที่ 12 ด้านในของถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

ภาพประกอบที่ 13 ลักษณะการบรรจุวัตถุดิบลงด้านในของถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

(2) ถังระเหย

ถังระเหยขนาดใหญ่เป็นถังทรงกระบอก ฝาถังเป็นแบบโค้ง ภายในมี Heater สำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งลักษณะภายนอกของถังระเหยขนาดใหญ่จะแสดงดังภาพประกอบที่ 14 ส่วนถังระเหยขนาดเล็กเป็นถังทรงกระบอก ส่วนฝาถังเป็นแบบโค้งเช่นกัน และมี Heater สำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิติดตั้งอยู่ด้านนอกตัวถัง ซึ่งลักษณะภายนอกของถังระเหยขนาดเล็กจะแสดงดังภาพประกอบที่ 15

ภาพประกอบที่ 14 ถังระเหยขนาดใหญ่ที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

ภาพประกอบที่ 15 ถังระเหยขนาดเล็กที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

(3) เครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่นเป็นถังทรงกระบอก ฝาถังเป็นแบบแบน ภายในถังมีขดลวดทองแดงสำหรับบรรจุน้ำหล่อเย็น สารละลายสถานะไอจะไหลอยู่ในขดลวดทองแดง ส่วนน้ำหล่อเย็นไหลอยู่ภายในถัง กระแสทั้งสองจะไหลสวนทางกันเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยลักษณะภายนอกของเครื่องควบแน่นแสดงในภาพประกอบที่ 16

ภาพประกอบที่ 16 เครื่องควบแน่นที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

(4) คอลัมน์กักเก็บตัวทำละลาย

คอลัมน์กักเก็บตัวทำละลาย เป็นถังพลาสติกใสทรงกระบอก สำหรับกักเก็บตัวทำละลายที่ได้จากการควบแน่น เพื่อนำไปใช้ในการสกัดในครั้งต่อไป โดยลักษณะของคอลัมน์แสดงในภาพประกอบที่ 17

ภาพประกอบที่ 17 คอลัมน์ดักตัวทำละลายที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

(5) ถังให้ความร้อน

ถังให้ความร้อนเป็นถังทรงกระบอก ฝาถังเป็นแบบแบน สำหรับต้มน้ำมันหรือน้ำ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในถังสกัด ภายในถังมี Heater สำหรับให้ความร้อน โดยสารให้ความร้อนจะถูกสูบผ่านปั๊มเพื่อให้ไหลวนในขดลวดทองแดงภายในถังสกัด โดยลักษณะภายนอกของถังให้ความร้อนแสดงในภาพประกอบที่ 18

ภาพประกอบที่ 18 ถังให้ความร้อนที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

ภาพประกอบที่ 19 ชุดสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนแบบแบทช์

4.4 การหาผลได้ของการสกัด

4.4.1 การหาผลได้ของการสกัดของสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยชุดทดลองแบบแบทช์ขนาดเล็ก

ค่าผลได้ของสารสกัด (% Yield) คำนวณโดยนำน้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้ (น้ำหนักสารสกัดที่ได้หลังจาก Freezedry) หารด้วยน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้ง (น้ำหนักเนื้อแห้งของเมล็ดขนุนซึ่งปราศจากน้ำ) จากนั้นคูณด้วย 100

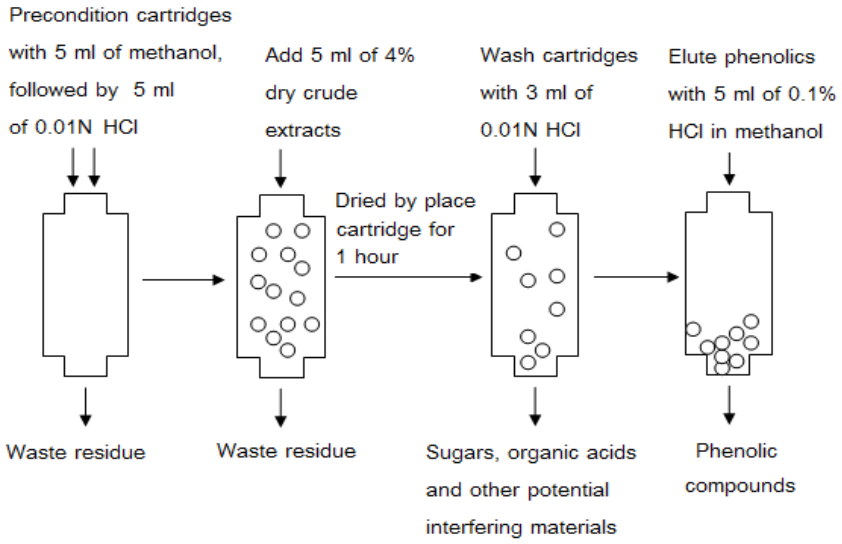
4.4.2 การหาผลได้ของการสกัดของสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยชุดทดลองแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง

ค่าผลได้ของสารสกัด (% Yield) คำนวณโดยเก็บตัวอย่างสารสกัดดิบที่ได้มา 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทำการระเหยน้ำออกด้วยเครื่อง Freezedry ค่าน้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้ (น้ำหนักสารสกัดที่ได้หลังจาก Freezedry) ถูกหารด้วยปริมาณสารสกัดก่อน Freezedry (20 มิลลิลิตร) จากนั้นคูณด้วยปริมาณสารสกัดทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง จะได้น้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทั้งหมด จากนั้นหารน้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้จากกระบวนการสกัดทั้งหมดด้วยน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งทั้งหมด (น้ำหนักเนื้อแห้งของเมล็ดขนุนซึ่งปราศจากน้ำ) จากนั้นคูณด้วย 100

4.5 การแยกสารฟีนอลิกส์

กระบวนการแยกและทำให้ได้สารจากวัตถุดิบจากธรรมชาติบริสุทธิ์เป็นขั้นตอนที่จำเป็นในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมปริมาณและคุณภาพของอาหาร (Chirinos et al., 2007) โดยวิธีที่ใช้แยกสารประกอบฟีนอลิกส์จากสารสกัดดิบคือ Solid-Phase Extraction (SPE) (Waterhouse, 2002) ชนิด SPE ที่ใช้คือ C18 Sep-Pak Cartridges (C18 Sep-Pak Cartridges: Verti-Pak™ Cartridge 300 มิลลิกรัม, Vertical Chromatography Associates Co., Ltd, Jatujak, Bangkok, Thailand) เพื่อแยกน้ำตาล กรดอินทรีย์และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากสารสกัดดิบ ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินการจะแสดงในภาพประกอบที่ 20 โดยขั้นตอนแรกคือการเตรียมเฟสของแข็ง (Conditioning) ด้วยเมทานอล 5 มิลลิลิตร และ 0.01 N ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในน้ำ 5 มิลลลิลิตร จากนั้นผ่าน 4 เปอร์เซ็นต์ ของสารสกัดดิบในน้ำ (Loading) และตั้ง Cartridge ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ Sorbent ภายใน Cartridge แห้งตัว จากนั้นผ่าน 0.01 N ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในน้ำ 3 มิลลิลิตร เพื่อล้างสิ่งเจือปน ซึ่งได้แก่ น้ำตาล กรดอินทรีย์ และสารประกอบอื่นๆ ออกจากสารสกัด (Washing) และขั้นตอนสุดท้ายคือชะ

สารประกอบฟีนอลิกส์ออก หรือ Eluting ด้วย 0.1 เปอร์เซ็นต์ ของสารสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ในเมทานอล 5 มิลลิลิตร



ภาพประกอบที่ 20 กระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน (น้ำตาล กรดอินทรีย์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ) ออกจากสารสกัดดิบโดยใช้ C18 Sep-Pak Cartridges เพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์ (Kim et al., 2002)

5. วิธีการวิเคราะห์

5.1 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugars)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugars) ซึ่งได้แก่ โมโนแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ และโพลีแซคคาไรด์ ตามวิธี Modified Phenol Sulfuric Method (Dubois et al., 1956) โดยเติมสารสกัดความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร 29 ไมโครลิตร ใส่ใน Microplate 96 หลุม เติมสารละลาย 5 เปอร์เซ็นต์ ฟีนอล ปริมาตร 29 ไมโครลิตร เขย่า Microplate เบาๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที เติม Conc. Sulfuric Acid ปริมาตร 143 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่าเบาๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที จากนั้นปิด Microplate ด้วยฟิล์มใสและปิดทับด้วยถุงซิปล็อค นำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จาก นั้นทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง และนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของ

สารสกัด จากนั้นแปลงหน่วยให้เป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง โดยคูณกับค่าเปอร์เซ็นต์ Yield ซึ่งคำนวณโดยนำน้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้หารกับน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งจากนั้นคูณ 100 (ทำให้อยู่ในรูปน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งโดยนำปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัดคูณกับค่าความชื้นและลบออกจากปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด)

5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugars)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugars) ซึ่งได้แก่น้ำตาลในกลุ่มโมโนแซคคาไรด์และไดแซคคาไรด์ตามวิธี Modified Dinitrosalicylic Acid Method (Miller, 1959) โดยเติมสารสกัดความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ใน Microplate 96 หลุม เติมสารละลาย Dinitrosalicylic Acid ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่า Microplate เบาๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที จาก นั้นปิด Microplate ด้วยฟิล์มใสและปิดทับด้วยถุงซิปล็อค นำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องและนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างสารสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง

5.3 การหาปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (Non-Reducing Sugars)

คำนวณหาปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (Non-Reducing Sugars) ซึ่งได้แก่น้ำตาลในกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์และโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นกลุ่มของพรีไบโอติกส์ โดยนำปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหักลบด้วยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ดังสมการที่ 1

$$Non-\text{Re}ducing\ Sugars = Total\ Sugars - \text{Re}ducing\ Sugars \quad (1)$$

5.4 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด (Total Phenolic Compounds)

นำสารสกัดที่ได้ ที่สภาวะต่างๆ ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (Soong et al., 2004) โดยเติมสารสกัดความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน ลงใน 96 Microplate จำนวน 2 ไมโครลิตร เติม น้ำกลั่น 158 ไมโครลิตร จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu Reagent 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วปิดด้วยกระดาษฟรอยล์และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 30 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วปิดด้วยกระดาษฟรอยล์และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Microplate Reader

(Microplate Reader: Biotex Power Wave XS) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าการดูด กลืนแสงที่ได้ไปวัดหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงในหน่วย GAE (Gallic Acid Equivalents) มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด จากนั้นแปลงหน่วยให้เป็นมิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง โดยคูณกับค่าเปอร์เซ็นต์ Yield ซึ่งคำนวณโดยนำน้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้หารกับน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งจาก นั้นคูณ 100 (ทำให้อยู่ในรูปน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งโดยนำปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัดคูณกับค่าความชื้นและลบออกจากปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด)

5.5 การใช้สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ มาทำการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Science) รุ่น SPSS 15.0 for Windows Evaluation Version ในการวิเคราะห์ผลด้วย ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan

5.6 การวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

สารสกัดดิบก่อนและหลังการผ่าน C18 Sep-Pak Cartridges ถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ 3 ชนิดได้แก่ กรดแกลลิก (Gallic Acid) กรดพีคูมาริก (p-Coumaric Acid) และกรดเฟอรูลิก (Ferulic Acid) ด้วยเครื่อง Agilent 1100 Series HPLC (Vichapong และคณะ, 2010) ใช้เทคนิค Reverse Phase High Performance Liquid Chromatography โดยใช้ Zorbax Eclipse XDB C8 Column (4.6 x 250 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 5 ไมครอน) และ Variable Wavelength Detector ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร ใช้ Mobile Phase คือ อะซีโทไนไตรท์ : 1 เปอร์เซ็นของกรดอะซีติก อัตราส่วน 55 : 45 อัตราเร็วที่ใช้คือ 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้ตัวอย่างสารสกัดแห้งจากเมล็ดขนุนก่อนและหลังจากการทำให้บริสุทธิ์ด้วย C18 Sep-Pak Cartridges 0.6 และ 0.4 กรัม ตามลำดับ ผสมเมทานอล 3 มิลลิลิตร สารมาตรฐานแต่ละชนิดเตรียมที่ความเข้มข้น 10, 20, 50, 100 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ฉีดตัวอย่างเข้าเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาตร 20 ไมโครลิตร

5.7 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC)

เอทานอลที่ได้จากการระเหยด้วยถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง ถูกนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) รุ่น 6890 (มาโนช อักษรกูล, 2550) โดยใช้ HP-FFAP Polyethylene Glycol TPA Column (25 เมตร x 0.32 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 0.5 ไมครอน) และใช้ Mobile Phase คือ อะซีโตน อัตราเร็วของก๊าซที่ใช้คือ ก๊าซเชื้อเพลิง (Fuel Gas): H_2 เท่ากับ 30.0 มิลลิลิตรต่อนาที ก๊าซสนับสนุน (Makeup Gas): N_2 เท่ากับ 25.0 มิลลิลิตรต่อนาที อ๊อกซิแดนท์ (Oxidant): Air เท่ากับ 300.0 มิลลิลิตรต่อนาทีและก๊าซตัวพา (Mobile Gas): He เท่ากับ 53.2 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิเครื่องวัด 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหัวฉีด 200 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิตู้อบ 180 องศาเซลเซียส ที่ความดันภายในระบบ 4.76 psi Split Ratio: 50 Split Flow: 49.6 มิลลิลิตรต่อนาที และ Total Flow: 53.2 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ตัวอย่างสารละลายเอทานอลที่ได้จากการระเหยด้วยถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง ครั้งที่ 1 และ 2 มาผสมกับสารละลายอะซิโตนปริมาณอย่างละ 200 ไมโครลิตร ผสมในขวด Vial และฉีดตัวอย่างเข้าเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณ 0.5 ไมโครลิตร จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของเอทานอลต่อพื้นที่ใต้กราฟของอะซิโตนและนำค่าที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ได้จากการเตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนัก 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100

5.8 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การตัดสินใจลงทุนกิจการใดๆ นอกจากคำนึงถึงความชำนาญและถนัดในธุรกิจนั้นแล้ว สิ่งสำคัญที่สุดของการตัดสินใจว่า ควรลงทุนมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับผลตอบแทนที่ได้รับต้องคุ้มค่ากับการลงทุนหรือผลตอบแทนเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งการคำนวณค่าใช้จ่ายในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน จะมีเงินลงทุนเริ่มต้น และส่วนของค่าใช้จ่าย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ (อาชัย พิทยภาคย์ และคณะ, 2546)

ค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วย

ก. ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Cost) คือ ค่าเสื่อมของอุปกรณ์ และเครื่องจักรตามอายุการใช้งาน ใช้วิธีคำนวณแบบเส้นตรง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$D = \frac{P - S}{L} \qquad (2)$$

เมื่อ D = ค่าเสื่อมราคา, (บาท/ปี) P = มูลค่าแรกซื้อ, บาท

S = มูลค่าซาก, บาท L = อายุการใช้งาน, ปี

ข. อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2553) ซึ่งถูกนำมาใช้ในการกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ (The Minimum Attractive Rate of Return, MARR) โดยควรจะมีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยออมทรัพย์ซึ่งมีค่าต่ำอยู่แล้ว ทั้งนี้มีเหตุผลว่า การไม่ทำกิจการอะไร เพียงแต่เอาเงินไปฝากธนาคาร ผลตอบแทนจากอัตราดอกเบี้ยเงินฝากที่ธนาคารกำหนดได้รับแล้ว หากได้รับอัตราตอบแทนต่ำกว่านี้ การลงทุนย่อมไม่คุ้มค่า ฉะนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจคือ 1 เปอร์เซ็นต์

ค. ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

ค่าใช้จ่ายแปรผัน ประกอบด้วย

ก. ค่าบำรุงรักษา (ค่า Mechanical Seal ที่ใช้ประกอบกับปั๊มสุญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น) 5,000 บาท/ปี

ข. ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$Cost = WxC \tag{3}$$

เมื่อ C = ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)

W = กำลังไฟฟ้า (kW)

ค. ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน 20 บาทต่อกิโลกรัม

ง. ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน

ในส่วนของรายรับที่ได้จากการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ คือ สารสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ดิบ และข้อมูลดังกล่าวข้างต้น สามารถคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) ซึ่งคำนวณจากผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ แสดงดังสมการที่ 4 (บุญเรือง มานะสุรการ, 2542)

มูลค่าปัจจุบัน (NPV) = มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ – มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย (4)

เกณฑ์การตัดสินใจ

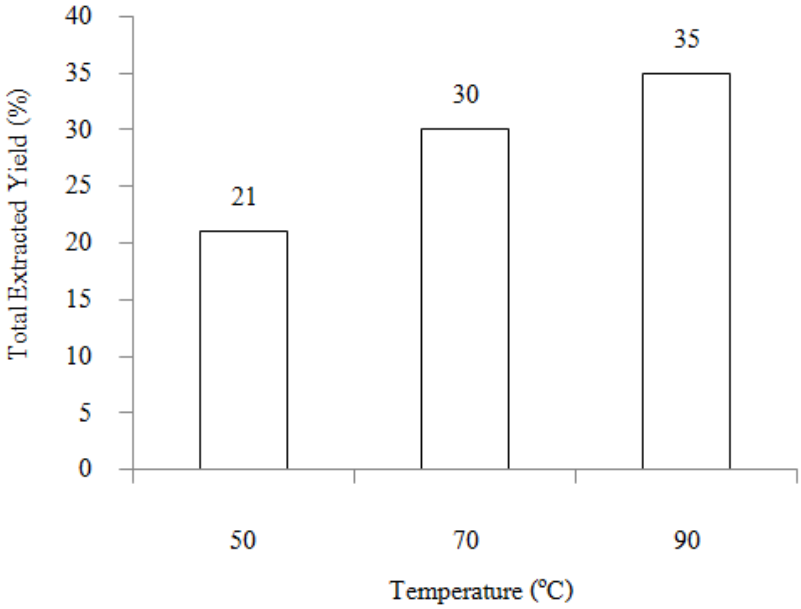
- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น บวก ก็น่าสนใจที่จะลงทุน
- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น ลบ ก็ไม่ควรลงทุน

บทที่ 3

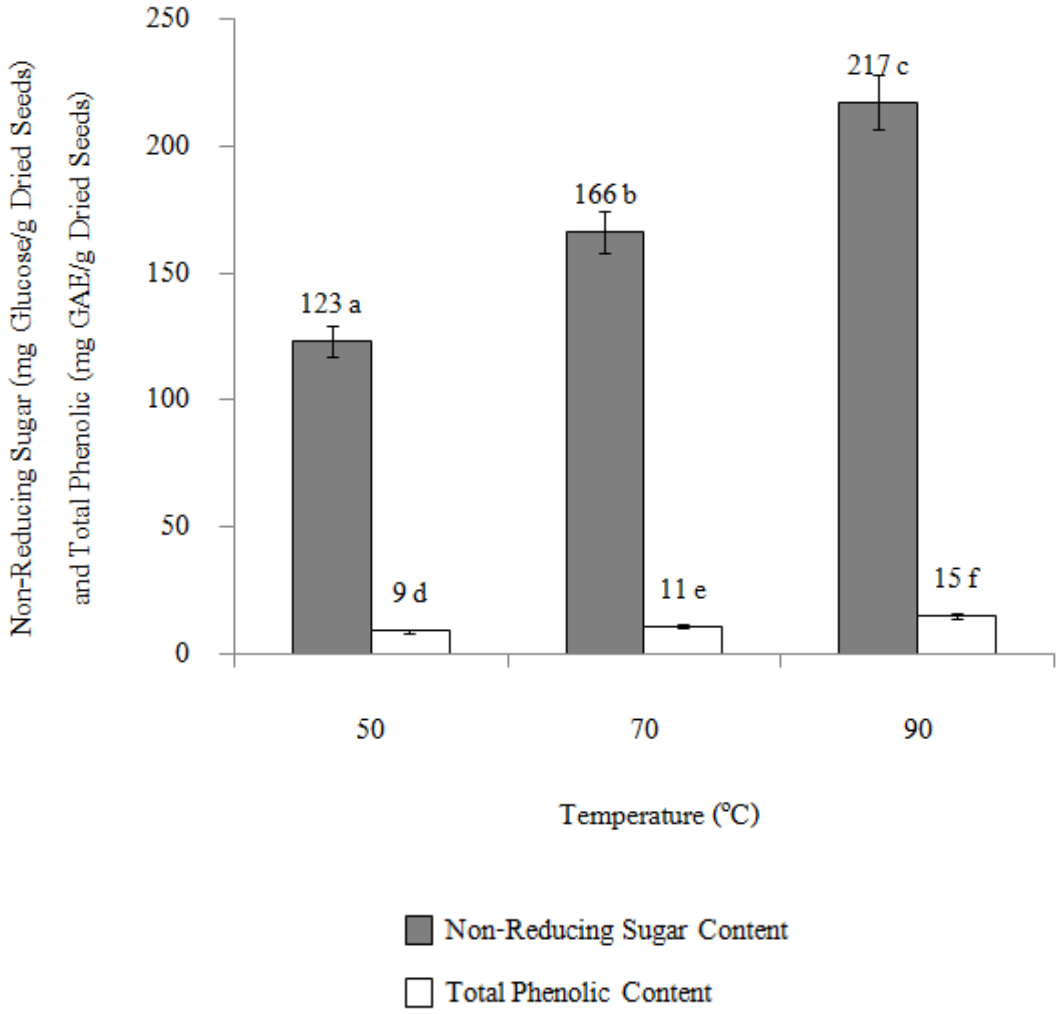
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลของอุณหภูมิในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก

ทำการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร และเวลาในการสกัด 60 นาที จากภาพประกอบที่ 21 พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นผลได้ของสารสกัดจะเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อนำสารดังกล่าวไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด ก็พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์จะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน (ภาพประกอบที่ 22 และตารางที่ 6) โดยมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส คือ 164 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้งและ16 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ โดยในการทดลองนี้มีข้อจำกัดในการศึกษาอุณหภูมิในการสกัด ซึ่งจะต้องไม่เกิน 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากศึกษาโดยใช้ขวดทนแรงดัน (Glass Media Bottle) ซึ่งไม่สามารถทนแรงดันอันเกิดจากตัวทำละลายเอทานอลที่อุณหภูมิสูงเกิน 90 องศาเซลเซียส ได้ นอกจากนี้ในการสกัดก็ไม่ควรใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปเพราะสารประกอบฟีนอลิกส์บางส่วนอาจถูกออกซิไดซ์ด้วยความร้อน (Maisuthisakul, 2002) และในเมล็ดขนุนมีโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำร้อน (Heat-Denatured Soluble Protein) ซึ่งเมื่อโปรตีนนี้ละลายออกมาจะล้อมรอบวัตถุดิบดักไม่ให้สารอื่น เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ละลายออกมา (Kim et al., 2003) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ คือ 90 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 21 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร



ภาพประกอบที่ 22 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิในการสกัด 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

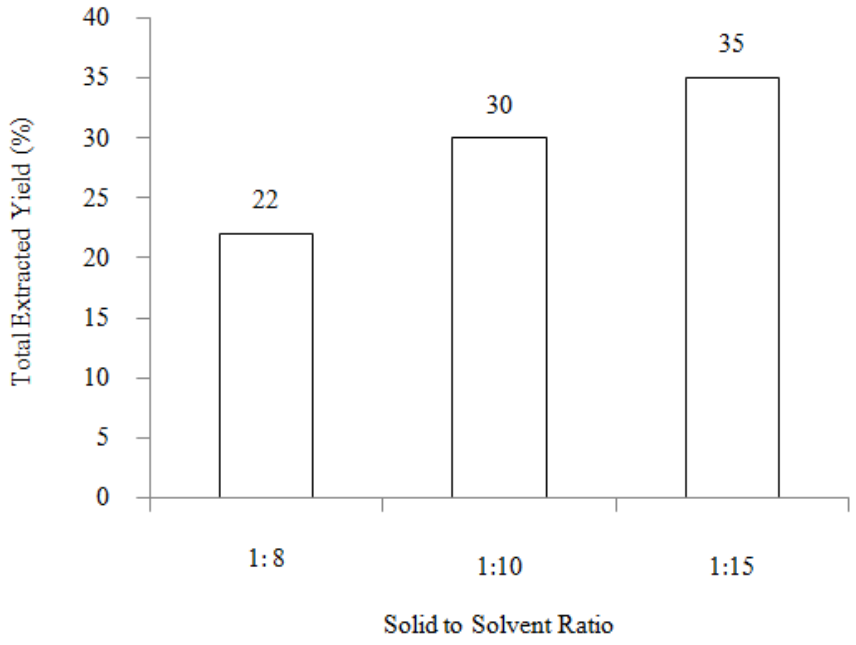
อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคส/กรัมเมล็ดขนุนแห้ง)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมเมล็ดขนุนแห้ง)
50	123.33 ± 1.73^{a}	9.00 ± 1.14^{d}
70	166.33 ± 4.70^{b}	11.00 ± 0.00^{e}
90	217.33 ± 2.84^{c}	14.67 ± 0.65^{f}

หมายเหตุ ข้อมูลตามแนวนอนที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

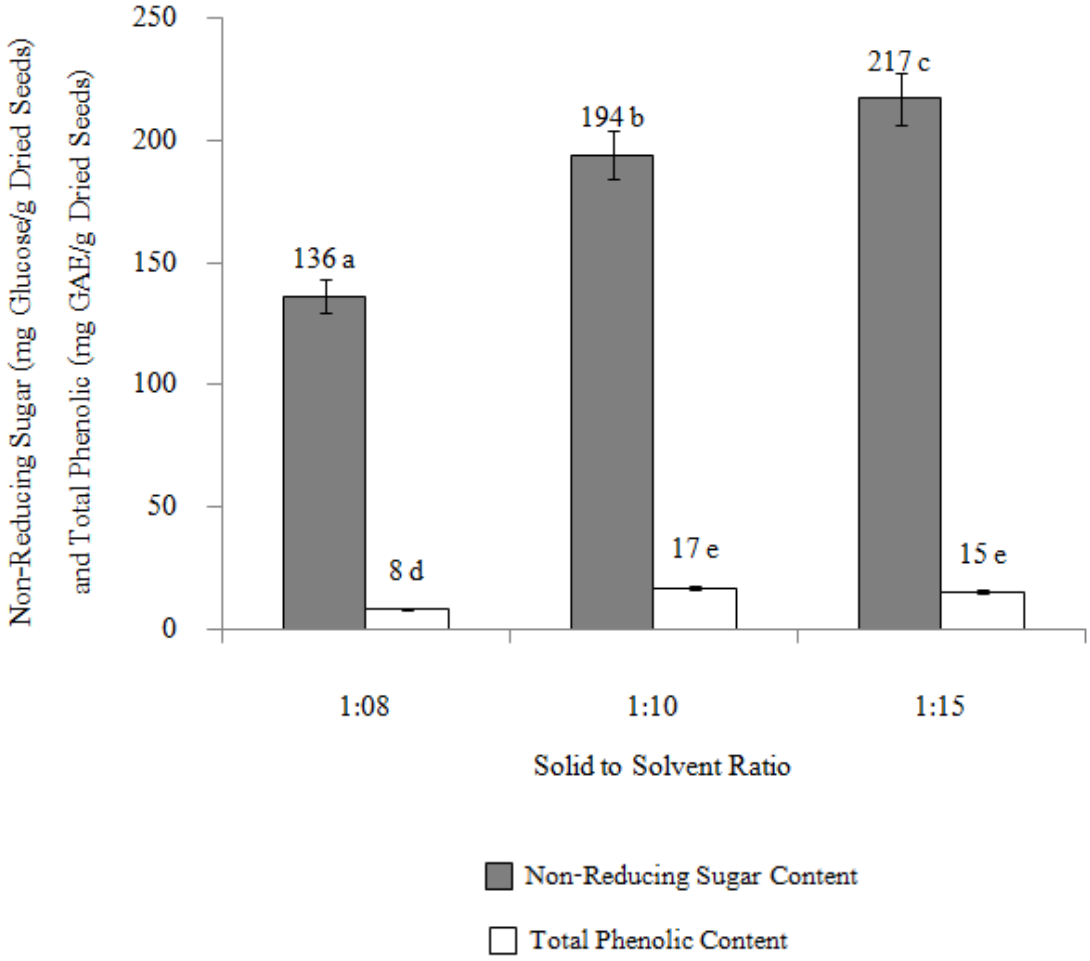
2. ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก

ทำการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 60 นาที จากภาพประกอบที่ 23 พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้นผลได้ของสารสกัดจะเพิ่มขึ้น จากภาพประกอบที่ 24 และตารางที่ 7 พบว่าปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น อัตราส่วน 1:15 ได้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์มากที่สุด แต่พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:10 จะได้ปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมด 17 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง สูงกว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 ซึ่งจะได้ปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมด 15 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับงานของสุพจน์ นวลละออง (2552) ที่ได้ศึกษาการสกัดน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จากเมล็ดขนุน ที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ 1:2, 1:4, 1:6 และ 1:8 ซึ่งพบว่าที่อัตราส่วน 1:8 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใช้ตัวทำละลายมากที่สุดก็ให้ค่าผลได้สูงสุด นอกจากนี้ Kim et al. (2003) ได้อธิบายไว้ว่า การใช้ตัวทำละลายที่มากเกินไปจะทำให้เกิดภาวะเจือจางที่จะทำให้เกิดการสกัดได้น้อยลง

ในขณะที่ถ้าใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการดูดซึมได้ไม่เพียงพอทำให้เกิดการสกัดได้น้อยเช่นเดียวกัน (Kim et al., 2003) ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วน 1:15 ที่ให้ผลได้ทั้งพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์สูงและยังเป็นปริมาณที่ไม่ทำให้เกิดภาวะเจือจาง



ภาพประกอบที่ 23 ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 24 ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

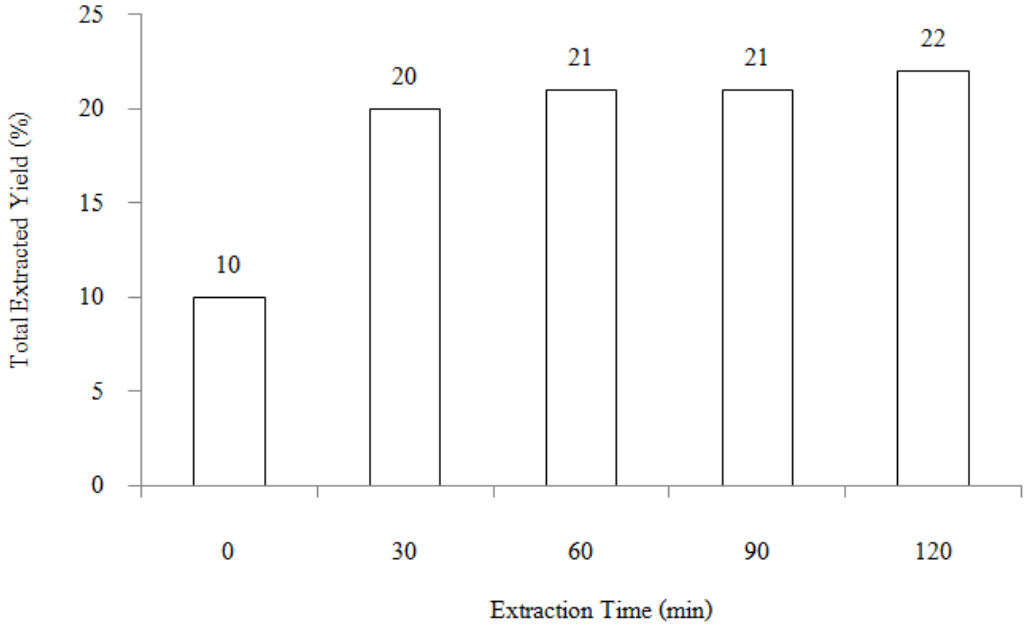
ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

อัตราส่วนเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคส/กรัมเมล็ดขนุนแห้ง)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมเมล็ดขนุนแห้ง)
1:8	136.00 ± 3.06^{a}	8.00 ± 0.00^{d}
1:10	194.33 ± 6.92^{b}	17.00 ± 3.00^{e}
1:15	217.33 ± 2.84^{c}	14.67 ± 0.65^{e}

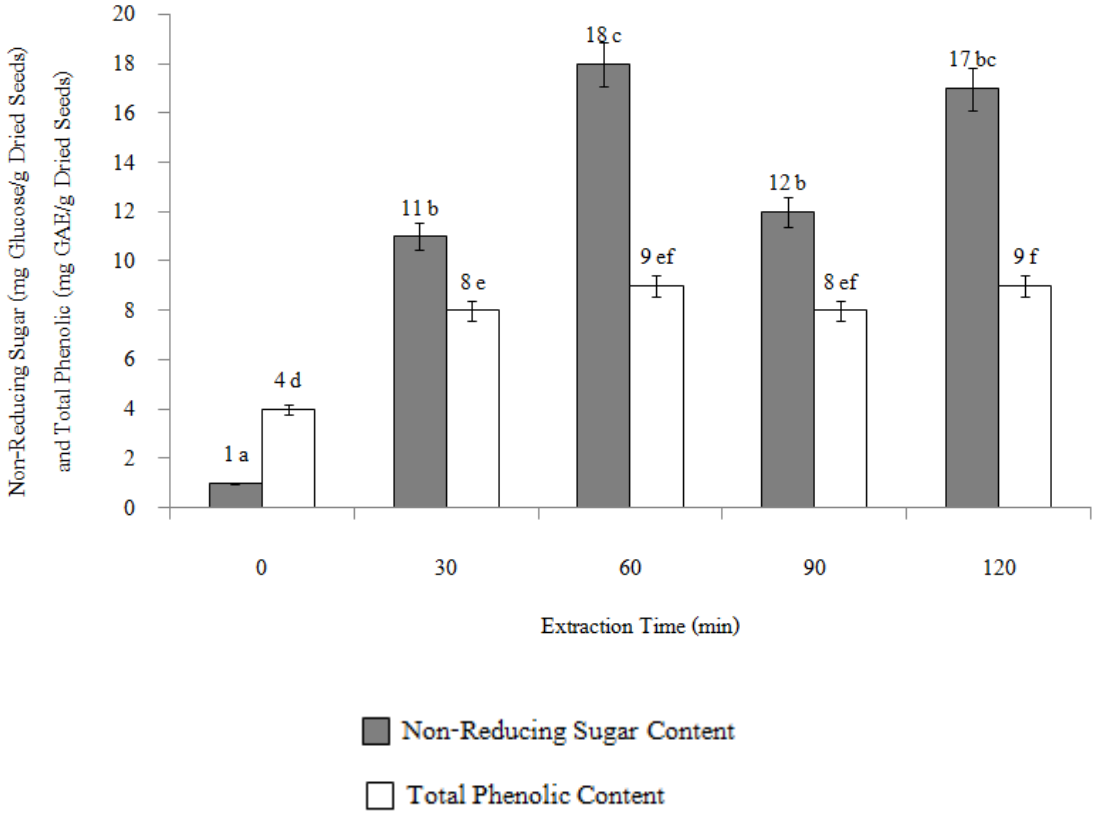
หมายเหตุ ข้อมูลตามแนวนอนที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลของเวลาในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก

ทำการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร จากภาพประกอบที่ 25 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น คือ 30, 60, 90 และ 120 นาที ผลได้ของสารสกัดจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย และเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จะมีปริมาณมากที่สุดที่เวลาในการสกัด 60 นาที และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดมีปริมาณมากที่สุดที่เวลาในการสกัด 120 นาที แต่เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าที่เวลาในการสกัด 30, 60, 90 และ 120 นาที ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพประกอบที่ 26 และตารางที่ 8) ดังนั้นเวลา 60 นาทีจึงเป็นเวลาที่เหมาะสม



ภาพประกอบที่ 25 ผลของเวลาในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 26 ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

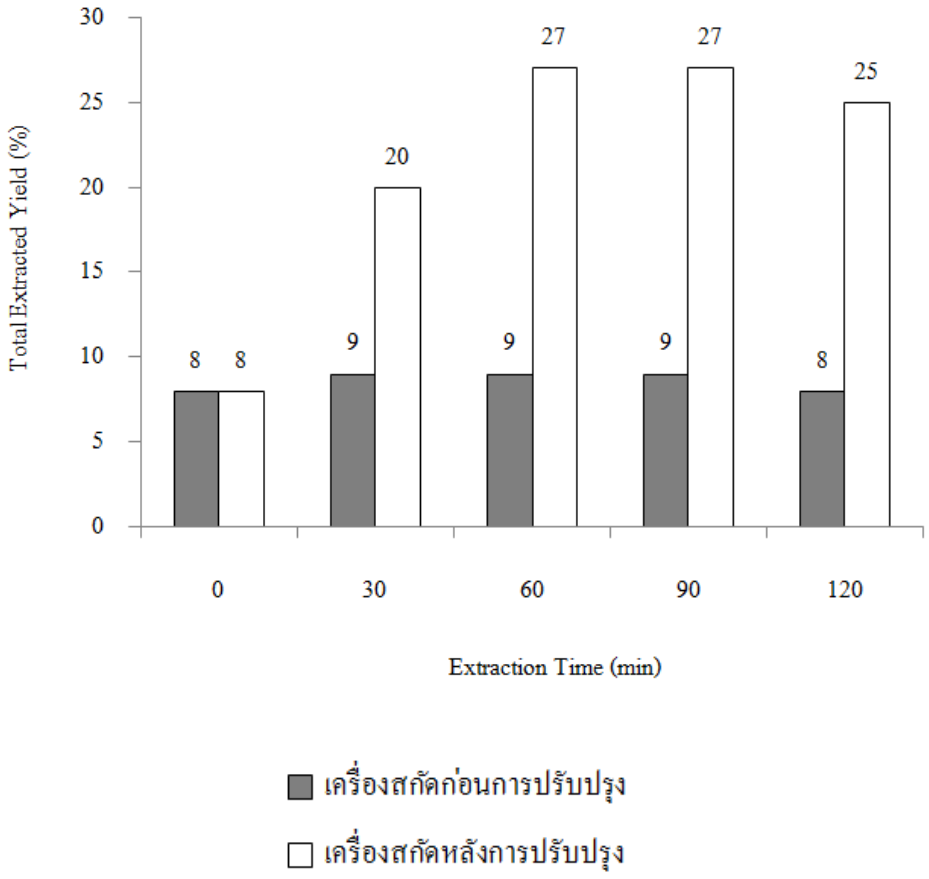
ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่เวลาในการสกัด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เวลาในการสกัด (นาที)	ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคส/กรัมเมล็ดขนุนแห้ง)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมเมล็ดขนุนแห้ง)
0	1.33 ± 0.65^{a}	4.00 ± 0.00^{d}
30	11.33 ± 0.65^{b}	7.67 ± 1.31^{e}
60	18.00 ± 4.08^{c}	8.67 ± 0.65^{ef}
90	11.67 ± 3.98^{b}	8.33 ± 0.65^{ef}
120	16.67 ± 4.57^{bc}	9.00 ± 0.00^{f}

หมายเหตุ ข้อมูลตามแนวนอนที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ผลของผลได้ของการสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองก่อนและหลังการปรับปรุง

ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดขนุนสดในการสกัด ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิในการสกัด 60 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8 น้ำหนักต่อปริมาตร จากภาพประกอบที่ 27 พบว่าหลังจากทำการปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ซึ่งเดิมเป็นระบบปั๊มไหลเวียนสารละลายจากทางด้านล่างไหลผ่านท่อไปยังด้านบนของถังสกัด เป็นระบบปั๊มไหลเวียนสารละลายจากทางด้านล่างไหลผ่านท่อไปยังด้านบนของถังสกัดและผ่านสเปรย์เข้าสู่ถังทางด้านข้าง พบว่าหลังจากการสกัดด้วยเครื่องสกัดหลังจากปรับปรุงแล้วจะให้ค่าผลได้ของการสกัดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการปรับปรุงเครื่องสกัดส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ทั่วถึงมากขึ้น ผลได้ของการสกัดจึงเพิ่มสูงขึ้น

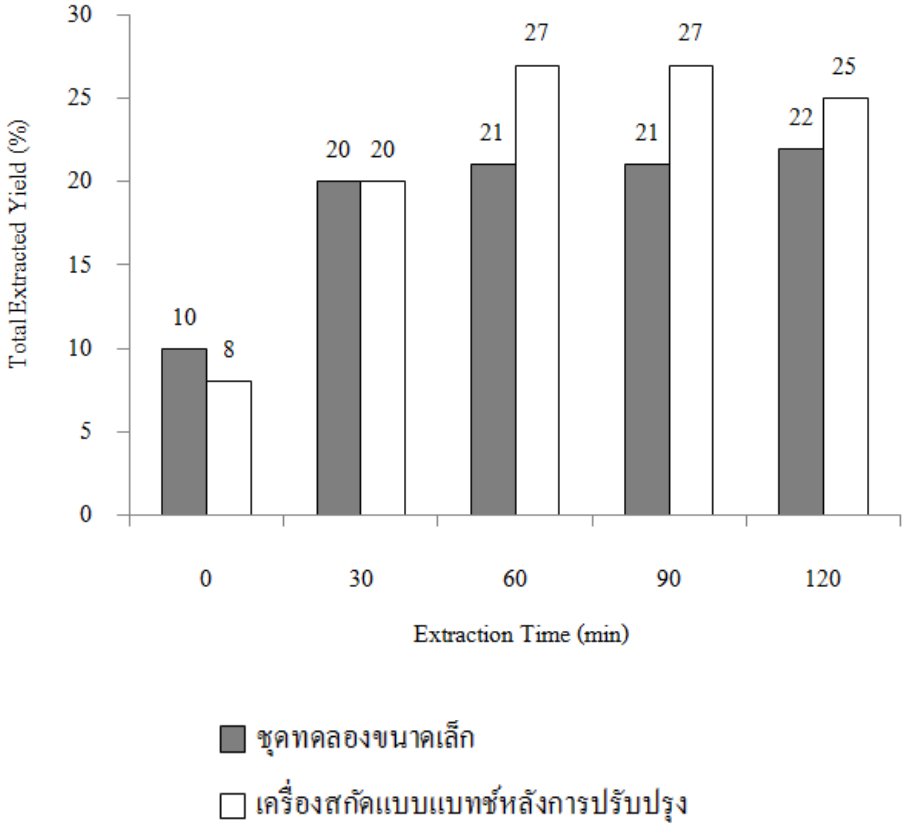


ภาพประกอบที่ 27 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ทำการสกัดเมล็ดขนุนสดโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

6. ผลของการสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดสกัดขนาดเล็กเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองหลังการปรับปรุง

ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง เป็นวัตถุดิบในการสกัด ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร จากภาพประกอบที่ 28 พบว่าหลังจากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์หลังจากปรับปรุงแล้วจะให้ค่าผลได้ของการสกัดมากกว่าการสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก เนื่องจากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์จะเป็นระบบปั๊มไหลเวียนสารละลายผ่านสเปรย์ทางด้านข้างถังสกัด จะส่งผล

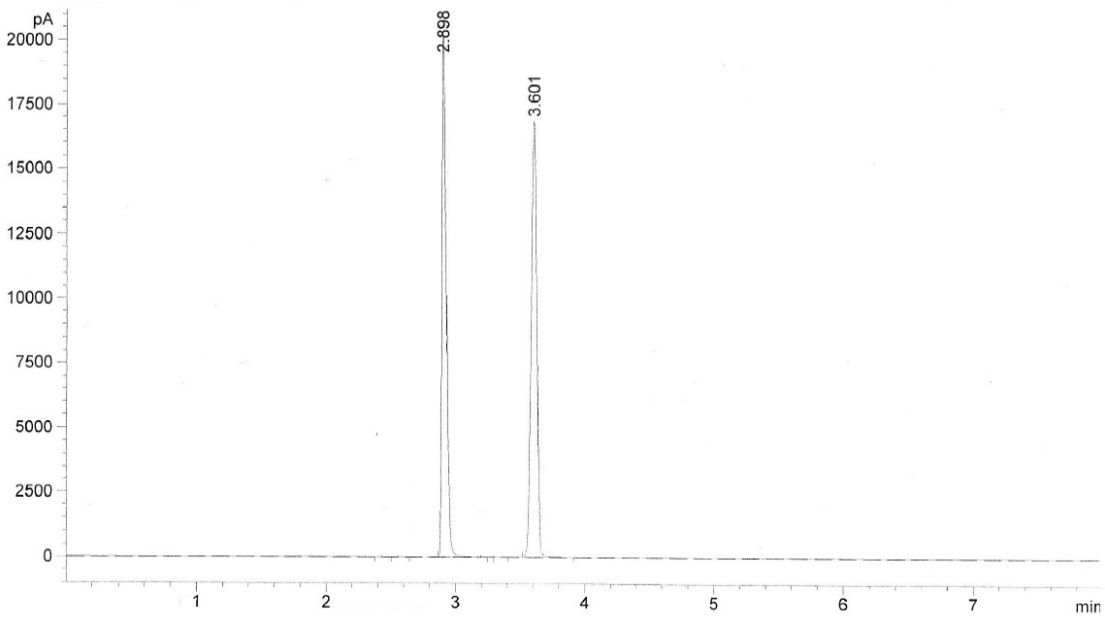
ให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ทั่วถึงมากกว่าการสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็กซึ่งใช้ระบบเขย่าสารละลายด้วยอ่างน้ำเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath Shaker) และจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดของสารสกัดที่ได้จากการด้วยด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ พบว่าให้ค่า 26 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง และ 16 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ



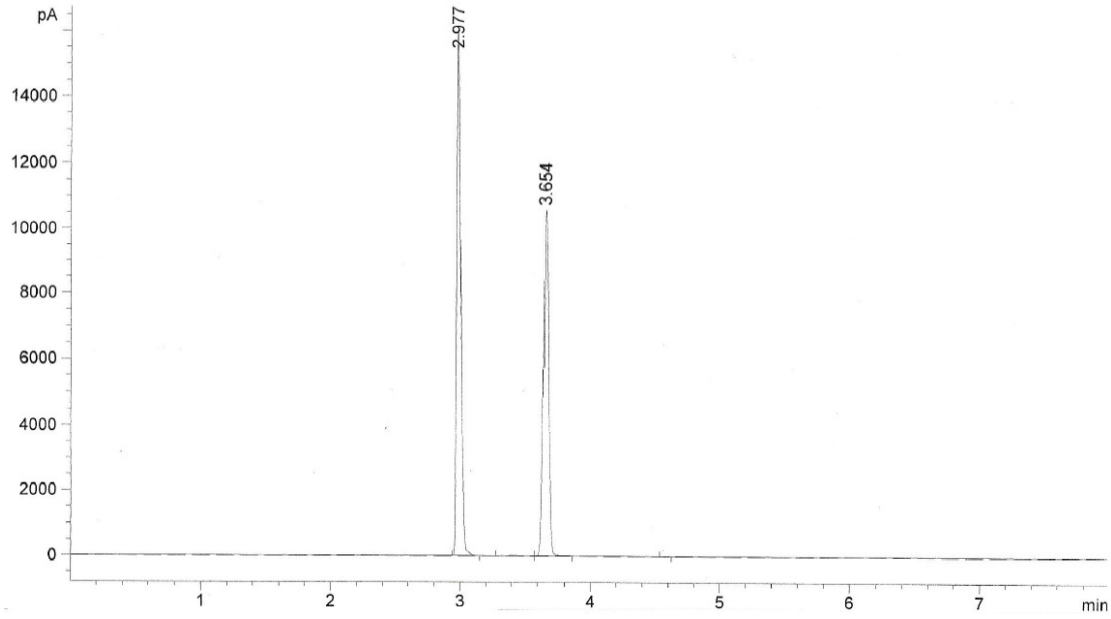
ภาพประกอบที่ 28 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็กและเครื่องสกัดแบบแบทช์หลังจากทำการปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว ทำการสกัดเมล็ดขนุนอบแห้ง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

7. ผลของการวิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์ด้วยวิธี GC

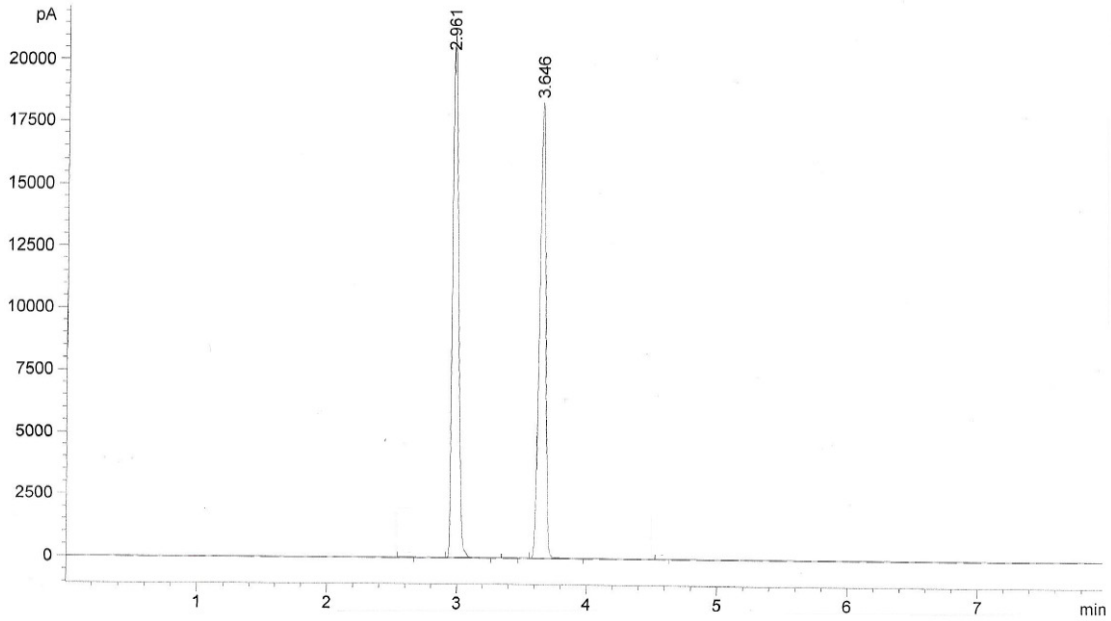
ระเหยเอทานอลออกจากสารสกัดที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส อัตราการระเหย 318 มิลลิลิตรต่อนาที วิเคราะห์ความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้ด้วย Gas Chromatography (GC) พบว่าเอทานอลที่ได้จากการระเหยครั้งที่ 1 มีความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการระเหยซ้ำพบว่าสารละลายเอทานอลมีความเข้มข้นมากขึ้นคือ 93 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์พบว่าสารละลายเอทานอลมีองค์ประกอบเช่นเดียวกับ เอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์ ในทางการค้า ดังแสดงในภาพประกอบที่ 29, 30 และ 31 ดังนั้นสามารถนำเอทานอลที่ได้จากการระเหยนี้ไปใช้สกัดในครั้งต่อไปได้



ภาพประกอบที่ 29 โครมาโทรแกรมของสารมาตรฐานสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์ พีคที่เวลา 3.601 นาที อะซีโตนเป็น Mobile Phase พีคที่เวลา 2.898 นาที



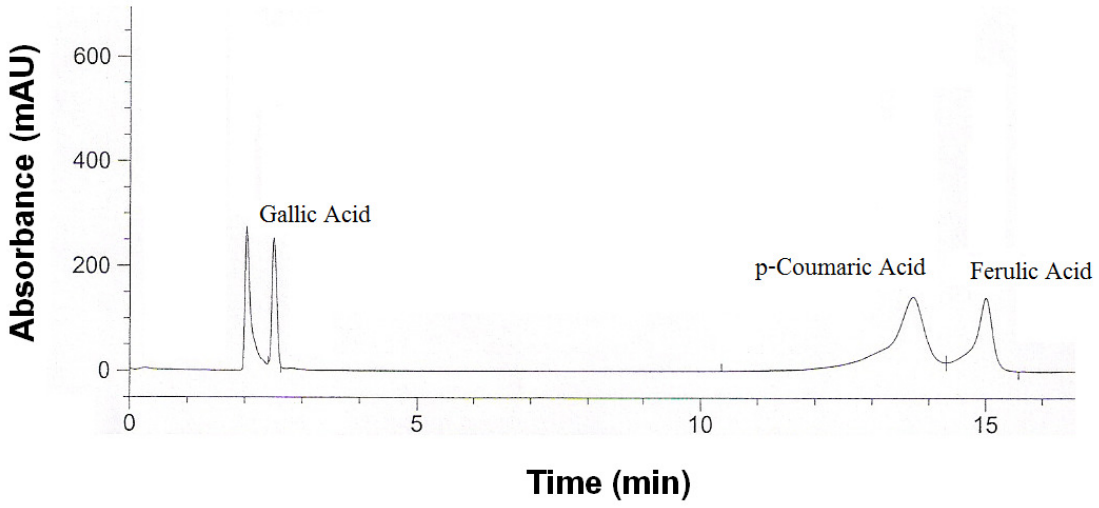
ภาพประกอบที่ 30 โครมาโทรแกรมของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการระเหยครั้งที่ 1 พีคที่เวลา 3.654 นาที อะซีโตนเป็น Mobile Phase พีคที่เวลา 2.977



ภาพประกอบที่ 31 โครมาโทรแกรมของสารละลายเอทานอลที่ได้จากการระเหยครั้งที่ 2 พีคที่เวลา 3.646 นาที อะซีโตนเป็น Mobile Phase พีคที่เวลา 2.961 นาที

8. ผลของการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ในตัวอย่างสารสกัดก่อนและหลังผ่านการทำให้ได้ฟีนอลิกส์บริสุทธิ์ด้วยวิธี HPLC

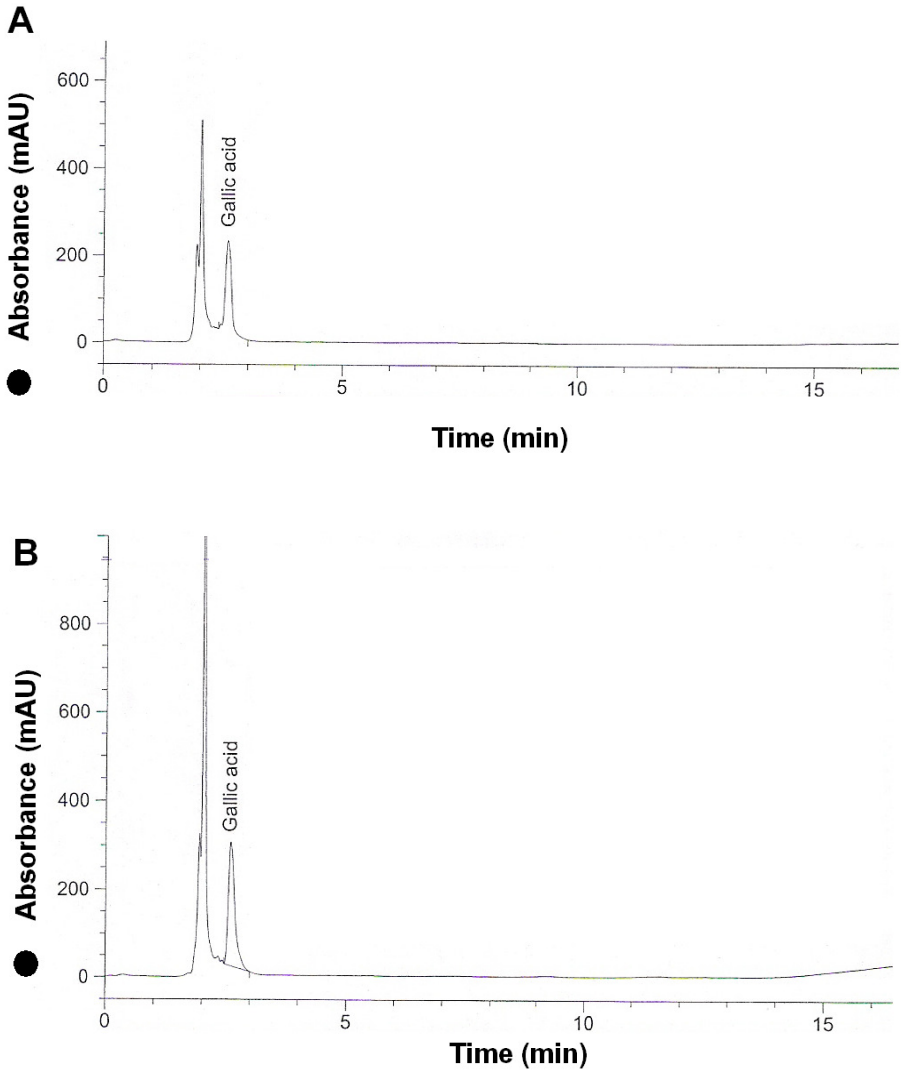
เมื่อนำสารสกัดจากเมล็ดขนุนมาวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกส์ ได้แก่ กรดแกลลิก กรดพีคูมาริกและกรดเฟอรูลิก ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ผลที่ได้แสดงในภาพประกอบที่ 32 และ 33 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ที่พบในสารสกัดแห้งจากเมล็ดขนุนคือกรดแกลลิกเพียงชนิดเดียว และจากตารางที่ 9 พบว่าสารสกัดหลังผ่าน C18 Sep-Pak Cartridges จะมีปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกส์ชนิดกรดแกลลิกสูงกว่าสารสกัดก่อนผ่าน C18 Sep-Pak Cartridges และเมื่อคำนวณปริมาณกรดแกลลิกในสารสกัดดิบให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักกรดแกลลิกต่อน้ำหนักวัตถุดิบเมล็ดขนุนอบ พบว่ามีปริมาณ 0.016 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักกรดแกลลิกต่อน้ำหนักวัตถุดิบเมล็ดขนุนอบ)



ภาพประกอบที่ 32 โครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ กรดแกลลิก กรดพีคูมาริก และกรดเฟอรูลิก ของสารมาตรฐาน ที่เวลา 2.50 13.72 และ15.01 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิกของสารสกัดเมล็ดขนุนก่อนและหลังผ่าน C18 Cartridge

ประเภทตัวอย่าง	ปริมาณกรดแกลลิก (มิลลิกรัม ต่อ ลิตร), (%RSD)
สารสกัดก่อนผ่าน C18 Cartridge	329. (3.32)
สารสกัดหลังผ่าน C18 Cartridge	520. (1.92)



ภาพประกอบที่ 33 (A) โครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ ของสารสกัดเมล็ดขนุนก่อนผ่าน C18 Cartridge และ (B) คือโครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ของสารสกัดเมล็ดขนุนหลังจากผ่าน C18 Cartridge

9. ผลของการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน ด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์เป็นสิ่งสำคัญเพื่อเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการเปรียบเทียบผลทางด้านเศรษฐศาสตร์กับความเหมาะสมในการใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์เพื่อใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน และนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งการศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการสกัดพรีไบโอติกส์

และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน จะทำการวิเคราะห์โดยกำหนดจุดทำงานของเครื่องสกัดให้ใช้ที่อัตราการป้อนวัตถุดิบสูงสุด โดยค่าใช้จ่ายและราคาที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัด และคุณสมบัติของวัตถุดิบเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด มีดังนี้

(1) ปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดดิบที่ได้จากการสกัด > 50 %

(2) ราคาต้นทุนเมล็ดขนุน 20 บาท/กิโลกรัม โดยกำหนดให้ปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด 4 กิโลกรัม/ครั้ง

(3) ราคาต้นทุนเอทานอล 95% 7,500 บาท/200 ลิตร (แต่เนื่องจากเอทานอลที่ได้จากกระบวนการสกัด เมื่อนำมาระเหยด้วยเครื่องระเหยจะได้เอทานอลความเข้มข้นประมาณ 54 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบเพื่อตรวจสอบความปนเปื้อนด้วยเครื่อง GC พบว่าสารละลายเอทานอลมีองค์ประกอบเช่นเดียวกับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.8 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำเอทานอลที่ระเหยได้ไปใช้สกัดในครั้งต่อไปได้) โดยกำหนดให้ปริมาณเอทานอล 95% ที่ใช้ในกระบวนการสกัด 31.58 ลิตร/ครั้ง (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง หน้า 107)

(4) ราคาสารสำคัญต่างๆ ที่อาจพบในสารสกัดดิบ

- ราคาพรีไบโอติกส์ชนิด Inulin (ลักษณะของเหลวข้น) ประมาณ 75 บาท/กิโลกรัม

- ราคาพรีไบโอติกส์ชนิด Galacto Oligosaccharides (ลักษณะของเหลวข้น) ประมาณ 150 บาท/กิโลกรัม

- ราคาพรีไบโอติกส์ชนิด Soybean Oligosaccharides (ลักษณะของเหลวข้น) ประมาณ 400 บาท/กิโลกรัม

- ราคาพรีไบโอติกส์ชนิด Fructo Oligosaccharide (ลักษณะของเหลวข้น) ประมาณ 500 บาท/กิโลกรัม

- ราคาสารประกอบฟีนอลิกส์ชนิด Gallic Acid (ลักษณะของเหลวข้น) ประมาณ 15 บาท/กิโลกรัม

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของการแยกและวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ในเมล็ดขนุน (ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในเมล็ดขนุนประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกส์ชนิดกรดแกลลิกเพียงชนิดเดียว) แต่ยังไม่ได้ทำการศึกษากระบวนการแยกพรีไบโอติกส์ออกจากสารสกัดและวิเคราะห์ชนิดของพรีไบโอติกส์ในเมล็ดขนุน ดังนั้นจึงสมมุติให้ชนิดของพรีไบโอติกส์เป็นชนิด Fructo Oligosaccharide เนื่องจากกลุ่มนักวิจัยคณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดพรีไบโอติกส์จากเนื้อขนุน พบว่าชนิดของพรีไบโอติกส์ที่พบเป็นชนิด Fructo Oligosaccharide อีก

ทั้งเป็นพรีไบโอติกส์ที่พบได้ทั่วไปในพืชและเมล็ดพืชหลายๆ ชนิด (เฉลิมขวัญ ดำคำ และมัลลิกา ชมนาวัง, 2548) และในกระบวนการสกัดจะได้ปริมาณกรดแกลลิกและ Fructo Oligosaccharide 16.91 และ 47.43 กรัม/ครั้ง ตามลำดับ (ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 100)

(5) ปริมาณความชื้นในเมล็ดขนุน < 54% (ฐานเปียก)

ตารางที่ 10 ข้อมูลรายได้และค่าใช้จ่ายของการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ ที่กำลังผลิตสูงสุดของเครื่องในแต่ละครั้งของการสกัด ที่จำนวนครั้งในการสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน (การสกัด 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง และอัตราการทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี)

การเปรียบเทียบผลตอบแทนของการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ (บาท/ปี)	สกัด 1 ครั้ง/วัน	สกัด 2 ครั้ง/วัน	สกัด 3 ครั้ง/วัน	สกัด 4 ครั้ง/วัน
รายได้				
รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ (ชนิด Fructo Oligosaccharide) และสารประกอบฟีนอลิกส์ (ชนิดกรดแกลลิก) ในรูปสารละลายข้น	7,191	14,382	21,573	28,764
ค่าใช้จ่าย				
ต้นทุนเมล็ดขนุน	52,200	104,400	156,600	208,800
ต้นทุนเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์	1,184	1,184	1,184	1,184
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด	24,773	52,297	79,766	107,263
ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง หน้า 102)	48,177	48,390	48,312	48,234
ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง หน้า 107)	15,540	15,540	15,540	15,540
รวมค่าใช้จ่าย	141,874	221,811	301,402	381,021

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิจากการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง ในกรณีเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดเป็น 1, 2, 3 และ 4 ครั้งต่อวัน

รายละเอียด	**สกัด 1 ครั้ง/วัน**	**สกัด 2 ครั้ง/วัน**	**สกัด 3 ครั้ง/วัน**	**สกัด 4 ครั้ง/วัน**
มูลค่าปัจจุบัน (Net Present Valur: NPV)	-1,468,349.07	-2,157,088.55	-2,843,074.90	-3,528,969.40
ความคุ้มค่าในการลงทุน	ไม่คุ้มค่าในการลงทุน	ไม่คุ้มค่าในการลงทุน	ไม่คุ้มค่าในการลงทุน	ไม่คุ้มค่าในการลงทุน

จากข้อมูลในตารางที่ 10 เมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ ดังแสดงในตารางที่ 11 (แสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 105) และจะมีค่าติดลบเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดต่อวัน และจากตารางที่ 10 ซึ่งในกระบวนการสกัดหากยิ่งเพิ่มจำนวนครั้ง พบว่าปริมาณรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์เพิ่มมากขึ้นเท่าตัวและค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงงานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการซื้อเมล็ดขนุนและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดก็เพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดสามารถเพิ่มรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ และสามารถลดรายจ่ายในส่วนของค่าแรงงานได้แต่ไม่เพียงพอในการสกัดเพื่อให้คุ้มค่าในการลงทุน

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

การสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก

จากการศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองเพื่อลดต้นทุนในการสกัด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน คือ ใช้ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศา-เซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร โดยจะให้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด 217 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้งและ 15 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ

การปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

จากการปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง จากเดิมกระบวนการสกัดจะเป็นระบบปั๊มหมุนเวียนสารละลายจากด้านล่างถังสกัดไปยังด้านบนของถัง เป็นระบบปั๊มหมุนเวียนสารละลายจากด้านล่างถังสกัดผ่านสเปรย์ทางด้านข้างถังสกัด จะส่งผลให้ปริมาณผลได้ของสารสกัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้เพิ่มมากขึ้น

การสกัดเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง

จากการทดลองสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองหลังจากทำการปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็กและการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง โดยจากการทดลองทำการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง เป็นวัตถุดิบในการสกัด ที่เวลาสกัด 60 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์จะให้ปริมาณที่สูงกว่าการสกัดด้วยชุดทดลอง

ขนาดเล็ก โดยจะให้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด 18 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้งและ 9 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ไม่ได้ควบคุมปัจจัยความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในกระบวนการสกัด ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการสกัดครั้งนี้มีค่าแตกต่างกับปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการสกัดเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้ชุดสกัดแบบแบทช์ค่อนข้างมาก ซึ่งจะให้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด 217 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้งและ 15 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ และการทดลองนี้สามารถยืนยันถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารเสริมสุขภาพในประเทศไทยต่อไป

การแยกและทำให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์

การศึกษาการแยกและทำให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์ที่บริสุทธิ์ โดยใช้ C18 Sep-Pak Cartridges เพื่อกำจัดน้ำตาล กรดอินทรีย์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากสารสกัด จากการทดลองพบว่าสารสกัดที่ได้หลังจากผ่าน C18 Sep-Pak Cartridges จะมีสารประกอบฟีนอลิกส์ชนิดกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นมากขึ้น

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์แสดงให้เห็นว่าการลงทุนเพื่อสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ในระดับอุตสาหกรรมยังไม่คุ้มค่าในการลงทุน โดยถ้าจะให้กระบวนการมีความน่าสนใจมากขึ้น ควรเป็นการดำเนินการโดยไม่ต้องมีค่าลงทุนในส่วนของเมล็ดขนุน เช่น โรงงานผู้ผลิตเนื้อขนุนกระป๋อง หรือมีการเพิ่มรายได้จากองค์ประกอบอื่นๆ ของสารสกัด หรือเมล็ดขนุนที่ผ่านการสกัดแล้ว

ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน โดยใช้อุณหภูมิสูงที่สุดในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และให้ปริมาณพรีไบโอติกส์และ

2. สารประกอบฟีนอลิกส์มากที่สุด ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการสลายตัวของพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบและเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติม

3. งานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการสกัดสารพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแยกเพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว จึงควรทำการศึกษาการแยกเพื่อให้ได้สารพรีไบโอติกส์ที่บริสุทธิ์และปลอดภัยเพิ่มเติม เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของพรีไบโอติกส์ที่ได้จากการสกัด และนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

4. การสกัดสารพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ ยังไม่คุ้มค่าการลงทุน จึงควรที่จะศึกษาการแยกและทำให้ได้พรีไบโอติกส์ที่บริสุทธิ์เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มมูลค่า หาวัตถุดิบชนิดอื่นที่มีปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์มากขึ้นมาใช้ในการสกัด หรือปรับปรุงถังสกัดให้สามารถบรรจุวัตถุดิบในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์พรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์เพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2548. อัตราค่าไฟฟ้า. http://www.pea.co.th (สืบค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2553).

เฉลิมขวัญ ดำคำ, มัลลิกา ชมนาวัง. 2548. คุณรู้จัก Prebiotics แล้วหรือยัง?. *อาหาร* 35 (2): 96-102.

ชาคริต ทองอุไร. 2548. *หลักปฏิบัติการเฉพาะหน่วย 2.* พิมพ์ครั้งที่ 13. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทรงพล รดิศพงศ์, กรรณิการ์ บุตรเอก, ขนิษฐา อัศวชัยณรงค์. 2546. สารประกอบฟีนอลิกส์. กลุ่มเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม, กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

บุญเรือง มานะสุรการ. 2542. *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฝ่ายข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร. 2546. สถิติการปลูกขนุนหนังในภาคใต้ ปี 2546. องค์การตลาดเพื่อเกษตรกร. http://www.mof.or.th (สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2552).

มาโนช อักษรกูล. 2550. การแยกเอทานอล-น้ำโดยวิธีเวเปอร์เพอมิเอชัน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วีระพงศ์ พรสมิทธิกุล, ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์, ราม แย้มแสงสังข์, กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์. 2551. การพัฒนากระบวนการสกัดพรีไบโอติกจากเปลือกด้านในขนุน. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา, 8-9 พฤษภาคม 2551: 178-183.

ศิวาพร ศิวเวชช, ณัฏฐินี ใจสอาด. 2546. การสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกมันฝรั่ง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41. สาขาอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, 3-7 กุมภาพันธ์ 2546: 12-19.

สุกัญญา วงศ์พรชัย และคณะ. 2547. การพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณสารหอมในข้าว. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุวัสสา พงษ์อำไพ, สุภาภรณ์ ดั๊กกลาส, ละเอียด เพ็งโสภา. 2548. การสกัดสารเคทิชินจากชาเขียวโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุธรรม สุขมณี. 2550. *การออกแบบอุปกรณ์ทางวิศวกรรมเคมี*. พิมพ์ครั้งที่ 5. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุพจน์ นวลละออง, ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์, กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์, ราม แย้มแสงสังข์. 2552. การสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุน. *วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น* 36 (3): 213-220.

สุพจ นวลละออง. 2552. การสกัดสารพรีไบโอติกส์จากพืชเกษตร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฝ่ายข้อมูลเศรษฐกิจและสังคม สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2530. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. http://www.nesdb.go.th (สืบค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2553).

อาชัย พิทยภาคย์, นคร ทิพยาวงศ์และวสันต์ จอมภักดี. 2546. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น, *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร* 11(3): 9-20.

Agarwal, R. and Mulkhtar, H. 1996. Cancer Chemoprevention by Polyphenols in Green Tea and Artichoke. in *American Institute for Cancer Research (ed): Dietary Phytochemicals in Cancer Prevention and Treatment, Chap 4*. pp 35-50. New York: New York NY.

Betti, A. Bighi, C. Dondi, F. and Blo, G. 1983. Determination of phenols in water samples as 4-aminoantipyrine derivatives by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 257: 69-79.

Boudhrioua, N., Bahloul, N., Ben Slimen, I. and Kechaou, N. 2009. Comparison on the Total Phenol Contents and the Color of Fresh and Infrared Dried Olive Leaves. *Industrial Crops and Products*, 29: 412-419.

Charm, S. E. 1978. *Fundamentals of Food Engineering*. 3rd ed. Westoport Conn: AVI Publishing Co.

Chirinos, R., Rogez, H., Campos, D., Pedreschi, R. and Larondelle, Y. 2007. Optimization of Extraction Conditions of Antioxidant Phenolic Compounds From Mashua (Tropaeolum Tuberosum Ru´ız & Pav´on) Tubers. *Separation and Purification Technology*, 55: 217-225.

Chrzanowski, G. Sempruch, C. and Sprawka, I. 2007. Investigation of Phenolic Acids in Leaves of Blackcurrant (Ribes Nigrum L.) and Sour Cherry (Prunus Cerasus L.). *Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU)*, 10(4): 42.

Dubois, M. Gilles, K.A. Hamilton, J.K. Rebers, P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Journal of Analytical Chemistry*, 28: 350-356.

Frankel, E. N., Waterhouse, A. L., Teissedre, P. L. 1995. Principal Phenolic Phytochemicals in Selected California Wines and Their Antioxidant Activity in Inhibiting Oxidation of Human Low-Density Lipoproteins. *Food Chemistry*, 43: 890-894.

Geankoplis, C. J. 1993. Transport Processes and Unit Operations. New York: PTR Prentice-Hall, Inc.

Gibson, G. R. and Roberfroid, M. B. 1995. Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125: 1401-1412.

Grajek, W., Olejnik, A. and Sip, A. 2005. Probiotics, Prebiotics and Antioxidants as Functional Foods: A Review. *Acta Biochimica Polonica*, 52: 665-671.

Harborne, J. B. 1980. Plant Phenolics in "Secondary Plant Products" Bell, E. A. and Charlwood, B. V. (eds) Encyclopedia of Plant Physiology. New Series, 8: 329-402.

Hennion, M. C. 1999. Solid-Phase Extraction: Method Development, Sorbents, and Coupling with Liquid Chromatography. *Journal of Chromatography A*, 856: 3-54.

Hertog, M. G. L. and Katan, M. B. 1998. Quercetin in Foods, Cardiovascular Disease, and Cancer. in *Flavonoids in Health and Disease*, eds Rice-Evans C, Packer L. pp 483-522. New York: Marcel Dekker.

Kim, D. Lee, C. Y. in: Wrolstad, R.E. Acree, T.E. An, H. Decker, E. A. Penner, M. H. Reid, D. S. Sporns, P. Schwartz, S. J. and Shoemaker, C.F. (Eds.). 2002. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Kim, S. Kim, W. & In K. Hwang. 2003. Optimization of the Extraction and Purification of Oligosaccharides from Defatted Soybean Meal. *International Journal of Food Science and Technology,* 38: 337-342.

Li, B. B. Smith, B. and Hossain, Md. M. 2006. Extraction of Phenolics from Citrus Peels I. Solvent Extraction Method. *Separation and Purification Technology*, 48: 182-188.

Maisuthisakul, P. 2002. Effect of Extraction time on Phenolic Compound from Tew Leaf (Cratoxylum formosum Dyer.), Kradon Bok Leaf (Careya sphaerica Roxb.) and Phak Ban

Leaf (Sauopus andrugynus Merr.). *University of the Thai Chamber of Commerce*, 23(2): 66-77.

Mario, R. L., Solis, C., Khristof, G., Sandra, R. A., Pedro, G. L. 2008. Oligosaccharides Prebiotic Effect Obtained from Lupinus Exaltatus in Prevention of Salmonella in Chicken Embryos. Proceedings of the 2008 International Lupins Conference was Held in Fremantle. Western Australia, 14-18 September 2008: 177-179.

Miller, G. L. 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31: 426-428.

Mohamed, A. A. and Chang, T. L. 2008. Optimization of Phenolics and Dietary Fibre Extraction from Date Seeds. *Food Chemistry*, 108: 977-985.

Newmark, H. L. 1996. *Plants Phenolics as Potential Cancer Prevention Agents*. New York: Plenum Press.

Owen, R. Giacosa, A. Hull, W. Haubnwe, R. Spiegelhalder, B. and Bartsch, H. 2000. The Antioxidant/Anticancer Potential of Phenolic Compounds Isolated from Olive Oil. *European Journal of Cancer*, 36: 1235-1247.

Premalantha, B. and Sachdanandam, P. Semecarpus anacardium, L. 1999. *Semecarpus Anacardium L*. Nut Extract Administration Induces the in Vivo Antioxidant Defence System in Aflatoxin B1 Mediated Hepatocellular Carcinoma. *Journal of Ethnopharmacol*, 66: 131-139.

Soong, Y. Y. and Barlow, P. J. 2004. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Selected Fruit Seeds. *Food Chemistry*, 88: 411–417.

Tyihak**,** E. Mincsovics, E. and Kalász, H. 1979. New Planar Liquid Chromatographic Technique: Overpressured Thin-Layer Chromatography. *Journal of Chromatography A*, 174: 75-81.

Xiaoli, X. Liti, Y. Shuang, H. Wei, L. Yi, S. Hao, M. Jusong, Z. and Xiaoxiong, Z. 2008. Determination of Oligosaccharide Contents in 19 Cultivars of Chickpea (Cicer arietinum L) Seed by High Performance Liquid Chromatography. *Food Chemistry*, 111: 215-219.

http://waynesword.palomar.edu (Accessed March 18, 2009)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

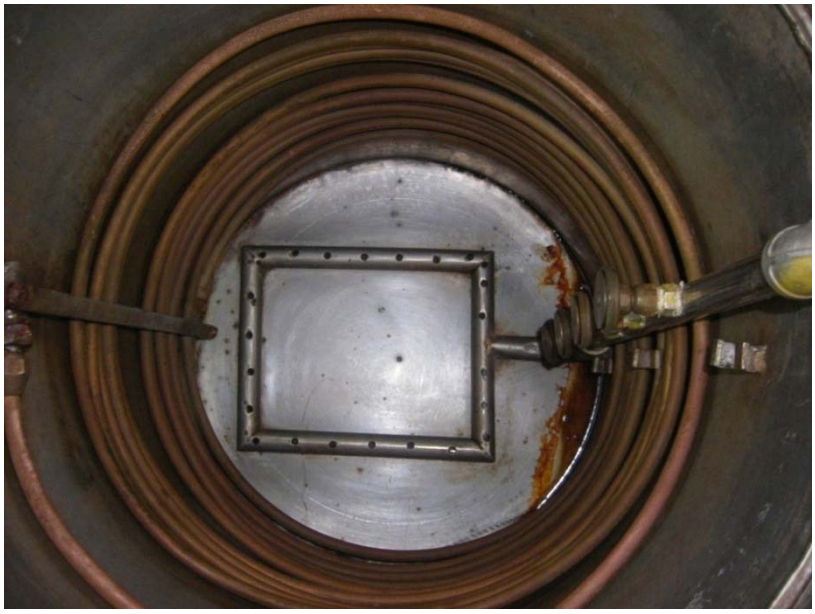
การปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์

การเลือกวัสดุที่ใช้ปรับปรุงเครื่องสกัดให้เหมาะสมตามลักษณะการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถใช้งานเครื่องมือนั้นๆ ได้อย่างปลอดภัย และไม่ทำให้ราคาของเครื่องมือที่จัดสร้างสูงเกินไป เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการผลิตเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนแบบแบทช์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ฉะนั้นสิ่งสำคัญที่ควรนึกถึงควบคู่กันไปคือ ความประหยัดและความปลอดภัยต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม (สุธรรม สุขมณี, 2550)

การปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์

เนื่องจากเดิมการสกัดจะเป็นระบบปั๊มหมุนเวียนสารละลายจากด้านล่างถังสกัดไปยังด้านบนของถัง ซึ่งลักษณะภายในของถังแสดงดังแสดงในภาพประกอบที่ 34 ส่งผลให้ตัวทำละลายสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ไม่ทั่วถึงทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนไม่ดีเท่าที่ควร ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงระบบการสกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดให้เพิ่มสูงขึ้น โดยปรับปรุงระบบการสกัดเป็นระบบปั๊มหมุนเวียนสารละลายจากด้านล่างถังสกัดผ่านสเปรย์ทางด้านข้างถังสกัด ซึ่งลักษณะภายในของถังแสดงดังแสดงในภาพประกอบที่ 35 เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ทั่วถึง

ภาพประกอบที่ 34 ด้านในของถังสกัดแบบแบทช์ก่อนการปรับปรุง



ภาพประกอบที่ 35 ด้านในของถังสกัดแบบแบทช์หลังการปรับปรุง

การเลือกหัวฉีด (Spray Nozzles) ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

หัวฉีด (Spray Nozzles) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีให้เลือกสรรมากมายหลายขนาดและหลายชนิด การเลือกใช้ชนิดสเปรย์ วัสดุที่ใช้ทำสเปรย์ และขนาดสเปรย์ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ และเพื่อกระบวนการสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

หัวฉีดที่ใช้ในอุตสาหกรรม แบ่งออกเป็น 5 แบบ คือ

(1) Flat Spray เป็นหัวฉีดที่เหมาะสำหรับใช้ในการทำความสะอาดเครื่องจักร ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็ก และ อื่นๆ ใช้สเปรย์ของเหลว ใช้เป็นสเปรย์เพิ่มความเย็นโดยติดตั้งไว้บริเวณหลังคาโรงงานหรือตามบ้านเรือน ใช้กันเพลิงไหม้ และลดฝุ่นในโรงงาน ลักษณะหัวฉีดเป็นขอบเรียงกัน ส่งผลให้ของเหลวพ่นออกมากระจายเรียงกัน ในลักษณะค่อยๆ กระจายเป็นแบบแบนเรียงกันในพื้นที่ เป็นแนวเรียว

(2) Full Cone Spray Nozzle เป็นหัวฉีดที่เหมาะสำหรับใช้ในการทำความสะอาดเครื่องจักร และอื่นๆ ใช้สเปรย์ของเหลว ใช้เป็นสเปรย์เพิ่มความเย็นในโรงงาน ใช้กันเพลิงไหม้ และลดฝุ่นในโรงงาน เช่นเดียวกับ Flat Spray ลักษณะหัวฉีดเป็นวงกลมเต็มวง ส่งผลให้การสเปรย์เป็นแบบทรงกรวยกลวง (Full Cone) หรือเป็นรูปโดนัท กระจายครอบคลุมพื้นที่

(3) Hollow Cone Spray เป็นหัวฉีดที่เหมาะสำหรับใช้ในโรงงานที่ต้องการควบคุมความชื้นและด้วยคุณสมบัติที่สามารถปรับแรงดันได้จึงเหมาะสำหรับใช้ในการลดแก๊ส ลักษณะหัวฉีดเป็นวงกลมเต็มวง หัวฉีดชนิดนี้มีลักษณะพิเศษ คือ เมื่อของเหลวถูกปล่อยเข้าสู่ตัวหัวฉีด หัวฉีดก็จะปล่อยของเหลวออกมาแต่จะมีการเก็บไว้ส่วนหนึ่ง ซึ่งเราสามารถที่จะเพิ่มแรงดันให้กับหัวฉีดได้ตามที่ต้องการ ไม่ว่า ปริมาณแรงดันจะมากหรือน้อย ตัวเม็ดของเหลวก็จะมีปริมาณใกล้เคียงกัน

(4) หัวฉีดน้ำเพื่อการเกษตร ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ตามลักษณะของน้ำที่ฉีดออกมา คือ

4.1 แบบหัวพ่นหมอก (Mist) ลักษณะของน้ำที่ถูกปล่อยออกมาจากหัวจ่ายน้ำแบบนี้จะมีลักษณะเป็นละอองหมอกเล็กๆ อัตราการจ่ายน้ำน้อย แต่ต้องการแรงดันในการใช้งานสูงเมื่อเทียบกับแบบพ่นฝอย เพื่อทำให้น้ำที่ถูกพ่นออกมาเป็นละอองละเอียด นิยมใช้ในการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ หรือใช้ในการระบายความร้อนในโรงเรือนเพาะชำ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงเรือนปศุสัตว์เพื่อลดความร้อนของโรงเรือนได้

4.2 แบบหัวพ่นฝอย (Spray) เป็นหัวจ่ายน้ำที่ฉีดน้ำออกมาเป็นเม็ดน้ำ ซึ่งมีขนาดใหญ่และปริมาณ การจ่ายน้ำมากกว่าแบบพ่นหมอก แต่แรงดันที่ใช้ต่ำกว่า นิยมใช้สำหรับการรดน้ำต้นไม้

(5) Tank Washing Nozzles เป็นหัวฉีดที่เหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการทำความสะอาดถังปฏิกรณ์เคมี หรือถังบรรจุภายในโรงงาน หัวฉีดทำจากวัสดุเทปล่อน สามารถหมุนได้ด้วยตัวเอง 360 องศา หรือ 180 องศา

และเนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการสกัดพรีไบโอติกส์และสาร ประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ดังนั้นหัวฉีดที่เลือกใช้ในการปรับปรุงเครื่องสกัดจึงควรเป็นชนิดที่มีราคาเหมาะสม ใช้ในกระบวนการสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นวัสดุที่ปลอดภัยต่อชีวิต ซึ่งได้แก่ หัวฉีดของเหลวแบบพ่นฝอยธรรมดา (Spray Nozzle) ที่ใช้เพื่อการเกษตร ชนิดหัวฉีดทองเหลือง เนื่องจากทองเหลืองมีคุณสมบัติเด่นทางการนำความร้อนและมีความต้านทานการสึกกร่อน และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (สุธรรม สุขมณี, 2550)

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล (Total Sugars

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยวิธี Modified Phenol Sulfuric Method ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Dubois et al. (1956)

สารเคมีที่ใช้

5 เปอร์เซ็นต์ ฟีนอล

98 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก

การเตรียม 5 เปอร์เซ็นต์ ฟีนอล

ชั่งฟีนอล 2.5 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคส

(1) เตรียม Stock สารละลายกลูโคสความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยชั่งกลูโคส 0.1 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร (สารละลายที่ได้สามารถแช่เย็นเก็บไว้ได้ระยะเวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์)

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 0, 100, 200, 300, 350, 400, 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 5 มิลลิลิตร โดยปิเปต Stock สารละลายกลูโคสความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0, 0.5, 1, 1.5, 2 และ 3 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 5 มิลลิลิตร

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในสารตัวอย่าง

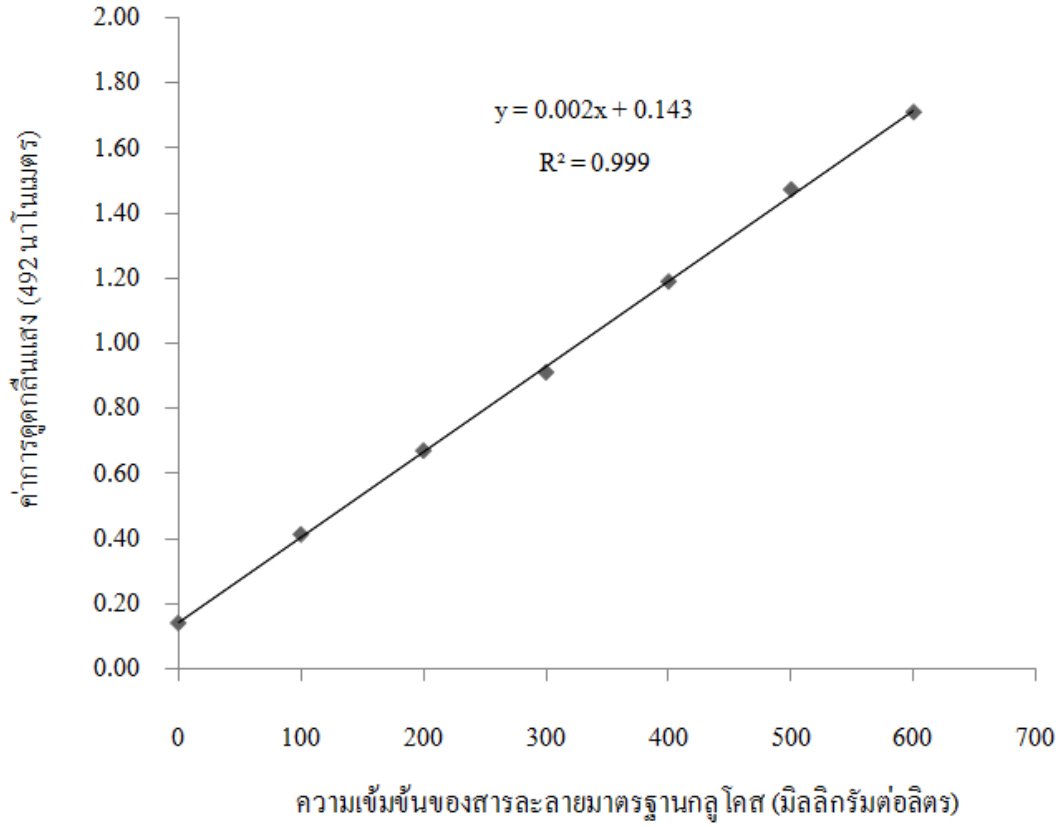
(1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 29 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม

(2) ปิเปตสารละลาย 5 เปอร์เซ็นต์ ฟีนอล ปริมาตร 29 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม จากนั้นเขย่า Microplate เบาๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที

(3) ปิเปต 98 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก ปริมาตร 143 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม จากนั้นเขย่าเบาๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที

(4) ปิด Microplate ด้วยฟิล์มใสและห่อด้วยถุงซิปล็อค จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

(5) ทำให้ Plate เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องอย่างรวดเร็ว โดยวาง Microplate ลงบนน้ำแข็ง และนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microtiter Plate Reader จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 36 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในสารตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 36 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

2. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugars

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ด้วยวิธี Modified Dinitrosalicylic Acid Method ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Miller (1959)

สารเคมีที่ใช้

สารละลาย Dinitrosalicylic Acid ซึ่งประกอบด้วย 1 เปอร์เซ็นต์ 3,5-Dinitrosalicylic Acid, 0.2 เปอร์เซ็นต์ ฟีนอล, 0.05 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมซัลไฟท์, 1 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต (น้ำหนักต่อปริมาตร)

การเตรียมสารละลาย Dinitrosalicylic Acid

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Dinitrosalicylic Acid 2 กรัม, ฟีนอล 0.4 กรัม, โซเดียมซัลไฟท์ 0.1 กรัม, โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม และโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต 40 กรัม ลงไป จากนั้นผสมให้เข้ากันด้วย Magnetic Stirrer และปรับปริมาตรเป็น 200 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคส

(1) เตรียม Stock สารละลายกลูโคสความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยชั่งกลูโคส 0.1 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร (สารละลายที่ได้สามารถแช่เย็นเก็บไว้ได้ระยะเวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์)

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 0, 100, 200, 300, 350, 400, 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 5 มิลลิลิตร โดยปิเปต Stock สารละลายกลูโคสความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0, 0.5, 1, 1.5, 2 และ 3 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 5 มิลลิลิตร

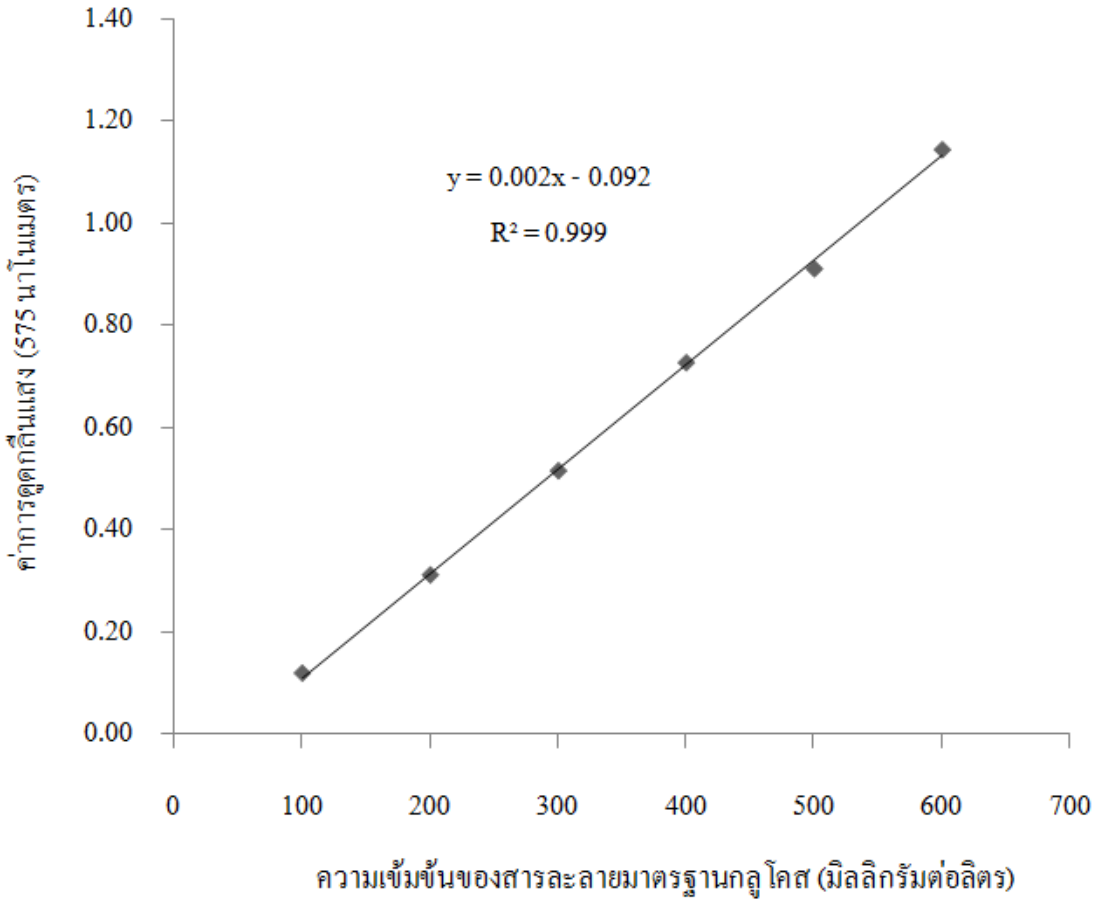
การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารตัวอย่าง

(1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม

(2) ปิเปตสารละลาย Dinitrosalicylic Acid ปริมาตร 100 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่า Microplate เบาๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที

(3) ปิด Microplate ด้วยฟิล์มใสและห่อด้วยถุงซิปล็อค จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

(4) ทำให้ Plate เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องอย่างรวดเร็ว โดยวาง Microplate ลงบนน้ำแข็ง และนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microtiter Plate Reader จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 37 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 37 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

3. การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด (Total Phenolics

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Method ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Soong et al. (2004)

สารเคมีที่ใช้

Folin-Ciocalteu Reagent

สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตแอนด์ไฮดรัส 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มให้เดือด ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและเติมผลึกโซเดียมคาร์บอเนตแอนด์ไฮดรัสเล็กน้อย ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองส่วนที่ไม่ละลายน้ำออก จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

(1) เตรียม Stock สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยชั่งกรดแกลลิก 0.2 กรัม จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร (สารละลายที่ได้สามารถแช่เย็นเก็บไว้ได้ระยะเวลาไม่เกิน 2 สัปดาห์)

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรกแกลลิกความเข้มข้น 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900 และ 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร โดยปิเปต Stock สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5 และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกส์ทั้งหมดในสารตัวอย่าง

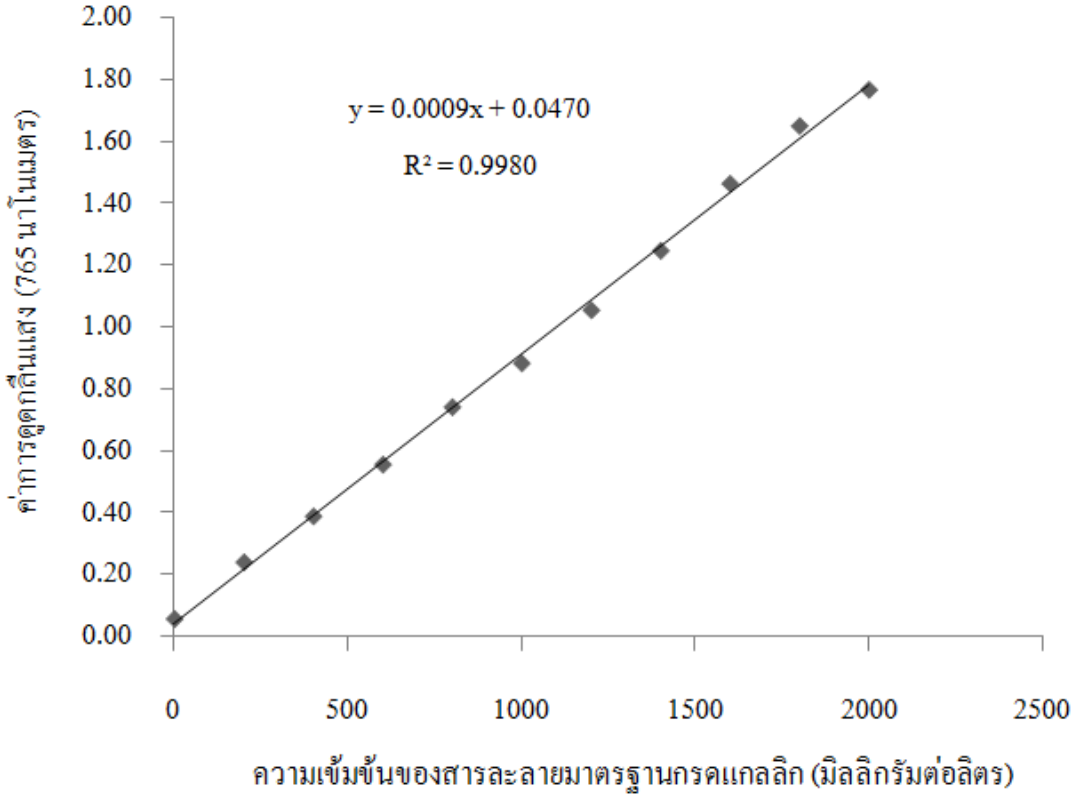
(1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 2 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม

(2) ปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 158 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่า Microplate เบาๆ เพื่อให้สารผสมกัน

(3) ปิเปต Folin-Ciocalteu Reagent ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ปิดด้วยกระดาษ ฟรอยด์ เขย่า Microplate เบาๆ เพื่อให้สารผสมกัน และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที

(4) ปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 30 ไมโครลิตร ปิดด้วยฟิล์มใสและปิดทับด้วยกระดาษฟรอยด์ เขย่า Microplate เบาๆ เพื่อให้สารผสมกัน และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(5) นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microtiter Plate Reader จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 38 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดในสารตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 38 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด

4. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเอทานอลที่ระเหยได้ โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟฟี (GC)

สารเคมีที่ใช้

99.8 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล

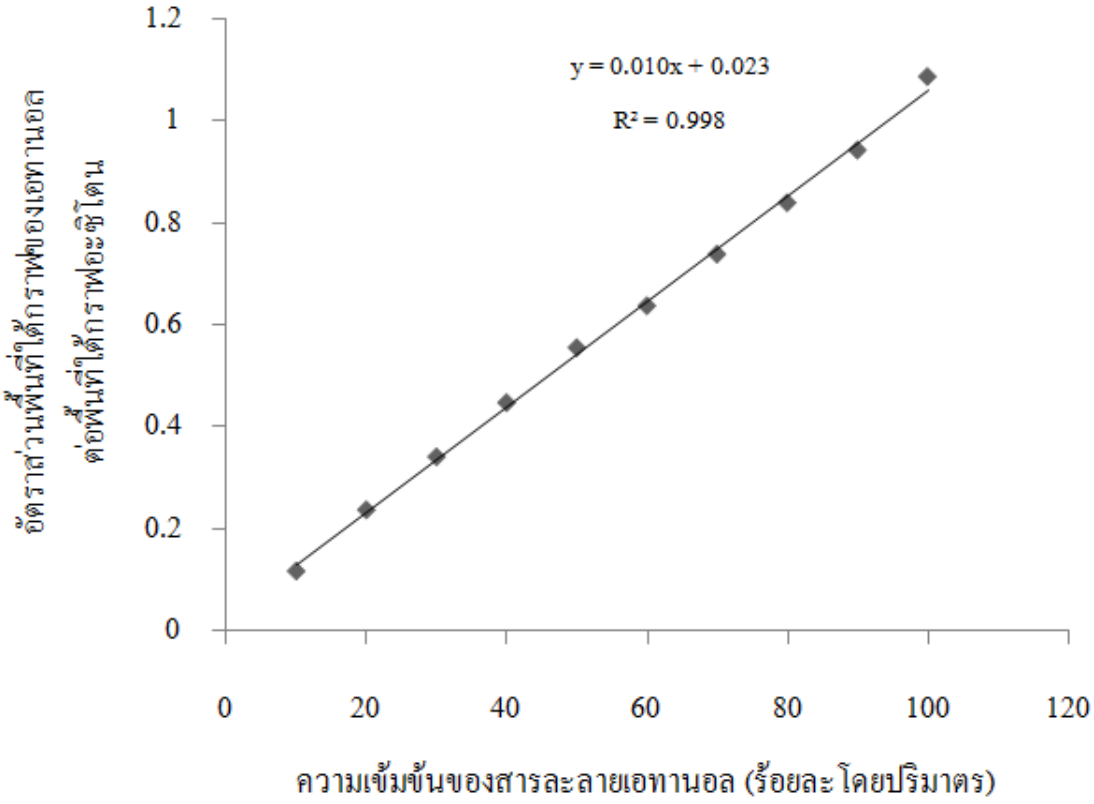
99.9 เปอร์เซ็นต์ อะซิโตน

การเตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอล

เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร โดยปิเปต 99.8 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลปริมาณ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 มิลลิลิตร

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายเอทานอลเพื่อใช้วิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้

นำสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ มาทำการผสมกับสารละลายอะซิโตนปริมาณอย่างละ 200 ไมโครลิตร ผสมในขวด Vial จากนั้นนำไปวัดค่าเพื่อหาอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของเอทานอลต่อพื้นที่ใต้กราฟของอะซิโตน ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 39 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้



ภาพประกอบที่ 39 กราฟมาตรฐานสารละลายเอทานอลสำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์

ภาคผนวก ค

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 12 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร

อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)	% Yield
50	21
70	30
90	35

ตารางที่ 13 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
50	0.099	0.101	0.099	0.100 ± 0.001
70	0.097	0.093	0.093	0.094 ± 0.003
90	0.106	0.107	0.107	0.107 ± 0.001

ตารางที่ 14 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
50	0.056	0.057	0.055	0.056 ± 0.001
70	0.061	0.057	0.06	0.059 ± 0.002
90	0.074	0.075	0.07	0.073 ± 0.003

ตารางที่ 15 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
50	0.772	0.959	0.841	0.857 ± 0.107
70	0.766	0.759	0.767	0.764 ± 0.005
90	0.894	0.931	0.886	0.900 ± 0.027

ตารางที่ 16 ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (น้ำหนักต่อปริมาตร)	% Yield
1:8	22
1:10	30
1:15	35

ตารางที่ 17 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

อัตราส่วนเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (น้ำหนักต่อปริมาตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
1:8	0.106	0.109	0.108	0.108 ± 0.002
1:10	0.108	0.110	0.113	0.110 ± 0.003
1:15	0.106	0.107	0.107	0.107 ± 0.001

ตารางที่ 18 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

อัตราส่วนเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (น้ำหนักต่อปริมาตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
1:8	0.074	0.075	0.077	0.075 ± 0.002
1:10	0.079	0.078	0.075	0.077 ± 0.002
1:15	0.074	0.075	0.07	0.073 ± 0.003

ตารางที่ 19 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

อัตราส่วนเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (น้ำหนักต่อปริมาตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
1:8	0.780	0.698	0.692	0.723 ± 0.056
1:10	1.029	1.008	1.331	1.123 ± 0.204
1:15	0.894	0.931	0.886	0.904 ± 0.027

ตารางที่ 20 ผลของเวลาในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เวลาในการสกัด (นาที)	% Yield
0	10
30	20
60	21
90	21
120	22

ตารางที่ 21 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เวลาในการสกัด (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.208	0.206	0.210	0.208 ± 0.002
30	0.226	0.229	0.234	0.230 ± 0.005
60	0.232	0.247	0.243	0.241 ± 0.009
90	0.232	0.226	0.224	0.227 ± 0.005
120	0.240	0.253	0.247	0.247 ± 0.007

ตารางที่ 22 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เวลาในการสกัด (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.059	0.060	0.054	0.058 ± 0.004
30	0.063	0.071	0.079	0.071 ± 0.009
60	0.064	0.069	0.070	0.068 ± 0.004
90	0.059	0.062	0.073	0.065 ± 0.008
120	0.081	0.090	0.111	0.094 ± 0.017

ตารางที่ 23 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เวลาในการสกัด (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	0.777	0.706	0.702	0.728 ± 0.048
30	0.673	0.634	0.840	0.716 ± 0.124
60	0.727	0.760	0.743	0.743 ± 0.019
90	0.738	0.787	0.732	0.752 ± 0.034
120	0.785	0.744	0.764	0.764 ± 0.023

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

1. การประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองต่อครั้งในการสกัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การประมาณราคาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนสกัด ทำโดยการประเมินจากค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์จำพวกปั๊มและเครื่องทำความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ ปั๊มหอยโข่งของระบบถังสกัด ปั๊มหอยโข่งของระบบถังให้ความร้อน ปั๊มหอยโข่งของระบบควบแน่น ปั๊มสุญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น พัดลมของระบบทำน้ำหล่อเย็น ถังให้ความร้อนและถังระเหยใหญ่ จากนั้นคูณด้วยค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย

กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (กิโลวัตต์ และระยะเวลาการงาน (ชั่วโมง

ปั๊มหอยโข่งของระบบถังสกัด 0.375 กิโลวัตต์ ระยะเวลาใช้งาน 1 ชั่วโมง

ปั๊มหอยโข่งของระบบถังให้ความร้อน 0.375 กิโลวัตต์ ระยะเวลาใช้งาน 1 ชั่วโมง

ปั๊มหอยโข่งของระบบควบแน่น 1.5 กิโลวัตต์ ระยะเวลาใช้งาน 1 ชั่วโมง 24 นาที

ปั๊มสุญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น 0.375 กิโลวัตต์ ระยะเวลาใช้งาน 1 ชั่วโมง 24 นาที

พัดลมของระบบทำน้ำหล่อเย็น 0.18 กิโลวัตต์ ระยะเวลาใช้งาน 1 ชั่วโมง 24 นาที

ถังให้ความร้อน 10 กิโลวัตต์ ระยะเวลาใช้งาน 1 ชั่วโมง 5 นาที

ถังระเหยใหญ่ 10 กิโลวัตต์ ระยะเวลาใช้งาน 1 ชั่วโมง 38 นาที

ตารางที่ 24 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในเวลา 15 นาทีสูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2548)

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	1.80
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.78
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.98

การประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนกานสกัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสกัดคำนวณได้จาก สมการที่ 3

$$Cost = WxC \tag{3}$$

เมื่อ C = ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)

W = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

กรณีที่ 1 ทำการสกัด 1 ครั้ง/วัน

การคำนวณ

(1) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อครั้ง หรือต่อวัน (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)จากข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (กิโลวัตต์) และระยะเวลาการใช้งาน จะได้ว่า ในการสกัดใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด (0.375x1)+(0.375x1)+(1.5x1.4)+(0.375x1.4)+(0.18x1.4)+(10x1.08)+(10x1.633) = 30.757 หน่วย

(2) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน (1 เดือน สกัด 25 วัน) เพื่อนำไปใช้คิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน

จากข้อมูลข้างต้นจะได้จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน 30.757x25 = 768.9 หน่วย

(3) คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อปี

โดยแทนค่าที่ได้จากการคำนวณลงในสมการที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ (บาทต่อเดือน)
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	1.80	150x1.80=270

250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.78	250x2.78=695
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.98	(768.93-400)x2.98=1,099.41

รวมค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสกัด 270+695+1,099.41 = 2,064.41 บาท/เดือน หรือคิดเป็น 2,064.41x12 = 24,772.92 บาท/ปี

กรณีที่ 2 ทำการสกัด 2 ครั้ง/วัน

การคำนวณ

(1) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อครั้ง หรือต่อวัน (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)จากข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (กิโลวัตต์) และระยะเวลาการใช้งาน จะได้ว่า ในการสกัดใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด (0.375x1)+(0.375x1)+(1.5x1.4)+(0.375x1.4)+(0.18x1.4)+(10x1.08)+(10x1.633) = 30.757 หน่วยต่อครั้ง ดังนั้นเมื่อเพิ่มกระบวนการสกัดเป็น 2 ครั้งต่อวัน จะใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด 30.757x2 = 61.514 หน่วย

(2) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน (1 เดือน สกัด 25 วัน) เพื่อนำไปใช้คิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน

จากข้อมูลข้างต้นจะได้จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน 61.514x25 = 1,537.85 หน่วย

(3) คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อปี

โดยแทนค่าที่ได้จากการคำนวณลงในสมการที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ (บาทต่อเดือน)
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	1.80	150x1.80=270
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.78	250x2.78=695
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.98	(1,537.85-400)x2.98=3,390.79

รวมค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสกัด 270+695+3,390.79 = 4,355.79 บาท/เดือน หรือคิดเป็น 4,355.79x12 = 52,269.48 บาท/ปี

กรณีที่ 3 ทำการสกัด 3 ครั้ง/วัน

การคำนวณ

(1) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อครั้ง หรือต่อวัน (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)จากข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (กิโลวัตต์) และระยะเวลาการใช้งาน จะได้ว่า ในการสกัดใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด (0.375x1)+(0.375x1)+(1.5x1.4)+(0.375x1.4)+(0.18x1.4)+(10x1.08)+(10x1.633) = 30.757 หน่วยต่อครั้ง ดังนั้นเมื่อเพิ่มกระบวนการสกัดเป็น 3 ครั้งต่อวัน จะใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด 30.757x3 = 93.271 หน่วย

(2) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน (1 เดือน สกัด 25 วัน) เพื่อนำไปใช้คิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน

จากข้อมูลข้างต้นจะได้จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน 92.271x25 = 2,306.775 หน่วย

(3) คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อปี

โดยแทนค่าที่ได้จากการคำนวณลงในสมการที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ (บาทต่อเดือน)
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	1.80	150x1.80=270
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.78	250x2.78=695
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.98	(2,306.78-400)x2.98=5,682.20

รวมค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสกัด 270+695+5,682.20 = 6,647.20 บาท/เดือน หรือคิดเป็น 6,647.20x12 = 79,766.40 บาท/ปี

กรณีที่ 4 ทำการสกัด 4 ครั้ง/วัน

การคำนวณ

(1) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อครั้ง หรือต่อวัน (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)จากข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (กิโลวัตต์) และระยะเวลาการใช้งาน จะได้ว่า ในการสกัดใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด (0.375x1)+(0.375x1)+(1.5x1.4)+(0.375x1.4)+(0.18x1.4)+(10x1.08)+(10x1.633) = 30.757

หน่วยต่อครั้ง ดังนั้นเมื่อเพิ่มกระบวนการสกัดเป็น 4 ครั้งต่อวัน จะใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด 30.757x4 = 123.028 หน่วย

(2) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน (1 เดือน สกัด 25 วัน) เพื่อนำไปใช้คิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน

จากข้อมูลข้างต้นจะได้จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน 123.028x25 = 3,075.70 หน่วย

(3) คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อปี

โดยแทนค่าที่ได้จากการคำนวณลงในสมการที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ (บาทต่อเดือน)
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	1.80	150x1.80=270
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.78	250x2.78=695
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.98	(3,075.70-400)x2.98=7,973.59

รวมค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสกัด 270+695+7,973.59 = 8,938.59 บาท/เดือน หรือคิดเป็น 8,938.59x12 = 107,263.10 บาท/ปี

2. การประมาณรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองต่อครั้งในการสกัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การประมาณรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง ทำโดยการคำนวณปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่สกัดได้คูณกับราคาขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์เกรดอุตสาหกรรมที่อยู่ในรูปสารสกัดข้นที่ขายในท้องตลาด โดยสารสกัดที่ได้นี้ได้มาจากการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน โดยใช้เมล็ดขนุนที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง 4 กิโลกรัม ที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ด

ขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร เวลาในการสกัด 60 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารสกัดดิบที่ได้ > 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ยอมรับได้

ประมาณรายได้จากการขายสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง

ประมาณโดยการคูณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ที่สกัดได้กับราคาขายสารประกอบฟีนอลิกส์เกรดอุตสาหกรรมที่อยู่ในรูปสารสกัดข้นที่ขายในท้องตลาด (จากการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ในสารสกัดเมล็ดขนุนด้วยวิธี HPLC พบว่าเป็นชนิดกรดแกลลิก)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดจากสารสกัดเมล็ดขนุนอบแห้ง ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ จะให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด 46 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมสารสกัดเมล็ดขนุนแห้ง

โดยกรดแกลลิก (ลักษณะของเหลวข้น) ที่ขายในท้องตลาด 15 บาท/กิโลกรัม

การคำนวณ

จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างสารสกัดเมล็ดขนุนที่ได้จากการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ 20 มิลลิลิตร จะได้สารสกัดแห้ง (สารสกัดหลัง Freezedry) 0.43 กรัม ดังนั้นปริมาณสารสกัดที่ได้จากการสกัดทั้งหมด 17,100 มิลลิลิตร จะมีสารสกัดแห้ง 367.65 กรัม จากนั้นคูณปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกส์ทั้งหมดที่ได้ (มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมสารสกัดเมล็ดขนุนแห้ง) กับปริมาณสารสกัดแห้งทั้งหมด ทำให้ทราบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัด คือ 46x367.65 = 16,911.9 มิลลิกรัม หรือ 16.91 กรัม จากนั้นคูณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์กับราคากรดแกลลิกที่ขายในท้องตลาด จะได้รายได้จากการขายสารประกอบฟีนอลิกส์ชนิดกรดแกลลิก (อัตราการสกัด 1 ครั้ง/วัน 300 วัน/ปี) คือ (16.91x15)/1000 = 0.25 บาท/วัน หรือ 75 บาท/ปี

ประมาณรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง

ประมาณโดยการคูณปริมาณพรีไบโอติกส์ที่สกัดได้กับราคาขายพรีไบโอติกส์เกรดอุตสาหกรรมที่อยู่ในรูปสารสกัดข้นที่ขายในท้องตลาด (ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการ

แยก พรีไบโอติกส์ออกจากสารสกัดและการวิเคราะห์ชนิดของพรีไบโอติกส์ที่พบในสารสกัดเมล็ดขนุน ดังนั้นจึงสมมุติให้ชนิดของพรีไบโอติกส์เป็นชนิด Fructo Oilgosaccharide เนื่องจากคณะอุตสาหกรรมการเกษตร ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดพรีไบโอติกส์จากเนื้อขนุน พบว่าชนิดของพรีไบโอติกส์ที่พบเป็นชนิด Fructo Oligosaccharide อีกทั้งเป็นพรีไบโอติกส์ที่พบได้ทั่วไปในพืชและเมล็ดพืชหลายๆ ชนิด (เฉลิมขวัญ ดำคำ และมัลลิกา ชมนาวัง, 2548)

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จากสารสกัดเมล็ดขนุนอบแห้ง ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ จะให้ค่าปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ซึ่งคาดว่าจะเป็นพรีไบโอติกส์ 129 มิลลิกรัมน้ำตาลกลูโคส/กรัมสารสกัดเมล็ดขนุนแห้ง
โดยราคา Fructo Oligosaccharide (ลักษณะของเหลวข้น) ที่ขายในท้องตลาด 500 บาท/กิโลกรัม

การคำนวณ

จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างสารสกัดเมล็ดขนุนที่ได้จากการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ 20 มิลลิลิตร จะได้สารสกัดแห้ง (สารสกัดหลัง Freezedry) 0.43 กรัม ดังนั้นปริมาณสารสกัดที่ได้จากการสกัดทั้งหมด 17,100 มิลลิลิตร จะมีสารสกัดแห้ง 367.65 กรัม จากนั้นคูณปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ที่ได้ (มิลลิกรัมน้ำตาลกลูโคส/กรัมสารสกัดเมล็ดขนุนแห้ง) กับปริมาณสารสกัดแห้งทั้งหมด ทำให้ทราบปริมาณพรีไบโอติกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัด คือ 129x367.65 = 47,426.85 มิลลิกรัม หรือ 47.43 กรัม จากนั้นคูณปริมาณพรีไบโอติกส์กับราคา Fructo Oligosaccharide ที่ขายในท้องตลาด จะได้รายได้จากการขายพรีไบโอติกส์ชนิด Fructo Oilgosaccharide (อัตราการสกัด 1 ครั้ง/วัน 300 วัน/ปี) คือ (47.43x500)/1000 = 23.72 บาท/วัน หรือ 7,116 บาท/ปี

จากข้อมูลด้านบนจะได้ว่ารายได้จากการขายพรีไบโอติกส์ (ชนิด Fructo Oligosaccharide) และสารประกอบฟีนอลิกส์ (ชนิดกรดแกลลิก) ในรูปสารสกัดข้น ประมาณ 7,116 + 75 = 7,191 บาท/ปี

3. การประมาณค่าแรงงานสำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การคำนวณค่าแรงงานในการทำงาน จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงชั่วโมงและปริมาณวัตถุดิบที่สามารถสกัดได้ในแต่ละวัน เพื่อให้ค่าจ้างที่ผู้ใช้แรงงานจะได้รับเหมาะสมกับภาระงานที่

ทำได้แต่ละวัน โดยจากการสัมภาษณ์ คุณพัชรพงษ์ พิบูลย์ วิศวกรโยธา บริษัท ซีวิล เอนจิเนียริง จำกัด ผู้ประเมินค่าแรงงานของคนงานขับรถสิบล้อ ที่บรรทุกดินเพื่อใช้ถมถนน เมื่อ 29 ตุลาคม 2553 การคำนวณค่าแรงงานสามารถคำนวณได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ทำการสกัด 1 ครั้ง/วัน

กำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมง/วัน

โดยอัตราค่าแรงขั้นต่ำของผู้ใช้แรงงาน ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2553 คือ 161 บาท/วัน ระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน (http://www.ryt9.com) หรือคิดเป็นอัตราค่าแรง 161/8 = 20.12 บาท/ชั่วโมง

การคำนวณ

จากข้อมูลการสกัด 1 ครั้ง จะใช้ปริมาณเมล็ดขนุนสด 8.7 กิโลกรัมต่อวัน โดยกำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นในระยะเวลา 1 ชั่วโมง คนงานจะต้องสามารถสกัดเมล็ดขนุนได้ในปริมาณ (1x8.7)/8 = 1.09 กิโลกรัม ฉะนั้นหากคนงานสามารถสกัดเมล็ดขนุนได้ 1.09 กิโลกรัมต่อวัน จะได้รับค่าแรง 20.12 บาท หรือคิดเป็นอัตราค่าแรงที่จะได้รับ 20.12/1.09 = 18.46 บาท/กิโลกรัม ต่อวัน

จากปริมาณเมล็ดขนุนสดที่จะต้องใช้ในการสกัดต่อวัน 8.7 กิโลกรัม ดังนั้นหากคนงานสกัดได้ทั้งหมดจะได้รับค่าแรง 18.46x8.7 = 160.59 บาทต่อวัน คิดเป็นค่าแรงที่จะได้รับต่อเดือน (กำหนดจำนวนวันทำงาน 25 วัน/เดือน) 160.59x25 = 4,014.75 บาท/เดือน หรือ 4,014.75x12 = 48,177 บาท/ปี

กรณีที่ 2 ทำการสกัด 2 ครั้ง/วัน

กำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมง/วัน

โดยอัตราค่าแรงขั้นต่ำของผู้ใช้แรงงาน ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2553 คือ 161 บาท/วัน ระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน (http://www.ryt9.com) หรือคิดเป็นอัตราค่าแรง 161/8 = 20.12 บาท/ชั่วโมง

การคำนวณ

จากข้อมูลการสกัด 2 ครั้ง จะใช้ปริมาณเมล็ดขนุนสด 17.4 กิโลกรัมต่อวัน โดยกำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นในระยะเวลา 1 ชั่วโมง คนงานจะต้องสามารถสกัดเมล็ดขนุนได้ในปริมาณ (1x17.4)/8 = 2.17 กิโลกรัม ฉะนั้นหากคนงานสามารถสกัดเมล็ดขนุนได้ 2.17 กิโลกรัมต่อวัน จะได้รับค่าแรง 20.12 บาท หรือคิดเป็นอัตราค่าแรงที่จะได้รับ 20.12/2.17 = 9.27 บาท/กิโลกรัม ต่อวัน

จากปริมาณเมล็ดขนุนสดที่จะต้องใช้ในการสกัดต่อวัน 17.4 กิโลกรัม ดังนั้นหากคนงานสกัดได้ทั้งหมดจะได้รับค่าแรง 9.27x17.4 = 161.3 บาทต่อวัน คิดเป็นค่าแรงที่จะได้รับต่อเดือน (กำหนดจำนวนวันทำงาน 25 วัน/เดือน) 161.3x25 = 4,032.5 บาท/เดือน หรือ 4,032.5x12 = 48,390 บาท/ปี

กรณีที่ 3 ทำการสกัด 3 ครั้ง/วัน

กำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมง/วัน

โดยอัตราค่าแรงขั้นต่ำของผู้ใช้แรงงาน ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2553 คือ 161 บาท/วัน ระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน (http://www.ryt9.com) หรือคิดเป็นอัตราค่าแรง 161/8 = 20.12 บาท/ชั่วโมง

การคำนวณ

จากข้อมูลการสกัด 3 ครั้ง จะใช้ปริมาณเมล็ดขนุนสด 26.1 กิโลกรัมต่อวัน โดยกำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นในระยะเวลา 1 ชั่วโมง คนงานจะต้องสามารถสกัดเมล็ดขนุนได้ในปริมาณ (1x26.1)/8 = 3.26 กิโลกรัม ฉะนั้นหากคนงานสามารถสกัดเมล็ดขนุนได้ 3.26 กิโลกรัมต่อวัน จะได้รับค่าแรง 20.12 บาท หรือคิดเป็นอัตราค่าแรงที่จะได้รับ 20.12/3.26 = 6.17 บาท/กิโลกรัม ต่อวัน

จากปริมาณเมล็ดขนุนสดที่จะต้องใช้ในการสกัดต่อวัน 26.1 กิโลกรัม ดังนั้นหากคนงานสกัดได้ทั้งหมดจะได้รับค่าแรง 6.17x26.1 = 161.04 บาทต่อวัน คิดเป็นค่าแรงที่จะได้รับต่อเดือน (กำหนดจำนวนวันทำงาน 25 วัน/เดือน) 161.04x25 = 4,026 บาท/เดือน หรือ 4,026x12 = 48,312 บาท/ปี

กรณีที่ 4 ทำการสกัด 4 ครั้ง/วัน

กำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมง/วัน

โดยอัตราค่าแรงขั้นต่ำของผู้ใช้แรงงาน ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2553 คือ 161 บาท/วัน ระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน (http://www.ryt9.com) หรือคิดเป็นอัตราค่าแรง 161/8 = 20.12 บาท/ชั่วโมง

การคำนวณ

จากข้อมูลการสกัด 3 ครั้ง จะใช้ปริมาณเมล็ดขนุนสด 34.8 กิโลกรัมต่อวัน โดยกำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นในระยะเวลา 1 ชั่วโมง คนงานจะต้องสามารถสกัดเมล็ดขนุนได้ในปริมาณ (1x34.8)/8 = 4.35 กิโลกรัม ฉะนั้นหากคนงานสามารถสกัดเมล็ดขนุนได้ 4.35 กิโลกรัมต่อวัน จะได้รับค่าแรง 20.12 บาท หรือคิดเป็นอัตราค่าแรงที่จะได้รับ 20.12/4.35 = 4.62 บาท/กิโลกรัม ต่อวัน

จากปริมาณเมล็ดขนุนสดที่จะต้องใช้ในการสกัดต่อวัน 34.8 กิโลกรัม ดังนั้นหากคนงานสกัดได้ทั้งหมดจะได้รับค่าแรง 4.62x34.8 = 160.78 บาทต่อวัน คิดเป็นค่าแรงที่จะได้รับต่อเดือน (กำหนดจำนวนวันทำงาน 25 วัน/เดือน) 160.78x25 = 4,019.5 บาท/เดือน หรือ 4,019.5x12 = 48,234 บาท/ปี

4. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนโครงการ ทำได้โดยการคำนวณค่าใช้จ่ายในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน จะประกอบไปด้วยเงินลงทุนเริ่มต้น และส่วนของค่าใช้จ่าย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) สำหรับในการวิเคราะห์จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 4 กรณี คือ การสกัดที่จำนวนครั้งสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน (ระยะเวลาการสกัด 2 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี) ซึ่งข้อมูลเชิงเทคนิคและราคาของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนที่จำเป็นเพื่อใช้ประกอบการคำนวณแสดงในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 สรุปข้อมูลเชิงเทคนิคสำหรับการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน ที่จำนวนครั้งในการสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน (การสกัด 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง)

รายละเอียด	**สกัด 1 ครั้ง/วัน**	**สกัด 2 ครั้ง/วัน**	**สกัด 3 ครั้ง/วัน**	**สกัด 4 ครั้ง/วัน**
อัตราการป้อนเมล็ดขนุนอบแห้ง (กรัม/ครั้ง)	4,000	8,000	12,000	16,000
ปริมาณสารสกัดดิบที่ได้ (ลิตร/ครั้ง) ต่อปริมาณเอทานอล 50% (ปริมาณเอทานอล 50% ที่ใช้ในการสกัด 60 ลิตร/ครั้ง)	17.1	34.2	51.3	68.4
ปริมาณสารสกัดแห้งที่ได้ (กรัม/ครั้ง) ซึ่งคำนวณจากการคูณเปอร์เซ็นต์ผลได้ของการสกัด (27 กรัมของสารสกัดแห้ง/กรัมของเมล็ดขนุนแห้ง) กับปริมาณเมล็ดขนุนอบแห้งที่ใช้สกัด (กรัม/ครั้ง)	1,080	2,160	3,240	4,320
อายุการใช้งานของเครื่อง (ปี)	10	10	10	10
ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน (บาท/เดือน)	2,064	4,356	6,647	8,939
อัตราการทำงานของเครื่อง (300 วัน/ปี)	2 ชั่วโมง/วัน	4 ชั่วโมง/วัน	6 ชั่วโมง/วัน	8 ชั่วโมง/วัน
ราคาอุปกรณ์พร้อมอะไหล่ของเครื่อง (บาท)	155,400	155,400	155,400	155,400
ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (บาท/ปี)	15,540	15,540	15,540	15,540

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนโครงการ โดยแบ่งการคำนวณออกเป็น 4 กรณี คือ การสกัดที่จำนวนครั้งสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน คำนวณได้ดังนี้ (อาชัย พิทยภาคย์, 2546)

กรณีที่ 1 ทำการสกัด 1 ครั้ง/วัน

ค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วย

(1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Cost) คือ ค่าเสื่อมของอุปกรณ์ และเครื่องจักรตามอายุการใช้งาน ใช้วิธีคำนวณแบบเส้นตรง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$D = \frac{P - S}{L} \tag{2}$$

เมื่อ $D =$ ค่าเสื่อมราคา, (บาท/ปี) $P =$ มูลค่าแรกซื้อ, บาท

$S =$ มูลค่าซาก, บาท $L =$ อายุการใช้งาน, ปี

จากข้อมูลการทดลอง

P คือ มูลค่าแรกซื้อ ประมาณราคาได้ 155,400 บาท

S คือ มูลค่าซาก ซึ่งไม่นำมาคิด

L คือ อายุการใช้งาน ประมาณ 10 ปี

เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ว่าค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ 15,540 บาทต่อปี

(2) ต้นทุนเอทานอล 95% (ราคาขายเอทานอล 95% 7,500 บาท/200 ลิตร) โดยการสกัด 1 ครั้ง ใช้เอทานอล 50% ปริมาณ 60 ลิตร ดังนั้นจะต้องใช้เอทานอล 95% ในปริมาณ (0.50x60)/0.95 = 31.58 ลิตร หรือคิดเป็นเงิน 31.58x(7,500/200) = 1,184.25 บาท

(3) อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ดังนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ ซึ่งควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ คือ 1 เปอร์เซ็นต์

(4) ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

ค่าใช้จ่ายแปรผัน ประกอบด้วย

(1) ค่าบำรุงรักษา ซึ่งได้แก่ค่าอุปกรณ์ซีลกันรั่ว (Mechanical Seal) ที่ใช้ประกอบกับปั๊มสูญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น มีราคา 5,000 บาทต่อปี

(2) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด ประมาณราคาได้ 24,772.92 บาทต่อปี (ข้อมูลจากภาคผนวก ง หน้า 96)

(3) ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน ราคา 20 บาท/กิโลกรัม สกัด 1 ครั้ง ใช้เมล็ดขนุนสดประมาณ 8.7 กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายเมล็ดขนุนคือ 52,200 บาทต่อปี

(4) ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน 1 คน ที่อัตราเงินเดือน 4,014.75 บาทต่อเดือนต่อคน หรือ 48,177 บาทต่อปี (ข้อมูลจากภาคผนวก ง หน้า 102)

รายรับที่ได้จากกระบวนการสกัด คือ

รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ (ชนิด Fructo Oilgosaccharide) และสารประกอบฟีนอลิกส์ (ชนิดกรดแกลลิก) ในรูปสารละลายข้น 7,191 บาทต่อปี (ข้อมูลจากภาคผนวก ง หน้า 100)

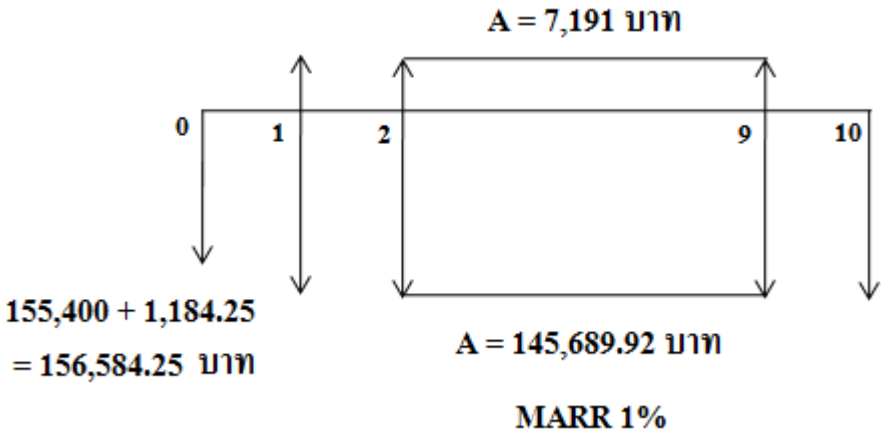
จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) หรือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ แสดงในสมการที่ 4 (บุญเรือง มานะสุรการ, 2542)

มูลค่าปัจจุบัน (NPV) = มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ – มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย (4)

เกณฑ์การตัดสินใจ

- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น บวก ก็น่าสนใจที่จะลงทุน
- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น ลบ ก็ไม่ควรลงทุน

การคำนวณ



มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ = 7,191(P/A, 1%, 10)

= 7,191 x 9.4713

= 68,108.12

มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย = (155,400+1,184.25) +[(15,540+5,000+24,772.92+52,200+48,177) (P/A, 1%, 10)]

= 156,584.25 + (145,689.92x9.4713)

= 1,536,457.19

จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 4 จะได้ NPV = -1,468,349.07

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ แสดงว่าไม่ควรลงทุน

กรณีที่ 2 ทำการสกัด 2 ครั้ง/วัน

ค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วย

(1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Cost) คือ ค่าเสื่อมของอุปกรณ์ และเครื่องจักรตามอายุการใช้งาน ใช้วิธีคำนวณแบบเส้นตรง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$D = \frac{P - S}{L} \qquad (2)$$

เมื่อ D = ค่าเสื่อมราคา, (บาท/ปี) P = มูลค่าแรกซื้อ, บาท

S = มูลค่าซาก, บาท L = อายุการใช้งาน, ปี

จากข้อมูลการทดลอง

P คือ มูลค่าแรกซื้อ ประมาณราคาได้ 155,400 บาท

S คือ มูลค่าซาก ซึ่งไม่นำมาคิด

L คือ อายุการใช้งาน ประมาณ 10 ปี

เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ว่าค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ 15,540 บาทต่อปี

(2) ต้นทุนเอทานอล 95% (ราคาขายเอทานอล 95% 7,500 บาท/200 ลิตร) โดยการสกัด 1 ครั้ง ใช้เอทานอล 50% ปริมาณ 60 ลิตร ดังนั้นจะต้องใช้เอทานอล 95% ในปริมาณ (0.50x60)/0.95 = 31.58 ลิตร หรือคิดเป็นเงิน 31.58x(7,500/200) = 1,184.25 บาท

(3) อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ดังนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ ซึ่งควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ คือ 1 เปอร์เซ็นต์

(4) ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

ค่าใช้จ่ายแปรผัน ประกอบด้วย

(1) ค่าบำรุงรักษา ซึ่งได้แก่ค่าอุปกรณ์ซีลกันรั่ว (Mechanical Seal) ที่ใช้ประกอบกับปั๊มสูญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น มีราคา 5,000 บาทต่อปี

(2) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด ประมาณราคาได้ 52,269.48 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 97)

(3) ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน ราคา 20 บาท/กิโลกรัม สกัด 1 ครั้ง ใช้เมล็ดขนุนสดประมาณ 8.7 กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายเมล็ดขนุนคือ 104,400 บาทต่อปี

(4) ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน 1 คน ที่อัตราเงินเดือน 4,032.5 บาทต่อเดือนต่อคน หรือ 48,390 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 103)

รายรับที่ได้จากกระบวนการสกัด คือ

รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ (ชนิด Fructo Oilgosaccharide) และสารประกอบฟีนอลิกส์ (ชนิดกรดแกลลิก) ในรูปสารละลายข้น 14,382 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 100)

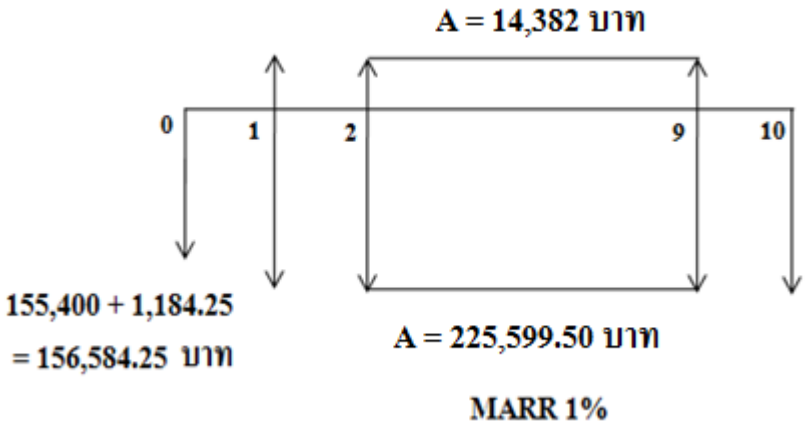
จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หรือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ แสดงในสมการที่ 4 (บุญเรือง มานะสุรการ, 2542)

มูลค่าปัจจุบัน (NPV) = มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ – มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย (4)

เกณฑ์การตัดสินใจ

- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น บวก ก็น่าสนใจที่จะลงทุน
- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น ลบ ก็ไม่ควรลงทุน

การคำนวณ



มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ = 14,382(P/A, 1%, 10)

= 14,382 x 9.4713

= 136,216.24

มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย = (155,400+1,184.25) +[(15,540+5,000+52,269.48+104,400+48,390) (P/A, 1%, 10)]

= 156,584.25 + (225,599.50x9.4713)

= 2,293,304.79

จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 4 จะได้ NPV = -2,157,088.55

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ แสดงว่าไม่ควรลงทุน

กรณีที่ 3 ทำการสกัด 3 ครั้ง/วัน

ค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วย

(1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Cost) คือ ค่าเสื่อมของอุปกรณ์ และเครื่องจักรตามอายุการใช้งาน ใช้วิธีคำนวณแบบเส้นตรง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$D = \frac{P - S}{L} \tag{2}$$

เมื่อ D = ค่าเสื่อมราคา, (บาท/ปี) P = มูลค่าแรกซื้อ, บาท

S = มูลค่าซาก, บาท L = อายุการใช้งาน, ปี

จากข้อมูลการทดลอง

P คือ มูลค่าแรกซื้อ ประมาณราคาได้ 155,400 บาท

S คือ มูลค่าซาก ซึ่งไม่นำมาคิด

L คือ อายุการใช้งาน ประมาณ 10 ปี

เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ว่าค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ 15,540 บาทต่อปี

(2) ต้นทุนเอทานอล 95% (ราคาขายเอทานอล 95% 7,500 บาท/200 ลิตร) โดยการสกัด 1 ครั้ง ใช้เอทานอล 50% ปริมาณ 60 ลิตร ดังนั้นจะต้องใช้เอทานอล 95% ในปริมาณ (0.50x60)/0.95 = 31.58 ลิตร หรือคิดเป็นเงิน 31.58x(7,500/200) = 1,184.25 บาท

(3) อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ดังนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ ซึ่งควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ คือ 1 เปอร์เซ็นต์

(4) ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

ค่าใช้จ่ายแปรผัน ประกอบด้วย

(1) ค่าบำรุงรักษา ซึ่งได้แก่ค่าอุปกรณ์ซีลกันรั่ว (Mechanical Seal) ที่ใช้ประกอบกับปั๊มสูญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น มีราคา 5,000 บาทต่อปี

(2) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด ประมาณราคาได้ 79,766.40 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 98)

(3) ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน ราคา 20 บาท/กิโลกรัม สกัด 1 ครั้ง ใช้เมล็ดขนุนสดประมาณ 8.7 กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายเมล็ดขนุนคือ 156,600 บาทต่อปี

(4) ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน 1 คน ที่อัตราเงินเดือน 4,026 บาทต่อเดือนต่อคน หรือ 48,312 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 104)

รายรับที่ได้จากกระบวนการสกัด คือ

รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ (ชนิด Fructo Oilgosaccharide) และสารประกอบฟีนอลิกส์ (ชนิดกรดแกลลิก) ในรูปสารละลายข้น 21,573 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 100)

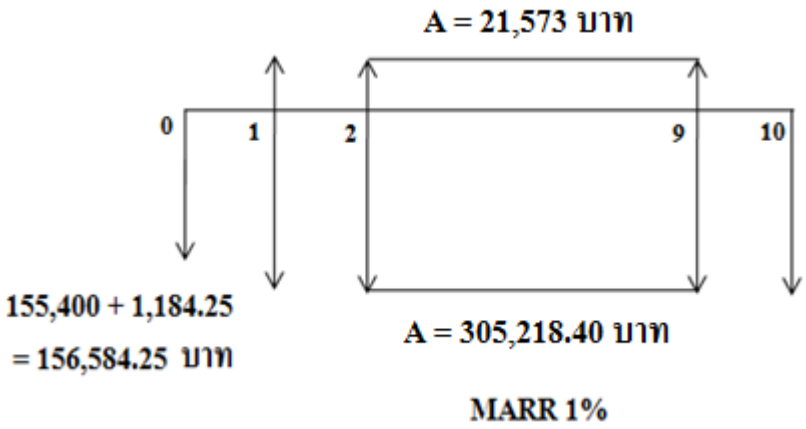
จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) หรือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ แสดงในสมการที่ 4 (บุญเรือง มานะสุรการ, 2542)

มูลค่าปัจจุบัน (NPV) = มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ – มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย (4)

เกณฑ์การตัดสินใจ

- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น บวก ก็น่าสนใจที่จะลงทุน
- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น ลบ ก็ไม่ควรลงทุน

การคำนวณ



มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ = 21,573(P/A, 1%, 10)

= 21,573 x 9.4713

= 204,324.35

มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย = (155,400+1,184.25) +[(15,540+5,000+79,766.40+156,600+48,312) (P/A, 1%, 10)]

= 156,584.25 + (305,218.40x9.4713)

= 3,047,399.28

จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 4 จะได้ NPV = -2,843,074.90

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ แสดงว่าไม่ควรลงทุน

กรณีที่ 4 ทำการสกัด 4 ครั้ง/วัน

ค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วย

(1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation Cost) คือ ค่าเสื่อมของอุปกรณ์ และเครื่องจักรตามอายุการใช้งาน ใช้วิธีคำนวณแบบเส้นตรง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$D = \frac{P - S}{L} \quad (2)$$

เมื่อ $D =$ ค่าเสื่อมราคา, (บาท/ปี) $P =$ มูลค่าแรกซื้อ, บาท

$S =$ มูลค่าซาก, บาท $L =$ อายุการใช้งาน, ปี

จากข้อมูลการทดลอง

P คือ มูลค่าแรกซื้อ ประมาณราคาได้ 155,400 บาท

S คือ มูลค่าซาก ซึ่งไม่นำมาคิด

L คือ อายุการใช้งาน ประมาณ 10 ปี

เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ว่าค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ 15,540 บาทต่อปี

(2) ต้นทุนเอทานอล 95% (ราคาขายเอทานอล 95% 7,500 บาท/200 ลิตร) โดยการสกัด 1 ครั้ง ใช้เอทานอล 50% ปริมาณ 60 ลิตร ดังนั้นจะต้องใช้เอทานอล 95% ในปริมาณ (0.50x60)/0.95 = 31.58 ลิตร หรือคิดเป็นเงิน 31.58x(7,500/200) = 1,184.25 บาท

(3) อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

ดังนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ ซึ่งควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ คือ 1 เปอร์เซ็นต์

(4) ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

ค่าใช้จ่ายแปรผัน ประกอบด้วย

(1) ค่าบำรุงรักษา ซึ่งได้แก่ค่าอุปกรณ์ซีลกันรั่ว (Mechanical Seal) ที่ใช้ประกอบกับปั๊มสูญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น มีราคา 5,000 บาทต่อปี

(2) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด ประมาณราคาได้ 107,263.10 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 99)

(3) ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน ราคา 20 บาท/กิโลกรัม สกัด 1 ครั้ง ใช้เมล็ดขนุนสด ประมาณ 8.7 กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายเมล็ดขนุนคือ 208,800 บาทต่อปี

(4) ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน 1 คน ที่อัตราเงินเดือน 4,019.5 บาทต่อเดือนต่อคน หรือ 48,234 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 104)

รายรับที่ได้จากกระบวนการสกัด คือ

รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ (ชนิด Fructo Oilgosaccharide) และสารประกอบฟีนอลิกส์ (ชนิดกรดแกลลิก) ในรูปสารละลายข้น 28,764 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 100)

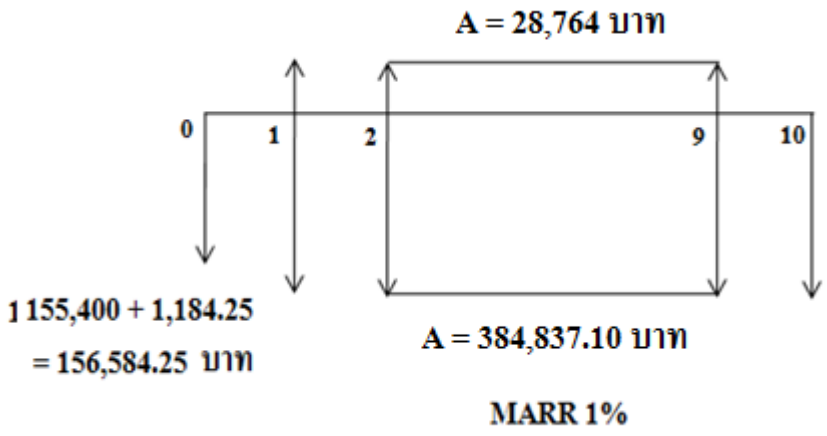
จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) หรือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ แสดงในสมการที่ 4 (บุญเรือง มานะสุรการ, 2542)

มูลค่าปัจจุบัน (NPV) = มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ – มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย (4)

เกณฑ์การตัดสินใจ

- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น บวก ก็น่าสนใจที่จะลงทุน
- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น ลบ ก็ไม่ควรลงทุน

การคำนวณ



มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ = 28,764(P/A, 1%, 10)

= 28,764 x 9.4713

= 272,432.47

มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย = (155,400+1,184.25) +[(15,540+5,000+107,263.10+208,800+48,234) (P/A, 1%, 10)]

= 156,584.25 + (384,837.10x9.4713)

= 3,801,401.90

จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 4 จะได้ NPV = -3,528,969.40

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ แสดงว่าไม่ควรลงทุน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาววรรณพิชญ์ จุลกัลป์
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5110120110

วุฒิ	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนศิษย์ก้นกุฏิระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ. 2551

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วรรณพิชญ์ จุลกัลป์, ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์และราม แย้มแสงสังข์. 2553. ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา, 22–23 เมษายน 2553: 66-71.