**รูปแบบรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ แบบที่ 1**

**(สำหรับชุดโครงการ) ส่วนที่ 1**

# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

# (การสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน ในระดับโรงงานจำลองน)

# (Extraction of Prebiotics and Phenolic Compounds from Jackfruit Seeds in Pilot Scale)

**คณะนักวิจัย**

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราม แย้มแสงสังข์**
**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์**
**ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก (เงินรายได้มหาวิทยาลัย/งบประมาณแผ่นดิน)**
**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**
**ประจำปีงบประมาณ 2554-2555 Project ID: 2555A11503120**

## ส่วนที่ 2 เนื้อหา

**1. ชื่อชุดโครงการ การสกัดและแยกพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนและการผลิตเอทานอลจากกากเมล็ดขนุน**

**2. ชื่อโครงการย่อยที่ 1**

การสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนในระดับโรงงานจำลอง
Extraction of Prebiotics and Phenolic Compounds from Jackfruit Seeds in Pilot Scale

**3. คณะนักวิจัย และหน่วยงานต้นสังกัด (คณะ/ภาควิชา หรือหน่วยงาน)**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราม แย้มแสงสังข์ หัวหน้าโครงการย่อยที่ 1
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ Co-Researcher
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | iii |
| รายการตาราง | v |
| รายการภาพประกอบ | viii |
| กิตติกรรมประกาศ | xi |
| Executive Summary | xii |
| บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ | xiii |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทนำต้นเรื่อง | 1 |
| บทตรวจเอกสาร | 3 |
| วัตถุประสงค์ | 22 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 22 |
| บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย | 23 |
| ตัวอย่างพืชที่นำมาใช้ในการสกัด | 23 |
| สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง | 23 |
| อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 23 |
| วิธีการทดลอง | 24 |
| วิธีการวิเคราะห์ | 27 |
| บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง | 37 |
| ผลของอุณหภูมิในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก | 37 |
| ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก | 40 |
| ผลของเวลาในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก | 43 |
| ผลของปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก | 46 |
| ผลของผลได้ของการสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองก่อนและหลังการปรับปรุง | 49 |

สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| ผลของการสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดสกัดขนาดเล็กเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองหลังการปรับปรุง | 50 |
| ผลของการวิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์ | 52 |
| ผลของการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ในตัวอย่างสารสกัดก่อนและหลังผ่านการทำให้ได้ฟีนอลิกส์บริสุทธิ์ด้วยวิธี HPLC | 52 |
| ผลของการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ | 54 |
| บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง | 55 |
| บรรณานุกรม | 57 |
| ภาคผนวก | 62 |
| ภาคผนวก ก การปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ | 63 |
| ภาคผนวก ข การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์ | 66 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง | 72 |
| ภาคผนวก ง การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ | 78 |
| ภาคผนวก จ Proceeding from PSU Engineeirng Conference 2553 | 92 |

รายการตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | สถิติการปลูกขนุนหนังในประเทศไทยแยกรายภาค ปี พ.ศ. 2546 | 4 |
| 2 | สถิติการปลูกขนุนหนังในภาคใต้ ปีการเพาะปลูก 2546 | 4 |
| 3 | ชนิด Oligosaccharides ที่ใช้เป็นพรีไบโอติกส์ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาดโลก | 5 |
| 4 | กลุ่มย่อยต่าง ๆ ของสารประกอบฟีนอลิกส์ในพืช | 9 |
| 5 | คุณสมบัติทางเคมี - กายภาพ ของ Packing ใน Sep-Pak | 18 |
| 6 | ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิในการสกัด 50, 70 และ 90°C | 39 |
| 7 | ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร | 41 |
| 8 | ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 90°C อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่เวลาในการสกัด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที | 43 |
| 9 | ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดย ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 90°C อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่เวลาในการสกัด 60 นาที โดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 และ 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) | 45 |

รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 10 | ค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิกของสารสกัดเมล็ดขนุนก่อนและหลังผ่าน C18 Cartridge | 49 |
| 11 | ข้อมูลเชิงเทคนิคสำหรับการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนที่จำนวนครั้งในการสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน | 51 |
| 12 | ข้อมูลรายได้และค่าใช้จ่ายของการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ ที่กำลังผลิตสูงสุดของเครื่องในแต่ละครั้งของการสกัด ที่จำนวนครั้งในการสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน | 53 |
| 13 | เปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิจากการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองในกรณีเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดเป็น 1, 2, 3 และ 4 ครั้งต่อวัน | 54 |
| 14 | ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร | 72 |
| 15 | ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร | 72 |
| 16 | ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร | 72 |

รายการตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 17 | ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก)โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาทีและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร | 73 |
| 18 | ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C | 73 |
| 19 | ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C | 73 |
| 20 | ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C | 74 |

# รายการภาพประกอบ


| ภาพประกอบที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ลักษณะภายนอกและภายในของขนุน | 2 |
| 2 | เนื้อที่เพาะปลูกขนุนหนังในประเทศไทย ปี พ2546 .ศ. | 3 |
| 3 | เครงสร้างอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ | 6 |
| | องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกส์ | 7 |
| 5 | โครงสร้างของ Gallic Acid | 10 |
| 6 | ภาพเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบแบทช์และเครื่องชะละลายน้ำตาลจากหัวบีท | 13 |
| 7 | ขั้นตอนการใช้ Sep-Pak C18 Cartridge ในการทำสารตัวอย่างให้บริสุทธิ์ | 17 |
| 8 | กระบวนการหาปริมาณและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสาร ประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน | 24 |
| 9 | ภาพวาด มิติ ของชุดสกัดแบบแบทช์ 3 | 26 |
| 10 | ภาพถ่ายถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์ | 27 |
| 11 | ภาพถ่ายตะแกรงด้านนอกและชั้นตะแกรงด้านในสำหรับบรรจุวัตถุดิบที่ใช้ ในการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ | 27 |
| 12 | ภาพถ่ายด้านในของถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์ | 28 |
| 13 | ภาพถ่ายลักษณะการบรรจุวัตถุดิบลงด้านในของถังสกัดที่ประกอบกับ ชุดสกัดแบบแบทช์ | 28 |
| 14 | ภาพถ่ายถังระเหยขนาดใหญ่ที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์ | 29 |
| 15 | ภาพถ่ายถังระเหยขนาดเล็กที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์ | 29 |
| 16 | ภาพถ่ายเครื่องควบแน่นที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์ | 30 |
| 17 | ภาพถ่ายคอลัมน์ดักตัวทำละลายที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์ | 30 |
| 18 | ภาพถ่ายถังให้ความร้อนที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์ | 31 |
| 19 | ภาพถ่ายชุดสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนแบบแบทช์ | 31 |
| 20 | กระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน น้ำตาล กรดอินทรีย์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากสารสกัดดิบโดยใช้ C18 Sep-Pak Cartridges เพื่อให้ได้ สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์ | 32 |
| 21 | ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร | 38 |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)


| ภาพประกอบที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 22 | ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร | 38 |
| 23 | ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C | 40 |
| 24 | ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C | 40 |
| 25 | ผลของเวลาในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C | 42 |
| 26 | ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C | 42 |
| 27 | ผลของปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 60 นาที | 44 |
| 28 | ผลของปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C เวลาในการสกัด 60 นาที | 45 |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)


| ภาพประกอบที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 29 | ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ทำการสกัดเมล็ดขนุนสด โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60°C | 46 |
| 30 | ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็กและเครื่องสกัดแบบแบทช์ หลังจากทำการปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว ทำการสกัดเมล็ดขนุนอบแห้ง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C | 47 |
| 31 | โครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ กรดแกลลิก กรดพีคูมาริก และกรดเฟอรูลิก ของสารมาตรฐาน ที่เวลา 2.50 13.72 และ15.01 นาที ตามลำดับ | 49 |
| 32 | โครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ของสารสกัดเมล็ดขนุน ก่อนและหลังผ่าน C18 Cartridge | 50 |
| 33 | ภาพถ่ายด้านในของถังสกัดแบบแบทช์ก่อนการปรับปรุง | 63 |
| 34 | ภาพถ่ายด้านในของถังสกัดแบบแบทช์หลังการปรับปรุง | 64 |
| 35 | กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด | 67 |
| 36 | กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ | 68 |
| 37 | กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด | 70 |
| 38 | กราฟมาตรฐานสารละลายเอทานอลสำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์ | 71 |

# กิตติกรรมประกาศ

Even though this project did not proceed completely as planned due to equipment difficulties, several key objectives were reached and several recommendations and suggestions for this project were able to be made. First of all, I would like to thank my colleague Assoc.Prof.Dr. Pakamas Chetpattananondh for assisting in making this project happened. I would like to give a special thank you to Ms. Wannapit Junlakan who worked extremely hard in completing her thesis study focusing on the lab scale and pilot scale study of prebiotic and phenolic extraction.

A special gratitude goes to the technicians at the Department of Chemical Engineering for helping to setup the equipment and maintenancing it throughout the difficulties. I would like to acknowledge the intensive work by our senior students, Mr.Kukiat and Mr.Choktawee in helping to repair the equipment for the continuous extraction unit. Finally, I would like to thank the Prince of Songkla University and the Goveernment of Thailand for appropriating this budget for the project.

## Executive Summary

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสาร ประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน การแยกเพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์ที่บริสุทธิ์เพิ่มขึ้น และศึกษาการปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์และแบบต่อเนื่องขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สภาวะที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิในการสกัด (50, 70 และ 90°C) เวลาในการสกัด (60 นาที และ 120 นาที) และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลาย

จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้ทั้งพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่มีปริมาณสูงเหมาะสมกับค่าใช้จ่าย คือ เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อ ปริมาตร ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลไม่-ถูกรีดิวซ์ 164 มิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้งและสารประกอบฟีนอลิกส์ 16 มิลลิกรัมของแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง จากนั้นได้ทำการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 60 นาที ซึ่งพบว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้นผล จะได้ของสารสกัดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น อัตราส่วน 1:15 ได้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์มากที่สุด แต่พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:10 จะได้ปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมด 17 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง สูงกว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 ซึ่งจะได้ปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมด 15 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้งแต่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

จากการศึกษาผลกระทบของเวลาต่อการสกัด เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น คือ 30, 60, 90 และ 120 นาที ผลได้ของสารสกัดจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย และเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จะมีปริมาณมากที่สุดที่เวลาในการสกัด 60 นาที และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดมีปริมาณมากที่สุดที่เวลาในการสกัด 120 นาที แต่เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าที่เวลาในการสกัด 30, 60, 90 และ 120 นาที ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อมีนำสภาวะการทดลองที่ความชื้นของเมล็ดขนุน 54 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิในการสกัด 90°C และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร มาใช้กับการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์หลังจากปรับปรุงแล้ว จะให้ค่าผลได้ของการสกัดมากกว่าการสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก เนื่องจากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์จะเป็นระบบปั๊มไหลเวียนสารละลายผ่านสเปรย์ทางด้านข้างถังสกัด จะ

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

จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า การสกัดสารพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ ยังไม่คุ้มค่าการลงทุน จึงควรที่จะศึกษาการแยกและทำให้ได้พรีไบโอติกส์ที่บริสุทธิ์เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มมูลค่า หรือหาวัตถุดิบชนิดอื่นที่มีปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์มากขึ้นมาใช้ในการสกัด หรือปรับปรุงถังสกัดให้สามารถบรรจุวัตถุดิบในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์พรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์เพิ่มขึ้น สุดท้ายนี้เมื่อมีการปรับปรุงเครื่องสกัดแบบต่อเนื่องที่ได้จัดสร้างขึ้นไว้ พบว่าเครื่องมีปัญหาอย่างต่อเนื่อง มีจุดหลายจุดที่ได้เสียหายจากระบบไฟลัดวงจรจากไฟดับ Pneumatic Valves ไม่ทำงาน ระบบวงจรควบคุม ไม่ทำงาน Heating Plate ต้องเปลี่ยน ระบบ Vacuum Evaporator ใช้งานไม่ได้ และ มีการเกิดการกัดกร่อน (Corrosion) หลายจุด โดยเฉพาะปริเวณใต้ชนวน ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และค่าใช้จ่ายไม่เพียงพอในการซ่อมแซมและปรับปรุงให้ใช้งานได้ใหม่ จึงทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ตามแผน จึงสรุปว่าการทดลองแบบต่อเนื่องอาจยังไม่เหมาะกับการผลิตสารปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน และการปรับปรุงเรื่องอาจต้องรอการของบจากงบประมาณต่อไปในอณาคต

ผลงานที่ได้จากการวิจัย

1. **ผลงานนำเสนอในที่ประชุมวิชาการ**

- วรรณพิชญ์ จุลกัลป์, ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์, ราม แย้มแสงสังข์ (2553) “ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน - Study of Prebiotics and Phenolic Compound Extraction from Jackfruit Seed” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8 (PEC-8) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่สงขลา 22–23 เมษายน 2553

2. โปสเตอร์แสดงในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์ 2553

# บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ โดยเมล็ดขนุนถูกนำมาสกัดที่สภาวะต่าง ๆ กันด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก และนำสภาวะมาใช้กับเครื่องสกัดแบบแบทช์ สภาวะที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิในการสกัด (50, 70 และ 90°C) เวลาในการสกัด )0, 30, 60, 90 และ 120 นาที( อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร) และความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด )49 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียกโดยใช้เอทาน (อล 50 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลาย จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้ทั้งพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่มีปริมาณสูง คือ ใช้เมล็ดขนุนความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก เป็นวัตถุดิบในการสกัด ที่เวลาในการสกัด 60 นาที อุณหภูมิ 90°C และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร จะได้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ 217 มิลลิกรัมต่อกรัมกลูโคสของเมล็ดขนุนแห้งและสารประกอบฟีนอลิกส์ 15 มิลลิกรัมของแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง และจากการศึกษาปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็กกับการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง โดยใช้เมล็ดขนุนความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก เป็นวัตถุดิบในการสกัด พบว่าปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง จะให้ปริมาณที่สูงกว่า คือ ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ 35 มิลลิกรัมต่อกรัมกลูโคสของเมล็ดขนุนแห้งและสารประกอบฟีนอลิกส์ 12 มิลลิกรัมของแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง ซึ่งสามารถยืนยันถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน และจากการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ )Net Present Value: NPVพรีไจากการคำนวณพบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าติดลบ แสดงว่าการลงทุนเพื่อสกัด (บโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ยังไม่คุ้มค่าในการลงทุน

# Abstract

This research aimed to study the extraction of prebiotics and phenolic compounds from jackfruit seeds using a batch extractor. Jackfruit seeds were extracted in a lab scale using glass media bottles to determine the optimal extraction conditions, which was chosen for batch scale study. The investigated extraction conditions included extraction temperatures (50, 70 and 90°C), extraction times (0, 30, 60, 90 and 120 minutes), solid to solvent ratios (1:8, 1:10 and 1:15 w/v) and extraction moisture content of jackfruit seeds after drying (49 and 54% w.b.) using 50% ethanol as a solvent. The results showed that the optimal extraction conditions of both prebiotics and phenolic compounds were extraction moisture content of jackfruit seeds of 49% w.b., extraction temperature of 90°C for 60 minutes and solid to solvent ratio of 1:15 w/v, which produced a non-reducing sugar amount of 217 mg/g dried-jackfruit seeds and a phenolic compound amount of 15 mg GAE/g dried-jackfruit seeds.

Moreover, results showed that more non-reducing sugar and the total phenolic content were obtained using a batch extractor than the lab scale extractor, which produced a non-reducing sugar amount of 35 mg glucose/g dried-jackfruit seeds and a total phenolic content amont of 12 mg GAE/g dried-jackfruit seeds. Finally, an economic analysis of the extraction of prebiotics and phenolic compounds from jackfruit seeds using the batch extractor was conducted using the net present value method (NPV). The result showed that the net present value was negative, and therefore, the batch scale unit must be further modified and optimized in order to produce a higher yield and less energy consumption than the current version.

# บทที่ 1

# บทนำ

## บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับอาหารสุขภาพ (Functional Food) มากขึ้น อาหารสุขภาพเหล่านี้จะมีวางขายทั่วไปในร้านอาหารเพื่อสุขภาพและซุปเปอร์มาเก็ต โดยเฉพาะในแถบยุโรปหรือญี่ปุ่น เช่น น้ำอัดลมหรือน้ำผลไม้ที่เติมแคลเซียมหรือวิตามินซีลงไป หรือในผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เติมสารไฟโตสเตอรอล (Phytosterol) เพื่อป้องกันการดูดซึมคลอเรสเตอรอล และเติมวิตามินลงไป อาหารสุขภาพที่ให้ประโยชน์เฉพาะด้าน เช่น ลดคลอเรสเตอรอล เพิ่มแร่ธาตุ และวิตามิน ฯลฯ อาหารสุขภาพประเภทหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจในขณะนี้ คือ อาหารที่ช่วยให้ระบบการย่อย หรือระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดีขึ้น

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

นอกจากนี้ยังมีกลุ่มสารอาหารอีกชนิด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการปกป้องร่างกาย โดยต่อต้านปฏิกิริยาที่เกี่ยวกับออกซิเจน ไนโตรเจนและกระบวนการเกี่ยวกับเมตาบอลิซึมหรือการบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกาย ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกส์ ซึ่งจะพบอยู่ในผักและผลไม้ เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ )Antioxidant) ซึ่งอนุมูลอิสระเป็นต้นเหตุแห่งความชรา โรคอ้วน โรคหัวใจ ภูมิแพ้ มะเร็ง ฯลฯ ด้วยเหตุนี้จึงต้องคำนึงถึงความสำคัญในการบริโภคปริมาณฟีนอลิกส์ในอาหารมนุษย์และเพิ่มคุณค่าอาหารด้วยการผสมสารประกอบฟีนอลิกส์เข้าไปในอาหาร ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์อาจจะมีความเป็นพิษต่อร่างกาย อีกทั้งใช้ต้นทุนการผลิตสูงแต่กลับมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า

สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่าส่วนของผักผลไม้ที่รับประทานได้มีปริมาณฟีนอลิกส์น้อยกว่าส่วนที่รับประทานไม่ได้

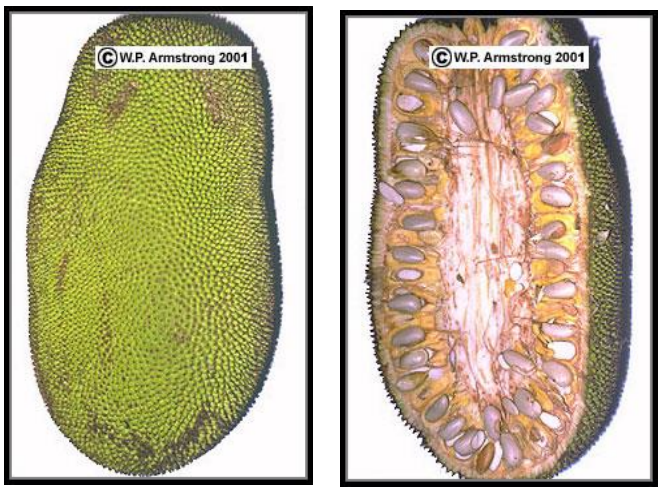
ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2530 – 2534 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2530) ระบุว่าประเทศไทยจะต้องเปลี่ยนแผนจากประเทศเกษตรกรรมเป็นประเทศอุตสาหกรรม จึงจะสามารถอยู่รอดและมีการพัฒนาประเทศได้ แต่เนื่องจากสภาพภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศของประเทศไทยเหมาะในการเพาะปลูก จึงมีผลผลิตทางการเกษตรและของเหลือทิ้งทางการเกษตรมากมาย การพัฒนาอุตสาหกรรมจึงได้มุ่งเน้นไปทางด้านอุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหารเพื่อแปรรูปวัสดุเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและส่งออก เป็นการเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นแทนที่จะเป็นผลผลิตทางการเกษตร เพียงอย่างเดียว ของเสียจำพวกของเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้จะมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากและ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าของเสียเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมดังกล่าว แต่ก็ยังมีคุณค่าทางเศรษฐกิจอยู่ หากมีการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ในการแยกสารอินทรีย์เหล่านี้ให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณค่าสูงขึ้น

โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน การแยกเพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์ที่บริสุทธิ์เพิ่มขึ้น และศึกษาการปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ผลจากงานวิจัยนี้เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของเมล็ดขนุน และพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารเสริมสุขภาพในประเทศไทยต่อไป

**บทตรวจเอกสาร**

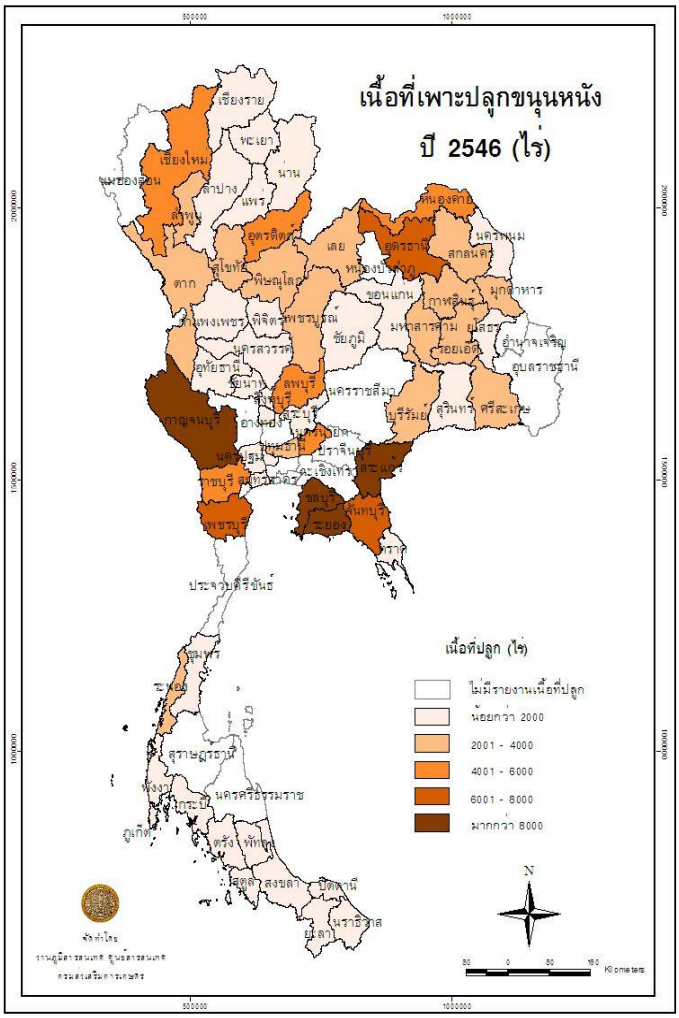
**1. ขนุน (Jackfruit)**

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 นอกจากนี้ยังนำไปแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่าง ๆ มีปลูกทั่วทุกภาคของประเทศไทย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2 และตารางที่ 1 และจังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีปริมาณการปลูกขนุนค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับจังหวัดอื่น ๆ 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 1สถิติการปลูกขนุนหนังในประเทศไทยแยกรายภาค 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(ไม่รวมกรุงเทพ) | 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)

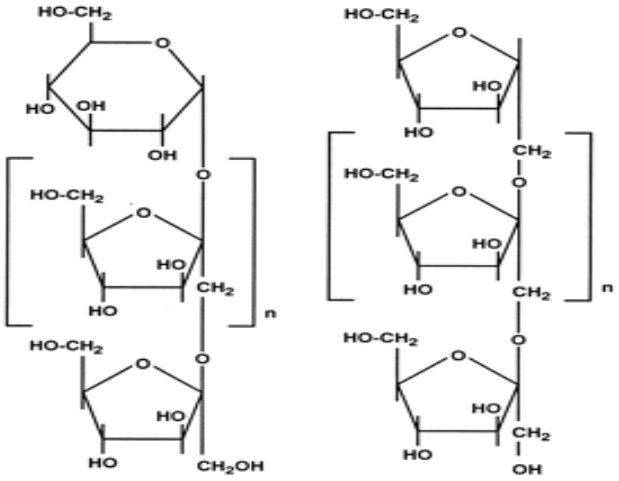
| **จังหวัด** | **พื้นที่ปลูก (ไร่)** | | | **ผลผลิตเฉลี่ย (ไร่/.กก)** | **ผลผลิตรวม (ตัน)** | **ราคาเฉลี่ย (กก/บาท)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **ให้ผลแล้ว** | **ยังไม่ให้ผล** | **รวม** | | | |
| ประจวบคีรีขันธ์ | 17,775 | 7,347 | 25,122 | 3,912 | 69,532 | 7.18 |
| กระบี่ | 739 | 76 | 815 | 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 |
| 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 หน่วย 3 ขึ้นไป 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 สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ และเมื่อรับประทานพรีไบโอติกส์ไประยะหนึ่ง ประชากรแบคทีเรียในลำไส้จะมีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดสภาพสมดุลของจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลให้เกิดความสมดุลของลำไส้ ทำให้สุขภาพร่างกายสมบูรณ์แข็งแรง (Grajek et al., 2005) พรีไบโอติกส์มีทั้งที่สกัดมาจากพืชและสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ขายกันอยู่ในปัจจุบัน ตัวอย่างของพรีไบโอติกส์ประเภท Oligosaccharides ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาดโลก แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่าง Oligosaccharides ที่ใช้เป็นพรีไบโอติกส์ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาด (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 และอาจมีหมู่แทนที่ต่าง ๆ 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 เมื่อโดนอากาศจะมีสีชมพูอ่อน ๆ จุดหลอมเหลว 40.85 องศาเซลเซียส จุดเดือด 182 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟ 79°C สารละลายของฟีนอลเป็นกรดอ่อน โดยมีค่า pKa 10.0 ฟีนอลละลายได้ในกลีเซอรอลคาร์บอนไดซัลไฟด์ อัลกอฮอล์ อีเธอร์และคลอโรฟอร์ม พบได้ในพืช ผักและผลไม้ทั่วไป อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ (Hertog และ Katan, 1998; Newmark et al., 1996; Agarwal และ Mulkhtar, 1996)

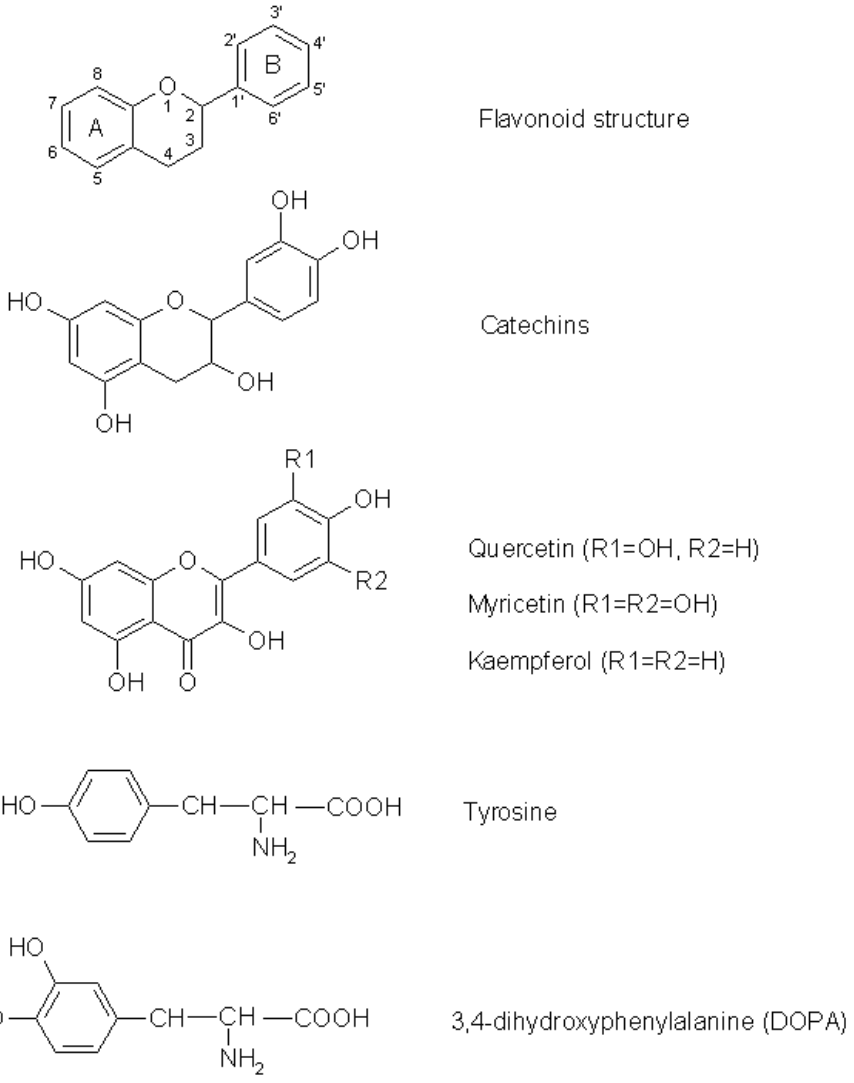
(1) Simple Phenols/Phenolic Acid และอนุพันธ์เช่น Gallic Acid, Ellagic Acid, Tannic Acid, Vanillin, Catechol, Resorcinol และ Salicylic Acid เป็นต้น สารกลุ่มนี้พบได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น Raspberry and Blackberry

(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

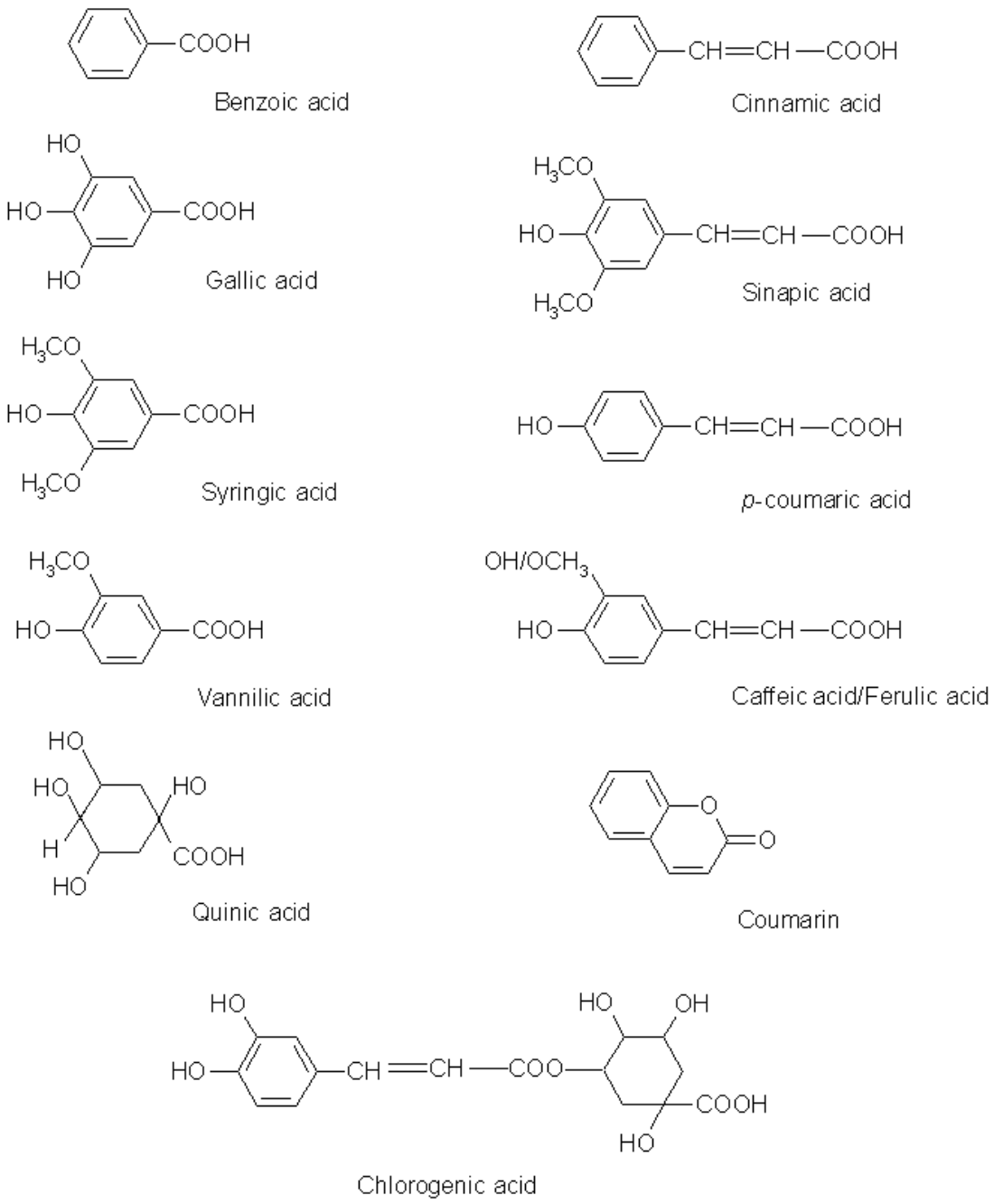
(3)Flavonoids เป็นกลุ่มสำคัญของ Phenolic Compounds จะได้แก่สารที่มีสูตรโครงสร้างเป็น C-6C-3C แยกย่อยออกได้เป็นหลายกลุ่มได้แก่ 6Catechins, Proanthocyanins, Anthocyanidins, Flavones, Flavonols, Flavonones และ Isoflavones จากการที่พบ

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)

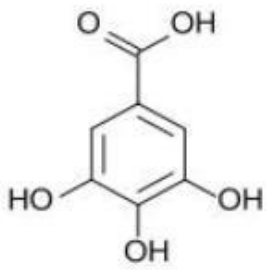
นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกส์ในพืชยังสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มย่อยต่าง ๆ ตามจำนวนคาร์บอนอะตอมดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กลุ่มย่อยต่าง ๆ 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°C (523 K) ความสามารถในการละลาย 1.1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำ @ 20°C Anhydrous Monohydrate และ 1.5 กรัมต่อมิลลิลิตรน้ำ @ 20°C ความเป็น Acidity (pKa) 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, OONOจะเป็นสารที่ไม่คง ($^{-2}$ ตัวและสามารถทำให้เกิดCell Damage โดยการเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะ Oxidative Stress ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดปกติของ Cell Membrane, Protein และ DNA (Frankel et al., 1995; Newmark, 1996)

ปัจจุบันมีรายงานการทดลองยืนยันว่าสารประกอบฟีนอลิกส์หลายตัวมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและมีฤทธิ์ต้านมะเร็ง (Anticancer) โดยสารต้านออกซิเดชันเป็นกลุ่มสารซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงสามารถป้องกันเซลล์จากการถูกทำลายได้ สารกลุ่มนี้ทำงานโดยการเอาตัวเองเข้ารับอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระหมดฤทธิ์ และปฏิกิริยาลูกโซ่หยุดลง ขณะเดียวกันสารต้านออกซิเดชันเองก็ถูกทำลายไปด้วย สารต้านออกซิเดชันจึงมีส่วนช่วยป้องกันหรือลดการเกิดโรคต่าง ๆ (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 หลังจากนั้นสกัดสีที่เกิดขึ้นด้วยนอร์มอลบิวทิลอัลกอฮอล์ (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 โพแทสเซียม เฟอร์โรไซยาไนด์ (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 ในสภาวะที่เป็นกรดโดยมีซิริกแอมโมเนียม

ซัลเฟต (Ceric Ammonium Sulphate) เป็นตัวออกซิไดซ์ แล้วหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ในรูปของสาร ประกอบเชิงซ้อนที่มีสี โดยใช้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

8. วิธีการวิเคราะห์โดยการใช้ High Performance Liquid Chromatography, HPLC การวิเคราะห์โดย HPLC และใช้ดีเทคเตอร์ชนิด UV Detector จะให้ความไวที่ไม่ดีและมีผลของสิ่งเจือปนอื่น ๆ รบกวนในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลิกส์ให้อยู่ในรูปของอนุพันธ์ (Derivative) โดยใช้ 3-Metyl-2-Benzo-Thiazolione Hydrazone และ P-Nitrobenzene Diazonium Tetrafluoroborate เพื่อปรับปรุง Resolution ของสารประกอบที่มีค่า Retention Time ใกล้กันมาก ๆ 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 โดยไม่ละลายสารอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการสกัด ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด สามารถแยกออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ง่าย ไม่เป็นพิษ และมีราคาถูก (ชาคริต ทองอุไร, 2548)

Liquid-Solid Extraction คือ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยอาศัยกระบวนการทางกายภาพ ทำให้เกิดการถ่ายเทสารประกอบจากของแข็งไปในของเหลว ซึ่งจะเกิดการแยกของส่วนประกอบในของแข็งตั้งต้น และเป็นวิธีที่เลือกใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบ ฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธีนี้ คือ สารสกัดอาจมีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วยและมีปัญหาการตกค้างของตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นอันตราย ทำให้ต้องมีการเพิ่มขั้นตอนการทำสารสกัดให้บริสุทธิ์ เพื่อกำจัดสารตกค้างต่าง ๆ (สุวัสสา พงษ์อำไพ และ คณะ, 2548)

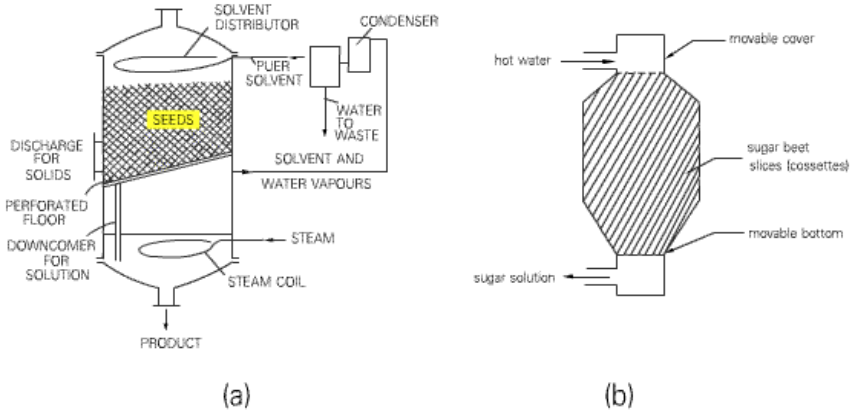
**4.1. กลไกการสกัดแบบกะ )Sing-Stage Batch Extraction)**

มีกรรมวิธีจำนวนมากในการสกัดสารสำคัญออกจากของแข็ง ไม่ว่าจะเป็นการสกัดด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่องหรือกระบวนสกัดแบบกะ กระบวนการสกัดแบบกะเป็นกรรมวิธีสามัญที่

ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมแร่ ฯลฯ โดยจะปล่อยตัวทำละลายให้ซึมผ่านชั้นของแข็งที่อยู่นิ่ง ในภาชนะซึ่งมีก้นเป็นรูให้ตัวทำละลายผ่านออกได้ ซึ่งของแข็งจะต้องไม่มีขนาดเล็กเกินไปหรือมีความต้านทานต่อการไหลสูง (ชาคริต ทองอุไร, 2548)

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

ตัวอย่างกรรมวิธีการสกัดด้วยชุดสกัดแบบกะ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 6 (a) ซึ่งเป็นการสกัดของเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบกะ ในกระบวนการนี้ของแข็งจะสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่มีตัวถูกละลายอยู่จนถึงสมดุล โดยการปั๊มตัวทำละลายผ่านชั้นของของแข็งแล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ หรือในภาพประกอบ (b) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลจากหัวบีท ส่วนที่ปิดด้านบนสามารถเลื่อนออกเพื่อใส่หัวบีทที่เฉือนเป็นชิ้นบางเข้าไปในถังแล้วปล่อยน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 71 ถึง 77°C ไหลเข้าไปในชั้นของของแข็งเพื่อชะละลายน้ำตาลออกมา ของแข็งอาจแช่อยู่ในตัวทำละลายที่มีการกวนหรือไม่ก็ได้ หลังจากสมดุล เฟสของตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่จะถูกระบายออกไปจากของแข็ง (Drained) จากนั้นตัวทำละลายและน้ำที่สกัดได้จะถูกทำให้เดือดอย่างต่อเนื่องโดยได้รับความร้อนจากขดลวดไอน้ำ (Steam Coil) ตัวอย่างการสกัด อื่น ๆ เช่นการสกัดกาแฟหรือชาและการกำจัดคาเฟอีนด้วยน้ำ (Water Decaffeination) ของเมล็ดกาแฟดิบ (Charm, 1978; Geankoplis, 1993)




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

**5. ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดพรีไบโอติกส์**

1. ขนาดเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด

การเตรียมตัวอย่างเมล็ดขนุนก่อนการสกัดมีผลต่อการสกัดพรีไบโอติกส์ โดย ขนาดของของแข็งที่ใช้สกัดควรมีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก ๆ จะส่งผลให้การกระจายตัวของตัวทำละลายเข้าไปภายในของแข็งเกิดขึ้นได้ดี (สุกัญญา วงศ์พรชัย และคณะ, 2547)

.2 ตัวทำละลายที่ใช้สกัด

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

.3 อุณหภูมิ

Oligosaccharide จะสกัดออกจากของแข็งได้ดีที่อุณหภูมิในการสกัดสูง ๆ 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

สารฟีนอลิกส์จะสกัดออกจากของแข็งได้ดีที่อุณหภูมิในการสกัดสูง ๆ 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 ต่ำ ๆ โดยตัวทำละลายที่ pH ต่ำ ๆ 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 จึงเป็นการยากที่จะแยกสารหรือโมเลกุลที่มีปริมาณน้อยมาก ๆ 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 เป็นการแยกสารโดยให้สารที่สนใจติดอยู่บนคอลัมน์ ในขณะที่สารที่ไม่สนใจหรือไม่ต้องการจะถูกชะออกมาจากคอลัมน์ จากนั้นใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมชะสารที่สนใจให้ออกมาจากคอลัมน์ในภายหลัง โดยทั่วไปสารที่สนใจจะจับอยู่กับ วัฏภาคคงที่ (Stationary Phase) ซึ่งเป็นสารดูดซับ (Adsorbent) ที่มีรูปร่างเป็นเม็ดเล็ก (Bead) หรือ เรซิน (Resin) ซึ่งอาจเป็น Nomal Phase, Reverse Phase หรือ Ion-Exchance Media ก็ได้ และสามารถบรรจุไว้ในคอลัมน์ได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นไซริงค์ (Syringe) ตัวอย่างเช่นนำสารที่สกัดด้วยน้ำมาแยกด้วย SPE ที่มีวัฏภาคคงที่เป็น Reverse Phase พบว่าสารที่มีขั้วต่ำจะติดในคอลัมน์ แต่สารที่มีขั้วสูงจะถูกชะออกมาก่อน จากนั้นจึงใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำชะสารที่ติดอยู่ในคอลัมน์ออกมา ซึ่งสารที่ถูกชะออกมานี้ค่อนข้างบริสุทธิ์

ในปัจจุบันได้มีการนำ SPE ไปใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น การใช้แยกสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มีขั้วต่ำ โดยสารที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำจะจับอยู่กับ Resin ที่เป็น Reverse Phase การแยกสารโดยปรับความแรงของ Elution Power ให้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ 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 จากนั้นชะสารที่ต้องการซึ่งติดค้างอยู่บนคอลัมน์ให้ออกมาโดยใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อย ๆ และ SPE จะถูกใช้ในการเตรียมสารในปริมาณน้อยมาก เช่น เมแทบอไลท์ของยาในตัวอย่างเลือด สารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมในน้ำทะเล และสารสกัดหยาบจากสิ่งมีชีวิตในน้ำทะเล ให้บริสุทธิ์มากขึ้นก่อนนำไปแยกด้วยเทนนิคอื่นทาง โครโมโทกราฟี (Hennion, 1999)

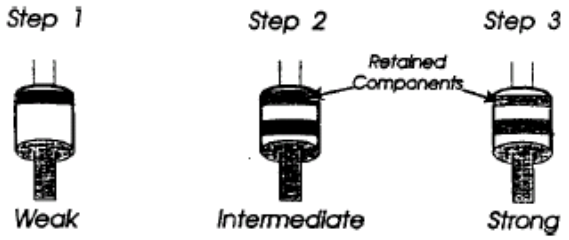
Solid Phase Extraction )SPE) เป็นวิธีหนึ่งในการทำสารตัวอย่างให้บริสุทธิ์ ซึ่งใช้หลักการ Partition เหมือนกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย แต่ต่างกันที่ใช้ของแข็งเป็นตัวจับสารที่เราสนใจ โดยของ แข็งจะถูกบรรจุอยู่ในแท่ง SPE เรียกว่า Sep-Pak*

(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 ภาพกาย - 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 ($^{\circ}$A) | ขนาด ) $\mu m$ ( |
|---|---|---|---|---|
| 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 โดยให้ระดับของตัวทำละลายต้องอยู่ต่ำกว่าระดับ

ของจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะซึมไปตามเฟสอยู่กับที่ด้วยการซึมตามรูเล็กเหมือนกับน้ำที่ซึมไปในกระดาษหรือผ้า เมื่อซึมถึงจุดที่หยดสารผสมไว้ตัว ทำละลายจะชะเอาองค์ประกอบในสารผสมนั้นไปด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพมีขั้ว (Polarity) ของสารที่เป็นองค์ประกอบกับสารที่เป็นตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายเป็นโมเลกุลมีขั้ว (Polar Molecules) จะชะเอาสารในสารผสมที่เป็นสารมีขั้วไปด้วยได้เร็ว ส่วนสารที่ไม่มีขั้วในสารผสมจะถูกชะพาไปได้ช้า สารผสมก็จะแยกออกจากกัน

เทคนิคนี้จะให้ประสิทธิภาพในการแยกสารดี เนื่องจากสารที่ใช้เคลือบมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของใยกระดาษหรือสารที่ใช้บรรจุคอลัมน์ทั่วไป (Tyihak et al., 1979)

3. Column Chromatography (CC)

ทำได้โดยการบรรจุสารที่เป็นเฟสอยู่กับที่ เช่น อลูมินาหรือซิลิกาเจลไว้ในคอลัมน์ แล้วเทสารผสมที่เป็นสารละลายของเหลวลงสู่คอลัมน์ สารผสมจะผ่านคอลัมน์ช้า ๆ โดยตัวทำละลายซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่เป็นผู้พาไป สารในเฟสอยู่กับที่จะดูดซับสารในสารผสมไว้ส่วนประกอบใดของสารผสมที่ถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ช้า ส่วนที่ถูกดูดซับไม่ดีจะเคลื่อนที่ได้เร็วทำให้สารผสมแยกจากกันได้

เทคนิคนี้นิยมใช้ในการแยกสารปริมาณมากกว่า เป็นวิธีที่มิลลิกรัม ขึ้นไปและ 50 นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อใช้แยกสารปริมาณมากๆ (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 นาโนกรัมก็สามารถแยกได้ 50 (Tyihak et al., 1979)

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

Grajek et al. (2005) ศึกษาความสำคัญของพรีไบโอติกส์ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม พรีไบโอติกส์เป็นสารอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ หรือย่อยได้น้อยในลำไส้เล็ก และกระเพาะอาหารจึงสามารถผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่ และเป็นอาหารของแบคทีเรียโปรไบโอติกส์ในลำไส้ใหญ่ โดยพรีไบโอติกส์คือสารอาหารประเภทคาร์ไฮเดรต ได้แก่ Oligosaccharides และ Polysaccharides เช่นLactulose, 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 มันฝรั่งและพืชชนิดอื่น ๆ

Xiaoli et al. (2008) ศึกษาการสกัด Oligosaccharide จาก Defatted Chickpea Seed Meal (DCM) โดยใช้ความเข้มข้นของตัวทำละลาย 0 30 50 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในการสกัดที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลาย 50 70$^{o}$C ระยะเวลา 15 30 และ 60 นาท นาที และอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อ DMC 5:1 10:1 15:1 และ 20:1 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อ DCM เป็น 10:1 อุณหภูมิ 50$^{o}$C เวลา 30 นาที สกัดโดยช้ตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้สารสกัดที่มีปริมาณ Oligosaccharide มากที่สุด และสารสกัดที่ได้จะมีปริมาณ Oligosaccharide ต่ำเมื่อใช้น้ำกลั่นหรือเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไปในการสกัด ซึ่งตัวทำละลายลักษณะนี้จะเหมาะสำหรับใช้สกัดสารจำพวกน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และตัวทำละลายนี้จะไวต่อการเกิดปฏิกิริยา อาจส่งผลให้รบกวนการเกิดปฏิกิริยาของสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต และ Hydrophilic เช่น Polysaccharides และโปรตีน และอาจมีผลต่อสารสกัดจากพืช เช่น ลดปริมาณแป้ง และ $\alpha$-Galactosides และเมื่อใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปในการสกัด จะส่งผลให้ตะกอนภายในเกิดการรวมตัว ไปขัดขวางการแพร่ของ Oligosaccharide ที่จะเข้าไปภายในสาร ละลายเอทานอล ส่งผลให้สารสกัดที่ได้มีปริมาณ Oligosaccharide ต่ำเช่นกัน

Kim et al. ศึกษาการสกัด (2003) 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 นวลละออง และคณะ (2552) ได้ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุนสดด้วยชุดทดลองแบบแบทช์ขนาดเล็ก โดยใช้น้ำกลั่น กับ เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ และ เอทานอล 90 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลายในการสกัด ศึกษาการสกัดที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย 1:2, 1:4, 1:6 และ 1:8 ที่อุณหภูมิในการสกัด คือที่อุณหภูมิห้องและ 60$^{o}$C และเวลาในการสกัด 30, 60, 90, 120, 150, 180, 360 และ 480 นาที จากการศึกษานี้ทำให้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุน คือ การสกัดโดยใช้เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์

เป็นตัวทำละลาย ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย 1:8 สกัดที่อุณหภูมิ 60°C และเวลาในการสกัด 90 นาที

วีระพงศ์ พรสมิทธิกุล และคณะ (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°C พบว่าการสกัดสารประกอบแห้งจะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดสูงกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดที่ได้จากการสกัดใบมะกอกสด เนื่องจากการอบแห้งจะทำลายผนังเซลล์ของวัตถุดิบ ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถเข้าไปละลายสารประกอบ ฟีนอลิกส์ออกจากใบมะกอกได้ดี

Mohamed et al. (2008) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดอินทผลัม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อของแข็ง 60:1 ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 60 นาที ทำการสกัด 2 ครั้ง โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดต่างชนิดกัน คือ เอทานอล เมทานอล อะซิโตน และ เอทานอล เมทานอล อะซิโตน 50 เปอเซ็นต์ พบว่าการสกัดโดยใช้ อะซิโตน 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้สารสกัดที่มีค่าปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมา คือ เอทานอล เมทานอล และ เอทานอล เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้ค่าปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน

Li et al. (2006) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเปลือกของพืชตระกูลส้ม มะนาว โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และเมทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยเมทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งสัมพันธ์กับสภาพขั้วของตัวทำละลาย 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 และสารประกอบมีขั้วต่าง ๆ แยกออกจากสารสกัด จากนั้นเติม Acidified Water เพื่อล้าง Sugars, กรดอินทรีย์ และสารประกอบมีขั้วต่าง ๆ ออก และใช้ Acidified Methanol ในการแยกสารประกอบฟีนอลิกส์ออกจากสารสกัด

ศิวาพร ศิวเวชช และคณะ (2546) ศึกษาการนำสารสกัดแห้งที่ได้จากการสกัด

เปลือกมันฝรั่งด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ สกัดที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนระหว่างตัวตัวทำละลายต่อเปลือกมันฝรั่งแห้ง 10:1 มาทดสอบความคงตัวโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 5 และ 10°C แต่ละอุณหภูมิเก็บในขวดสีชา และขวดใสที่มีฝาปิดเป็นเวลา 45 วัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ที่เปลี่ยนแปลงไปเปรียบเทียบกับสารสกัดแห้งเริ่มต้นด้วยเครื่อง HPLC พบว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกส์ในสารสกัดแห้งจะเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเก็บในขวดใสที่อุณหภูมิห้อง และจะมีความคงตัวเมื่อเก็บในที่มืดมากกว่าที่สว่าง และมีแนวโน้มว่าการเปลี่ยนแปลงจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้น

Soong et al. (2004) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเนื้อและเมล็ดขนุน พบว่าค่าปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากการสกัดจากส่วนของเมล็ดมีค่ามากกว่าส่วนของเนื้อขนุน

**วัตถุประสงค์ของโครงการ**

1. เพื่อศึกษาและปรับปรุงชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน
3. เพื่อศึกษาความเข้มข้นของชนิดสารประกอบฟีนอลิกส์ในสารสกัด
4. เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ในการสกัดสารสำคัญจากเมล็ดขนุน

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน
2. ทราบการแยกและทำให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์

# 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)

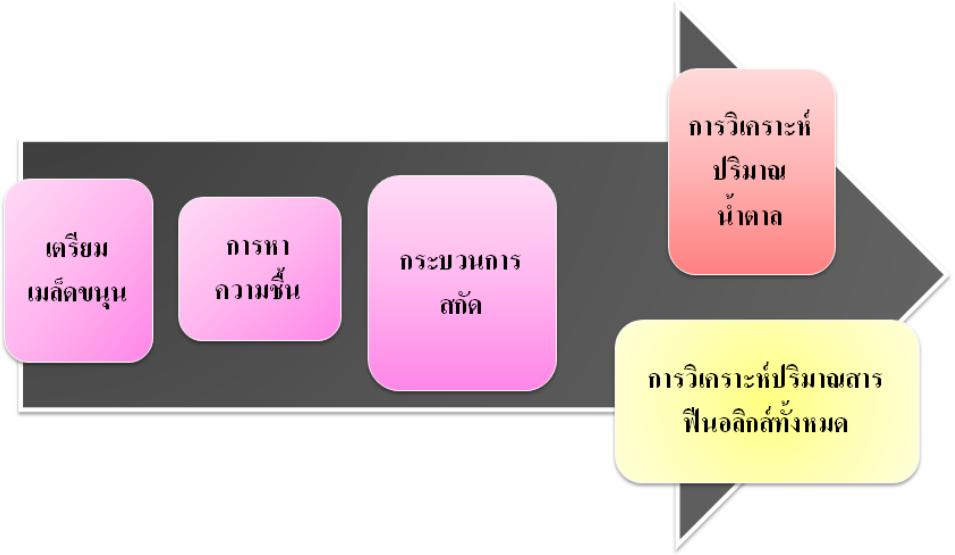
**3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

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 P
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-PakTM
13. เครื่องวัดดัชนีหักเหแบบแอบเบ้ (Abbe Refractometer): Atago รุ่น DR-A1
14. Batch Extraction Unit – Lab Scale: 250 mL glass bottle
15. Batch Extraction Unit – Pilot Scale: 60 L stainless steel

**4. วิธีการทดลอง**

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งลักษณะการวิจัยออกเป็น 3 กิจกรรมด้วยกัน ประกอบด้วย **<u>กิจกรรมที่ 1</u>** หาปริมาณและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน ซึ่งสรุปกระบวนการดังภาพประกอบที่ 8




ภาพประกอบที่ 8 แสดงกระบวนการหาปริมาณและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน

**<u>กิจกรรมที่ 2</u>** ปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น (ซึ่งเครื่องสกัดนี้ได้ทำการจัดสร้างโดยสุพจน์ นวลละออง และคณะ (2552))
**<u>กิจกรรมที่ 3</u>** ทำการแยกและทำให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์
**<u>กิจกรรมที่ 4</u>** วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

**โดยรายละเอียดในการทดลองมีดังนี้**

**4.1 การเตรียมวัสดุ**

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

4.2 การหาความชื้น

ชั่งเมล็ดขนุนบดละเอียดน้ำหนัก 20 กรัมใส่ในกระป๋องหาความชื้น (Moisture Can) ทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบ แล้วอบที่อุณหภูมิ 103°C และ 60°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักหลังอบ หลังจากทำการทดลอง 2 ครั้งจะได้ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดขนุน 52 และ 60 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) และความชื้นหลังอบ 49 และ 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ตามลำดับ

4.3 การสกัด

4.3.1 การสกัดด้วยชุดทดลองแบบแบทช์ขนาดเล็ก

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

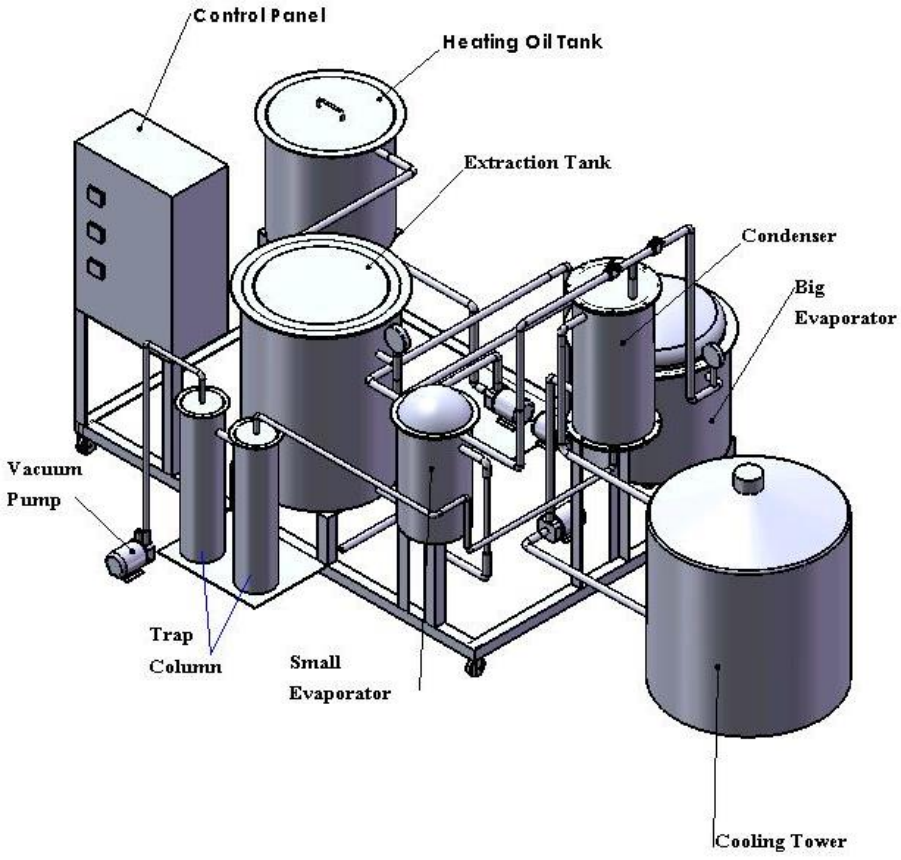
4.3.2 การสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง

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

นำไปวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ต่อไป

4.3.2.1 กลไกการสกัดของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนแบบแบทช์ คือ เติมตัวทำละลายลงในถังสกัดซึ่งภายในมีวัตถุดิบที่ต้องการสกัด จากนั้นปรับอุณหภูมิของถังให้ความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิการสกัด ตัวทำละลายจะถ่ายโอนไปยังผิวของแข็ง แพร่เข้าไปภายในของแข็งและละลายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 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 มิติ ของชุดสกัดแบบแบทช์ 3

(1) ถังสกัด

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

ภาพประกอบที่ 10 แสดงถังสกัดที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 11 และ (ก) (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

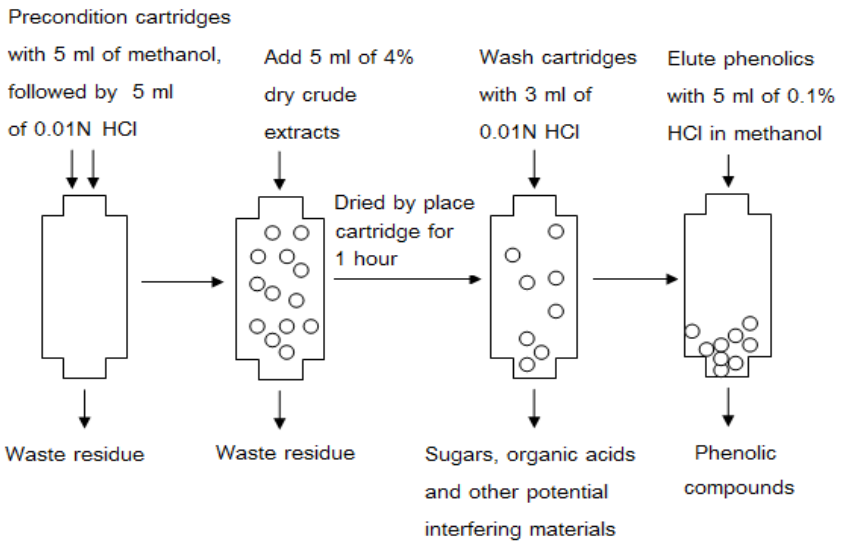
ถังให้ความร้อนเป็นถังทรงกระบอก ฝาถังเป็นแบบแบน สำหรับต้มน้ำมันหรือน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิในถังสกัด ภายในถังมี Heater สำหรับให้ความร้อน โดยสารให้ความร้อนจะถูกสูบผ่านปั๊มเพื่อให้ไหลวนในขดลวดทองแดงภายในถังสกัด โดยลักษณะภายนอกของถังให้ความร้อนแสดงในภาพประกอบที่ 18

ภาพประกอบที่ 18 ถังให้ความร้อนที่ประกอบกับชุดสกัดแบบแบทช์

ภาพประกอบที่ 19 ชุดสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนแบบแบทช์

**4.4 การแยกและทำให้ได้สารฟีนอลิกส์บริสุทธิ์**

กระบวนการแยกและทำให้ได้สารจากวัตถุดิบจากธรรมชาติบริสุทธิ์เป็นขั้นตอนที่จำเป็นในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมปริมาณและคุณภาพของอาหาร (Chirinos et al., 2007) โดยวิธีที่ใช้แยกสารประกอบฟีนอลิกส์จากสารสกัดดิบเพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์คือ Solid-Phase Extraction (SPE) (Waterhouse, 2002) ชนิด SPE ที่ใช้คือ C18 Sep-Pak Cartridges (C18 Sep-Pak Cartridges: Verti-PakTM Cartridge 300 มิลลิกรัม, Vertical Chromatography Associates Co., Ltd, Jatujak, Bangkok, Thailand) เพื่อแยกน้ำตาล กรดอินทรีย์และสิ่งเจือปนอื่น ๆ 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 ซึ่งได้แก่น้ำตาล กรดอินทรีย์ และสารประกอบอื่น ๆ ออกจากสารสกัด (Washing) และขั้นตอนสุดท้ายคือชะสารประกอบฟีนอลิกส์ออก หรือ Eluting ด้วย 0.1 เปอร์เซ็นต์ ของสารสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในเมทานอล 5 มิลลิลิตร




ภาพประกอบที่ 20 กระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน (น้ำตาล กรดอินทรีย์ และสิ่งเจือปนอื่น ๆ) 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 เบา ๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที เติม Conc. Sulfuric Acid ปริมาตร 143 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่าเบา ๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที จากนั้นปิด Microplate ด้วยฟิล์มใสและปิดทับด้วยถุงซิปล็อค นำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C เป็นเวลา 30 นาที จาก นั้นทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง และนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด 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 เบา ๆ เพื่อให้สารผสมกันประมาณ 30 วินาที จาก นั้นปิด Microplate ด้วยฟิล์มใสและปิดทับด้วยถุงซิปล็อค นำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องและนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างสารสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง

**5.3 การหาปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (Non-Reducing Sugars)**

คำนวณหาปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (Non-Reducing Sugars) ซึ่งได้แก่น้ำตาลในกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์และโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นกลุ่มของพรีไบโอติกส์ โดยนำปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหักลบด้วยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ดังสมการที่ 1

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

**5.4 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด (Total Phenolic Compounds)**

นำสารสกัดที่ได้ ที่สภาวะต่าง ๆ 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 (Na2CO3) 30 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วปิดด้วยกระดาษฟรอยล์และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Microplate Reader (Microplate Reader: Biotex Power Wave XS) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปวัดหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของกรดแกลลิกและค่าการดูดกลืนแสงในหน่วย 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)**

สารสกัดดิบก่อนและหลังจากการทำให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์ด้วย C18 Sep-Pak Cartridges ถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ 3 ชนิดได้แก่ กรดแกลลิก (Gallic Acid) กรดแคฟเฟอิก (Caffeic 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°C 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 การหาความเข้มข้นของเอทานอลที่ระเหยได้**

หาความเข้มข้นของเอทานอลที่ระเหยได้ด้วยเครื่อง Refractometer โดยนำ เอทานอลที่ได้จากการระเหยมาเตรียมให้ได้ความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม จากนั้นนำไปวัดค่าดัชนีหักเหด้วยเครื่อง Refractometer นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

**5.8 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์**

การตัดสินใจลงทุนกิจการใด ๆ นอกจากคำนึงถึงความชำนาญและถนัดในธุรกิจนั้นแล้ว สิ่งสำคัญที่สุดของการตัดสินใจว่า ควรลงทุนมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับผลตอบแทนที่ได้รับต้องคุ้มค่ากับการลงทุนหรือผลตอบแทนเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งการคำนวณค่าใช้จ่ายในการสกัด พรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน จะมีเงินลงทุนเริ่มต้น และส่วนของค่าใช้จ่าย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ (อาชัย พิทยภาคย์ และคณะ 2546)

**<u>ค่าใช้จ่ายคงที่</u>** ประกอบด้วย

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

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

เมื่อ ค่าเสื่อมราคา, (บาท/ปี) มูลค่าแรกซื้อ, บาท
มูลค่าซาก, บาท อายุการใช้งาน, ปี

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

ค. ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

**<u>ค่าใช้จ่ายแปรผัน</u>** ประกอบด้วย

ก. ค่าบำรุงรักษา (ค่า Mechanical Seal ที่ใช้ประกอบกับปั๊มสูญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น)

5,000 บาท/ปี

ข. ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$Cost = WxC \qquad (3)$$

เมื่อ ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)
กำลังไฟฟ้า (kW)

ค. ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน 20 บาทต่อกิโลกรัม

ง. ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน 1 คน ที่อัตราเงินเดือน 6000 บาทต่อเดือนต่อคน

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

$$\text{มูลค่าปัจจุบัน )NPV)} = \text{มูลค่าปัจจุบันเงินสดรับ} - \text{มูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย} \qquad (4)$$

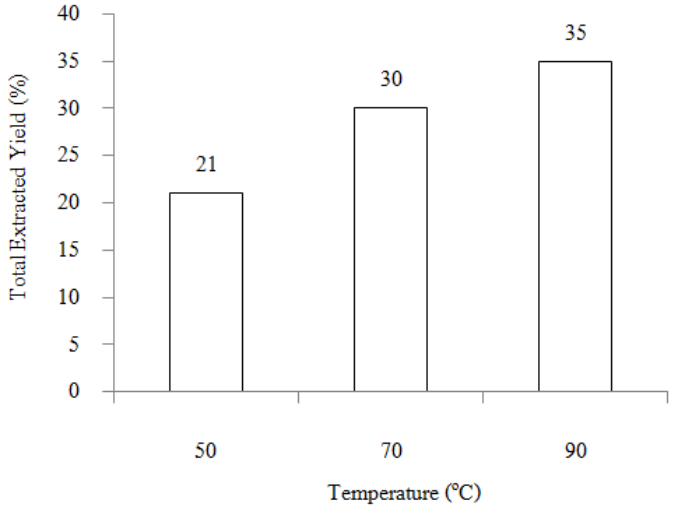
เกณฑ์การตัดสินใจ
- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น บวก ก็น่าสนใจที่จะลงทุน
- มูลค่าปัจจุบัน (NPV) มีค่าเป็น ลบ ก็ไม่ควรลงทุน

# บทที่ 3

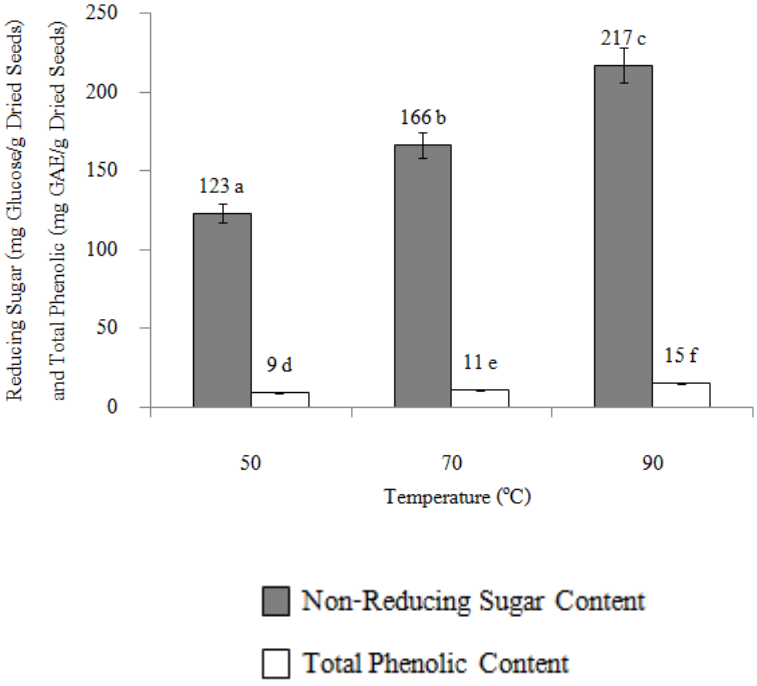
# ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

**1. ผลของอุณหภูมิในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก**

ทำการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร และเวลาในการสกัด 60 นาที จากภาพประกอบที่ 21 พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นผลได้ของสารสกัดจะเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อนำสารดังกล่าวไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด ก็พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์จะเพิ่มสูงขึ้น (ภาพประกอบที่ 22 และตารางที่ 6) โดยมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 90°C คือ 164 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง และ16 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการอธิบายของ Nissreen และ Mckenna. (1997) โดยได้ศึกษาการเกิดกระบวนการไฮเดรชันของถั่วแดงโดยการแช่เมล็ดถั่วแดงที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 และ 60°C พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราไฮเดรชัน (Hydration Rate) เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ประสิทธิภาพการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์และสารประกอบฟีนอลิกส์เพิ่มขึ้น แต่ในการทดลองนี้ได้มีข้อจำกัดในการศึกษาอุณหภูมิในการสกัด ซึ่งจะต้องไม่เกิน 90°C เนื่องจากในการทดลองหาสภาวะการสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก ได้ทำการศึกษาโดยใช้ขวดทนแรงดัน (Glass Media Bottle) ซึ่งไม่สามารถทนแรงดันอันเกิดจากตัวทำละลายเอทานอลที่อุณหภูมิสูงเกิน 90°C ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ไม่ควรใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปในการสกัด เนื่องจากในเมล็ดขนุนมีโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำร้อน (Heat-Denatured Soluble Protein) ซึ่งเมื่อโปรตีนนี้ละลายออกมาจะล้อมรอบวัตถุดิบดักไม่ให้สารอื่น เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ละลายออกมา (Kim et al., 2003) และเช่นเดียวกันอุณหภูมิในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์ไม่ควรสูงเกินไป เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส์บางส่วนอาจถูกออกซิไดซ์ด้วยความร้อน (Maisuthisakul, 2002) ดังนั้นจากการทดลองนี้ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด พรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ คือ 90°C




ภาพประกอบที่ 21 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร




ภาพประกอบที่ 22 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล เป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร

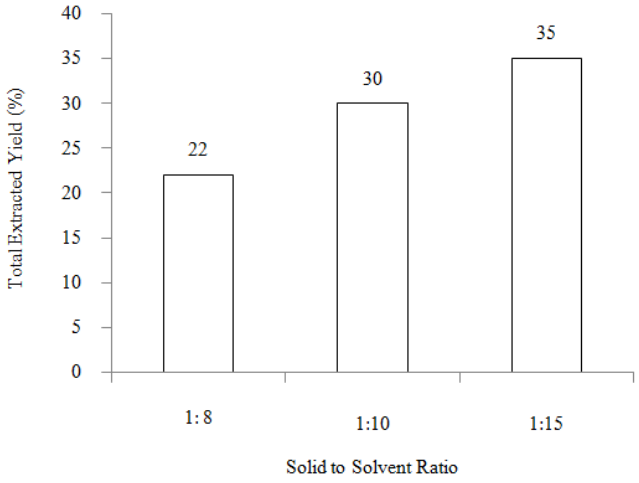
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัว ทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิในการสกัด 50, 70 และ 90°C (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

| อุณหภูมิในการสกัด (°C) | ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (กรัมเมล็ดขนุนแห้ง/มิลลิกรัมกลูโคส) | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ (มิลลิกรัมกรดแกลลิกกรัม/ เมล็ดขนุนแห้ง) |
|---|---|---|
| 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 |

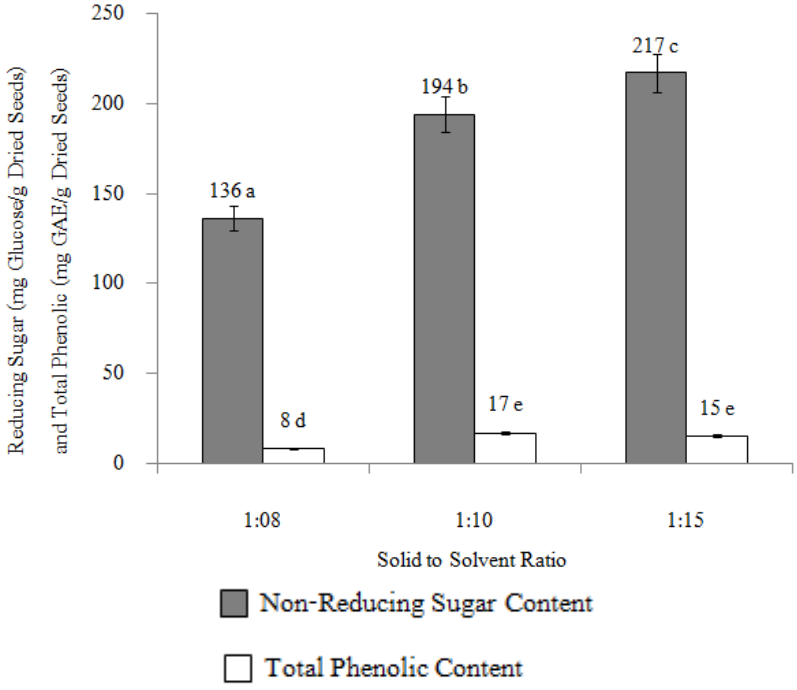
2. ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก

ทำการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 60 นาที จากภาพประกอบที่ 23 พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้นผลได้ของสารสกัดจะเพิ่มขึ้น จากภาพประกอบที่ 24 และตารางที่ 7 พบว่าปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น อัตราส่วน 1:15 ได้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์มากที่สุด แต่พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:10 จะได้ปริมาณ ฟีนอลิกส์ทั้งหมด 17 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง สูงกว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 ซึ่งจะได้ปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมด 15 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจากการทดลอง อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ คือ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่ง Kim et al. (2003) ได้อธิบายไว้ว่า การใช้ตัวทำละลายที่มากเกินไปจะทำให้เกิดภาวะ เจือจางที่จะทำให้เกิดการสกัดได้น้อยลง ในขณะที่ถ้าใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการดูดซึมได้ไม่เพียงพอทำให้เกิดการสกัดได้น้อยเช่นเดียวกัน (Kim et al., 2003) สอดคล้องกับการวิจัยของสุพจน์ นวลละออง (2552) โดยได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จากเปลือกลูกตาล ที่อัตราส่วนระหว่างเปลือกลูกตาลกับตัวทำละลายน้ำกลั่น 1:2 1:4 1:8 1:10 และ 1:15 ซึ่งพบว่าการทดลองที่อัตราส่วนระหว่างเปลือกลูกตาลกับตัวทำละลายน้ำกลั่น 1:2 และ 1:4 จะให้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์น้อย เนื่องจากตัวทำละลายถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อของวัสดุมาก ทำให้เหลือตัวทำละลายในปริมาณน้อย และจากการทดลองสกัดที่อัตราส่วนระหว่างเปลือกลูกตาลกับตัวทำละลายน้ำกลั่น 1:15 จะให้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์สูงที่สุด ซึ่งแสดงว่าที่อัตราส่วนวัตถุดิบกับตัวทำละลาย 1:15 ยังไม่เกิดภาวะเจือจาง ดังนั้นในการทดลองของเราจึงอธิบายได้ว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับ ตัวทำละลายเอทานอลที่ใช้สกัด 1:8 และ 1:10 ตัวทำละลายที่ใช้มีปริมาณน้อย ทำให้เกิดการดูดซึมได้ไม่เพียงพอทำให้เกิดการสกัดได้น้อย และเมื่อเพิ่มตัวทำละลายเอทานอลเป็นอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุน

กับตัวทำละลายเอทานอล 1:15 ปริมาณสารสกัดที่ได้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้เพียงพอในการการสกัดและยังไม่เกิดภาวะเจือจาง




ภาพประกอบที่ 23 ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



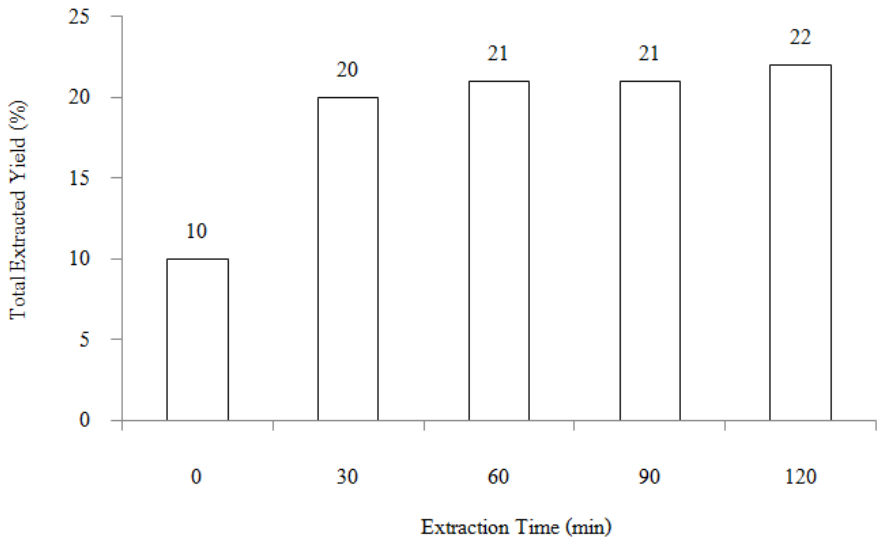

ภาพประกอบที่ 24 ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิและสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก( ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

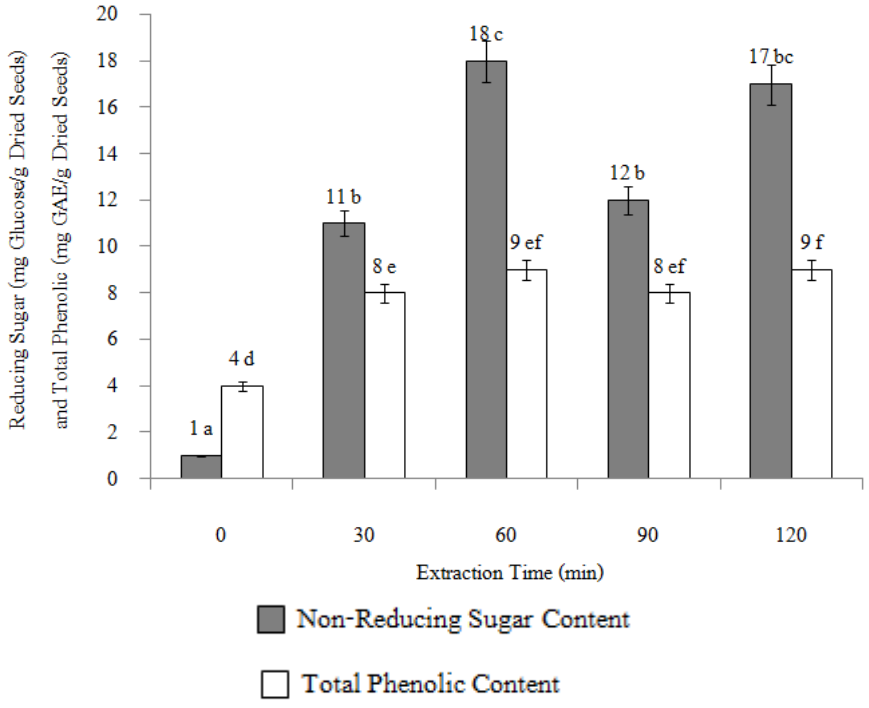
| อัตราส่วนเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (ปริมาตร/น้ำหนัก) | ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคส/กรัมเมล็ดขนุนแห้ง) | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ (มิลลิกรัมกรดแกลลิกกรัม/เมล็ดขนุนแห้ง) |
|---|---|---|
| 1:8 | 136.00 ± 3.06 a | 8.00 ± 0.00 d |
| 1:10 | 194.33 ± 6.92 b | 17.00 ± 3.00 e |
| 1:15 | 217.33 ±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

**3. ผลของเวลาในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก**

ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) 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) ทั้งนี้เป็นผลจากระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นจะส่งผลให้การสัมผัสระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากใช้เวลาในการสกัดที่นานเกินไป จะส่งผลให้สารละลายเกิดการอิ่มตัวทำให้ผลได้ของการสกัดมีค่าลดลงได้ (Herodez, 2003) และระยะเวลาการสกัดที่นานเกินไป คือที่เวลาในการสกัด 90 และ 120 นาที จะทำให้น้ำตาลโมเลกุลใหญ่เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น (Yujaroen et al., 2008) ส่งผลให้น้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ลดลงและที่เวลาในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์ที่นานเกินไปอาจส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกส์บางส่วนอาจถูกออกซิไดซ์ไปได้เช่นเดียวกัน (Maisuthisakul et al., 2002) ดังนั้นจากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ คือ 60 นาที




ภาพประกอบที่ 25 ผลของเวลาในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C



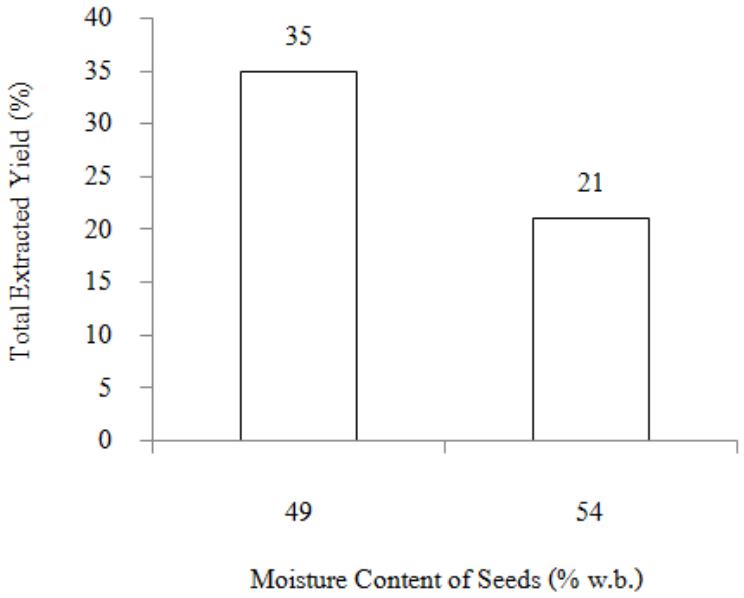

ภาพประกอบที่ 26 ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัว ทำละลาย ที่อุณหภูมิ 90°C อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่เวลาในการสกัด 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

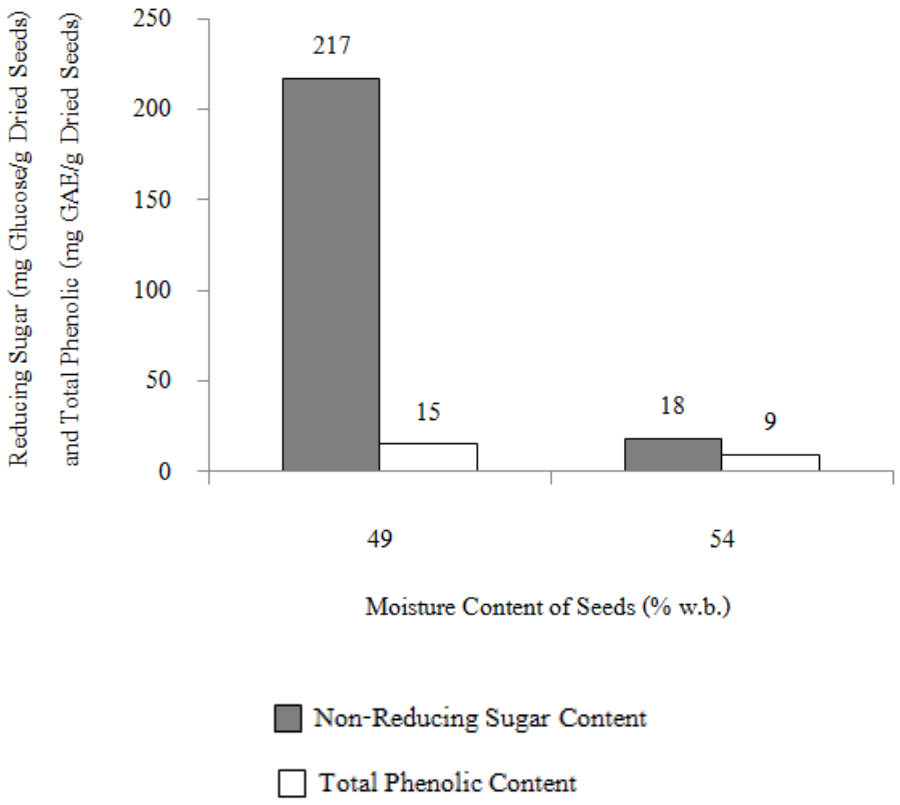
| เวลาในการสกัด (นาที) | ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคส/กรัมเมล็ดขนุนแห้ง) | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ (มิลลิกรัมกรดแกลลิกกรัม/เมล็ดขนุนแห้ง) |
|---|---|---|
| 0 | 1.33 ± 0.65 a | 4.00 ± 0.00 d |
| 30 | 11.33 ± 0.65 b | 7.67 ± 1.31 e |
| 60 | 18.00 ± 4.08 c | 8.67 ± 0.65 ef |
| 90 | 11.67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

**4. ผลของปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัดเมล็ดขนุนในชุดทดลองขนาดเล็ก**

ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 และ 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) เป็นวัตถุดิบในการสกัด ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิในการสกัด 90°C อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร และเวลาในการสกัด 60 นาที จากภาพประกอบที่ 27 พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัดมาก ผลได้ของสารสกัดจะมีค่าลดลง และเช่นเดียวกันเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารสารประกอบฟีนอลิกส์ พบว่าจะมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด (ภาพประกอบที่ 28 และตารางที่ 9) อาจเนื่องมาจากความชื้นของเมล็ดขนุนที่ต่ำจะมีพื้นผิวในการสัมผัสของตัวทำละลายมาก ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถแพร่เข้าไปละลายน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบ ฟีนอลิกส์ออกจากเมล็ดขนุนได้ดี




ภาพประกอบที่ 27 ผลของปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C เวลาในการสกัด 60 นาที



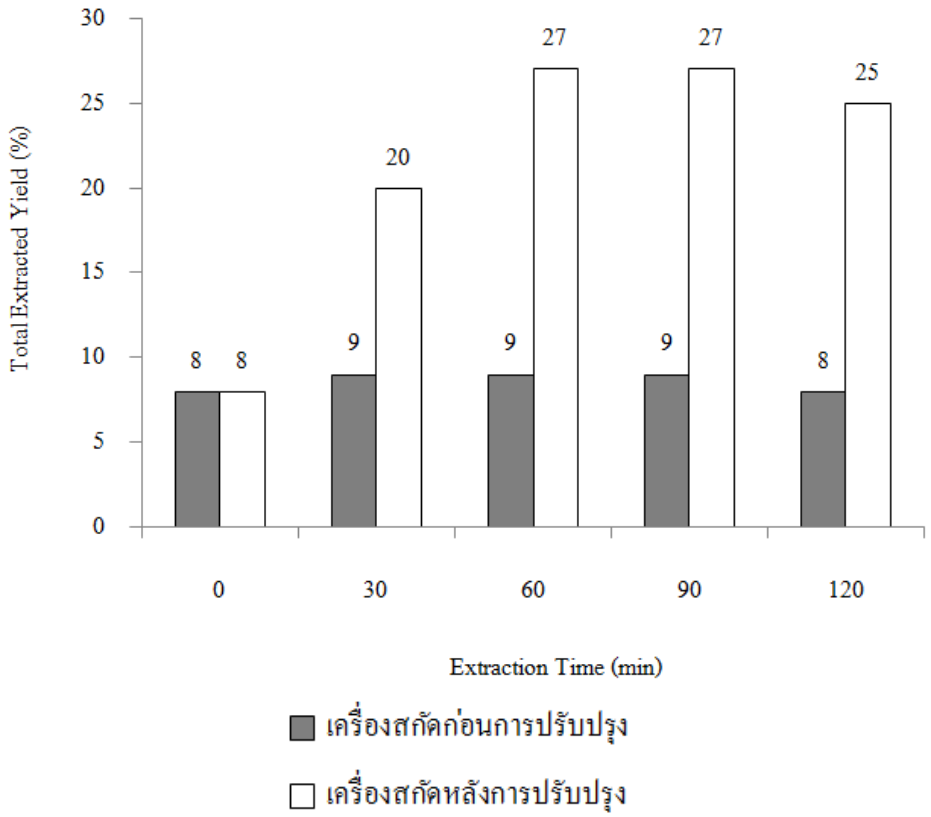

ภาพประกอบที่ 28 ผลของปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C เวลาในการสกัด 60 นาที

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดย ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 90°C อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่เวลาในการสกัด 60 นาที โดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 และ 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

| ความชื้นของเมล็ดขนุน ที่ใช้สกัด (เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก) | ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ (มิลลิกรัมกลูโคส/กรัม เมล็ดขนุนแห้ง) | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ (มิลลิกรัมกรดแกลลิกกรัม/ เมล็ดขนุนแห้ง) |
|---|---|---|
| 49 | 217.33 ± 2.84 | 14.67 ± 0.65 |
| 54 | 18.00 ± 4.08 | 8.67 ± 0.65 |

**5. ผลของผลได้ของการสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองก่อนและหลังการปรับปรุง**

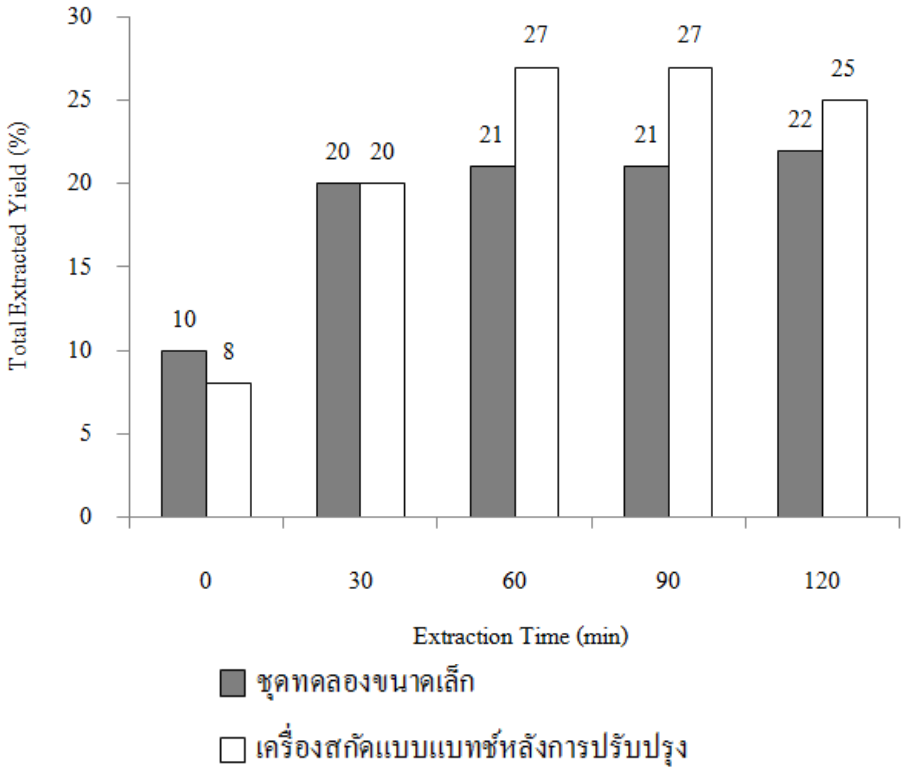
ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดขนุนสดในการสกัด ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิในการสกัด 60°C และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8 น้ำหนักต่อปริมาตร จากภาพประกอบที่ 29 พบว่าหลังจากทำการปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ซึ่งเดิมเป็นระบบปั๊มไหลเวียนสารละลายจากทางด้านล่างไหลผ่านท่อไปยังด้านบนของถังสกัด เป็นระบบปั๊มไหลเวียนสารละลายจากทางด้านล่างไหลผ่านท่อไปยังด้านบนของถังสกัดและผ่านสเปรย์เข้าสู่ถังทางด้านข้าง พบว่าหลังจากการสกัดด้วยเครื่องสกัดหลังจากปรับปรุงแล้วจะให้ค่าผลได้ของการสกัดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการปรับปรุงเครื่องสกัดเป็นระบบปั๊มไหลเวียนสารละลายผ่านสเปรย์เข้าสู่ถังทางด้านข้าง จะส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ทั่วถึง ผลได้ของการสกัดจึงเพิ่มสูงขึ้น




ภาพประกอบที่ 29 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ทำการสกัดเมล็ดขนุนสด โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60°C

**6. ผลของการสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดสกัดขนาดเล็กเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองหลังการปรับปรุง**

ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้ง ที่ความชื้นของเมล็ดขนุน 54 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก เป็นวัตถุดิบในการสกัด ใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิในการสกัด 90°C และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร จากภาพประกอบที่ 30 พบว่าหลังจากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์หลังจากปรับปรุงแล้วจะให้ค่าผลได้ของการสกัดมากกว่าการสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก เนื่องจากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์จะเป็นระบบปั๊มไหลเวียนสารละลายผ่านสเปรย์ทางด้านข้างถังสกัด จะส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ทั่วถึงมากกว่าการสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็กซึ่งใช้ระบบเขย่าสารละลายด้วยอ่างน้ำเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath Shaker) และจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดของสารสกัดที่ได้จากการด้วยด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ พบว่าให้ค่า 26 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง และ 16 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ



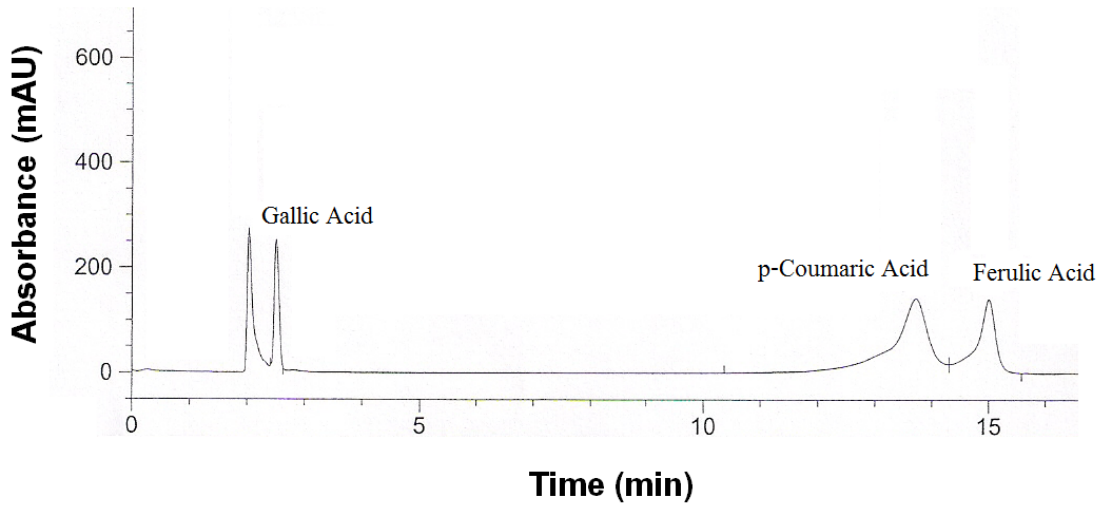

ภาพประกอบที่ 30 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็กและเครื่องสกัดแบบแบทช์หลังจากทำการปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว ทำการสกัดเมล็ดขนุนอบแห้ง โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C

**7. ผลของการวิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์**

ทำการหาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้ โดยทำการระเหยเอทานอลออกจากสารสกัด ทำการระเหยที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ที่อัตราการระเหย 318 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นนำไปวัดค่าดัชนีหักเหด้วยเครื่อง Refractive Index พบว่าเอทานอลที่ได้จากการระเหยครั้งที่ 1 มีความเข้มข้น 53 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการระเหยซ้ำพบว่าสารละลายเอทานอลมีความเข้มข้นมากขึ้นเล็กน้อยคือ 54 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำ เอทานอลที่ได้จากการไปทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบเพื่อตรวจสอบความปนเปื้อนด้วยเครื่อง GC พบว่าสารละลายเอทานอลมีองค์ประกอบเช่นเดียวกับเอทานอล 99 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสามารถนำเอทานอลที่ได้จากการระเหยนี้ไปใช้สกัดในครั้งต่อไปได้

**8. ผลของการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ในตัวอย่างสารสกัดก่อนและหลังผ่านการทำให้ได้ฟีนอลิกส์บริสุทธิ์ด้วยวิธี HPLC**

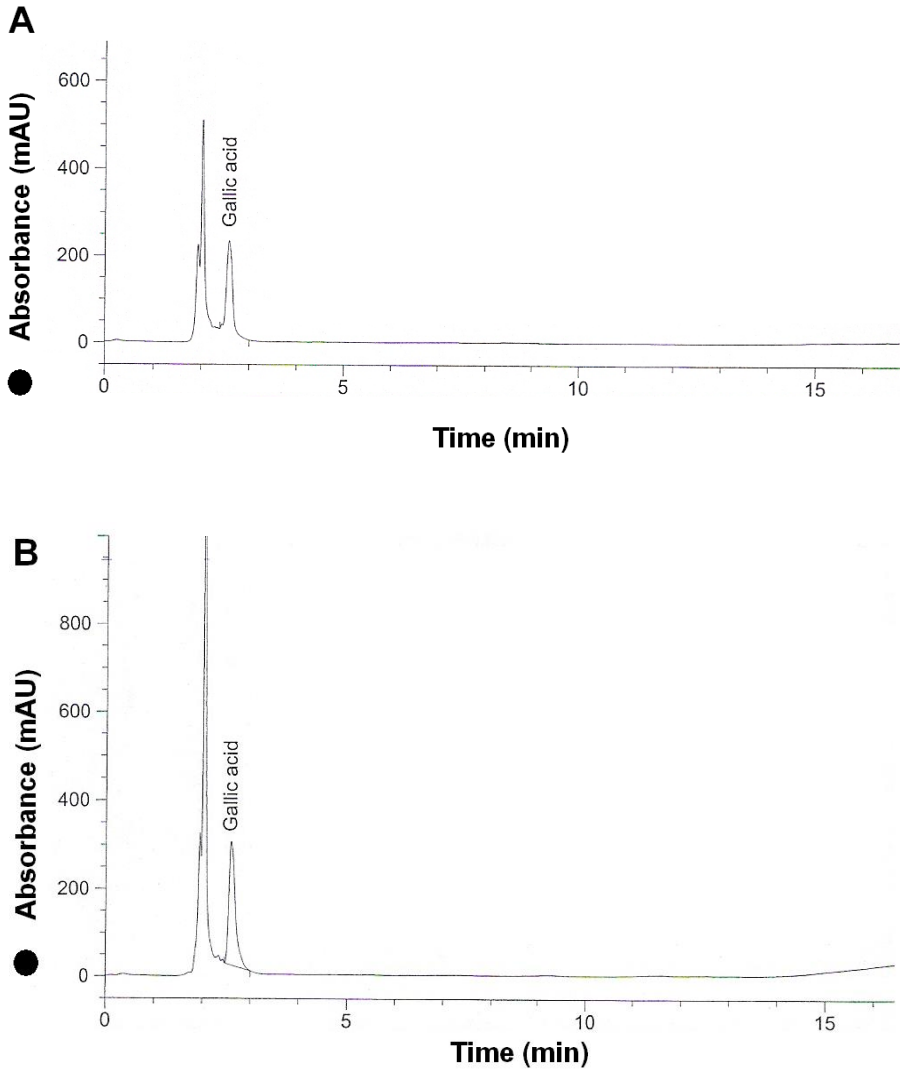
เมื่อนำสารสกัดจากเมล็ดขนุนมาวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารประกอบ ฟีนอลิกส์ ได้แก่ กรดแกลลิก กรดแคฟเฟอิกและกรดเฟอรูลิก ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ผลที่ได้แสดงในภาพประกอบที่ 31 และ 32 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ที่พบในสารสกัดแห้งจากเมล็ดขนุนคือกรดแกลลิกเพียงชนิดเดียว และจากตารางที่ 10 พบว่าสารสกัดหลังผ่าน C18 Sep-Pak Cartridges จะมีปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกส์ชนิดกรดแกลลิกสูงกว่าสารสกัดก่อนผ่าน C18 Sep-Pak Cartridges และเมื่อคำนวณปริมาณกรดแกลลิกในสารสกัดดิบให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักกรดแกลลิกต่อน้ำหนักวัตถุดิบเมล็ดขนุนอบ พบว่ามีปริมาณ 0.016 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักกรดแกลลิกต่อน้ำหนักวัตถุดิบเมล็ดขนุนอบ)




ภาพประกอบที่ 31 โครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ กรดแกลลิก กรดพีคูมาริก และกรดเฟอรูลิก ของสารมาตรฐาน ที่เวลา 2.50 13.72 และ15.01 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิกของสารสกัดเมล็ดขนุนก่อนและหลังผ่าน C18 Cartridge

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




ภาพประกอบที่ 32 (A) โครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ ของสารสกัดเมล็ดขนุนก่อนผ่าน C18 Cartridge และ (B) คือโครมาโทรแกรมของชนิดของสารประกอบฟีนอลิกส์ของสารสกัดเมล็ดขนุนหลังจากผ่าน C18 Cartridge

**9. ผลของการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์**

การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน ด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์เป็นสิ่งสำคัญเพื่อเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการเปรียบเทียบผลทางด้านเศรษฐศาสตร์กับความเหมาะสมในการใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์เพื่อใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน และนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

ตารางที่ 11 ข้อมูลเชิงเทคนิคสำหรับการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน ที่จำนวนครั้งในการสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน (การสกัด 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง)

| **รายงานละเอียด** | สกัด 1 ครั้ง/วัน | สกัด 2 ครั้ง/วัน | สกัด 3 ครั้ง/วัน | สกัด 4 ครั้ง/วัน |
|---|---|---|---|---|
| ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการสกัดต่อเดือน (บาท/เดือน) | 2,064 | 4,128 | 6,192 | 8,256 |
| อัตราการป้อนเมล็ดขนุนอบแห้ง (กิโลกรัม/ครั้ง) | 4 | 8 | 12 | 16 |
| เปอร์เซ็นต์ผลได้ของการสกัด (กรัมของสารสกัดแห้ง/กรัมของเมล็ดขนุนแห้ง) | 27 | 27 | 27 | 27 |
| กำลังการผลิต (ลิตร/ครั้ง) ต่อปริมาณเอทานอล 50% ที่ใช้ 60 ลิตร | 17.1 | 34.2 | 51.3 | 68.4 |
| กำลังการผลิต (คิดในหน่วยกรัมของสารสกัดแห้ง/ครั้ง) ซึ่งคำนวณจากการคูณเปอร์เซ็นต์ผลได้ของการสกัด (27 กรัมของสารสกัดแห้ง/กรัมของเมล็ดขนุนแห้ง) กับปริมาณเมล็ดขนุนอบแห้งที่ใช้สกัด (4000 กรัม) | 1,080 | 2,160 | 3,240 | 4,320 |
| อายุการใช้งานของเครื่อง (ปี) | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 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 |

หมายเหตุ 1 USD = 30.06 บาท (อัตราแลกเปลี่ยนเมื่อ 8 ตุลาคม 2553)
1 EURO = 40.48 บาท (อัตราแลกเปลี่ยนเมื่อ 20 กันยายน 2553)

จากตารางที่ 11 แสดงข้อมูลเชิงเทคนิคและราคาของเครื่องสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนจะทำการวิเคราะห์โดยกำหนดจุดทำงานให้ใช้ที่อัตราการป้อนวัตถุดิบสูงสุด โดยค่าใช้จ่ายและราคาที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัด และคุณสมบัติของวัตถุดิบเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด มีดังนี้

(1) ปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดดิบ > 50 %

(2) ราคาต้นทุนเมล็ดขนุน 20 บาท/กก.

(3) ราคาต้นทุนเอทานอล 95% 7,500 บาท/200 ลิตร (แต่เนื่องจากเอทานอลที่ได้จากกระบวนการสกัด เมื่อนำมาระเหยด้วยเครื่องระเหยจะได้เอทานอลความเข้มข้นประมาณ 54 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบเพื่อตรวจสอบความปนเปื้อนด้วยเครื่อง GC พบว่าสารละลายเอทานอลมีองค์ประกอบเช่นเดียวกับเอทานอลบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำเอทานอลที่ระเหยได้ไปใช้สกัดในครั้งต่อไปได้)

(4) ราคาสาระสำคัญต่าง ๆ 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) แต่ยังไม่ได้ทำการศึกษากระบวนการแยก พรีไบโอติกส์ออกจากสารสกัดและวิเคราะห์ชนิดของพรีไบโอติกส์ในเมล็ดขนุน ดังนั้นจึงสมมุติให้ชนิดของพรีไบโอติกส์เป็นชนิด Fructo Oligosaccharide เนื่องจากกลุ่มนักวิจัยคณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัด พรีไบโอติกส์จากเนื้อขนุน พบว่าชนิดของพรีไบโอติกส์ที่พบเป็นชนิด Fructo Oligosaccharide อีกทั้งเป็นพรีไบโอติกส์ที่พบได้ทั่วไปในพืชและเมล็ดพืชหลาย ๆ ชนิด (เฉลิมขวัญ ดำคำ และมัลลิกา ชมนาวัง, 2548)

(5) ปริมาณความชื้นในเมล็ดขนุน < 54% (ฐานเปียก)

ตารางที่ 12 ข้อมูลรายได้และค่าใช้จ่ายของการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ ที่กำลังผลิตสูงสุดของเครื่องในแต่ละครั้งของการสกัด ที่จำนวนครั้งในการสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง/วัน (การสกัด 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง และอัตราการทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี)

| **การเปรียบเทียบผลตอบแทนของการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์(ปี/บาท)** | **สกัด 1 ครั้งวัน/** | **สกัด 2 ครั้งวัน/** | **สกัด 3 ครั้งวัน/** | **สกัด 4 ครั้งวัน/** |
|---|---|---|---|---|
| **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 | - | - | - | - |
| ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด | 24,773 | 49,546 | 74,319 | 99,092 |
| ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัด พรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน 1 คน ที่อัตราเงินเดือน 4,014.75 บาท ต่อเดือนต่อคน/การสกัด 1 ครั้งต่อวัน , 4,032.5 บาท ต่อเดือนต่อคน/การสกัด 2 ครั้งต่อวัน, 4,026 บาท ต่อเดือนต่อคน/การสกัด 3 ครั้งต่อวันและ 4,019.5 บาท ต่อเดือนต่อคน/การสกัด 4 ครั้งต่อวัน | 48,177 | 48,390 | 48,312 | 48,234 |
| **รวมค่าใช้จ่าย** | 125,150 | 202,336 | 279,231 | 356,126 |

ตารางที่ 13 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 Value: NPV) | -1,468,349.07 | -2,131,302.94 | -2,791,480.97 | -3,451,668.47 |
| ความคุ้มค่าในการลงทุน | ไม่คุ้มค่าในการลงทุน | ไม่คุ้มค่าในการลงทุน | ไม่คุ้มค่าในการลงทุน | ไม่คุ้มค่าในการลงทุน |

จากข้อมูลในตารางที่ 11 และ 12 เมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ ดังแสดงในตารางที่ 13 (แสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 106) และจะมีค่าติดลบเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดต่อวัน และจากตารางที่ 12 ซึ่งในกระบวนการสกัดหากยิ่งเพิ่มจำนวนครั้ง พบว่าปริมาณรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์เพิ่มมากขึ้นเท่าตัวและค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงงานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการซื้อเมล็ดขนุนและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดก็เพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดสามารถเพิ่มรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ และสามารถลดรายจ่ายในส่วนของค่าแรงงานได้แต่ไม่เพียงพอในการสกัดเพื่อให้คุ้มค่าในการลงทุน

# บทที่ 4

## สรุปผลการทดลอง

**การสกัดเมล็ดขนุนด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก**

จากการศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองเพื่อลดต้นทุนในการสกัด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน คือ ใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก เป็นวัตถุดิบในการสกัด ที่เวลาสกัด 60 นาที อุณหภูมิ 90°C และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร โดยจะให้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด 217 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้งและ 15 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ

**การปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น**

จากการปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง จากเดิมกระบวนการสกัดจะเป็นระบบปั๊มหมุนเวียนสารละลายจากด้านล่างถังสกัดไปยังด้านบนของถัง เป็นระบบปั๊มหมุนเวียนสารละลายจากด้านล่างถังสกัดผ่านสเปรย์ทางด้านข้างถังสกัด จะส่งผลให้ปริมาณผลได้ของสารสกัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้เพิ่มมากขึ้น

**การสกัดเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง**

จากการทดลองสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองหลังจากทำการปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลได้ของสารสกัดปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็กและการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง โดยจากการทดลองจะทำการสกัดโดยใช้เมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก เป็นวัตถุดิบในการสกัด ที่เวลาสกัด 60 นาที อุณหภูมิ 90°C และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าผลได้ของสารสกัด ปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดด้วยชุดทดลองขนาดเล็ก คือ 21 เปอร์เซ็นต์, 18 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้งและ 9 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ และผลได้ของสารสกัด ปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง คือ 27 เปอร์เซ็นต์, 35 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้งและ 12 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมเมล็ดขนุนแห้ง ตามลำดับ จะพบว่าผลได้ของสารสกัด ปริมาณพรีไบโอติกส์และ
สารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์จะให้ปริมาณที่สูงกว่า ซึ่งสามารถยืนยันถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จาก
เมล็ดขนุน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารเสริมสุขภาพในประเทศไทยต่อไป

**การแยกและทำให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์**

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

**การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์**

จากผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการสกัดโดยใช้เครื่องสกัดแบบแบทช์ แสดงให้เห็นว่าการลงทุนเพื่อสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ไม่คุ้มค่าในการลงทุน

**ข้อเสนอแนะ**

1. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน โดยใช้อุณหภูมิสูงที่สุดในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และให้ปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์มากที่สุด ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการสลายตัวของพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบและเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติม

2. งานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการสกัดสารพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแยกเพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกส์บริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว จึงควรทำการศึกษาการแยกเพื่อให้ได้สารพรีไบโอติกส์ที่บริสุทธิ์และปลอดภัยเพิ่มเติม เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของพรีไบโอติกส์ที่ได้จากการสกัด และนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

3. การสกัดสารพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ ยังไม่คุ้มค่าการลงทุน จึงควรที่จะศึกษาการแยกและทำให้ได้พรีไบโอติกส์ที่บริสุทธิ์เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มมูลค่าหาวัตถุดิบชนิดอื่นที่มีปริมาณพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์มากขึ้นมาใช้ในการสกัด 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. 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).

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

ศิวาพร ศิวเวชช, ณัฏฐินี ใจสอาด. 2546. การสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกมันฝรั่ง. การประชุมทางวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 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. การสกัดพรีไบโอ ติกส์จากเมล็ดขนุน. วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น 36 (3): 213-220.

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

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

อาชัย พิทยภาคย์, นคร ทิพยาวงศ์และวสันต์ จอมภักดี. 2546. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืช เชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น, 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.
Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. 2006. Phenolic Compounds in Plants and Agri-Industrial By-Products: Antioxidant Activity, Occurrence, and Potential Uses. Food Chemistry, 99: 191-203.
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.
Herodez, S. Hadolin, M. Skerget, M. and Knez, Z. 2003. Solvent Extraction Study of Antioxidant from Balm (Melissa officinalis L.) Leaves. Food Chemistry, 80: 275-282.

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.

Kingsbaker, C. L. 1978. Energy Conservation in the Solvent Extraction Area. American Oil Chemists' Society, 55(10): 184-185A.

Kusmartono. 2001. Estimasi Nilai Kecernaan Bahan Organik dan Energi Metabolis Limbah Buah Nangka (Artocarpus Heterophyllus) Melalui Pengukuran Produksi Fas Secara In Vitro. Journal Peternakan Dan Lingkungan, 7(2): 50-59.

Lee, Y. H. Jung, H. O. and Rhee, C. O. 1987. Solids Loss with Water Uptake During Soaking of Soybeans. Korean Journal of Food Science and Technology, 19: 492–498.

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.

Mussatto, S. I. and Mancilha, I. M. 2007. Non-Digestible Oligosaccharides: A Review. Carbohydrate Polymers, 68: 587-597.

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

Nissreen, A. G., and Mckenna, B. 1997. "Hydration Kinetics of Red Kidney Beans (Phaseolus Vugaris L.). Food Science, 62(1): 520-523.

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.

Pornsmithikul, W. Chetpattananondh, P. Yamsaengsung, R. and Prasertsit, K. 2008. Continuous Extraction of Prebiotics from Jackfruit Seeds. the 18th Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference. Jomtien Palm Beach Resort Pattaya. Cholburi, 20-21 October 2008.

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.

Saxena, A. Bawa, A. S. and Raju, P. S. 2009. Phytochemical Changes in Fresh-Cut Jackfruit (Artocarpus Heterophyllus L.) Bulbs During Modified Atmosphere Storage. Food Chemistry. 115: 1443-1449.

Singleton, V. L. and Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. American Society for Enology and Viticulture, 16: 144–158.

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.

Vaivanijkul, N. 2000. Study Feasibility of Industrial Projects, Vegetables and Fruit Chips. Research Report, Sasin Graduate Institute of Business Administration, University of Chulalongkorn.

Wang, L. and Weller, C. L. 2006. Recent Advances in Extraction of Nutraceuticals from Plants. The International Journal of Food Science & Technology, 17(6): 300-312.

Waterhouse, A. L., 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.

Wattenberg, L.W. 1978. Inhibitors of Chemical Carcinogenesis. Advances in Cancer Research, 26: 197–226.

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.

Yujaroen, P. Supjaroenkul, U and Rungrodnimitchai, S. 2008. Extraction of Pectin from Sugar

Palm Meat. Thammasat International Journal of Science and Technology, 13: 44-47.

http://waynesword.palomar.edu (Accessed March 18, 2009)
http://www.moacinfo.net (Accessed March 18, 2009)
http://www.be-v.net (Accessed March 18, 2009)
http://en.wikipedia.org (Accessed March 18, 2009)
http://www.39kf.com (Accessed January 10, 2010)
http://www.ejpau.media.pl (Accessed January 10, 2010)
http://www.tistr-foodprocess.net (Accessed January 15, 2010)
http://chemsci.kku.ac.th (Accessed January 15, 2010)
http://www.sithiphorn.com (Accessed March 18, 2009)
http://www.gpo.or.th (Accessed March 18, 2009)
http://www.ryt9.com (Accessed October 29, 2010)
http://chemsci.kku.ac.th (Accessed January 15, 2010)
http://www.sithiphorn.com (Accessed March 18, 2009)
http://www.gpo.or.th (Accessed March 18, 2009)
http://www.ryt9.com (Accessed October 29, 2010)

# ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

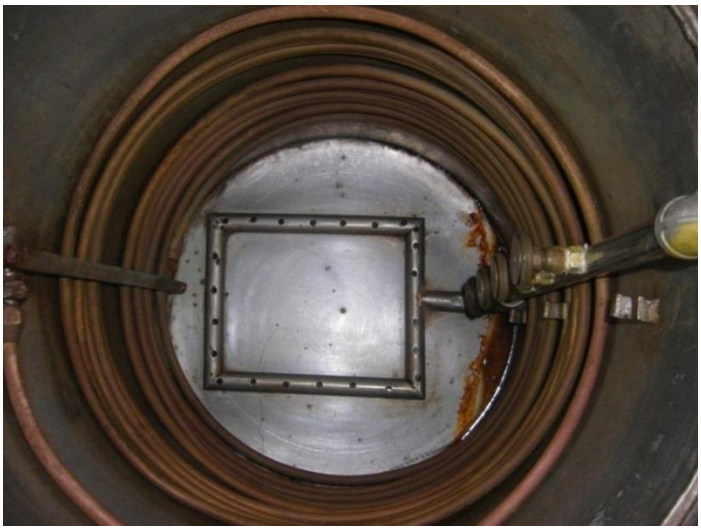
## การปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์

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

## การปรับปรุงเครื่องสกัดแบบแบทช์

เนื่องจากเดิมการสกัดจะเป็นระบบปั๊มหมุนเวียนสารละลายจากด้านล่างถังสกัดไปยังด้านบนของถัง ซึ่งลักษณะภายในของถังแสดงดังแสดงในภาพประกอบที่ 33 ส่งผลให้ตัวทำละลายสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ไม่ทั่วถึงทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนไม่ดีเท่าที่ควร ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงระบบการสกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดให้เพิ่มสูงขึ้น โดยปรับปรุงระบบการสกัดเป็นระบบปั๊มหมุนเวียนสารละลายจากด้านล่างถังสกัดผ่านสเปรย์ทางด้านข้างถังสกัด ซึ่งลักษณะภายในของถังแสดงดังแสดงในภาพประกอบที่ 34 เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสัมผัสกับเมล็ดขนุนได้ทั่วถึง

ภาพประกอบที่ 33 ด้านในของถังสกัดแบบแบทช์ก่อนการปรับปรุง



ภาพประกอบที่ 34 ด้านในของถังสกัดแบบแบทช์หลังการปรับปรุง

**การเลือกหัวฉีด (Spray Nozzles) ให้เหมาะสมกับการใช้งาน**

หัวฉีด (Spray Nozzles) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีให้เลือกสรรมากมายหลายขนาดและหลายชนิด การเลือกใช้ชนิดสเปรย์ วัสดุที่ใช้ทำสเปรย์ และขนาดสเปรย์ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ และเพื่อกระบวนการสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

หัวฉีดที่ใช้ในอุตสาหกรรม แบ่งออกเป็น 5 แบบ คือ

(1) Flat Spray เป็นหัวฉีดที่เหมาะสำหรับใช้ในการทำความสะอาดเครื่องจักร ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็ก และอื่น ๆ ใช้สเปรย์ของเหลว ใช้เป็นสเปรย์เพิ่มความเย็นโดยติดตั้งไว้บริเวณหลังคาโรงงานหรือตามบ้านเรือน ใช้กันเพลิงไหม้ และลดฝุ่นในโรงงาน ลักษณะหัวฉีดเป็นขอบเรียงกัน ส่งผลให้ของเหลวพ่นออกมากระจายเรียงกัน ในลักษณะค่อย ๆ กระจายเป็นแบบแบนเรียงกันในพื้นที่ เป็นแนวเรียว

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

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

(4) หัวฉีดน้ำเพื่อการเกษตร ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ตามลักษณะของน้ำที่ฉีดออกมา คือ

(4.1) แบบหัวพ่นหมอก (Mist) ลักษณะของน้ำที่ถูกปล่อยออกมาจากหัวจ่ายน้ำแบบนี้จะมีลักษณะเป็นละอองหมอกเล็ก ๆ อัตราการจ่ายน้ำน้อย แต่ต้องการแรงดันในการใช้งานสูงเมื่อเทียบกับแบบพ่นฝอย เพื่อทำให้น้ำที่ถูกพ่นออกมาเป็นละอองละเอียด นิยมใช้ในการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ หรือใช้ในการระบายความร้อนในโรงเรือนเพาะชำ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโรงเรือนปศุสัตว์เพื่อลดความร้อนของโรงเรือนได้

(4.2) แบบหัวพ่นฝอย (Spray) เป็นหัวจ่ายน้ำที่ฉีดน้ำออกมาเป็นเม็ดน้ำ ซึ่งมีขนาดใหญ่และปริมาณการจ่ายน้ำมากกว่าแบบพ่นหมอก 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**

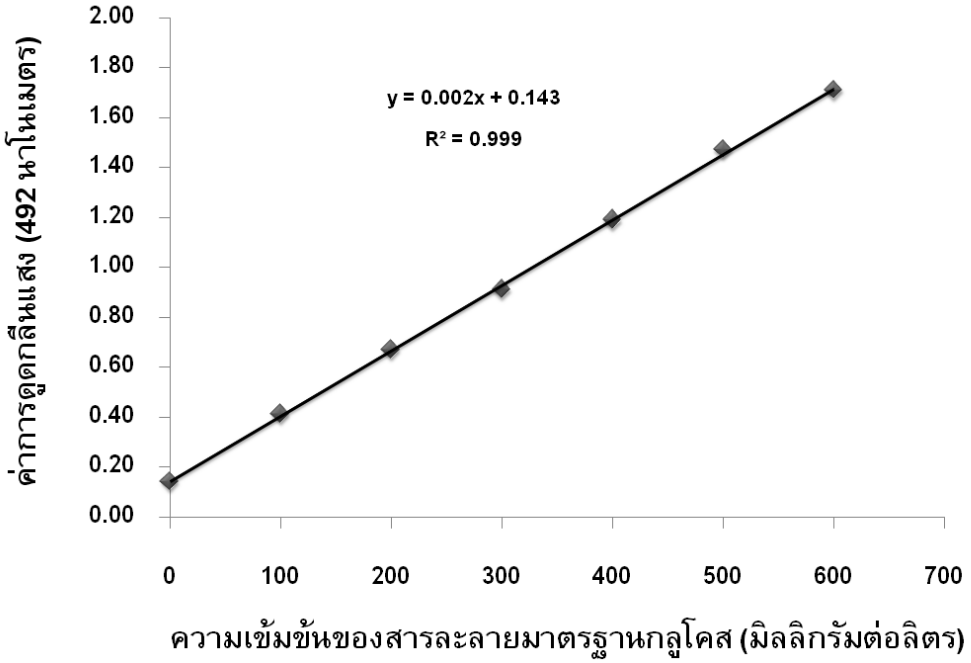
(1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 29 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม

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

(3) ปิเปต 98 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก ปริมาตร 143 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม จากนั้นเขย่าเบา ๆ 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 35 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในสารตัวอย่าง




ภาพประกอบที่ 35 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 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

**การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคส**

(1) เตรียม Stock สารละลายกลูโคสความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100มิลลิลิตร 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

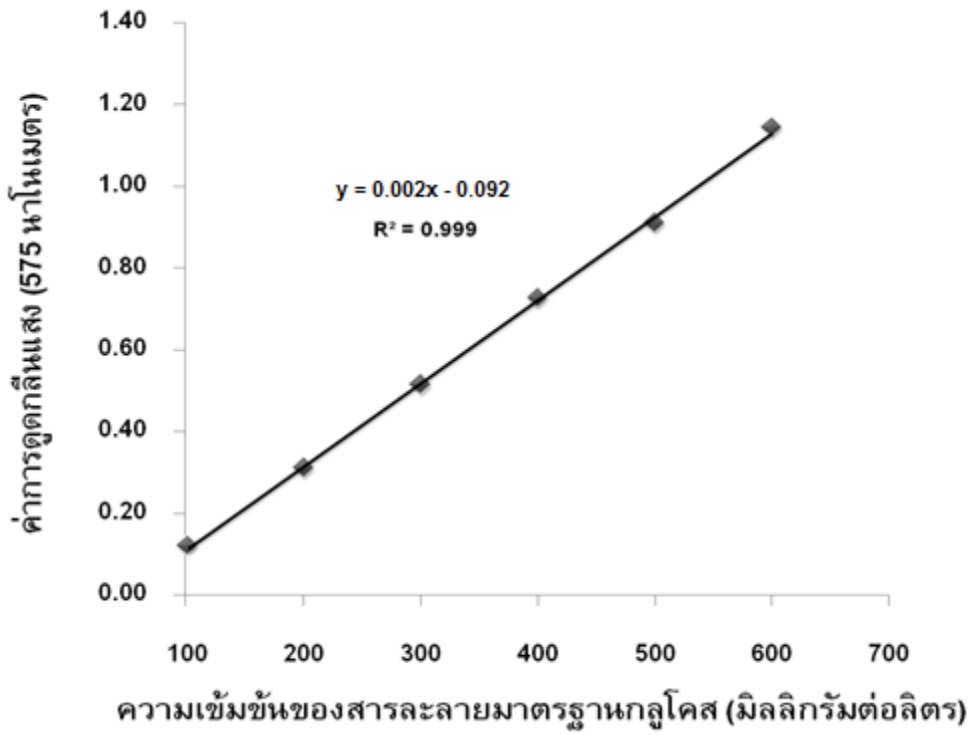
**การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารตัวอย่าง**

(1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม

(2) ปิเปตสารละลาย Dinitrosalicylic Acid ปริมาตร 100 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่า Microplate เบา ๆ 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 36 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารตัวอย่าง




ภาพประกอบที่ 36 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

**3. การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด )Total Phenolics(**

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดด้วยวิธี 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

**การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดในสารตัวอย่าง**

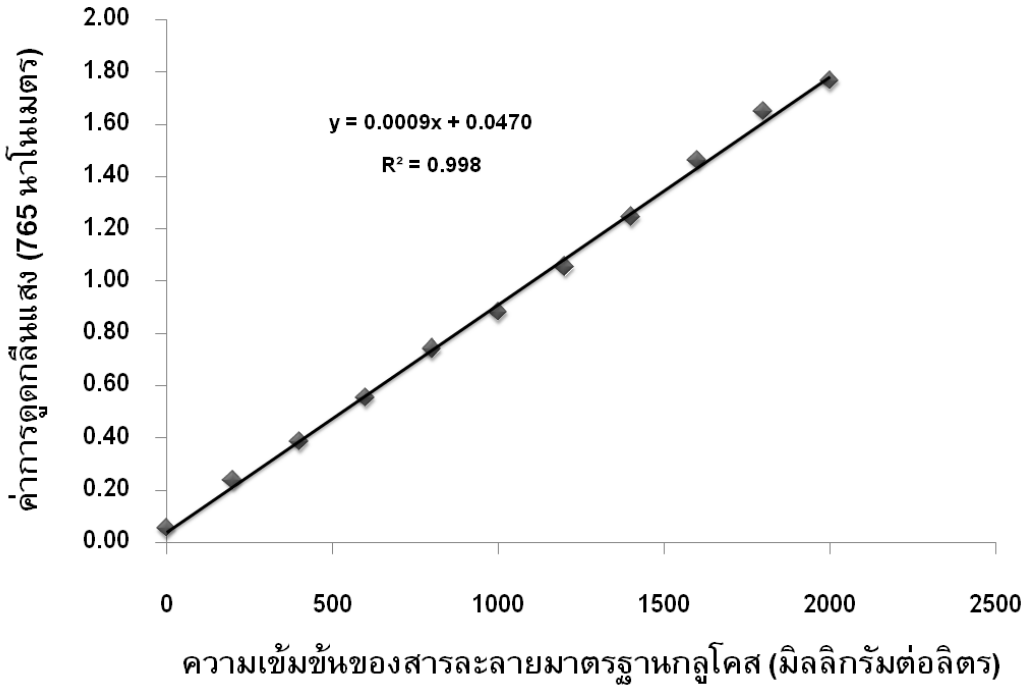
(1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 2 ไมโครลิตร ลงใน Microplate 96 หลุม

(2) ปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 158 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่า Microplate เบา ๆ เพื่อให้สารผสมกัน

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

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

(5) นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microtiter Plate Reader จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 37 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดในสารตัวอย่าง




ภาพประกอบที่ 37 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคสสำหรับวิเคราะห์ปริมาณ
สารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด

**4. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์**

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเอทานอลที่ระเหยได้ โดยใช้เครื่องหาดัชนีหักเหแบบแอบเบ้ )Abbe Refractometer(

**สารเคมีที่ใช้**

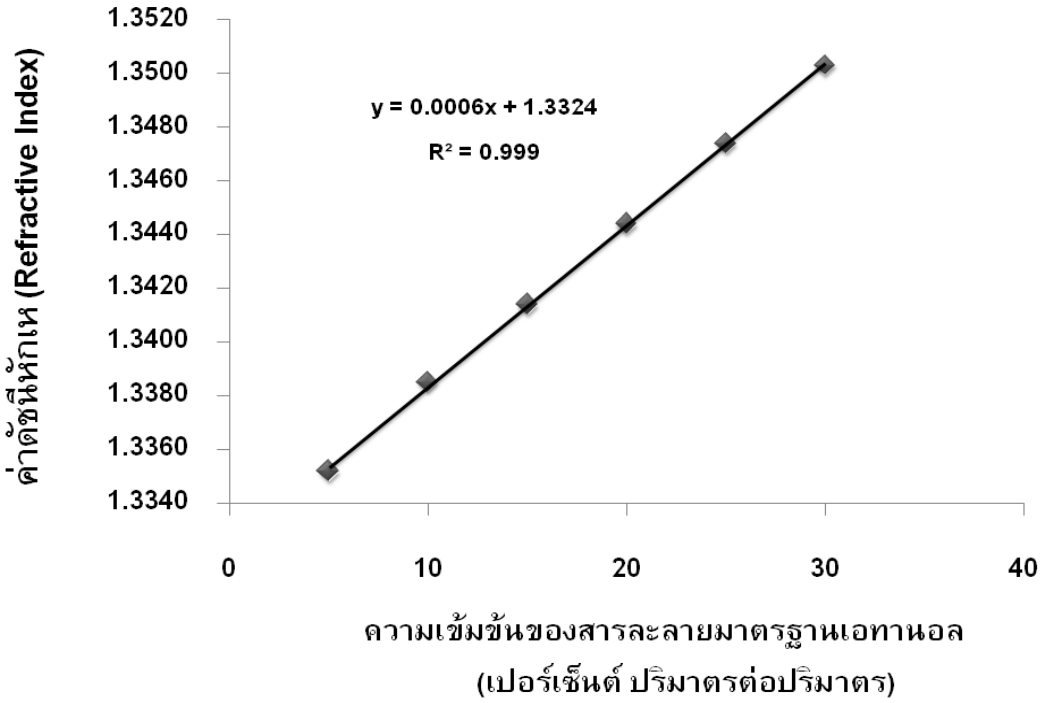
99.9 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล

**การเตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอล**

เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร โดยปิเปต 99.9 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลปริมาณ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร

**การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายเอทานอลเพื่อใช้วิเคราะห์หาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้**

นำสารละลายมาตรฐานเอทานอลความเข้มข้นต่าง ๆ ไปวัดค่าดัชนีหักเห ด้วยเครื่อง Refractometer จากนั้นนำค่าดัชนีหักเหที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 38 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ระเหยได้




ภาพประกอบที่ 38 กราฟมาตรฐานสารละลายเอทานอลสำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ เอทานอล ที่ระเหยได้จากถังระเหยของชุดสกัดแบบแบทช์

## ภาคผนวก ค

# ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 14 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร

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

ตารางที่ 15 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร (ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน ± มาตรฐาน)

| 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 16 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร (ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน ± มาตรฐาน)

| 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 17 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) 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 18 ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C

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

ตารางที่ 19 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก( โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C (ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน ±มาตรฐาน)

| 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 20 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก( โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C (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 21 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 60 นาที ที่อุณหภูมิ 90°C
(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 22 ผลของเวลาในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C

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

ตารางที่ 23 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C (ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน ± มาตรฐาน)

| 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 24 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C (ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน ± มาตรฐาน)

| 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 25 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งความชื้น 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C (ค่าเฉลี่ย ค่า ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน)

| 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 |

ตารางที่ 26 ผลของปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C เวลาในการสกัด 60 นาที

| ปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัด (เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก) | % Yield |
|---|---|
| 49 | 35 |
| 54 | 21 |

ตารางที่ 27 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C เวลาในการสกัด 60 นาที (ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ±)

| ปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัด (เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 nm | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 49 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.107 ± 0.001 |
| 54 | 0.232 | 0.247 | 0.243 | 0.241 ± 0.009 |

ตารางที่ 28 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C เวลาในการสกัด 60 นาที (ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ±)

| ปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัด (เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 nm | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 49 | 0.074 | 0.075 | 0.070 | 0.073 ± 0.003 |
| 54 | 0.064 | 0.069 | 0.070 | 0.068 ± 0.004 |

ตารางที่ 29 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90°C เวลาในการสกัด 60 นาที (ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน ± มาตรฐาน)

| ปริมาณความชื้นของเมล็ดขนุนที่ใช้ในการสกัด (เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก) | ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 49 | 0.894 | 0.931 | 0.886 | 0.904 ± 0.027 |
| 54 | 0.727 | 0.760 | 0.743 | 0.743 ± 0.019 |

# ภาคผนวก ง

## การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

**1. การประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองต่อครั้งในการสกัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์**

การประมาณราคาค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนสกัด ทำโดยการประเมินจากค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์จำพวกปั๊มและเครื่องทำความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ ปั๊มหอยโข่งของระบบถังสกัด ปั๊มหอยโข่งของระบบถังให้ความร้อน ปั๊มหอยโข่งของระบบควบแน่น ปั๊มสูญญากาศของระบบทำน้ำหล่อเย็น 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 30 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในเวลา 15 นาที สูงสุดต่ำกว่า 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

$$Cost = WxC \qquad (3)$$

เมื่อ $C =$ ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)
$W =$ กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

**การคำนวณ**

(1) คำนวณหน่วยค่าไฟที่ใช้ในการสกัดต่อครั้ง หรือต่อวัน จากข้อมูลกำลังไฟฟ้าของ(กิโลวัตต์ ชั่วโมง) และระยะเวลาการใช้งาน (กิโลวัตต์) อุปกรณ์ 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 เพื่อนำไปใช้คิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการ (วัน 25 สกัดต่อเดือน

จากข้อมูลข้างต้นจะได้จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน 30.757x25 = 768.9 หน่วย

(3) คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัดต่อปี

โดยแทนค่าที่ได้จากการคำนวณลงในสมการที่ 3

| 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)x2.978=1,099.41 |

รวมค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการสกัด 270+695+1,099.41 = 2,064.41 บาท เดือน หรือคิดเป็น/ 2,064.41x12 = 24,772.92 บาทปี/ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค), 2548 (

**2. การประมาณรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองต่อครั้งในการสกัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์**

การประมาณรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง ทำโดยการคำนวณปริมาณ พรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ที่สกัดได้คูณกับราคาขายพรีไบโอติกส์และสารประกอบ ฟีนอลิกส์เกรดอุตสาหกรรมที่อยู่ในรูปสารสกัดข้นที่ขายในท้องตลาด โดยสารสกัดที่ได้นี้ได้มาจากการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนโดยใช้เมล็ดขนุนอบ ความชื้นหลังอบ 54 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก)4 กิโลกรัม ที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร เวลาในการสกัด 60 นาที อุณหภูมิ 90°C ความเข้มข้นของสารสกัดดิบที่ได้ > 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ยอมรับได้

**ประมาณรายได้จากการขายสารประกอบฟีนอลิกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง**

ประมาณโดยการคูณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ที่สกัดได้กับราคาขายสารประกอบฟีนอลิกส์เกรดอุตสาหกรรมที่อยู่ในรูปสารสกัดข้นที่ขายในท้องตลาด จากการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอ)

ลิกส์ในสารสกัดเมล็ดขนุนด้วยวิธีHPLC พบว่าเป็นชนิดกรดแกลลิก (

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมดจากสารสกัดเมล็ดขนุนอบแห้ง ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ จะให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด 46 มิลลิกรัมกรดแกลลิกกรัมสารสกัด/เมล็ดขนุนแห้ง

โดยกรดแกลลิก ที่ขายในท้องตลาด (ลักษณะของเหลวข้น)15 บาทกิโลกรัม/

**การคำนวณ**

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

**ประมาณรายได้จากการขายพรีไบโอติกส์ที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลอง**

ประมาณโดยการคูณปริมาณพรีไบโอติกส์ที่สกัดได้กับราคาขายพรีไบโอติกส์เกรดอุตสาหกรรมที่อยู่ในรูปสารสกัดข้นที่ขายในท้องตลาด ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแยก พรีไบโอติกส์อ) อกจากสารสกัดและการวิเคราะห์ชนิดของพรีไบโอติกส์ที่พบในสารสกัดเมล็ดขนุนดังนั้นจึงสมมุติให้ชนิดของพรีไบโอติกส์เป็นชนิด Fructo Oilgosaccharide เนื่องจากคณะอุตสาหกรรมการเกษตร ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดพรีไบโอติกส์จากเนื้อขนุน พบว่าชนิดของ พรีไบโอติกส์ที่พบเป็นชนิด Fructo Oligosaccharide อีกทั้งเป็นพรีไบโอติกส์ที่พบได้ทั่วไปในพืชและเมล็ดพืชหลาย ๆ ชนิด )เฉลิมขวัญ ดำคำ และมัลลิกา ชมนาวัง, 2548(

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จากสารสกัดเมล็ดขนุนอบแห้ง ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบแบทช์ จะให้ค่าปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ซึ่งคาดว่าจะเป็นพรีไบโอติกส์ 129 มิลลิกรัมน้ำตาลกลูโคสกรัม/สารสกัดเมล็ดขนุนแห้ง

โดยราคา Fructo Oligosaccharide ที่ขายในท้องตลาด (ลักษณะของเหลวข้น) 500 บาทกิโลกรัม/

**การคำนวณ**

จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างสารสกัดเมล็ดขนุนที่ได้จากการสกัดด้วยชุดสกัดแบบแบทช์ 20 มิลลิลิตร จะได้สารสกัดแห้ง สาร)สกัดหลัง Freezedry (0.43 กรัม ดังนั้นปริมาณสารสกัดที่ได้จากการสกัดทั้งหมด 17,100 มิลลิลิตร จะมีสารสกัดแห้ง 367.65 กรัม จากนั้นคูณปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ที่ได้ มิลลิกรัม) กับปริมาณสารสกัดแห้งทั้งหมด (กรัมสารสกัดเมล็ดขนุนแห้ง/น้ำตาลกลูโคส 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 บาทวัน / หรือ7,116 บาท ปี/

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

**3. การประมาณค่าแรงงานสำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์**

การคำนวณค่าแรงงานในการทำงาน จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงชั่วโมงและปริมาณวัตถุดิบที่สามารถสกัดได้ในแต่ละวัน เพื่อให้ค่าจ้างที่ผู้ใช้แรงงานจะได้รับเหมาะสมกับภาระงานที่ทำได้แต่ละวัน 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 บาทวัน / ระยะเวลาทำงาน8 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 บาทกิโลกรัม ต่อวัน/

จากปริมาณเมล็ดขนุนสดที่จะต้องใช้ในการสกัดต่อวัน 8.7 กิโลกรัม ดังนั้นหากคนงานสกัดได้ทั้งหมดจะได้รับค่าแรง 18.46x8.7 = 160.59 บาทต่อวัน คิดเป็นค่าแรงที่จะได้รับต่อเดือน กำหนดจำนวนวันทำงาน)25 วัน/

(เดือน160.59x25 = 4,014.75 บาท เดือน หรือ/4,014.75x12 = 48,177 บาทปี/

**กรณีที่ 2 ทำการสกัด 2 ครั้ง วัน/**
กำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมง วัน/

โดยอัตราค่าแรงขั้นต่ำของผู้ใช้แรงงาน ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปี พ .ศ.2553 คือ 161 บาทวัน / ระยะเวลาทำงาน8 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 บาทกิโลกรัม ต่อวัน/

จากปริมาณเมล็ดขนุนสดที่จะต้องใช้ในการสกัดต่อวัน 17.4 กิโลกรัม ดังนั้นหากคนงานสกัดได้ทั้งหมดจะได้รับค่าแรง 9.27x17.4 = 161.3 บาทต่อวัน คิดเป็นค่าแรงที่จะได้รับต่อเดือน กำหนดจำนวนวันทำงาน)25 วัน/ (เดือน161.3x25 = 4,032.5 บาท เดือน หรือ/4,032.5x12 = 48,390 บาทปี/

**กรณีที่ 3 ทำการสกัด 3 ครั้ง วัน/**
กำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมง วัน/

โดยอัตราค่าแรงขั้นต่ำของผู้ใช้แรงงาน ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปี พ .ศ.2553 คือ 161 บาทวัน / ระยะเวลาทำงาน8 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 บาทกิโลกรัม ต่อวัน/

จากปริมาณเมล็ดขนุนสดที่จะต้องใช้ในการสกัดต่อวัน 26.1 กิโลกรัม ดังนั้นหากคนงานสกัดได้ทั้งหมดจะได้รับค่าแรง 6.17x26.1 = 161.04 บาทต่อวัน คิดเป็นค่าแรงที่จะได้รับต่อเดือน กำหนดจำนวนวันทำงาน)25 วัน/ (เดือน161.04x25 = 4,026 บาท เดือน หรือ/4,026x12 = 48,312 บาทปี/

**กรณีที่ 4 ทำการสกัด 4 ครั้ง วัน/**
กำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ 8 ชั่วโมง วัน/

โดยอัตราค่าแรงขั้นต่ำของผู้ใช้แรงงาน ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ปี พ .ศ.2553 คือ 161 บาทวัน / ระยะเวลาทำงาน8 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 บาทกิโลกรัม ต่อวัน/

จากปริมาณเมล็ดขนุนสดที่จะต้องใช้ในการสกัดต่อวัน 34.8 กิโลกรัม ดังนั้นหากคนงานสกัดได้ทั้งหมดจะได้รับค่าแรง 4.62x34.8 = 160.78 บาทต่อวัน คิดเป็นค่าแรงที่จะได้รับต่อเดือน กำหนดจำนวนวันทำงาน)25 วัน/ (เดือน160.78x25 = 4,019.5 บาท เดือน หรือ/4,019.5x12 = 48,234 บาทปี/

**4. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์**

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนโครงการทำได้โดยการคำนวณค่าใช้จ่ายในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน จะประกอบไปด้วยเงินลงทุนเริ่มต้น และส่วนของค่าใช้จ่าย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น ส่วน 2 คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ )Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายผันแปร )Variable Cost) สำหรับในการวิเคราะห์จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 4 กรณี คือ การสกัดที่จำนวนครั้งสกัด 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง ระยะเวลาการสกัด) วัน/2 ชั่วโมง วัน/300 วัน(ปี/ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ อาชัย พิทยภาคย์), 2546 (

**กรณีที่ 1 ทำการสกัด 1 ครั้ง วัน/**

**ค่าใช้จ่ายคงที่** ประกอบด้วย

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

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

เมื่อ $D =$ ค่าเสื่อมราคา, (บาท (ปี/ $P =$ มูลค่าแรกซื้อ บาท ,
$S =$ มูลค่าซาก บาท , $L =$ อายุการใช้งานปี ,

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

)30 อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ (.เปอร์เซ็นต์ต่อปี 5

ดังนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ ซึ่งควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ คือ 1 เปอร์เซ็นต์

)4) ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

**ค่าใช้จ่ายแปรผัน** ประกอบด้วย

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

)2ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด ประมาณราคาได้ ( 24,772.92 บาทต่อปี (ข้อมูลจากภาคผนวก ง หน้า 100)

)3 ครั้ง ใช้เมล็ดขนุนสดประมาณ 1 กิโลกรัม สกัด/บาท 20 ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน ราคา ( 8. กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายเมล็ดขนุนคือ 752,200 บาทต่อปี (purchased from Tesco Lotus/outside market not available on a regular basis).

)4ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียม (เมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน คน ที่อัตราเงินเดือน 14,014.75 บาทต่อเดือนต่อคน หรือ 48,177 บาทต่อปี (ข้อมูลจากภาคผนวก ง หน้า 104)

**รายรับที่ได้จากกระบวนการสกัด** คือ

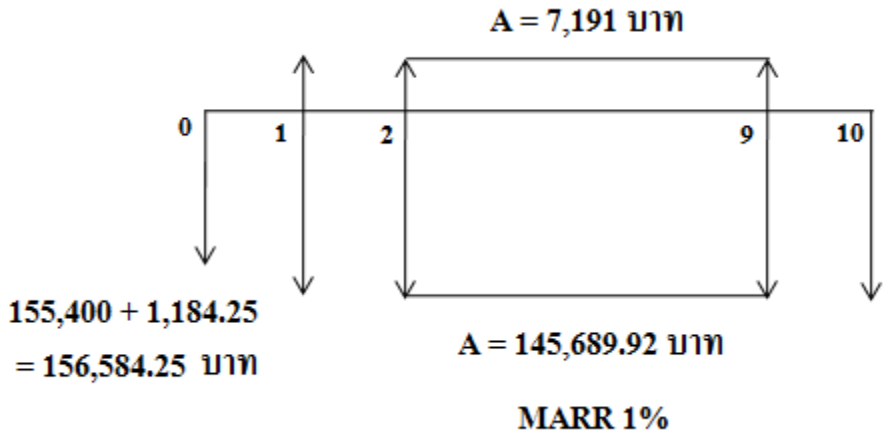
รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ ชนิด) Fructo Oilgosaccharideและ ( ในรูปสารละลายข้น (ชนิดกรดแกลลิก) สารประกอบฟีนอลิกส์7,191 บาทต่อปี (ข้อมูลจากภาคผนวก ง หน้า 102)

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 ครั้งวัน/**

**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 , $L =$ อายุการใช้งานปี ,
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

)30 อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ (.เปอร์เซ็นต์ต่อปี 5

ดังนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ ซึ่งควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ คือ 1 เปอร์เซ็นต์

)4) ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

**ค่าใช้จ่ายแปรผัน** ประกอบด้วย

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

)2ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด ประมาณราคาได้ ( 49,546 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 100)

)3 ครั้ง ใช้เมล็ดขนุนสดประมาณ 1 กิโลกรัม สกัด/บาท 20 ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน ราคา ( 8. กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายเมล็ดขนุนคือ 7104,400 บาทต่อปี

)4ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และ ( สารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน คน ที่อัตราเงินเดือน 14,032.5 บาทต่อเดือนต่อคน หรือ 48,390 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 105)

**รายรับที่ได้จากกระบวนการสกัด** คือ

รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ ชนิด) Fructo Oilgosaccharideและ ( ชนิด) สารประกอบฟีนอลิกส์กรดแกลลิก ในรูปสารละลายข้น (14,382 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 102)

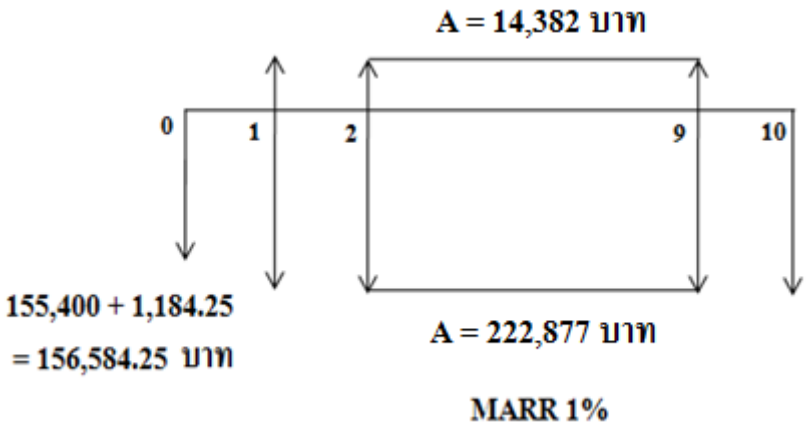
จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ )Net Present Value: NPV) หรือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตรา ผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ แสดงในสมการที่ 4 ,บุญเรือง มานะสุรการ)2542(

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+49,547+104,400+48,390) (P/A, 1%, 10)]
= 156,584.25 + (222,877x9.4713)
= 2,267,519.18

จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 4 จะได้ NPV = -2,131,302.94

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ )NPV) มีค่าติดลบ แสดงว่าไม่ควรลงทุน

**กรณีที่ 3 ทำการสกัด 3 ครั้งวัน/**

**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 , $L =$ อายุการใช้งานปี ,

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

)30 อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ (.เปอร์เซ็นต์ต่อปี 5

ดังนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ ซึ่งควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ คือ 1 เปอร์เซ็นต์

)4) ภาษีและมูลค่าซาก (Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

**ค่าใช้จ่ายแปรผัน** ประกอบด้วย

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

)2ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด ประมาณราคาได้ ( 74,319 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 100)

)3 ครั้ง ใช้เมล็ดขนุนสดประมาณ 1 กิโลกรัม สกัด/บาท 20 ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน ราคา ( 8. กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายเมล็ดขนุนคือ 7156,600 บาทต่อปี

)4ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และ ( คน ที่อัตราเงินเดือน 1 สารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน4,026 บาทต่อเดือนต่อคน หรือ 48,312 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 106)

**รายรับที่ได้จากกระบวนการสกัด** คือ

รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ ชนิด) Fructo Oilgosaccharideและ ( ในรูปสารละลายข้น (ชนิดกรดแกลลิก) สารประกอบฟีนอลิกส์21,573 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 102)

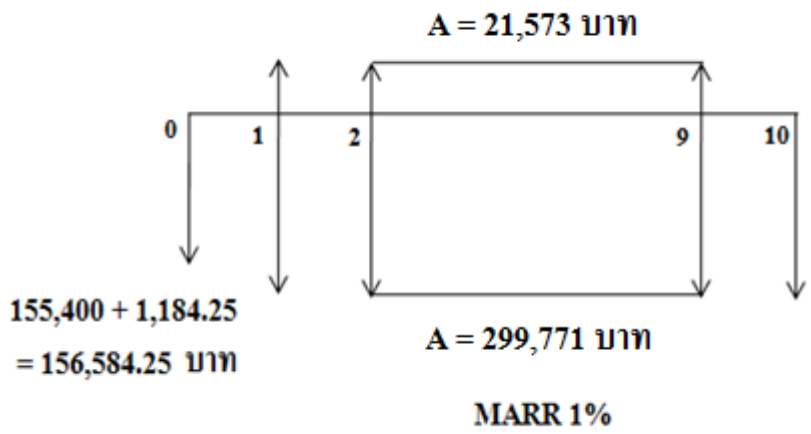
จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ )Net Present Value : NPV) หรือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ แสดงในสมการที่ 4 ,บุญเรือง มานะสุรการ)2542(

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+74,319+156,600+48,312) (P/A, 1%, 10)]

= 156,584.25 + (299,771x9.4713)

= 2,995,805.32

จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 4 จะได้ NPV = -2,791,480.97

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ )NPV) มีค่าติดลบ แสดงว่าไม่ควรลงทุน

**กรณีที่ 4 ทำการสกัด 4 ครั้งวัน/**

**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 , $L =$ อายุการใช้งานปี ,

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

)30 อัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ (.เปอร์เซ็นต์ต่อปี 5

ดังนั้นจึงกำหนดอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำสุดที่น่าพอใจ ซึ่งควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากออมทรัพย์ คือ 1 เปอร์เซ็นต์

)4ภาษีแ (ละมูลค่าซาก )Tax and Salvage Value) ไม่นำมาคิด

**ค่าใช้จ่ายแปรผัน** ประกอบด้วย

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

)2ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัด ปร (ะมาณราคาได้ 99,092 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 100)

)3 ครั้ง ใช้เมล็ดขนุนสดประมาณ 1 กิโลกรัม สกัด/บาท 20 ต้นทุนวัตถุดิบ ได้แก่ เมล็ดขนุน ราคา ( 8. กิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายเมล็ดขนุนคือ 7208,800 บาทต่อปี

)4ค่าแรงงาน สำหรับการเตรียมเมล็ดขนุน (เพื่อใช้ในการสกัดและการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน กำหนดให้ใช้แรงงาน คน ที่อัตราเงินเดือน 14,019.5 บาทต่อเดือนต่อคน หรือ 48,234 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 106)

**รายรับที่ได้จากกระบวนการสกัด** คือ

รายได้จากการขายสารสกัดพรีไบโอติกส์ ชนิด) Fructo Oilgosaccharideและ ( ในรูปสารละลายข้น (ชนิดกรดแกลลิก) สารประกอบฟีนอลิกส์28,764 บาทต่อปี (ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ง หน้า 102)

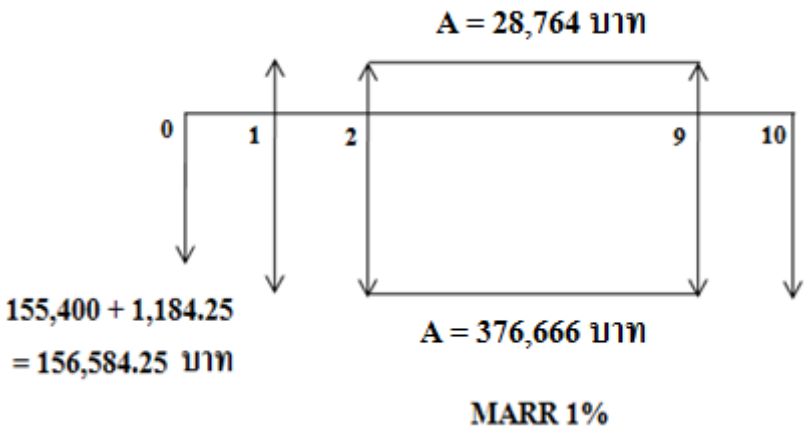
จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ )Net Present Value : NPV) หรือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ แสดงในสมการที่ 4 ,บุญเรือง มานะสุรการ)2542(

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+99,092+208,800+48,234) (P/A, 1%, 10)]

= 156,584.25 + (376,666x9.4713)

= 3,724,100.94

จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 4 จะได้ NPV = -3,451,668.47

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ )NPV) มีค่าติดลบ แสดงว่าไม่ควรลงทุน

## ภาคผนวก จ

### Conference Proceeding
### The 8th PSU Engineering Conference

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

# Study of Prebiotics and Phenolic Compound Extraction from Jackfruit Seed.
# ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน

วรรณพิชญ์ จุลกัลป์[1*], ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์[1], ราม แย้มแสงสังข์[1]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
E-mail: wannapit_@hotmail.com*
Wannapit Junlakan[1*] Pakamas Chetpattananondh[1] Ram Yamsaengsung[1]
[1]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
E-mail: wannapit_@hotmail.com*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน สภาวะที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิในการสกัด (50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส) เวลาในการสกัด )1 และ 2 ชั่วโมง( และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย (1:8, 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลาย จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้ทั้งพรีไบโอติกส์และสารประกอบ ฟีนอลิกส์ที่มีปริมาณสูงเหมาะสมกับค่าใช้จ่าย คือ เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลไม่-ถูกรีดิวซ์ 164 มิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้งและสารประกอบ ฟีนอลิกส์ 16 มิลลิกรัมของแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง

**คำสำคัญ:** การสกัด, เมล็ดขนุน, พรีไบโอติกส์, สารประกอบ ฟีนอลิกส์

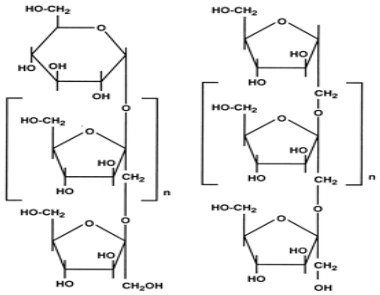
**Abstract**

This research aims to study the extraction of prebiotics and phenolic compounds from jackfruit seeds. The investigated extraction conditions were extraction temperatures (50, 70 and 90 °C), extraction times (1 and 2 hour) and solid to solvent ratios (1:8, 1:10 and 1:15 w/v) by using 50% ethanol as a solvent. The results show that the extraction conditions to obtain optimal economic amounts of both prebiotics and phenolic compounds were extraction temperature of 90 °C for 1 hour and solid to solvent ratio of 1:15, which gain non-reducing sugars of 164 mg/g dried-jackfruit seed and phenolic compounds of 16 mg GAE/g dried-jackfruit seed.

**Keyword:** Extraction, Jackfruit Seed, Prebiotics, Phenolic Compound

## 1. บทนำ

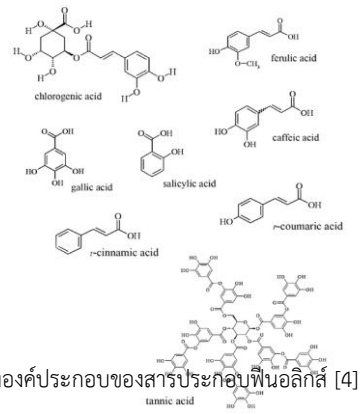
พรีไบโอติกส์ (Prebiotics) คือ คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนสายสั้นๆ หรือมีกลุ่มโมโนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 3หน่วยขึ้นไป พรีไบโอติกส์เป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งองค์ประกอบของอาหารที่จัดเป็นพรีไบโอติกส์ ได้แก่ โอลิโกแซคคาไรด์และโพลีแซคคาไรด์ เช่น อินนูลิน (Inulin) ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructo-Oligosac- charide) ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ (Xylo-Oligosaccharide) และ กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Galacto-Oligosaccharide) [1] ซึ่งตัวอย่างโครงสร้างทั่วไปของอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์จะแสดงดังรูปที่ 1



**รูปที่ 2** โครงสร้างอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ [2]

พรีไบโอติกส์ คือ ส่วนของอาหารที่ไม่ถูกย่อยในทางเดินอาหาร ซึ่งมีผลทำให้กระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียสุขภาพโปรไบโอติกส์ในลำไส้ใหญ่ โดยทั่วไปจะเป็นกลุ่ม Bifidobacteria และ Lactobacilli ซึ่งมีประโยชน์ในการช่วยปรับสมดุลของสภาพแวดล้อมในระบบลำไส้ ช่วยป้องกันอาการท้องเดินโดยเฉพาะจากการติดเชื้อ ช่วยบรรเทาอาการท้องผูก ช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดได้ เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกเนเซียมและสังกะสี จึงเป็นการลดความเสี่ยงต่อโรคกระดูกพรุน [1]

สารประกอบฟีนอลิกส์ (Phenolic Compounds) เป็นอนุพันธ์ของเบนซินที่มีหมู่ไฮดรอกซิลต่ออยู่เป็นหลักและอาจมีหมู่แทนที่ต่างๆแทนที่ในตำแหน่งออโท (Orto) เมตา (Meta) หรือพารา (Para) ดังแสดงในรูปที่ 2




**รูปที่ 2** แสดงองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกส์ [4]

สารประกอบฟีนอลิกส์หลายตัวมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและมีฤทธิ์ต้านมะเร็ง (Anticancer) โดยสารต้านออกซิเดชันเป็นกลุ่มสารซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงสามารถป้องกันเซลล์จากการถูกทำลายได้ สารกลุ่มนี้ทำงานโดยการเอาตัวเองเข้ารับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระหมดฤทธิ์และปฏิกิริยาลูกโซ่หยุดลง ขณะเดียวกันสารต้านออกซิเดชันเองก็ถูกทำลายไปด้วย สารต้านออกซิเดชันจึงมีส่วนช่วยป้องกันหรือลดการเกิดโรคต่างๆ [3]

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนักวิจัยได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากพืชธรรมชาติ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในแง่ของอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ปลอดภัยและมีผลดีต่อสุขภาพ และเนื่องจากขนุนเป็นผลไม้เศรษฐกิจเมืองร้อนที่ปลูกในทั่วทุกภาคของประเทศไทยและมีปริมาณมากส่งผลให้มีส่วนของเมล็ดขนุนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เหลือทิ้งมากมาย และปัจจุบันนักวิจัยได้เริ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับการสกัดสารสำคัญจากเมล็ดขนุนเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าและลดของเสียทางการเกษตรซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และจากการศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุนของสุพจน์และคณะ [5] และ วีระพงศ์และคณะ [6] ทำให้พบว่าในเมล็ดขนุนประกอบด้วยสารพรี-ไบโอติกส์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยสุพจน์และคณะได้ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุนด้วยชุดทดลองแบบแบทช์ขนาดเล็ก โดยใช้น้ำกลั่น เอทานอล ,50 เปอร์เซ็นต์ และเอทานอล 90 เปอร์-เซ็นต์เป็นตัวทำละลายในการสกัด ศึกษาการสกัดที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย 1:2, 1:4, 1:6 และ 1:8 ที่อุณหภูมิในการสกัดที่อุณหภูมิห้องและ 60 องศาเซลเซียส และที่เวลาในการสกัด 30, 60, 90, 120, 150, 180, 360 และ 480 นาที จากการศึกษานี้ทำให้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอ-ติกส์ คือ การสกัดโดยใช้เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลาย ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดขนุนต่อปริมาตรตัวทำละลาย 1:8 สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและเวลาในการสกัด 90 นาที [5]

Soong [7] ได้ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน จากการทดลองทำให้พบว่าในเมล็ดขนุนประกอบด้วยสาร- ประกอบฟีนอลิกส์เช่นเดียวกัน และจากการศึกษาของ Li [9] โดยทำการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเปลือกของพืชตระกูลส้มมะนาว โดยใช้น้ำกลั่นและเอทานอล 20, 50, 72, 85 และ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลายในการสกัด ทำให้พบว่าในการสกัดสารประกอบ ฟีนอลิกส์โดยใช้เอทานอล 50, 72 และ 85 เปอร์เซ็นต์ จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นจากงานวิจัยข้างต้นทำให้ทราบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอ-ติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุนคือเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดยังต้องทำการศึกษาต่อไปเนื่องจากในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุนไปบ้างแล้วดังในงานวิจัยก่อนหน้านี้ แต่ยังไม่มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ซึ่งจะศึกษาการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบ ฟีนอลิกส์จากส่วนของเมล็ดขนุนโดยใช้เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลายในการสกัดเนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่ปลอดภัยและเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหาร และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดให้ได้ทั้งสารพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ในปริมาณสูง

Mussatto [10] กล่าวไว้ว่าการผลิตพรีไบโอติกส์ในปัจจุบันทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดโดยตรงจากพืช การไฮโดรไลซีสของโพลี-แซคคาไรด์หรือการสังเคราะห์ด้วยเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ [10] โดยการผลิตพรีไบโอติกส์ด้วยวิธีการไฮโดรไลซีสของโพลีแซคคาไรด์ หรือการสังเคราะห์ด้วยเอนไซม์หรือจุลินทรีย์เป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก ใช้เวลานานและสิ้นเปลืองตัวทำละลาย จึงไม่เป็นที่นิยมในการนำมาผลิตพรีไบโอติกส์ [18] และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธี การที่ใช้ผลิตสารประกอบฟีนอลิกส์มากมายซึ่งวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ การสกัดด้วยซอกเลต การสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดา การสกัดโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ความถี่ต่ำ การสกัดโดยใช้ไมโครเวฟ และการสกัดโดยใช้ของเหลววิกฤตยิ่งยวด [11]

ซึ่งหลายๆ วิธีที่กล่าวมาข้างต้นล้วนมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น การสกัดด้วยซอกเลตเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสกัดและเป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและไม่สิ้นเปลืองตัวทำละลาย แต่มีข้อเสีย คือ ไม่เหมาะสำหรับการสกัดสารครั้งละมากๆ สำหรับการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ความถี่ต่ำและการสกัดโดยใช้ไมโครเวฟเป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด เพิ่มปริมาณผลผลิตสารสกัดและลดระยะเวลาในการสกัด โดยการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ความถี่ต่ำหรือการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายจึงส่งผลให้ระบบมีความยุ่งยากซับซ้อนและอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาค่อนข้างแพง และการสกัดโดยใช้ของเหลววิกฤตยิ่งยวด ข้อเสียของวิธีนี้ คือ เครื่องมือที่ใช้สกัดมีราคาแพงเมื่อเทียบกับวิธี การสกัดอื่นๆ เนื่องจากสภาวะการสกัดต้องกระทำที่ความดันสูงทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถทนต่อแรงดันสูงๆ ได้ [18] ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดาซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย [19] และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ใช้เมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐที่ซื้อจากห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัส สาขาหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นวัตถุดิบ โดยนำมาล้างทำความสะอาดและนำไปอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส ให้ผิวด้านนอกแห้งด้วย

ตู้อบ จากนั้นนำมาหั่น บดละเอียดด้วยเครื่องบด Moulinex และร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร

**2.2การหาความชื้น**

ชั่งเมล็ดขนุนบดละเอียดน้ำหนัก 2 กรัมใส่ในกระป๋องหาความ 0ชื้น (Moisture Can) ทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบ แล้วอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักหลังอบ จะได้ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดขนุน 52 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) และความชื้นหลังอบ 49 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก(

**2.3 การสกัด**

นำเมล็ดขนุนที่ได้จากการบดขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร ที่ได้หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง มาทำการสกัดโดยจะใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบธรรมดา โดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้สัดส่วน เมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:8 1:10 และ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิในการสกัด 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 1 และ 2 ชั่วโมง โดยใช้ขวดขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่ตัวทำละลายและเมล็ดขนุนแล้วจึงนำไปสกัด จากนั้นกรองกากของเมล็ดขนุนที่อาจตกค้างอยู่ในสารสกัดออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ) Sibata WJ- (20 จากนั้นจึงนำไป ทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Buchi Rotavapor R-114) แล้วนำสารสกัดซึ่งจะอยู่ในรูปของเหลวไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง (Dura-dry II MP) แล้วนำไปวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกส์ต่อไป

**2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล**

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด )Total Sugars) ซึ่งได้แก่ โมโนแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ และโพลีแซคคา-ไรด์ ตามวิธี Modified Phenol Sulfuric Method 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 ด้วยถุงซิปล็อคและนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จาก นั้นทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง และนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด [12] จากนั้นแปลงหน่วยให้เป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง โดยคูณกับค่าเปอร์เซ็นต์ Yield ซึ่งคำนวณโดยนำน้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้หารกับน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งจากนั้นคูณ 100 (ทำให้อยู่ในรูปน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งโดยนำปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัดคูณกับค่าความชื้นและลบออกจากปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด(

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ )Reducing Sugarsซึ่งได้แก่น้ำตาล ( ในกลุ่มโมโนแซคคาไรด์และไดแซคคาไรด์ตามวิธี Modified Dinitrosalicylic Acid Method 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 ด้วยถุงซิปล็อคและนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องและนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างสารสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง [13]

คำนวณหาปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ )Non-Reducing Sugars) ซึ่งได้แก่น้ำตาลในกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์และโพลีแซคคา-ไรด์ที่เป็นกลุ่มของพรีไบโอติกส์ โดยนำปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหักลบด้วยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ดังสมการที่ 1

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

**2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด**

นำสารสกัดที่ได้ ที่สภาวะต่างๆ ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณ ฟีนอลิกส์ทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu โดยเติมสารสกัดความเข้มข้น 20 ppm ลงใน 96 Microplate จำนวน 2 ไมโครลิตร เติม น้ำกลั่น 158 ไมโครลิตร จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu reagent 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งในที่มืดไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ($Na_2CO_3$) 30 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Microplate Reader) Microplate Reader: Biotex Power Wave XS (ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าการดูด กลืนแสงที่ได้ไปวัดหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของแกลลิกแอซิดและค่าการดูดกลืนแสงในหน่วย GAE (Gallic Acid Equivalents) มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด [7] จากนั้นแปลงหน่วยให้เป็นมิลลิกรัมของแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง โดยคูณกับค่าเปอร์เซ็นต์ Yield ซึ่งคำนวณโดยนำน้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้หารกับน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งจาก นั้นคูณ 100 (ทำให้อยู่ในรูปน้ำหนักเมล็ดขนุนแห้งโดยนำปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัดคูณกับค่าความชื้นและลบออกจากปริมาณเมล็ดขนุนที่ใช้สกัด(

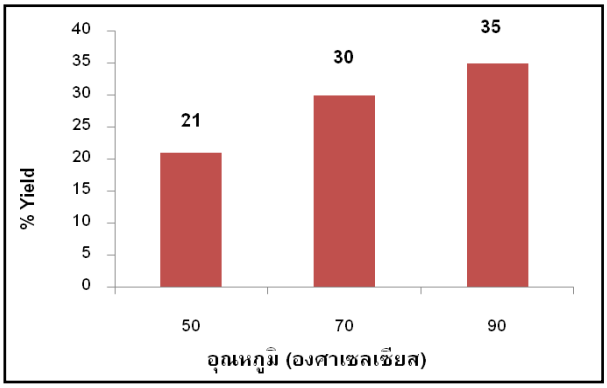
**3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล**

**3.1 ผลของอุณหภูมิ**

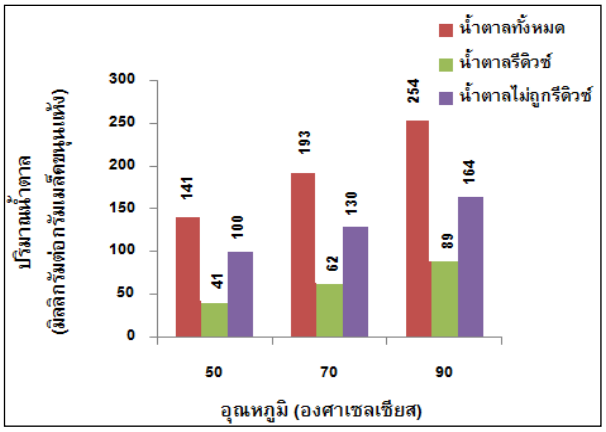
ทำการสกัดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร และเวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง จากรูปที่ 3 พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นผลได้ของสารสกัดจะเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อนำสารดังกล่าวไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด ก็พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จะเพิ่มสูงขึ้น) รูปที่ 4) โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส คือ 164 มิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้อัตราไฮเดรชัน (Hydration Rate) เพิ่มขึ้น [14] ทำให้ประสิทธิภาพการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป เนื่องจากในเมล็ดขนุนมีโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำร้อน (Heat-Denatured Soluble Protein) ซึ่งเมื่อโปรตีนนี้ละลายออกมาจะล้อมรอบวัตถุดิบดักไม่ให้สารอื่น เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ละลายออกมา [15]

จากรูปที่ 5 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นเช่นกันและจะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส คือ 16 มิลลิกรัมแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง อุณหภูมิในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกส์ไม่ควรสูงเกินไปเช่นกัน

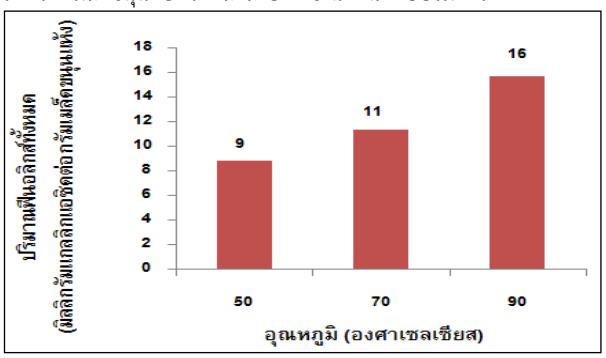
เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส์บางส่วนอาจถูกออกซิไดซ์ด้วยความร้อน [16] จากการทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด พรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ คือ 90 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 3** ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมงและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร



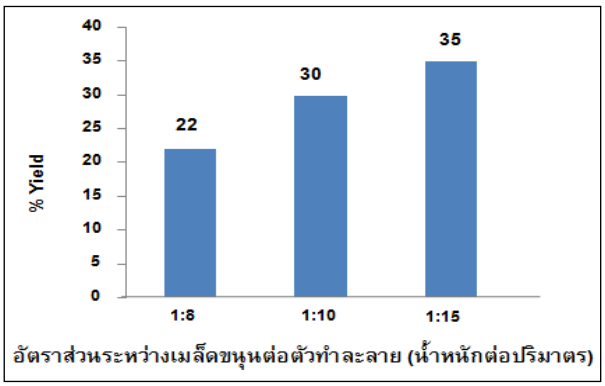

รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมงและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร



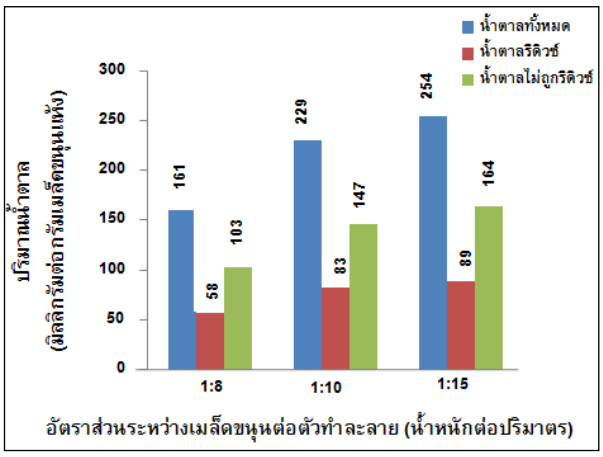

**รูปที่ 5** ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร

### 3.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลาย

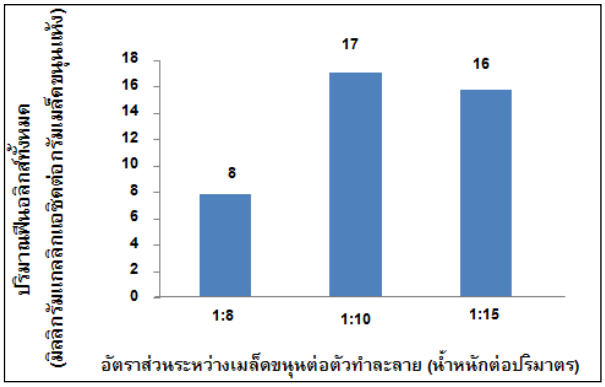
ทำการสกัดโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง จาก รูปที่ 6 พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้นผลได้ของสารสกัดจะเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 7 พบว่าปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น อัตราส่วน 1:15 ได้ปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์มากที่สุด แต่จากรูปที่ 8 พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:10 จะได้ปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมด 17 มิลลิกรัมแกลลิก-แอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง สูงกว่าที่อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 ซึ่งจะได้ปริมาณฟีนอลิกส์ทั้งหมด 16 มิลลิกรัมแกลลิกแอซิดต่อกรัมของเมล็ดขนุนแห้ง แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจากการทดลอง อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ คือ 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งการใช้ตัวทำละลายมากเกินไปจะทำให้เกิดภาวะเจือจางที่จะทำให้เกิดการสกัดได้น้อยลง ในขณะที่ถ้าใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการดูดซึมได้ไม่เพียงพอทำให้เกิดการสกัดได้น้อยเช่นเดียวกัน [17]




**รูปที่ 6** ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



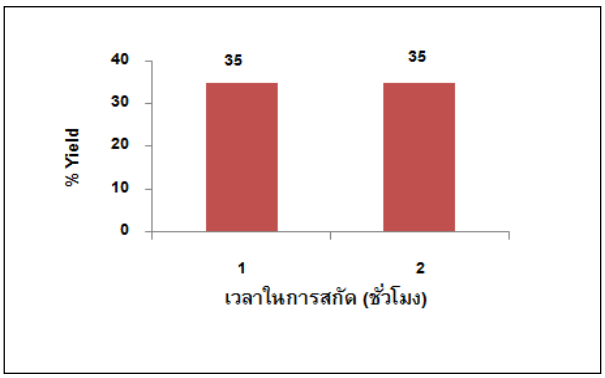

**รูปที่ 7** ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำ-ละลาย เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



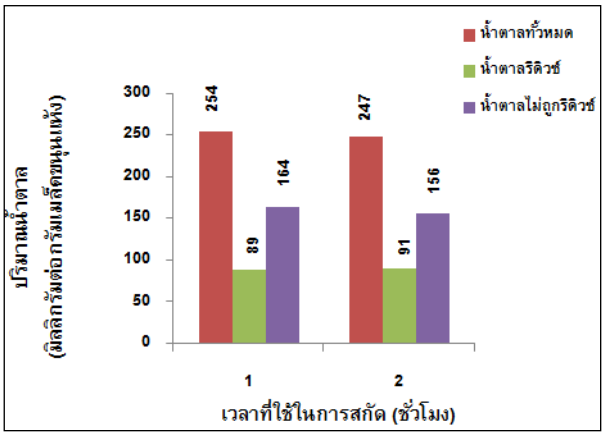

**รูปที่ 8** ผลของอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

### 3.3 ผลของเวลาการสกัด

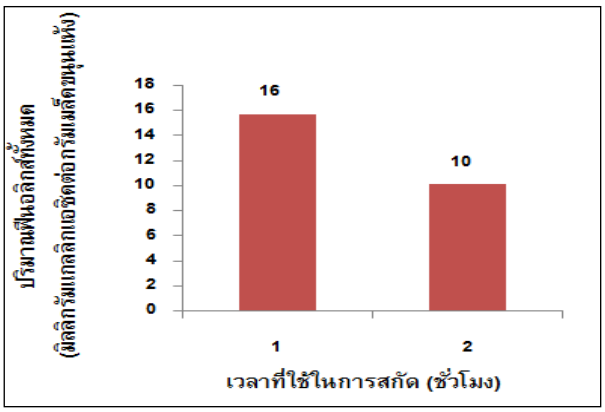
ทำการทดลองโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร จากรูปที่ 9 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดให้นานขึ้น ผลได้ของสารสกัดจะไม่เพิ่มขึ้นแต่จะมีค่าคงที่ และเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลพบว่าปริมาณน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์จะลดลงเล็กน้อย (10 รูปที่) และสารประกอบฟีนอลิกส์ ลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูปที่ 11 ทั้งนี้น่าจะเป็นผลจากระยะเวลาในการสกัดที่มากขึ้นทำให้น้ำตาลโมเลกุลใหญ่เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ลดลงและสารประกอบฟีนอลิกส์บางส่วนถูกออกซิไดซ์ไป ดังนั้นจากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์ คือ 1 ชั่วโมง




**รูปที่ 9** ผลของเวลาในการสกัดต่อผลได้ของสารสกัด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตรา ส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 10** ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลไม่ถูกรีดิวซ์ โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศา- เซลเซียส




**รูปที่ 11** ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกส์ทั้งหมด โดยสกัดเมล็ดขนุนอบแห้งโดยใช้ 50 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อ

ปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

## 4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพรีไบโอ-ติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์จากเมล็ดขนุน โดยคำนึงถึง ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก คือ เวลาสกัด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนต่อตัวทำละลาย 1:15 น้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งจะต้องนำสภาวะดังกล่าวไปทดลองใช้กับเครื่องสกัดแบบแบทช์ขนาดโรงงานจำลองต่อไป และศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของพรีไบโอติกส์และสารประกอบฟีนอลิกส์เพิ่มเติม

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องอื่นๆ

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.pharm.chula.ac.th/clinic101_5/article/Radio89.pdf (Accessed January 10, 2010)

[2] http://www.39kf.com/cooperate/qk/American-Society-for-Nutrition/017302/2008-12-28-549839.shtml (Accessed January 10, 2010)

[3] Newmark, HL. 1996. Plants Phenolics as Potential Cancer Prevention Agents. NewYork: Plenum Press.

[4] http://www.ejpau.media.pl/volume10/issue4/art-42.html (Accessed January 10, 2010)

[5] สุพจน์ นวลละออง ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์ และราม แย้มแสงสังข์ .2552. การสกัด พรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุน. วารสารวิศวกรรมสาร มข .36(3): 213-220.

[6] วีระพงศ์ พรสมิทธิกุล ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ ราม แย้มแสงสังข์ และกุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์. การศึกษาประสิทธิภาพการสกัดพรีไบโอติกส์จากเมล็ดขนุนด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่องเคมีการประชุมวิชาการวิศวกรรม . และเคมีประยุกต์ครั้งที่ 18; 20-21 ตุลาคม 2551หน้า . 142.

[7] Soong, Y. Y. and Philip J. Barlow. 2004. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Selected Fruit Seeds. Food Chemistry, 88: 411–417.

[8] Mahugo, S.C. Sosa, S.Z. Esther, T.P.M. and Juan, S.R.J. 2009. Methodologies for the Extraction of Phenolic Compounds from Environmental Samples: New Approaches. Molecules, 14: 298-321.

[9] 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.

[10] Mussatto, S.I. and Mancilha, I.M. 2007. Non-Digestible Oligosaccharides: A Review. Carbohy drate Polymers, 68: 587-597.

[11] Wang, L. and Weller, C.L. 2006. Recent Advances in Extraction of Nutraceuticals from Plants. Food Science & Technology, 17(6): 300-312.

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

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

[14] Nissreen, A. G., and Mckenna, B. (1997). "Hydration Kinetics of Red Kidney Beans (Phaseolus Vugaris L.). *Food Science*, 62(1): 520-523.

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

[16] พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล. 2545. ผลของเวลาที่มีต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกในใบติ้ว ใบกระโดน และใบผักหวานบ้าน: วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 23(2): 66-77

[17] Research and Delvelopment Institute Government Pharmaceutical Organization Home Page: Citation Guide. www.gpo.or.th/rdi/html/oligo.html (Accessed August 1, 2008)

[18] http://www.tistr-foodprocess.net/Newsletter2009/ nov_09/newsletter_th.htm (Accessed January 15, 2010)

[19] http://chemsci.kku.ac.th/kwanjai/extraction/Theory_1.html (Accessed January 15, 2010)