สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
วิทยานิพนธ์ งานวิจัย
Thesis 120881

การแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็มเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหาร

Dietary Cellulose from *Typha angustifolia* L. in Saline Soil for Food Industry

สุรีย์รัตน์ อู่สูงเนิน
แสงระวี บิดร
สิริกานต์ ดวงดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
วันรับ
วันลงทะเบียน 15 ธ.ค. 2559
เลขทะเบียน 248530
เลขเรียกหนังสือ ว.ร.580 ส.ม.ว.0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พ.ศ. 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
(งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2559)

คณะกรรมการตรวจสอบได้พิจารณาโครงงานวิจัยฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ครุศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามได้

คณะกรรมการสอบ

.....ประธาน

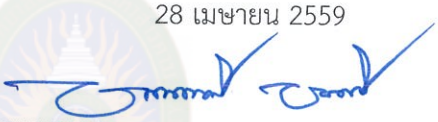
(อาจารย์ ดร. พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์)

28 เมษายน 2559

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พรพิมล พลคำ)

28 เมษายน 2559



.....กรรมการ

(อาจารย์ธนนชาติ อิ่มสมบัติ)

28 เมษายน 2559

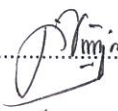
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

คณะวิทยาศาสตร์ อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ครุศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทองสุข พละมา)

ประธานสาขาวิชาเคมี



.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิตย์ อัญญะโพธิ์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หัวข้อวิจัย การแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็มเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหาร

ผู้ดำเนินการวิจัย นางสาวสุรีย์รัตน์ อู่สูงเนิน
นางสาวแสงระวี บิดร
นางสาวสิริกานต์ ดวงดี

หน่วยงาน สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเยื่อใยหยาบ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณโฮโล-เซลลูโลส ปริมาณ α-cellulose ปริมาณลิกนิน และคุณค่าทางอาหาร คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ของต้นธูปฤาษี จากบริเวณดินเค็ม หนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี และการแปรรูปเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในเต้าฮวยนมสด โดยธูปฤาษีที่นำมาทำการสกัดเซลลูโลสแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ ตามลำดับ ซึ่งวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเยื่อใยหยาบ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณโฮโล-เซลลูโลส ปริมาณ α-cellulose และปริมาณลิกนิน ตามลำดับ

การสกัดเซลลูโลสจากธูปฤาษีที่แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ ตามลำดับ ผลผลิตที่สกัดได้ เท่ากับ 23.90% 25.90% 21.83% และ 26.55% ตามลำดับ

การพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เครื่อง X-ray diffraction Analysis พบพีค 2-theta ที่ตำแหน่งเดียวกันคือ 23° ซึ่งใกล้เคียงกับพีคของเซลลูโลสบริสุทธิ์ยืนยันได้ว่าสามารถสกัดเซลลูโลสได้จากส่วนต่างๆของต้นธูปฤาษี (Ahmed and Jong, 2015)

การแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในผลิตภัณฑ์อาหารเต้าฮวยนมสด ที่ศึกษาความพึงพอใจต่อรสชาติ และเนื้อสัมผัสเมื่อเติมเซลลูโลสจากส่วนต่างๆ อัตราส่วนของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด (มิลลิลิตร):เซลลูโลส (กรัม) คือ 1370:1 1370:2 และ 1370:3 โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ พบว่าการเติมเซลลูโลสจากส่วนต่างๆของธูปฤาษีปริมาณ 3 กรัม ยังทำให้ผู้รับประทานเกิดความพึงพอใจด้านรสชาติ โดยการเติมเซลลูโลสปริมาณ 2 กรัม ช่วยเพิ่มความพึงพอใจต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสได้ดีอายุของธูปฤาษีที่ใช้สกัดไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัส แต่ส่วนของธูปที่ใช้สกัดมีผล ซึ่งส่วนใบทำให้เนื้อสัมผัสดีกว่าส่วนโคน

Abstract

The aim of this research was study the physical and nutritional value, leave sapling and adults and trunk sapling and trunk adults *Typha angustifolia L.* in saline soil at Nong Bo, Borabue, Maha Sarakham District, to determine the optimal conditions of extracting cellulose for dietary cellulose from *Typha angustifolia L.* in saline soil. The cellulose were extracted from 4 parts of *Typha angustifolia L.,* leaf sapling and leaf adults and trunk sapling and trunk adults. The physical and chemical compositions of cellulose (moisture, protein, ash, fat, crude fiber content, carbohydrate intake organic content holocellulose content of α-cellulose and lignin content), were investigated.

The percent yield of extracted cellulose were 23.90% 25.90% 21.83% and 26.55% for leaf sapling, and leaf adults, trunk sapling and trunk adults, respectively.

The structure of cellulose was characterized by X-ray diffraction analysis, that observed 2θ peak at 23° corresponding to the purification cellulose structure (Ahmed and Jong, 2015) confirming that it can be extract purification cellulose from *Typha angustifolia* L.

The cellulose from *Typha angustifolia* L. in saline soil were dietary application by adding in soy milk pudding at the ratio of all ingredient (ml): cellulose (g) was 1370:1 1370:2 and 1370:3 ml/g. The taste and texture were determine by using satisfaction form. The satisfaction indicating that at 3 g of adding cellulose from every sample were pleased in taste and texture, which at 2 g can be increase the satisfaction. From the observation showed that the cellulose extracted from *Typha angustifolia* L. at different age were not effect to the taste and texture, while cellulose from leaf have satisfaction at higher level than cellulose from trunk.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

จากการศึกษาการแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็มเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารในครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากบุคคลหลายฝ่าย ทั้งด้านสถานที่ ด้านข้อมูลวิชาการ และวัสดุอุปกรณ์

ในการศึกษาโครงงานวิจัยนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมทั้งได้ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.พรพิมล พลคำ และอาจารย์ ธนนชาติ อิ่มสมบัติที่ให้ความอนุเคราะห์ ชี้แนะ ให้ความช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลือในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ได้ให้กำลังใจในการทำงาน และสนับสนุนทุนทรัพย์

สุดท้ายนี้ คุณค่าของงานวิจัยนี้หากพึงมี ผู้วิจัยขอมอบเพื่อบูชาคุณ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุรีย์รัตน์ อู่สูงเนิน
แสงระวี บิดร
สิริกานต์ ดวงดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์งานศึกษาวิจัย	2
ขอบเขตงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
สถานที่ดำเนินการวิจัย	2
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ธูปฤาษี	3
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	3
ประโยชน์ของต้นธูปฤาษี	4
เส้นใยอาหาร	5
โฮโลเซลลูโลส	5
เซลลูโลส	5
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	13
สารเคมี	13
วัสดุอุปกรณ์	13
เครื่องมือ	14
วิธีการทดลอง	15
การเตรียมตัวอย่างธูปฤาษี	15
การสกัดเซลลูโลส	15
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี	16
ความชื้น	16
ปริมาณเถ้า	16
ปริมาณโปรตีน	17
ปริมาณไขมัน	18

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ปริมาณเยื่อใยหยาบ	19
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	20
ปริมาณสารอินทรีย์	20
ปริมาณโฮโลเซลลูโลส	21
ปริมาณ α-เซลลูโลส	21
ปริมาณลิกนิน	22
การศึกษาความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสที่เตรียมได้	23
การศึกษาสูตรอาหาร	23
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	**24**
4.1 คุณค่าทางอาหารของต้นธูปฤาษี จากดินเค็ม หนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม	24
4.2 การสกัดเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี	32
4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษี	33
4.4 ผลการแปรรูปเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ	34
บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ	**38**
สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	38
ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	45
ประวัติผู้วิจัย	85

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	24
ตารางที่ 4.1.1 ปริมาณร้อยละของความชื้นในตัวอย่างธูปฤาษี	24
ตารางที่ 4.1.2 ปริมาณร้อยละของปริมาณเถ้าในตัวอย่างธูปฤาษี	25
ตารางที่ 4.1.3 ปริมาณร้อยละของปริมาณโปรตีนในตัวอย่างธูปฤาษี	26
ตารางที่ 4.1.4 ปริมาณร้อยละของไขมันในตัวอย่างธูปฤาษี	26
ตารางที่ 4.1.5 ปริมาณร้อยละของเยื่อใยในตัวอย่างธูปฤาษี	27
ตารางที่ 4.1.6 ปริมาณร้อยละของคาร์โบรไฮเดรตในตัวอย่างธูปฤาษี	28
ตารางที่ 4.1.7 ปริมาณร้อยละของปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างธูปฤาษี	29
ตารางที่ 4.1.8 ปริมาณร้อยละของเฮมิเซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษี	29
ตารางที่ 4.1.9 ปริมาณร้อยละของ α-เซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษี	30
ตารางที่ 4.1.10 ปริมาณร้อยละของลิกนินในตัวอย่างธูปฤาษี	31
ตารางที่ 4.2.1 ปริมาณเป็นร้อยละของเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีส่วนต่างๆ	32
ตารางที่ 4.4.1 ความพึงพอใจในระดับต่างๆ ด้านรสชาติของเต้าฮวยนมสดที่เติมเซลลูโลสส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีปริมาณที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับเต้าฮวยที่ไม่เติมเซลลูโลส	34
ตารางที่ 4.4.2 ความพึงพอใจในระดับต่างๆ ด้านเนื้อสัมผัสเส้นใยของเต้าฮวยนมสดที่เติมเซลลูโลสส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีปริมาณที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับเต้าฮวยนมสดที่ไม่เติมเซลลูโลส	36
ภาคผนวก	
ตารางที่ 6.1 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาการแปรรูปเซลลูโลส	79
ตารางที่ 6.2 ความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูปเซลลูโลส	81
ตารางที่ 6.3 การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) จากความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดทางด้านรสชาติ	84
ตารางที่ 6.4 การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) จากความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดทางด้านเนื้อสัมผัส	85

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

	หน้า
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ภาพที่ 2.1 ธูปฤาษี	3
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเซลลูโลส	6
ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาการแยกสกัดเซลลูโลส	9
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	24
ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างธูปฤาษีที่ผ่านการฟอกสี	32
ภาพที่ 4.2 X-ray diffraction analysis เซลลูโลสของต้นธูปฤาษี	33
ภาคผนวก	**45**
ภาพที่ 6.1 ตัวอย่างธูปฤาษีที่ผ่านการปั่นและการร่อน	46
ภาพที่ 6.2 การนำตัวอย่างธูปฤาษีชั่งน้ำหนักทั้งหมด	46
ภาพที่ 6.3 การแบ่งตัวอย่างธูปฤาษีมา และเติมเอทานอล 95% (v/v) นำไปอุ่นใน Water bath 24 ชั่วโมง	47
ภาพที่ 6.4 การนำตัวอย่างธูปฤาษีไปอุ่นใน Water bath 24 ชั่วโมง	47
ภาพที่ 6.5 ล้างเอทานอล 95% (v/v) โดยใช้เครื่อง Suction จนสะอาด pH = 7	48
ภาพที่ 6.6 การเติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ + สารละลายกรดอะซิตริก ในอัตราส่วน 1:1 ตั้งทิ้งไว้ คนและสังเกตสีของตัวอย่างธูปฤาษี ถ้าเปลี่ยนเป็นสีขาวนำไปล้างทันที	48
ภาพที่ 6.7 การล้างสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ + สารละลายกรดอะซิตริก จนสะอาด pH = 7	49
ภาพที่ 6.8 การนำตัวอย่างธูปฤาษีใส่ถ้วยกระเบื้อง และเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง	49
ภาพที่ 6.9 การนำตัวอย่างธูปฤาษีที่อบมาชั่งน้ำหนัก	50
ภาพที่ 6.10 การชั่งตัวอย่างธูปฤาษี อย่างละ 1 กรัม ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ใส่ในคูซิเบิลเผา	50
ภาพที่ 6.11 การเผาตัวอย่างธูปฤาษีด้วย hot plate จนหมดควัน	51
ภาพที่ 6.12 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าเตาเผา ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	51
ภาพที่ 6.13 การนำตัวอย่างธูปฤาษีหลังเผาเข้าโถดูดความชื้น เพื่อทิ้งไว้ให้เย็น	52
ภาพที่ 6.14 การนำตัวอย่างธูปฤาษีที่ได้มาชั่งน้ำหนักหลังเผา	52
ภาพที่ 6.15 ตัวอย่างธูปฤาษีส่วนขี้เถ้าที่เผาแล้ว	53
ภาพที่ 6.16 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างธูปฤาษีอย่างละ 8 กรัม	53
ภาพที่ 6.17 การอบตัวอย่างธูปฤาษีที่ 60 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง	54

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง หน้า

ภาคผนวก (ต่อ)

ภาพที่ 6.18 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเป็นเอทานอล : เบนซีน ในอัตราส่วน 64:137 ระยะเวลา 6 ชั่วโมง 54

ภาพที่ 6.19 การล้างตัวอย่างธูปฤาษีด้วย เอทานอล 100 มิลลิลิตรผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศ 55

ภาพที่ 6.20 การนำสารละลายแต่ละชนิดไปกลั่นระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator) 55

ภาพที่ 6.21 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง 56

ภาพที่ 6.22 การล้างสารที่ได้ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตรผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศ 56

ภาพที่ 6.23 การกรองผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศและล้างสารที่ได้ด้วยน้ำร้อน 500 มิลลิลิตร 57

ภาพที่ 6.24 การทำให้แห้งด้วยอากาศ และชั่งน้ำหนักสารที่ได้ 57

ภาพที่ 6.25 การชั่งตัวอย่างธูปฤาษี 0.7 ± 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขวด 250 มิลลิลิตร 58

ภาพที่ 6.26 การเติมกรดแอซิติกเข้มข้น 0.6% (w/v) 10 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียม เข้มข้น 0.02% (w/v) 10 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 20% (w/v) 1 มิลลิลิตร 58

ภาพที่ 6.27 การนำตัวอย่างธูปฤาษีอุ่นใน water bath อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสทุกๆ 1 ชั่วโมงให้เติมสารละลาย สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ อีก 1 มิลลิลิตร รวม 4 ชั่วโมง 59

ภาพที่ 6.28 การนำขวดรูปชมพู่ออกมาวางในอ่างน้ำแข็งจนสารละลายอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส 59

ภาพที่ 6.29 การวาง sinterglass crucible ลงใน dish ที่มีน้ำสูง 1 เซนติเมตร เติม สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 17.5% (w/v) หรือ 5.21 นอร์มอล 3 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้ว นาน 5 นาที 60

ภาพที่ 6.30 การเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 17.5% (w/v) หรือ 5.21 นอร์มอล ทิ้งไว้ 35 นาที 60

ภาพที่ 6.31 การเทสารละลายใส่บีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่น 560 มิลลิลิตร 61

ภาพที่ 6.32 การต้มตัวอย่างธูปฤาษีให้เดือดนาน 4 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง 61

ภาพที่ 6.33 การชั่งน้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างธูปฤาษี 1.00 กรัม 62

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง หน้า

ภาคผนวก (ต่อ)

ภาพที่ 6.34 การชั่งตัวอย่างธูปฤาษี 0.5 ± 0.1 กรัม เติมสารเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม + กรดซัลฟิวริก 15 มิลลิลิตร + สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36% (v/v) 1 มิลลิลิตร 62

ภาพที่ 6.35 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าเครื่องย่อย 63

ภาพที่ 6.36 การย่อยจนสารละลายมีสีใสและไม่มีตะกอน 63

ภาพที่ 6.37 การตั้งตัวอย่างธูปฤาษีทิ้งไว้ให้เย็น และเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 64

ภาพที่ 6.38 การแช่ตัวอย่างธูปฤาษีในอ่างน้ำจนสารละลายเย็น 64

ภาพที่ 6.39 สารตัวอย่างที่มีการปรับปริมาตรให้ถึง 100 มิลลิลิตร 65

ภาพที่ 6.40 การใส่หลอดตัวอย่างธูปฤาษีที่ผ่านการย่อยเข้ากับเครื่องกลั่น + กรดบอริกความเข้มข้น 4% (v/v) ปริมาณ 25 - 30 มิลลิลิตร (หลอดแรกเป็นน้ำกลั่น และเรียงไปเรื่อยๆจนครบ 6 หลอด) 65

ภาพที่ 6.41 สารละลายตัวอย่างที่ได้จากการกลั่นจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเขียว 66

ภาพที่ 6.42 การไทเทรตหาไนโตรเจนด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 66

ภาพที่ 6.43 สารละลายที่ได้หลังการไทเทรตจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู 67

ภาพที่ 6.44 การอบตัวอย่างธูปฤาษีที่ 105 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมง 67

ภาพที่ 6.45 การชั่งตัวอย่างธูปฤาษี 1.00 กรัม ใส่กระดาษกรอง 68

ภาพที่ 6.46 การนำ thimble ที่มีตัวอย่างธูปฤาษีประกอบในเครื่อง B-811 68

ภาพที่ 6.47 การตั้งค่าระบบเครื่อง B-811 69

ภาพที่ 6.48 ไขมันที่ได้จากการสกัดตัวอย่างธูปฤาษี 69

ภาพที่ 6.49 กากจากการสกัดไขมันตัวอย่างธูปฤาษี 70

ภาพที่ 6.50 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างธูปฤาษี 70

ภาพที่ 6.51 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าเครื่องสกัดเยื่อใย 71

ภาพที่ 6.52 การอบตัวอย่างหลังการสกัดเยื่อใยหยาบที่ 105 องศาเซลเซียส 16 -18 ชั่วโมง 71

ภาพที่ 6.53 การชั่งน้ำหนัก crucible + ตัวอย่างธูปฤาษี หลังอบ 72

ภาพที่ 6.54 การเผาตัวอย่างธูปฤาษีที่เตาเผา 550 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง 72

ภาพที่ 6.55 การชั่งน้ำหนัก crucible + ตัวอย่างธูปฤาษีหลังเผา 73

ภาพที่ 6.56 การต้มน้ำจนเดือด 73

ภาพที่ 6.57 การเติมผงเต้าฮวย คนจนละลายหมด 74

ภาพที่ 6.58 การเติมเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดธูปฤาษีในเต้าฮวย 74

ภาพที่ 6.59 การคนจนเซลลูโลสและผงเต้าฮวยละลายเข้ากัน 75

ภาพที่ 6.60 การตั้งเต้าฮวยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วตักใส่ภาชนะบรรจุ นำไปแช่ในตู้เย็น 75

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง หน้า

ภาคผนวก (ต่อ)

ภาพที่ 6.61 การหั่นเงาะเป็นชิ้นพอประมาณเพื่อใส่ในเต้าฮวย 76
ภาพที่ 6.62 การย่อยตัวอย่างธูปฤาษีจนสารละลายมีใสและไม่มีตะกอน 76
ภาพที่ 6.63 การต้มนมข้นหวาน นมข้นจืด และนมจืดสด คนจนเข้ากันดี 77
ภาพที่ 6.64 การเติมน้ำนมสำหรับราดใส่เต้าฮวยที่เตรียมไว้ 77
ภาพที่ 6.65 กราฟมาตรฐานเซลลูโลส (Ahmed and Jong) 78

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช พบมากในพืชผัก ผลไม้ และธัญพืช เป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ในแง่ของอาหารเซลลูโลสเป็นอาหารลดความอ้วน เพราะให้ปริมาณมากไม่ให้พลังงาน และไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น (ศศิเกษม ทองยงค์และพรรณี เดชกำแหง, 2530) ช่วยป้องกันมะเร็ง ปกป้องลำไส้ให้มีสุขภาพดี มีสมบัติอุ้มน้ำได้ดี และเพิ่มปริมาณกากอาหาร (บรรจบ ชุณหสวัสดิกุลและปาริชาติ สักกะทำนุ, 2539) นอกจากนั้นยังช่วยควบคุมโรคเบาหวาน โดยลดระดับน้ำตาล ไขมัน และคอเลสเตอรอล (cholesterol) ในเลือด และลดการเกิดนิ่วในถุงน้ำดี (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2537) เซลลูโลสผงช่วยเพิ่มปริมาตร และปรับปรุงเนื้อสัมผัสในเค้ก (จันทร์รัตน์ เลิศมโนรัตน์และคณะ, 2539) ทำให้การหดตัวของเค้กหลังการอบลดลง เพราะเซลลูโลสผงทำให้โครงสร้างที่เก็บกักก๊าซแข็งแรงขึ้น (Ang, 1991) และช่วยลดการอมน้ำมันในอาหารทอดต่างๆ (จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญ และคณะ, 2544) ปัจจุบันเซลลูโลสผงมักจะนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีราคาสูงขึ้น

ต้นธูปฤาษี หรือกกช้าง (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Typha angustifolia* L. ชื่อวงศ์ *Typhaceae*.) เป็นวัชพืชลักษณะคล้ายพืชพวกกกจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเป็นไม้ล้มลุกที่มีอายุประมาณ 2-3 ปี เป็นวัชพืชที่มีความเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม เพราะมีดอกที่ใช้ในการสืบพันธุ์เป็นจำนวนมาก เมื่อต้นธูปฤาษีออกดอกสีน้ำตาลเป็นแท่งกลมโผล่ขึ้นมาจากยอด ติดเมล็ดง่ายเมื่อเมล็ดแก่ก็ปลิวไปตามลม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ขยายพันธุ์ได้อย่างกว้างขวาง (สุรพงษ์ ศรีเจ้า, 2556) ปัจจุบันต้นธูปฤาษีสามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้แทนการกำจัดทำลายจากการศึกษาเอกสารงานวิจัย และงานวิจัยพบว่าต้นธูปฤาษีมีเส้นใยจำพวกเซลลูโลสร้อยละ 40 ซึ่งมีคุณสมบัตินำมาผลิตเยื่อกระดาษตามแบบอย่างประเภทอื่นๆได้ อาทิเช่น กระดาษสา กระดาษใยสับปะรด กระดาษต้นกล้วย และกระดาษต้นสอยดาว เป็นต้น นอกจากจะใช้ต้นธูปฤาษีสำหรับผลิตเยื้อกระดาษแล้วเส้นใยธูปฤาษียังสามารถนำมาปั่นเป็นเส้นด้ายแล้วใช้ทอเป็นผืนผ้าได้ซึ่งผ้าที่ได้แทนผืนผ้าจำพวก ผ้าลินิน ผ้าฝ้าย และผ้าใยเส้นสังเคราะห์ นอกจากนี้ธูปฤาษียังมีสรรพคุณทางยา คือ ช่วยขับปัสสาวะ และช่วยเพิ่มน้ำนมของสตรีหลังการคลอดบุตร จากการศึกษาพบว่า พืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเค็ม จะมีความสามารถดูดซับเกลือได้ดี และทำให้มีคุณสมบัติบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป เช่น ข้าวที่ปลูกในดินเค็มได้ มีความหอมพิเศษ (สุมิตร คุณเจตน์, 2557) หรือธูปฤาษีในดินเค็มจะเกิดเชื้อราได้น้อยกว่าธูปฤาษีที่เกิดในดินธรรมดา จากปริมาณเซลลูโลสที่พบสูงในธูปฤาษี กลุ่มผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองผลิตเซลลูโลส จากต้นธูปฤาษีในดินเค็ม บริเวณหนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม โดยแยก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เป็นใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ รวมทั้งศึกษาการแปรรูปผงเซลลูโลสใส่ในเต้าฮวยนมสด เพื่อเป็นเซลลูโลสทางเลือก ลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกทาง

1.2 วัตถุประสงค์งานศึกษาวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณค่าทางอาหาร คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันของต้นธูปฤาษี จากบริเวณดินเค็ม หนองบ่อ ตำบลบรบือ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี

1.2.3 เพื่อศึกษาการแปรรูปเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในเต้าฮวยนมสด

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 เก็บตัวอย่างต้นธูปฤาษี จากบริเวณดินเค็ม หนองบ่อ ตำบลบรบือ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม

1.3.2 ใบแก่ หมายถึง ส่วนของต้นธูปฤาษีที่อยู่เหนือน้ำมีสีเขียวเข้ม และสังเกตได้จากต้นธูปฤาษีที่มีดอกเป็นองค์ประกอบ

1.3.3 ใบอ่อน หมายถึง ส่วนของต้นธูปฤาษีที่อยู่เหนือน้ำมีสีเขียว โดยสังเกตได้จากต้นธูปฤาษีที่ไม่มีดอกเกิดขึ้น

1.3.4 โคนแก่ หมายถึง ส่วนของต้นธูปฤาษีที่บริเวณเหนือรากมีลักษณะสีขาว โดยสังเกตจากต้นที่มีดอกเป็นองค์ประกอบ

1.3.5 โคนอ่อน หมายถึง ส่วนของต้นธูปฤาษีที่บริเวณเหนือรากมีลักษณะสีขาว โดยสังเกตจากต้นที่ไม่มีดอกเป็นองค์ประกอบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ทราบคุณค่าทางอาหารของต้นธูปฤาษี จากดินเค็ม หนองบ่อ ตำบลบรบือ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม

1.4.2 ได้เซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี

1.4.3 ได้อัตราส่วนผสมของเซลลูโลสที่เหมาะสมในการทำเต้าฮวยนมสด

1.5 สถานที่ดำเนินการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี ชั้น 3 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

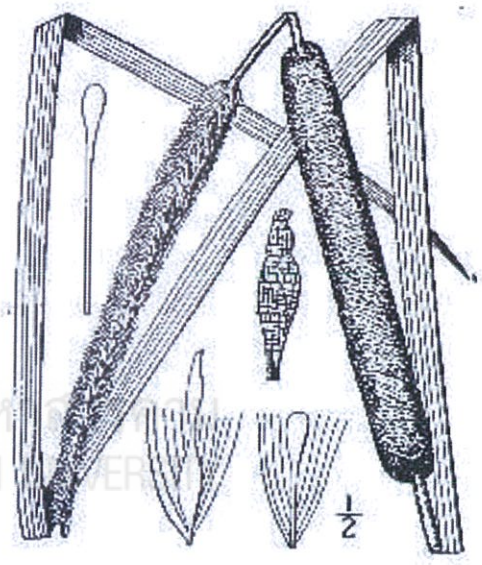
เริ่มทำการทดลอง ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 และสิ้นสุดการทดลอง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธูปฤาษี

ธูปฤาษี หรือในชื่อกกธูป กกช้าง เฟื้อ(ภาคกลาง) ปรือ(ภาคใต้) และหญ้าสลาบหลวง (ภาคเหนือ) ชื่อสามัญอังกฤษว่า Lesser reedmace, Narrow-leaved cat tail, bulrush, cattail, Flag, reedmacetule, narroeleaf cattail มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Typhaangustifolia* L. วงศ์ Typhaceae ธูปฤาษีมีการกระจายพันธุ์อยู่ทั่วโลกในเขตร้อน และเขตอบอุ่น ในประเทศไทยพบในทุกภูมิภาค ขึ้นตามพื้นที่ชุ่มน้ำ พบได้ทั่วไป



ภาพที่ 2.1 ธูปฤาษี

ที่มา: http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=TYAN

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ธูปฤาษีเป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี ตั้งตรง สูง 1.5-3 เมตร เหง้ากลมแทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้นๆ ใบเดี่ยวเรียงสลับระนาบเดียว ใบเป็นรูปแถบแบน กว้าง 1-2 เซนติเมตร ยาว 2 เมตร ใบแตกสลับกันเป็นสองแถวด้านข้าง มีกาบใบ แผ่นใบด้านบนโค้งเล็กน้อย ส่วนด้านล่างแบน ช่อดอกเป็นสีน้ำตาล ช่อดอกรูปทรงกระบอก แยกเพศบนก้านเดียวกัน ก้านช่อดอกกลม แข็ง ช่วงดอกเพศผู้อยู่ที่ปลายช่อ ยาว 8-40 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร มีใบประดับ 1-3 ใบ แต่จะหลุดร่วงไป ช่วงดอกเพศเมียอยู่ด้านล่าง ยาว 5-30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร มักแยก

ออกจากส่วนดอกเพศผู้ด้วยส่วนก้านช่อดอกที่เป็นหมันที่ยาว 2.5-7 เซนติเมตร ดอกมีขนาดเล็ก ไม่มีกลีบดอกและกลีบเลี้ยง เกสรเพศผู้ส่วนมากมี 3 อัน มีขนล้อมรอบ ก้านเกสรเพศผู้สั้น อับเรณูยาว 1.5-2 มิลลิเมตร ดอกเพศเมียมีใบประดับย่อยรูปเส้นด้าย รังไข่รูปกระสวย ก้านรังไข่เรียว ยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร มีขนยาวสีขาว ก้านเกสรเพศเมียยาว 1-1.5 มิลลิเมตร มีขนแต่สั้นกว่าบนก้านรังไข่ ยอดเกสรรูปใบหอก ผลมีขนาดเล็ก รูปรี เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-3 เซนติเมตร ช่อดอกแบบช่อเชิงลด ดอกมีจำนวนมาก ติดกันแน่น สีน้ำตาล ลักษณะคล้ายธูปดอกใหญ่ ก้านช่อดอกกลม แข็ง ดอกแยกเพศ แบ่งเป็นตอนเห็นได้ชัด กลุ่มดอกเพศผู้อยู่ปลายก้าน รูปทรงกระบอก กลุ่มดอกเพศเมียรูปทรงกระบอกเช่นกันแต่ใหญ่กว่ากลุ่มดอกเพศผู้ ดอกแก่จะแตกเห็นเป็นขนขาวฟู ผลเล็กมาก เมื่อแก่แตกตามยาว

2.1.2 ประโยชน์ของต้นธูปฤาษี

ใบยาวและเหนียวนิยมใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า ใช้มุงหลังคา และทำเชือก ดอกแก่จัดมีขนปุยนุ่มมือลักษณะคล้ายปุยนุ่นจึงนิยมใช้แทนนุ่น ยอดอ่อนกินได้ทั้งสดและทำให้สุก ช่อดอกปิ้งกินได้ แป้งที่ได้จากลำต้นใต้ดินและรากใช้บริโภคได้เช่นกัน ในอินเดียเคยใช้ก้านช่อดอกทำปากกา และเชื่อว่าลำต้นใต้ดินและรากใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ เยื่อ (pulp) ของต้นธูปฤาษีนำมาใช้ทำใยเทียม (rayon) และกระดาษได้ มีเส้นใย (fiber) ถึงร้อยละ 40 เส้นใยนี้มีความชื้นร้อยละ 8.9 เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 63 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 8.7 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 9.6 ไข (wax) ร้อยละ 1.4 และเถ้า (ash) ร้อยละ 2 เส้นใยมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์ สามารถนำมาใช้เป็นพืชคลุมดิน เพื่อลดการพังทลายของหน้าดิน เนื่องจากมีระบบรากที่ดี (ศาสตร์ตราจารย์จิติ หนูแก้ว, 2556)

ต้นธูปฤาษีสามารถช่วยบำบัดน้ำเสียตามแหล่งต่างๆ และสามารถเจริญเติบโตได้ดี แม้จะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำเสียตามชุมชนหรือตามแหล่งน้ำจากโรงงานต่างๆ และยังทำให้น้ำเสียในบริเวณนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น มีศักยภาพในการลดค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ ช่วยปรับเปลี่ยนสีของน้ำที่ไม่พึงประสงค์ให้ต่ำลง และช่วยลดความเป็นพิษในน้ำได้ ต้นธูปฤาษีมีระบบรากที่ดี จึงช่วยป้องกันการพังทลายของดินตามชายน้ำได้ ดอกของต้นธูปฤาษีสามารถใช้กำจัดคราบน้ำมันได้เป็นอย่างดี โดยน้ำหนักของดอกต้นธูปฤาษี 100 กรัม สามารถช่วยกำจัดคราบน้ำมันได้มากกว่า 1 ลิตร ใบธูปฤาษีมีความยาวและเหนียวจึงนิยมนำมาใช้มุงหลังคา และสามารถนำมาใช้สานตะกร้า ทำเสื่อ ทำเชือกได้อีกด้วย ซากของธูปฤาษีสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินสำหรับไม้ยืนต้นตามสวนผลไม้ต่างๆ

สรรพคุณทางยา ใช้ส่วนของลำต้นอับเรณู และรากโดยวิธีการใช้ถ้ารักษาโรคทางเดินปัสสาวะ ช่วยขับปัสสาวะ ช่วยเพิ่มน้ำนมของสตรีหลังการคลอดบุตร นำลำต้นมาต้มกับน้ำดื่มรับประทานยารักษาโรคทางเดินปัสสาวะ นำอับเรณูมาต้มกับน้ำดื่มรับประทานยาบำบัดโรคบางชนิด ช่วยขับปัสสาวะ นำรากมาต้มกับน้ำดื่มรับประทาน (สารานุกรมพืช, 2557)

ธูปฤาษีมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง กากที่เหลือจากการสกัดเอาโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตออกแล้วใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ย่อย จะให้แก๊สมีเทน (methane) ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ผลของธูปฤาษีมี long chain hydrocarbon 2 ชนิด คือ

pentacosane 1-triacontanol สารพวก phytosterol 2 ชนิด คือ β-sitosterol และ β-sitosteryl-3-0-B-D-glucopyranoside ธูปฤาษีสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กิโลกรัมต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 กิโลกรัมต่อปี จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จะมีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต

2.2 เส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร หรือที่มักเรียกกันว่า ไฟเบอร์ (fiber) มี 2 กลุ่ม คือ เส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ (soluble fiber) เช่น เพคติน (pectin) มิวสิเลจ (mucilage) เมื่อละลายน้ำจะมีลักษณะคล้ายเจล เมื่อรับประทานเข้าไปในทางเดินอาหาร เส้นใยอาหารชนิดนี้จะจับกับโมเลกุลของไขมันได้ จึงส่งผลให้สารอาหารต่างๆที่ละลายในน้ำและสารอาหารจำพวกไขมันไม่สามารถถูกย่อยและถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดได้ ทำให้มีผลในการลดระดับคลอเลสเตอรอล และระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เมื่อรับประทานเข้าไปทำให้เกิดการพองตัว เป็นเสมือนกากอาหารที่ทำให้กระเพาะเต็มจึงเสมือนเป็นการรับประทานอาหารเท่าเดิม แต่อ้วนน้อยลง และทำให้อุจจาระมีการเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ใหญ่ได้รวดเร็วขึ้น สามารถใช้แก้ไขภาวะท้องผูกได้

2.3 โฮโลเซลลูโลส

โฮโลเซลลูโลส (holocellulose) เป็นส่วนของคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) หลักที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ซึ่งมีส่วนของน้ำตาลต่างๆ อยู่เล็กน้อย เช่น แป้งและเพคติน (pectin) การรวมกันของเซลลูโลส (40-45%) และเฮมิเซลลูโลส (15-25%) จะเรียกว่า โฮโลเซลลูโลส โดยทั่วไปจะมีปริมาณ (65-70%) ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งการเกิดพอลิเมอร์ (polymer) ส่วนใหญ่เกิดจากน้ำตาล D-glucose, D-mannose, D-galactose, Dxylose , L-arabinose, D-glucuronic acid และน้ำตาลอื่นๆ อีกเล็กน้อยเช่น L-rhamnose และ D-fucose โดยพอลิเมอร์ดังกล่าวมีส่วนของ Hydroxyl Group ซึ่งสอดคล้องกับการจับตัวของความชื้นในพันธะไฮโดรเจน (hydrogen Bonding)

2.4 เซลลูโลส

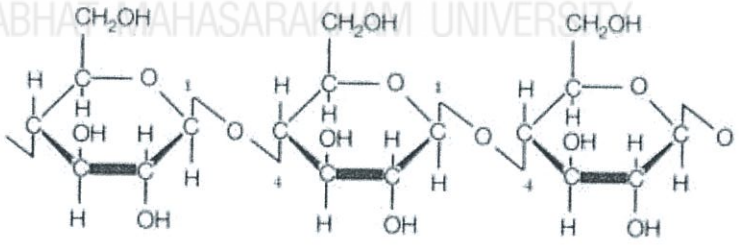
เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ในพืช โดยมีสารอื่นร่วมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพคติน (pectin) และลิกนิน (lignin) เซลลูโลสเป็นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) ชนิด เบต้า-1,4 เป็นสายยาวมากกว่า 2,000 หน่วย แต่ละสายของเซลลูโลสเรียงตัวขนานกัน จับกันอย่างหลวมๆ เซลลูโลสมีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยคุณสมบัติในการเป็นสารเพิ่มปริมาณ (bulking agent) สารที่ทำให้คงตัว (Stabilizer) สารให้ความข้นหนืด (Thickener) และสารกันการรวมตัวเป็นก้อน (Anticaking agent) สามารถดูดซับน้ำหรือซับกับน้ำได้ดี ในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำเซลลูโลสมาใช้เป็นสารให้ความคงตัวในน้ำผลไม้ ช่วยลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด และช่วยเพิ่มการพองตัวในขนมขบเคี้ยว เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระสกลนคร RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

(Angand Miller, 1990) ด้วยคุณสมบัติที่หลากหลายของเซลลูโลสจึงมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาถึงวิธีการสกัดและการทำให้เซลลูโลสบริสุทธิ์ในพืชหลายชนิด วิธีในการสกัดเซลลูโลสมักเป็นการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออก ตัวอย่างเช่น การสกัดเบื้องต้นด้วยน้ำร้อนร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง (Sun, *et al.*, 2004; Prakongpan, Nitithamyong and Luangpituksa, 2002) ซึ่งมีการกำจัดองค์ประกอบและเส้นใยที่ละลายน้ำด้วยน้ำร้อน กำจัดลิกนินออกจากเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำด้วยกรด กำจัดโปรตีน เพคติน เฮมิเซลลูโลส สารประกอบพวกฟินอลิค และสารในกลุ่มไขมันที่ไม่ละลายน้ำออกด้วยการใช้ด่าง (Wallter, *et al.*, 1997) เป็นต้น วิธีการสกัดที่ทำได้ง่าย ค่าใช้จ่ายน้อย และในกระบวนการสกัดมีการกวนผสม ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำที่สูงขึ้นและความหนาแน่นที่ลดลง ของสารสกัดเซลลูโลส (Punnavarakul and Sangnark, 2009) นอกจากนี้ยังมีการสกัดเบื้องต้นด้วยเอนไซม์ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง (Sun and Hughes, 1998) โดยมีการใช้เอนไซม์โปรติเอสในการกำจัดโปรตีน เอนไซม์เพคติเนสในการกำจัดเพคติน หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ได้มากำจัดด้วยด่างต่อไป วิธีการนี้ในขั้นตอนสุดท้ายการปรับค่าความเป็นกรด–ด่าง ให้เป็นกลาง มีการล้างด้วยน้ำกลั่นน้อย ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตสารสกัดค่อนข้างสูง

เซลลูโลสเป็นโพลีแซกคาไรด์ชนิด glucan คือ เป็นโพลีเมอร์ของกลูโคส เป็นลูกโซ่สายตรงไม่มีแขนง เชื่อมด้วยพันธะ β-1,4 glycosidic ดังนั้นจึงทำให้เซลลูโลสมีรูปร่างต่างไปจาก amylase คือ พันธะ β-1,4 ทำให้กลูโคสต่อกันอยู่ในสายโซ่ของเซลลูโลสยืดตัวออกในแนวเส้นตรงได้ ทำให้สายของลูกโซ่หลายสายมีโอกาสใกล้ชิดกันโดยที่โมเลกุลของน้ำไม่สามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ได้เลยโดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.2

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเซลลูโลส

ที่มา: http://www.foodnetworksolution.com

โครงสร้างของเซลลูโลสลักษณะนี้ ได้แก่ เส้นใยที่มีความเหนียว โมเลกุลของเซลลูโลสมีขนาดใหญ่น้ำหนักโมเลกุลมาก เป็นสารเฉื่อย เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ยาก ต้องใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่รุนแรง เซลลูโลสไม่ละลายน้ำหรือตัวทำละลายปกติทั่วไป ไม่มีคุณค่าทางอาหารเนื่องจากไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในคนแต่ในสัตว์ชนิดกินพืชจะมีแบคทีเรียในลำไส้สามารถย่อยสลาย cellobiose ซึ่งเป็น

หน่วยย่อยของเซลลูโลสได้ในธรรมชาติจะพบว่าเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชในชั้นปฐมภูมิ เมื่อพืชเจริญขึ้นผนังเซลล์จะมีการสร้างสารอื่นมาเกาะ เช่น เฮมิเซลลูโลส เพคติน และลิกนิน ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายกับซีเมนต์ ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์ของพืชเกิดเป็นผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ จึงทำให้เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุดในธรรมชาติและเป็นตัวให้ความแข็งแรงกับเนื้อเยื่อพืช โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายยาวและอยู่รวมกันเป็นมัด โดยจะมีแรงยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน การจัดเรียงตัวของโมเลกุลค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอ จากการศึกษาโดย x-ray diffraction พบว่าเส้นใยของเซลลูโลสประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกซึ่งเป็นระเบียบ และส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ สำหรับส่วนที่เป็นผลึกในเส้นใยของเซลลูโลสนั้นโมเลกุลจะจัดตัวขนานกันและกัน และยึดติดกันอย่างมีระเบียบโดยพันธะไฮโดรเจน แต่สำหรับส่วนที่ไม่เป็นระเบียบนั้นจะมีจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมากกว่าส่วนที่เป็นระเบียบ ดังนั้นส่วนที่เป็นระเบียบจะเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงในขณะที่ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบเป็นส่วนที่ให้ความยืดหยุ่น

เซลลูโลสประกอบด้วย 2 ส่วนในโมเลกุล คือ

1) ด้านนอกของโมเลกุล จะมีลูกโซ่ที่จับกันอย่างหลวมๆ ตัวทำละลายสามารถแทรกเข้าไปได้ ดังนั้นการย่อยสลายหรือเกิดสารอนุพันธ์จะเกิดที่ส่วนนี้ก่อน เรียกส่วนนี้ว่า amorphous region

2) ด้านในโมเลกุล จะมีลูกโซ่ที่จับกันแน่นมากด้วยแรงจากพันธะไฮโดรเจนและแรงอื่นๆ ทำให้ตัวทำละลายแทรกเข้าไปในส่วนนี้ได้ยาก เรียกส่วนนี้ว่า crystalline region

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ถ้ามีการย่อยสลายเฉพาะ amorphous region จนเหลือแต่ crystalline region จะได้ผลผลิตที่เรียกว่า Avicel ซึ่งเป็น microcrystalline cellulose ใช้เป็นสารช่วยตอกในยาเม็ด เซลลูโลสจะพองตัวในด่าง โดยเฉพาะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ยิ่งความเข้มข้นของสารละลายสูงการพองตัวก็จะมากขึ้น มีการแบ่งเซลลูโลสตามการละลายใน 18% โซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้เป็น 3 ชนิด โดยเมื่อเอาเซลลูโลสใส่ใน 18% โซเดียมไฮดรอกไซด์แล้ว ส่วนที่ไม่ละลายซึ่งส่วนใหญ่จะเรียกว่า α-cellulose ซึ่งใน 1 โมเลกุลจะประกอบไปด้วยกลูโคสมากกว่า 200 โมเลกุล ส่วนที่ละลายเมื่อแยกออกมาทำให้เป็นกลาง ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้น ส่วนที่เป็นตะกอน β-cellulose ซึ่งใน 1 โมเลกุลจะประกอบไปด้วยกลูโคส 10-200 โมเลกุล ส่วนสุดท้ายที่ไม่เกินตะกอนเรียก γ-cellulose จะประกอบไปด้วยกลูโคส 10 โมเลกุล หรือน้อยกว่าต่อ 1 โมเลกุล เซลลูโลสสามารถสลายได้ในสารละลายเข้มข้นของกรดแร่และเกิดการย่อยสลายได้ในสารละลายกรดแร่ที่อุณหภูมิห้องและยิ่งอุณหภูมิสูงจะเกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น

2.4.1 ความหนืดของเซลลูโลส

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลส โดยถ้าเราเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

2.4.2 ตัวทำละลายสำหรับเซลลูโลส

1) Schweilzer's reagent เป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดและใช้กันมากในอุตสาหกรรม เป็นสารละลายแอมโมเนียมของเกลือ cupric โดยละลาย cupric hydroxide ในสารละลายเข้มข้นของแอมโมเนียและถ้านำเซลลูโลสมาแช่ในสารละลายแอมโมเนียก่อนเพื่อให้พองตัว จะทำให้การละลายดีขึ้น

2) Copper Ethylene Diamine

3) Cadoxon เป็นสารละลายที่ไม่มีสีของ Cadmium ion กับ ethylenediamine

4) Dimethylformamide ผสมกับ Dinitrogen tetroxide

2.4.3 การสกัดเซลลูโลส

ขั้นที่ 1 delignification เป็นขั้นตอนการสกัดลิกนิน ออกไปโดยปฏิกิริยา oxidation ส่วนที่เหลือเรียกว่าโฮโลเซลลูโลส ซึ่งเป็นสารผสมรวมกันระหว่างเซลลูโลส กับเฮมิเซลลูโลส

ขั้นที่ 2 chloriting treatment เป็นขั้นตอนการสกัดเฮมิเซลลูโลสออกจากเซลลูโลส โดยใช้ด่างเป็นตัวสกัด

เฮมิเซลลูโลส เป็นโมเลกุลลูกโซ่ที่มีกิ่งแขนงของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิดและโมเลกุลถูก acetylate ด้วยพันธะที่เชื่อมต่อโมเลกุลของน้ำตาลเหล่านี้ก็พบได้หลายชนิด คือ β–1,4 ,β–1,3 ,α–1,2, α–1,3 เป็นต้น น้ำตาลที่พบมากที่สุดคือ xylose นอกจากนี้ยังพบ mannose, glucose, galactose, arabinose ส่วน uronic acid จะพบ glucuronic acid และ galacturonic acid เมื่อเปรียบเทียบ hemicellulose กับเซลลูโลสจะมีข้อแตกต่างดังนี้

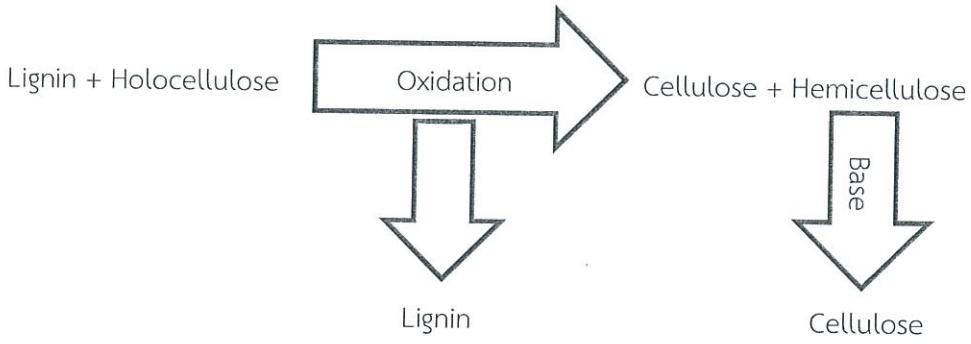
1) hemicelluloses มี Degree of polymerization ต่ำกว่าเซลลูโลส

2) hemicelluloses ละลายในด่างและถูกย่อยสลายด้วยสารละลายกรดเจือจางได้ดีกว่าเซลลูโลส

3) เมื่อสลาย hemicellulose ให้ xylose และน้ำตาลอื่นหลายชนิด แต่เซลลูโลสให้กลูโคสชนิดเดียว

4) โครงสร้างของ hemicellulose มีโซ่กิ่ง แต่เซลลูโลสเป็นสายโซ่ตรง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาการแยกสกัดเซลลูโลส

ในอุตสาหกรรมยามีการนำสารในกลุ่มเซลลูโลสและอนุพันธุ์ของเซลลูโลสมาใช้เป็นสารปรุงแต่งยาเพื่อทำหน้าที่หลายประการ เช่น เป็นสารเพิ่มปริมาณ (filler) สารยึด (binder) สารก่อฟิล์ม (film forming agent) ในตัวตำรับยาเม็ด หรือสารเพิ่มความหนืด (viscosity enhancing agent) ในตำรับยาแขวนตะกอน เป็นต้น

ตัวอย่างอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ใช้ในทางเภสัชกรรมได้แก่

1) Carboxymethyl cellulose (CMC)
2) Methyl cellulose (MC)
3) Hydroxypropylmethly cellulose (HPMC)
4) Hydroxyethly cellulose (HEC)
5) Hydroxypropylmethly cellulose phthalate (HPMCP)
6) Ethly cellulose (EC)
7) High-substituted hydroxypropyl cellulose (H-HPC)
8) Microcrystalline cellulose (MCC)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เซลลูโลสที่ใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรมในช่วงแรกๆ คือ powdered cellulose โมเลกุลเซลลูโลสจะมีความหลากหลายในเรื่องของขนาดอนุภาค และความชื้น ทำให้มีสมบัติและการนำไปใช้ที่แตกต่างกัน เช่น เป็นสารดูดซับ (absorbant) สารช่วยไหล (glidant) สารช่วยเจือจาง (tablet and capsule diluent) สารช่วยแตกตัว (disintegrant) ในยาเม็ด หรือสารช่วยกระจายตัว (suspending sgent) ในยาน้ำ นอกจากนี้ยังมีลักษณะเป็นปุย (fluffy) มีความพรุน และการไหลที่ไม่ดี แต่มีสมบัติในการตอกอัดจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณสำหรับตอกอัดโดยตรง (direct compression filler) ส่วน Microcrystalline cellulose (MCC) เกิดจากกระบวนการ depolymerization ของเซลลูโลสทำให้พอลิเมอร์มีขนาดเล็กลง หรือที่เรียกว่า “partially depolymerized cellulose” Microcrystalline cellulose มีสูตรโมเลกุลเช่นเดียวกับเซลลูโลสแต่มีขนาดอนุภาคเล็ก น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 36,000 ลักษณะเป็น crystalline powder ซึ่งเป็นผงสีขาวละเอียด ไม่มีกลิ่นและรส โมเลกุลมีความหลากหลายในเรื่องของขนาดอนุภาคและความชื้น ทำให้มีสมบัติและการนำไปใช้ที่

แตกต่างกัน เช่นเดียวกับ powdered cellulose ไม่ละลายในน้ำ สารละลายกรดเจือจาง ตัวทำละลายอินทรีย์ และ diluted sodium hydroxide solution

นอกจากจะใช้ microcrystalline cellulose เป็นสารเพิ่มปริมาณสำหรับการตอกอัดโดยตรงแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณในการทำแกรนูลเปียก (wet graulation) ได้โดยปริมาณที่แนะนำคือ ร้อยละ 5-15 ของตำรับ พบว่าเมื่อใช้ microcrystalline cellulose เป็นสารเพิ่มปริมาณทำให้แร่งผ่านแร่งได้ง่าย ไม่เกิดการอุดตัน และได้แกรนูลที่สม่ำเสมอดี แต่ด้วยเหตุผลด้านราคามักไม่นิยมใช้ microcrystalline cellulose เป็นสารเพิ่มปริมาณชนิดเดียวในตำรับ จะมีการผสมกับสารเพิ่มปริมาณชนิดอื่นด้วย (ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์และคณะ, 2553)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทวัส จิรัฐพงศ์ (2554: บทคัดย่อ) ศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพโดยของเหลือทิ้งจากพืชที่นำมาศึกษาคือ ต้นกก ชานอ้อย ซังข้าวโพด ฟางข้าว และกาบมะพร้าว โดยวิธี Detergent ในการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากนั้นทำการเลือกวัตถุดิบที่มีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุดมาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยเปลี่ยนเซลลูโลสมาอยู่ในรูปของคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส จากการทดลองพบว่า ชานอ้อย ซังข้าวโพด ฟางข้าว ต้นกก กาบมะพร้าว ก้านกล้วยกาก ปาล์ม ใบคะน้า ใบสัปปะรด หญ้านวลจันทร์ และผักตบชวา มีปริมาณเซลลูโลสคือ 41.255 39.352 37.704 37.276 35.556 33.856 33.082 26.782 26.702 26.476 และ 24.372 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสคือ 19.782 22.900 22.060 7.870 25.808 9.380 20.518 20.074 11.957 25.734 และ 19.828 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีปริมาณลิกนิน คือ 22.912 17.854 21.002 20.430 15.016 16.840 15.099 19.372 14.900 17.460 และ 25.336 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลอง ชานอ้อยมีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุด และจากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้จากชานอ้อยไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์และจิราภรณ์ สอดจิตร (2554: บทคัดย่อ) ศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเปลือกกล้วยโดยผลิตเป็นเซลลูโลส เปลือกกล้วยที่ใช้ในการทดลอง คือ เปลือกกล้วยระยะ 5 6 และ 7 ทั้งนี้เพื่อคัดเลือกระยะการสุกที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูโลส พบว่าเปลือกกล้วยสุกระยะ 5 มีปริมาณเซลลูโลสสูงสุด และมากกว่าระยะ 6 และ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงคัดเลือกเปลือกกล้วยระยะ 5 มาทำการศึกษาต่อไป การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยใช้แอลกอฮอล์ ด่าง และสารฟอกสี ทั้งนี้เพื่อทำการกำจัด ไขมัน โปรตีน และสารสี ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอล 95% เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่สกัดด้วยด่าง ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 12 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นมีการฟอกสี สภาวะที่เหมาะสมคือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 15% ระยะเวลา 12 ชั่วโมง เซลลูโลสจากเปลือกกล้วยที่ผลิตได้มีความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้า ใยอาหาร และปริมาณเซลลูโลส เท่ากับ 8.07, 0.40, 0.83, 47.77, 9.36, 33.52, และ 78.90% ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี พีเอช ค่า a_w ค่า L^* ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 6.30 0.57 86.06 10.26 และ 1.47 กรัม น้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ เซลลูโลสจากเปลือกกล้วยมีคุณสมบัติทางเคมีและ

กายภาพใกล้เคียงกับเซลลูโลสทางการค้า การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเซลลูโลสผงในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเนยสด โดยใช้เซลลูโลส 1.5% 3.0% และ 4.5% พบว่าการเติมเซลลูโลสในเค้กเนยสดได้รับคะแนนการยอมรับมากกว่าสูตรควบคุมในทุกๆ ด้านคือ สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ฐิตา ฟูเผ่า และคณะ (2556: บทคัดย่อ) ศึกษาวิธีการสกัดเซลลูโลส 2 วิธี ได้แก่ การสกัดเบื้องต้นด้วยน้ำร้อน หรือเอนไซม์ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากเมล็ดมะรุม ผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดมะรุมประกอบด้วยปริมาณเส้นใยสูงถึง 31.03% โดยน้ำหนักแห้ง และวิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม คือการสกัดเบื้องต้นด้วยน้ำร้อนร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง โดยใช้อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิสที่ 70 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ 5%(w/v) ได้ปริมาณเซลลูโลสจากสารสกัดกากเมล็ดมะรุมอยู่ที่ 96.54% และเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการพองตัว 8.79 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง สารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันที่ดีกว่าสารสกัดเซลลูโลสจากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ สารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณเส้นใยสูงถึง 70.74% และเส้นใยที่มีความยาวประมาณ 30-60 ไมโครเมตร ดังนั้นกากเมล็ดมะรุมจึงเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสมในการนำมาสกัดเซลลูโลส และเซลลูโลสที่สกัดได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัตถุเติมแต่งอาหารได้ในอนาคต

ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์ (2556: บทคัดย่อ) ศึกษาหากระบวนการผลิตเซลลูโลสสำหรับใช้ทางเภสัชกรรมจากใบผักตบชวา ก้านผักตบชวา ใบธูปฤาษี และกากชานอ้อย โดยวิธีย่อยด้วยกรด และคุณสมบัติของเซลลูโลสที่ผลิตได้ กระบวนการเริ่มต้นจากการสกัดสารมีสีด้วยตัวทำละลายซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดคือ การใช้ Methanol สกัดสารมีสีออกจากพืชสดที่บดย่อยขนาดแล้วนาน 1 ชั่วโมง ทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นฟอกขาวด้วยสารละลาย NaClO (8 g/L available Cl) ที่อุณหภูมิ 60 เซนติเกรด จำนวน 3 ครั้ง นาน 2 ชั่วโมง แล้วฟอกขาวอีกครั้งด้วย 20% (w/v) hydrogenperoxide นาน 30 นาที ขั้นตอนสุดท้ายคือ การย่อยเส้นใยที่ได้ด้วย hydrochloric acid พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการย่อยที่อุณหภูมิห้องด้วยกรด 5 นอร์มอล นาน 72 ชั่วโมง สำหรับใบธูปฤาษี ใบผักตบชวา และก้านผักตบชวา นาน 96 ชั่วโมง สำหรับกากชานอ้อย พบว่าอนุภาคของเซลลูโลสที่ย่อยได้จากผักตบชวามีรูปร่างค่อนข้างกลม bulk density สูง ความพรุนต่ำและมี flow character อยู่ในช่วง passable ถึง poor ขณะที่อนุภาคเซลลูโลสที่ย่อยได้จากจากใบธูปฤาษี และกากชานอ้อยมีลักษณะเป็นท่อนสั้นๆ bulk density ต่ำ ความพรุนสูง และมี flow character อยู่ในช่วง very poor ถึง very very poor และเมื่อพิจารณาถึงอัตราการพองตัวพบว่าผงเซลลูโลสที่ผลิตจากกากชานอ้อยมีการพองตัวที่ดีที่สุด รองลงมาคือเซลลูโลสที่ผลิตจากธูปฤาษี และชนิดที่มีการพองตัวต่ำที่สุดคือผงเซลลูโลสที่ได้จากทั้งส่วนใบและก้านของผักตบชวา

พรชัย ราชตนะพันธุ์ และคณะ (2556: บทคัดย่อ) ศึกษาการผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) จากเปลือกมะละกอและศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มเซลลูโลสสกัดโดย NaOH แล้วเซลลูโลสถูกดัดแปรโดยทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติก (chloroacetic acid) ได้เป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอินฟราเรดสเปกตรัม (IR) ใช้ในการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอ (CMCp) เทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในทางการค้า (CMCc) ผลของฟิล์มผสมระหว่าง CMCp: CMCc (0:100 25:75 50:50 75:25 และ 100:0) ต่อคุณสมบัติทางกลคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม CMCp: CMCc (25:75) คล้ายกับคุณสมบัติของฟิล์ม CMCc การเติมกลีเซอรอลลงใน CMC ฟิล์มทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงลดลงแต่ % การยืดเพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการทำวิจัยเรื่องศึกษาการแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็มเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารมีสารเคมี วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือและวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. สารละลายกรดแอซิติก Acitic acid (CH_3COOH)
4. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ Hydrogenperoxide (H_2O_2)
5. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 20% (w/v)
6. เอทานอล Ethanol ($C_2 H_6O$) 95% (v/v)
7. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) 8-12.5% (v/v)
8. สารเร่งปฏิกิริยา (สารผสมระหว่าง Copper sulfate ($CuSO_4.5H_2O$) กับ Potassium Sulfate (K_2SO_4) ในอัตราส่วน 1:9)
9. Potassium hydrogen phthalate ($C_8H_5KO_4$, AR grade)
10. Petroleum ether
11. ฟีนอล์ฟธาลีน (Phenolphthalein)
12. สกรีนเมทธิลเรดอินดิเคเตอร์ (Screened methyl red indicator)
13. กรดบอริกความเข้มข้น (H_3PO_4) 4% (w/v)
14. เบนซีน (C_6H_6)
15. กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล (HCl)
16. เมทธิลเรด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2 วัสดุอุปกรณ์

1. กรวยกรอง
2. กระจกนาฬิกา
3. กระดาษกรอง
4. กระดาษฟอยล์
5. กระดาษลิตมัส
6. กระบอกตวง
7. ขวดปรับปริมาตร

8. ขวดรูปชมพู่
9. ครูซิเบิล (Fritted glass crucible)
10. ถ้วยกระเบื้อง
11. ถ้วยสำหรับเผาเถ้า (Porcelain dish)
12. ถ้วยอบตัวอย่างพร้อมฝาปิด (Weighing bottle)
13. ที่คีบ
14. แท่งแก้ว
15. บีกเกอร์ 250 1000 มิลลิลิตร
16. ถุงซิปล็อค
17. หลอดย่อย (Digestion tube)
18. ชุดไทเทรต
19. เครื่องย่อย (Digestion apparatus)
20. เครื่องกลั่น (Distillation apparatus)

3.3 เครื่องมือ

1. Cellulose thimble, Thimble adapter, Thimble support
2. Service unit สำหรับจ่ายความร้อน
3. เครื่องกรองระบบสุญญากาศ
4. เครื่องชั่งสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เครื่องทำน้ำเย็น (Cooling)
6. เครื่องปั่น
7. เครื่องสกัดเยื่อใย
8. เครื่องสกัดไขมัน (Extraction unit)
9. เครื่องสกัด B-811
10. เตาเผา (Muffle furnace)
11. เตาไฟฟ้า
12. โถดูดความชื้น (Desiccator)
13. ตะแกรงร่อนสารขนาด 45 mesh
14. ตู้อบชนิด Forced-air drying oven
15. ตู้ดูดควัน (Fume hood)
16. เครื่องย่อย (Block digestor)
17. ชุดเครื่องกลั่น (Distilling unit)
18. ตู้อบ (Oven)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

19. เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator)

20. เครื่อง X-ray Diffractrometer : XRD

21. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างธูปฤาษี

1) แบ่งตัวอย่างธูปฤาษีออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนของใบธูปฤาษีอ่อน

ส่วนของโคนธูปฤาษีอ่อน

ส่วนของใบธูปฤาษีแก่

ส่วนของโคนธูปฤาษีแก่

2) ทำความสะอาดด้วยน้ำ จากนั้นหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็กขนาด 1x1 เซนติเมตร ผึ่งลมในที่อากาศถ่ายเทสะดวกโดยมีตะแกรงร่องด้านล่างแล้วพลิกกลับด้านของตัวอย่างธูปฤาษีทุกๆ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3) นำตัวอย่างในแต่ละส่วนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งแห้ง

4) บดตัวอย่างให้ละเอียดโดยเครื่องปั่น และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 45 mesh

5) นำส่วนที่ได้จากการร่อนเก็บใส่ถุงซิปล็อคเก็บที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติ และสกัดเซลลูโลสต่อไป

3.4.2 การสกัดเซลลูโลส

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ดังนี้

1.1 ใบธูปฤาษีอ่อน 29.69 กรัม

1.2 โคนธูปฤาษีอ่อน 38.10 กรัม

1.3 ใบธูปฤาษีแก่ 29.45 กรัม

1.4 โคนธูปฤาษีแก่ 38.02 กรัม

2) เติมเอทานอล 90% (v/v) 100 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระดาษฟอยล์แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) อุณหภูมิ 55–60 องศาเซลเซียส คนสารเป็นระยะ เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดไขมันจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองโดยใช้เครื่องกรองระบบสุญญากาศ และล้างด้วยน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง

3) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% (w/w) 150 มิลลิลิตร แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) อุณหภูมิ 55–60 องศาเซลเซียส คนสารเป็นระยะ เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโปรตีนจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง โดยใช้เครื่องกรองระบบสุญญากาศและล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าสารที่ได้จะมีค่า pH เป็นกลาง ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส

4) เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 12% (w/w) 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโปรตีน กรองโดยใช้เครื่องกรองระบบสุญญากาศและล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าสารที่ได้จะมีค่า pH เป็นกลาง ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส

5) นำสารตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการในข้อ 4) มาเติมโซเดียมไฮโปไลด์ 8–12% (v/v) และกรดแอซิติกเข้มข้น โดยใช้อัตราส่วน 1:1 เวลา 45 นาที เพื่อฟอกสีของเซลลูโลส กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าสารที่ได้จะมีค่า pH เป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

3.4.3.1 ความชื้น (AOAC, 2000)

1) ชั่งน้ำหนักถ้วยอบตัวอย่างพร้อมฝาที่ล้างสะอาดและแห้งอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

2) ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยอบบันทึกน้ำหนักนำไปอบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณ %ความชื้น ดังสมการ

$$\%\text{ความชื้น} = \frac{(W_1 - W_2) \times (100)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

$$\%\text{วัตถุแห้ง (Dry matter, DM)} = 100 - (\%\text{ความชื้น})$$

W_1 คือน้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

W_2 คือน้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.4.3.2 ปริมาณเถ้า (D 2866 - 94 Total Ash Content of Activated Carbon and D 2867-95 Moisture in Activated Carbon)

1) ชั่งน้ำหนักถ้วยอบตัวอย่างพร้อมฝาที่ล้างสะอาด และแห้งอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

2) ชั่งตัวอย่างใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักแล้ว ประมาณ 1 กรัม นำไปทำการเผาบนเตาไฟฟ้าจนหมดควัน

3) นำตัวอย่างที่เผาไล่ควันแล้วไปเผาต่อในเตาเผา (Muffle furnace) อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

4) นำถ้วยออกมาใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณ %เถ้า ดังสมการ

$$\%\text{เถ้า} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

W_1 คือน้ำหนักถ้วย

W_2 คือน้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา

ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter, OM) คำนวณได้จากผลต่างระหว่างน้ำหนักตัวอย่างกับน้ำหนักเถ้า ดังนี้

$$\%OM = 100 - (\%ความชื้น) - (\%เถ้า)$$

3.4.3.3 ปริมาณโปรตีน (Model Kjeltec System 1002, Tecator, Sweden)

1) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.1 กรัม (ถ้าตัวอย่างมีโปรตีนน้อยให้ใช้ตัวอย่างปริมาณมากขึ้น) โดยชั่งด้วยกระดาษกรองที่ไม่มีสารไนโตรเจน (ใช้กระดาษกรอง Whatman 541) ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ในหลอดย่อยโปรตีน

2) หาปริมาณไนโตรเจนตามขั้นตอนดังนี้

2.1) ขั้นตอนการย่อย (Digestion)

1) เติมสารเร่งรวม 5 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อย (ตามปกติเมื่อเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไปแล้วจุดเดือด (Boiling point) ของสารละลายจะเป็น 330 องศาเซลเซียสแต่เมื่อเติมสารเร่งจะทำให้จุดเดือดของสารละลายเพิ่มเป็น 400 องศาเซลเซียส

2) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร (ถ้าใช้ตัวอย่างมากกว่า 2 กรัมขึ้นไปให้เพิ่มกรดซัลฟูริกเข้มข้นอีกโดยเพิ่ม 10 มิลลิลิตรต่อกรัมของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น)

3) นำไปต้มบนเครื่องย่อยโดยในครั้งแรกให้ใช้ความร้อนต่ำ (350 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งเดือดแล้วจึงเพิ่มความร้อนให้สูงขึ้น (370 องศาเซลเซียส) ถ้าสารละลายเดือดเร็วเกินไปให้ปิดไฟสัก 5 นาที แล้วค่อยเปิดใหม่จนกระทั่งสารละลายในหลอดย่อยโปรตีนมีสีเขียวใสปิดไฟเอาหลอดย่อยออกจากเครื่องย่อยแล้วทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นเติมน้ำกลั่นอีกเล็กน้อยต้มต่อไปอีก 2 นาที เพื่อทำลายกรดซัลฟูริกที่อาจเกิดขึ้น

2.2) ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)

1) เตรียมกรดบอริกใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วหยดอินดิเคเตอร์ลงในกรดบอริก 2–3 หยด ต่อจากนั้นนำไปวางที่เครื่องกลั่นโปรตีนโดยให้ปลายของหลอดแก้วที่ต่อจากกระบอกแก้วควบแน่นของเครื่องกลั่นโปรตีนจุ่มอยู่ในกรดบอริก

2) ต่อหลอดย่อยโปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่น

2.3) ขั้นตอนการไทเทรต (Titration)

1) นำขวดรูปชมพู่ (จากขั้นตอนการกลั่น) ไปไทเทรตด้วยกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (0.1 นอร์มอล) จนถึงจุดยุติ (End point) หากใช้เมทธิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน แต่หากใช้อินดิเคเตอร์รวมสารละลายจะเปลี่ยนเป็น

สีน้ำเงินอ่อนหรือใช้ด่างมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (0.1 นอร์มอล) ไทเทรตแต่ควรใช้อินดิเคเตอร์รวมดูจุดยุติจะสังเกตสีได้ชัดเจน

2) จดปริมาตรกรดหรือด่างไว้เพื่อคำนวณต่อไป

หมายเหตุ ในการวิเคราะห์โปรตีนแต่ละครั้งควรทำตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ (Blank) ด้วยโดยไม่มีตัวอย่าง ส่วนสารเคมีใส่เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การคำนวณ (เมื่อใช้กรดเกลือไทเทรต)

$$\%\text{โปรตีน} = \frac{1.4\ (V_1 - V_2)\ N \times 6.25}{W}$$

V_1 คือปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

V_2 คือปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ

N คือเป็นความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นนอร์มอล

W คือน้ำหนักตัวอย่างอาหาร (กรัม)

3.4.3.4 **ปริมาณไขมัน** (Model TFE 2000, Leco, USA) โดยใช้เครื่อง buchi

1) ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 1–2 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ลงใน Cellulose thimble

2) นำ Thimble ที่มีตัวอย่างไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง

3) นำถ้วยเปล่าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำออกมาปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งบันทึกน้ำหนัก

4) ทำการ warm เครื่องสกัดโดยเปิดสวิทช์เครื่องจ่ายความร้อนซึ่งตั้งอุณหภูมิประมาณ 85–90 องศาเซลเซียส นานประมาณ 20 นาที หรือรอจนอุณหภูมิสูงไว้ตามที่กำหนดในขณะเดียวกันทำการ warm เครื่องทำความเย็น ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส นำ Thimble ที่มีตัวอย่างติดกับ Thimble adapter วางลงใน thimble Support จากนั้นนำเข้าในเครื่องสกัดไขมันพร้อมทั้งเปิดสวิทช์ปั๊มน้ำที่เครื่องทำน้ำเย็น

5) ตวง Petroleum ether ประมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักแล้ววางลงใน cup holders นำเข้าเครื่องสกัด

6) กดล็อคคานของเครื่องสกัดให้แน่นเปิดวาล์วให้สารสกัดไหลเวียนทำการต้มตัวอย่างกับสารสกัดโดยเลื่อนคันโยกตัวอย่างไปไว้ที่ตำแหน่ง boiling นาน 30 นาที จากนั้นทำการสกัดโดยเลื่อนคันโยกตัวอย่างไปไว้ที่ตำแหน่ง rinsing นาน 60 นาที ระยะเวลาการต้ม และการสกัดขึ้นอยู่กับประเภทตัวอย่างหากเป็นตัวอย่างที่มีไขมันสูงให้ใช้เวลานานขึ้นโดยปกติแนะนำให้ใช้เวลาต้มกับเวลาสกัดในอัตราส่วน 1:2

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

7) เมื่อครบเวลาให้ทำการปิดวาล์วเก็บสารสกัดนานประมาณ 10 นาที หรืออาจช่วยให้สารสกัดระเหยเร็วขึ้นโดยเปิดวาล์วลดความดันที่เครื่องสกัดก่อนแล้วจึงเปิดสวิทช์ aspirator ที่เครื่องจ่ายความร้อน

8) หลังจากทำการระเหยสารสกัดออกจากถ้วยแล้วทำการปลดล็อคคานที่เครื่องสกัดนำ cup holders ออกจากเครื่องนำถ้วยที่มีสารสกัดไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งบันทึกน้ำหนัก

9) ถ้าสกัดไขมันหลายรอบต่อวันรอบที่ 2 ควรใส่ petroleum ether ในถ้วยประมาณ 15-20 มิลลิลิตรคำนวณดังสมการ

$$\%\text{ไขมัน} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

W_1 คือน้ำหนักตัวอย่าง

W_2 คือน้ำหนักถ้วย

W_3 คือน้ำหนักถ้วย + น้ำหนักไขมัน

3.4.3.5 ปริมาณเยื่อใยหยาบ (AOAC, 1990)

1) นำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกถ่ายลงใน beaker สกัดเยื่อใย

2) ตวงสารละลายกรดซัลฟิวริก 1.25% (v/v) ประมาณ 200 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องสกัดเยื่อใย จับเวลา 30 นาที

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3) เมื่อครบเวลา ดูด–เป่า สารละลายกรดซัลฟิวริกออกจากสารตัวอย่างล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 1 ลิตร

4) ตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% (w/v) ที่อุ่นไว้ประมาณ 200 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องสกัดเยื่อใยสกัดต่อเป็นเวลา 30 นาที

5) เมื่อครบเวลา ดูด–เป่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากสารตัวอย่างและล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อนจนหมดด่างจะใช้น้ำร้อนประมาณ 1,500 มิลลิลิตรนำ beaker ที่มีเยื่อใยที่ไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 16-18 ชั่วโมง จากนั้นนำ beaker ออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นจากนั้นชั่งน้ำหนักจดบันทึก

6) นำ beaker ที่ชั่งน้ำหนักแล้วเข้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาเตาเผารอให้ถ้วยมีอุณหภูมิลดลงประมาณ 150-200 องศาเซลเซียส แล้วนำใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก beaker จดบันทึก (โดยส่วนของเยื่อใยคือส่วนที่ถูกเผาหายไป) จากนั้นคำนวณ %เยื่อใย ดังสมการ

$$\%\text{เยื่อใย} = \frac{(W_2 - W_3) \times 100}{W_1}$$

W_1 คือน้ำหนักตัวอย่าง

W_2 คือน้ำหนักbeaker + น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ

W_3 คือน้ำหนักbeaker + น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา

3.4.3.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1990)

การวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายโดยการคำนวณจาก

%NFE = 100-[%Moisture + %Ash+ %CP + %EE + %CF]

เมื่อ %Moisture = เปอร์เซ็นต์ความชื้น

%Ash = เปอร์เซ็นต์เถ้า

%CP = เปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบ

%EE = เปอร์เซ็นต์ไขมันหยาบ

%CF = เปอร์เซ็นต์เยื่อใยหยาบ

3.4.3.7 ปริมาณสารอินทรีย์

การเตรียมสารตัวอย่างก่อนการหาปริมาณโฮโลเซลลูโลส และหาปริมาณลิกนิน

1) ชั่งน้ำหนักที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างธูปฤาษี และผ่านการสกัดเซลลูโลสในข้อที่ 3.4.1 และ 3.4.2 อย่างละ 8 กรัม จากนั้นนำสารที่ผ่านการชั่งไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง

2) นำไปสกัด โดยวิธีการ Soxhlet warm โดยใส่สารที่ชั่งไว้ลงไปใน Cellulose thimble และใช้ตัวทำละลายเป็น เอทานอล: เบนซีน ในอัตราส่วน 64: 137 จากนั้นกำหนดให้เครื่องสกัด B-811 4 รอบ ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

3) สกัดต่อด้วย เอทานอล เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง และนำสารที่อยู่ใน Cellulose thimble ออกล้างด้วย เอทานอล 100 มิลลิลิตร ผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศ

4) นำสารละลายที่ได้ในข้อ 2) และ 3) ของสารแต่ละชนิดไปกลั่นระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) จากนั้นนำสารที่ได้จากเครื่องกลั่นระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักคำนวณ % สารอินทรีย์ดังสมการ

$$\%\text{สารอินทรีย์} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

W_1 คือน้ำหนักตัวอย่าง

W_2 คือน้ำหนักขวด kjeldahl เปล่า

W_3 คือน้ำหนักขวด kjeldahl + ตัวอย่างที่ผ่านการกลั่นและอบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม วิทยานิพนธ์ งานวิจัย

5) จากข้อ 3) ล้างสารที่ได้ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศ จากนั้นนำสารที่อยู่บนกระดาษกรองใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6) นำมากรองผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศ และล้างสารที่ได้ด้วยน้ำร้อน 500 มิลลิลิตร จากนั้นผึ่งให้แห้ง และชั่งน้ำหนัก ทำเช่นนี้กับสารตัวอย่างที่ได้กล่าวไปในข้างต้น อีก 7 ชนิดที่เหลือ และเก็บสารตัวอย่างที่ได้เพื่อหาปริมาณโฮโลเซลลูโลสต่อไปตามวิธีการ: T 204 Om88

3.4.3.8 ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (Zobel et al., 1996)

1) ชั่งสารที่ได้จากการเตรียมหนัก 0.7±0.05 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขวด 250 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลายกรดแอซิติกเข้มข้น 0.6% (w/v) ปริมาตร 10 มิลลิลิตรและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.02% (w/v) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 20% (w/v) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา

3) แกว่งเป็นวงไปมาสม่ำเสมอทุกๆ 15 นาที ใน Water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิ 70±2 องศาเซลเซียส โดยทุกๆ 1 ชั่วโมง ให้เติมสารละลาย NaClO อีก 1 มิลลิลิตร แกว่งสม่ำเสมอรวมเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ใน Water bath เมื่อครบเวลานำขวดรูปชมพู่ออกมาวางในอ่างน้ำแข็งจนสารละลายอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

4) นำสารตัวอย่างมากรองผ่าน sinter glass เบอร์ 3 ล้างด้วยสารละลายกรดแอซิติก 100 มิลลิลิตร ไม่ใช้ suction และล้างต่อด้วย acetone ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วต่อ suction จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ทำการคำนวณดังสมการ

$$\%\text{Holocellulose} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

W_1 คือน้ำหนักตัวอย่าง

W_2 คือน้ำหนัก sinter glass crucible เปล่า

W_3 คือน้ำหนัก sinter glass crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่

3.4.3.9 ปริมาณ α – cellulose (T 204 Om88)

1) วาง sinter glass crucible ลงใน dish ที่มีน้ำสูง 1 เซนติเมตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% (w/w) หรือ 5.21 N ปริมาตร 3 มิลลิลิตรคนด้วยแท่งแก้ว นาน 5 นาที

248531

2) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% (w/w) หรือ 5.21 N ปริมาตร 3 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้ว และตั้งทิ้งไว้ นาน 35 นาที ต่อมาเติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร แล้วต่อด้วย sinter glass crucible เข้ากับ suction เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ตามด้วย acetone 10 มิลลิลิตร

3) นำตัวอย่างที่อยู่ใน sinter glass crucible ไปอบที่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ คำนวณดังสมการ

$$\%\alpha\text{–cellulose} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

W_1 คือตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ จากการหา Holocellulose

W_2 คือน้ำหนัก sinter glass crucible เปล่า

W_3 คือน้ำหนัก sinter glass crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่

3.4.3.10 ปริมาณลิกนิน (T 204 Om88)

1) ชั่งสาร 1.00±0.1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) 72% (v/v) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส จากนั้นคนด้วยแท่งแก้วให้เส้นใยกระจาย ปิดด้วยกระจกนาฬิกา

2) วางบีกเกอร์ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20±1 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง โดยคนสารตัวอย่าง อย่างสม่ำเสมอทุกๆ 15 นาที

3) เทสารละลายใส่ขวดรูปชมพู่ 1,000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรโดยเติมน้ำกลั่น 560 มิลลิลิตร เพื่อลดสภาพความเป็นกรดของซัลฟูริก ให้เหลือเพียง 3% (w/w)

4) นำไปต้มให้เดือดนาน 4 ชั่วโมง รักษาระดับน้ำให้คงที่ โดยเติมน้ำกลั่นเป็นระยะๆ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ให้ Lignin ตกตะกอนลงมา

5) กรองผ่าน Sinter glass เบอร์ 3 ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่คำนวณดังสมการ

$$\%\text{Lignin} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

W_1 คือสารตัวอย่างที่เตรียมหาปริมาณลิกนิน

W_2 คือน้ำหนักsinter Glass crucible เปล่า

W_3 คือน้ำหนัก sinter Glass crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.4.4 การศึกษาความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสที่เตรียมได้

ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วย X-ray Diffractrometer : XRD

3.4.5 การศึกษาสูตรอาหาร

3.4.5.1 วัตถุดิบและอัตราส่วนสำหรับการทำเต้าฮวยนมสด

1) ส่วนผสมในการทำตัวเต้าฮวย

น้ำสะอาด 1 ถ้วยตวง

นมสดจืด 1 ถ้วยตวง

นมข้นจืด 1 ถ้วยตวง

นมข้นหวาน 7-8 ช้อนโต๊ะ

ผงวุ้น 1 ช้อนชา

ผงเซลลูโลสจากธูปฤาษีที่ได้จากการสกัด ปริมาณ 1 2 และ 3 กรัม

2) ส่วนผสมการทำน้ำราดเต้าฮวย

นมสดจืด 1/2 ถ้วยตวง

นมข้นจืด 1/2 ถ้วยตวง

นมข้นหวาน 1/2 ถ้วยตวง

3.4.5.2 วิธีการทำเต้าฮวยนมสด

1) ตั้งน้ำให้ร้อนเติมนมสดจืด นมข้นจืด และนมข้นหวานตามอัตราส่วนผสมให้เข้ากันและเติมผงวุ้นลงในหม้อ จากนั้นคนให้เข้ากัน โดยใช้ไฟอ่อน ระหว่างนี้จะต้องคนอยู่เสมอ นาน 10 นาที

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2) พักไว้ให้พออุ่นๆ นำมากรองด้วยกระชอนตาถี่ จากนั้นเทใส่ถ้วยพลาสติก นำไปแช่เย็น 30 นาที

3) ทำในส่วนของน้ำราดเต้าฮวย โดยนำนมข้นหวานนมข้นจืดเติมลงผสมในนมสดจืด คนให้เข้ากัน

4) นำเต้าฮวยที่อยู่ในถ้วยพลาสติกมา เติมผลไม้ขนาดเท่าลูกเต๋าเช่น เงาะ มะละกอ และสับปะรด เป็นต้น และเติมน้ำราดเต้าฮวยปิดฝานำเข้าตู้เย็นเพื่อรอการรับประทานต่อไป

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยเรื่อง การแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็มเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารได้ผลการทดลองตามลำดับ ดังนี้

4.1 คุณค่าทางอาหารของต้นธูปฤาษี และเซลลูโลสจากธูปฤาษีที่ขึ้นบริเวณดินเค็ม หนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม

4.2 การสกัดเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี

4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษี

4.4 ผลการแปรรูปเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ

4.1 คุณค่าทางอาหารของต้นธูปฤาษีและเซลลูโลสจากธูปฤาษีที่ขึ้นบริเวณดินเค็ม หนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม

จากการศึกษาคุณค่าทางอาหารของต้นธูปฤาษีและเซลลูโลสจากธูปฤาษี โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเยื่อใยหยาบ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณโฮโลเซลลูโลส ปริมาณ α-cellulose และปริมาณลิกนิน ตามลำดับ ได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.1.1 ความชื้น (AOAC, 2000)

ทำการวิเคราะห์ความชื้นในตัวอย่างธูปฤาษีและความชื้นในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี AOAC, 2000 ได้ผลดังตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 ปริมาณร้อยละของความชื้นในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลส

ตัวอย่าง	ร้อยละของความชื้น (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	80.25	3.31
โคนอ่อน	88.99	1.75
ใบแก่	78.59	2.90
โคนแก่	85.57	1.62

จากการศึกษาปริมาณความชื้นในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากส่วนต่างๆของธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมีความชื้น 80.25% 88.99% 78.59% และ 85.57% ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างเซลลูโลสสกัดจากธูปฤาษีมีความชื้น 3.31% 1.75% 2.90% และ 1.62% ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าการสกัดเซลลูโลสที่มีขนาดอนุภาคในระดับไมโคร (Micro Crystalline Celluloses: MCC) มีความชื้น 1.6–10.9% (Changquan Calvin Sun, 2015) สอดคล้องกับความชื้นในเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีที่ได้ จากการศึกษาพบว่าส่วนโคนมีความชื้นสูงกว่าส่วนใบ เนื่องจากอวบน้ำมากกว่าส่วนใบแต่เมื่อสกัดเซลลูโลสแล้ว จากการศึกษาเซลลูโลสส่วนใบมีความชื้นสูงกว่า แสดงว่าเซลลูโลสที่สกัดจากใบมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มากกว่าส่วนโคน

4.1.2. ปริมาณเถ้า (D 2866-94 Total Ash Content of Activated Carbon D 2867-95 Moisture in Activated Carbon)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณเถ้าในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี D 2866-94 Total Ash Content of Activated Carbon D 2867-95 Moisture in Activated Carbon ได้ผลดังตารางที่ 4.1.2

ตารางที่ 4.1.2 ปริมาณร้อยละของปริมาณเถ้าในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลส

ตัวอย่าง	ร้อยละของเถ้า (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	7.43	1.57
โคนอ่อน	9.40	1.68
ใบแก่	7.57	1.76
โคนแก่	8.50	0.79

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากการศึกษาปริมาณเถ้าในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมีปริมาณเถ้า 7.43% 9.40% 7.57% และ 8.50% ตามลำดับ ในขณะที่เซลลูโลสที่สกัดจากส่วนต่างๆ มีปริมาณเถ้า 1.57% 1.68% 1.76% และ 0.79% ตามลำดับ ตัวอย่างธูปฤาษีส่วนใบแก่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด โคนแก่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด เซลลูโลสที่สกัดได้มีปริมาณเถ้าน้อยกว่าเซลลูโลสที่สกัดจากแกลบที่มีปริมาณเถ้า 16.52% และเซลลูโลสที่สกัดจากถั่วมีปริมาณเถ้า 3.36% (Abeer, 2010) ซึ่งอาหารที่ดีควรมีเถ้าน้อยที่สุด เพราะมีสารอนินทรีย์ต่ำ ถ้าปริมาณเถ้าสูงแสดงว่าอาจมีการปลอมปนสารอื่นเข้ามาในอาหารนั้น (อัจฉรินทร สาจักร์, 2554)

4.1.3. ปริมาณโปรตีน (Model Kjeltec System 1002, Tecator, Sweden)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณโปรตีนในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี Model Kjeltec System 1002, Tecator, Sweden ได้ผลดังตารางที่ 4.1.3

ตารางที่ 4.1.3 ปริมาณร้อยละของปริมาณโปรตีนในตัวอย่างธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ร้อยละของโปรตีน (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	0.98	0.00
โคนอ่อน	0.45	0.00
ใบแก่	0.75	0.00
โคนแก่	0.29	0.00

จากการศึกษาปริมาณของโปรตีนในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากส่วนต่างๆของธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีจากดินเค็มมีปริมาณโปรตีน 0.98% 0.45% 0.75% และ 0.29% ตามลำดับ ในขณะที่เซลลูโลสที่สกัดจากส่วนต่างๆ มีปริมาณโปรตีนต่ำคือ 0.00% สอดคล้องกับผลการวิจัยการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 1.65±0.01% (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์และคณะ, 2554) ธูปฤาษีในดินเค็มมีปริมาณโปรตีนต่ำ และหลังจากสกัดเซลลูโลสพบว่าไม่พบปริมาณโปรตีนเหลืออยู่ แสดงว่าในกระบวนการสกัดเซลลูโลสสามารถกำจัดองค์ประกอบที่เป็นโปรตีนได้หมด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.1.4 ปริมาณไขมัน (Model TFE 2000, Leco, USA) โดยใช้เครื่อง buchi

ทำการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณไขมันในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี Model TFE 2000, Leco, USA โดยใช้เครื่อง buchi ได้ผลดังตารางที่ 4.1.4

ตารางที่ 4.1.4 ปริมาณร้อยละของไขมันในตัวอย่างธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ร้อยละของไขมัน (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	0.99	1.31
โคนอ่อน	1.32	1.99
ใบแก่	1.32	0.98
โคนแก่	1.32	1.98

ปริมาณไขมันในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมีไขมัน 0.99% 1.32% 1.32% และ 1.32% ตามลำดับ ในขณะที่เซลลูโลสมีปริมาณไขมัน 1.31% 1.99% 0.98% และ 1.98% ตามลำดับ ในการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยพบว่ามีปริมาณไขมัน 2.57±0.10% (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และคณะ, 2554) เห็นได้ว่าตัวอย่างธูปฤาษีส่วนโคนมีไขมันสูงกว่าส่วนใบเล็กน้อย เนื่องจากพืชส่วนโคนมีสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในสารอินทรีย์ สารที่เป็นสารเคลือบผิวของพืช ซึ่งมีประมาณมากกว่าส่วนใบเล็กน้อย แต่เมื่อสกัดเซลลูโลส พบว่าเซลลูโลสส่วนโคนมีความสามารถในการกักเก็บไขมันได้มากกว่าส่วนใบ

4.1.5. ปริมาณเยื่อใยหยาบ (AOAC, 1990)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยหยาบในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณเยื่อใยหยาบในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี AOAC, 1990 ได้ผลดังตารางที่ 4.1.5

ตารางที่ 4.1.5 ปริมาณร้อยละของเยื่อใยหยาบในตัวอย่างธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ร้อยละของเยื่อใยหยาบ (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	33.84	61.71
โคนอ่อน	33.69	65.35
ใบแก่	29.13	63.37
โคนแก่	36.61	67.09

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากการศึกษาปริมาณเยื่อใยหยาบในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมีเยื่อใยหยาบ 33.84% 33.69% 29.13% และ 36.61% ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณเยื่อใยหยาบสอดคล้องกับผลการวิจัยการใช้ประโยชน์จากเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นอาหารหยาบสำหรับโคขาวลำพูนที่ได้ปริมาณเยื่อใยในรูป NDF จากซังข้าวโพดและเปลือกข้าวโพดเท่ากับ 69.26% และ 68.19% ตามลำดับ (เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ, 2554) ในขณะที่เซลลูโลสมีเยื่อใยหยาบ 61.71% 65.35% 63.37% และ 67.09% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างธูปฤาษีส่วนโคนแก่มีเยื่อใยหยาบสูงกว่าส่วนใบ เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยมากกว่าส่วนใบ ในขณะที่ธูปฤาษีอ่อนมีปริมาณเยื่อใยหยาบใกล้เคียงกัน และเมื่อสกัดเซลลูโลสแล้ว พบว่าเซลลูโลสส่วนโคนมีเยื่อใยหยาบสูงกว่า แสดงว่าเซลลูโลสที่สกัดจากโคนมีคุณสมบัติในการเป็นเส้นใยได้มากกว่าส่วนใบ

4.1.6. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1990)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี AOAC, 1990 ได้ผลดังตารางที่ 4.1.6

ตารางที่ 4.1.6 ปริมาณร้อยละของคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ร้อยละของคาร์โบไฮเดรต (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	58.70	66.89
โคนอ่อน	57.18	66.04
ใบแก่	59.90	68.04
โคนแก่	57.20	65.94

จากการศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างธูปฤาษี และเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และ โคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมีคาร์โบไฮเดรต 58.70% 57.18% 59.90% และ 57.20% ตามลำดับ ในขณะที่เซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 66.89% 66.04% 68.04% และ 65.94% ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 52.66±0.64% ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์เป็นผงแปรรูปในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเนยสด (เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์และคณะ, 2554) แสดงว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตในธูปฤาษีและเซลลูโลสจากธูปฤาษีเหมาะสมในการแปรรูปเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารได้ และตัวอย่างธูปฤาษีส่วนใบมีคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าส่วนโคน เนื่องจากพืชมีการเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นแป้งหรือการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นที่ใบทำให้ส่วนใบมีคาร์โบไฮเดรตมากกว่าส่วนโคน เมื่อสกัดเซลลูโลสแล้ว จึงทำให้เซลลูโลสจากส่วนใบมีคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าเช่นกัน

4.1.7. ปริมาณสารอินทรีย์ (T 204 Om88)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี T 204 Om88 ได้ผลดังตารางที่ 4.1.7

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1.7 ปริมาณร้อยละของสารอินทรีย์ในตัวอย่างธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ร้อยละของสารอินทรีย์ (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	17.81	1.97
โคนอ่อน	15.73	1.60
ใบแก่	13.86	1.61
โคนแก่	11.98	1.09

จากการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมีสารอินทรีย์ 17.81% 15.73% 13.86% และ 11.98% ตามลำดับ ในขณะที่เซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีมีสารอินทรีย์ 1.97% 1.60% 1.61% และ 1.09% ตามลำดับ ปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างของพืชแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ขึ้นกับองค์ประกอบของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จากผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่าเซลลูโลสของธูปฤาษี ส่วนใบมีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าส่วนโคน

4.1.8. ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (T 204 Om88)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโฮโลเซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณโฮโลเซลลูโลสในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี T 204 Om88 ได้ผลดังตารางที่ 4.1.8

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
PHRANAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1.8 ปริมาณร้อยละของโฮโลเซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ร้อยละของโฮโลเซลลูโลส (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	66.16	67.40
โคนอ่อน	57.82	57.11
ใบแก่	64.89	62.55
โคนแก่	52.52	54.61

จากการศึกษาปริมาณโฮโลเซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีคือใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมีโฮโลเซลลูโลส 66.16% 57.82% 64.89% และ 52.52% ตามลำดับ สำหรับเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีมีโฮโลเซลลูโลส 67.40% 57.11% 62.55% และ 54.61% ตามลำดับ โฮโลเซลลูโลสพบในเซลล์พืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น

ลิกนิน หรือเซลลูโลส ซึ่งเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ (จักรพงศ์ สังโชติและคณะ, 2555) พบว่าซังข้าวโพดและฟางข้าวมีปริมาณโฮโลเซลลูโลส 22.90% และ 22.06% ตามลำดับ จากปริมาณโฮโลเซลลูโลสของธูปฤาษีและเซลลูโลสจากธูปฤาษี แสดงว่าธูปฤาษีเป็นพืชที่มีปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูงมาก

4.1.9. ปริมาณ α- เซลลูโลส (Zobel et al., 1996)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณ α- เซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณ α- เซลลูโลสในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี Zobel et al., 1996 ได้ผลดังตารางที่ 4.1.9

ตารางที่ 4.1.9 ปริมาณร้อยละของ α-เซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ร้อยละของα-เซลลูโลส (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	77.82	60.18
โคนอ่อน	54.44	77.35
ใบแก่	38.01	42.61
โคนแก่	63.94	86.51

จากการศึกษาปริมาณ α-เซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมี α-เซลลูโลส 77.82% 54.44% 38.01% และ 63.94% ตามลำดับ ในขณะที่เซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีมี α-เซลลูโลส 60.18% 77.35% 42.61% และ 86.51% ตามลำดับ ซึ่งการศึกษาพืช ได้แก่ กก แขม ธูปฤาษี เลา ลำเอียก หญ้าขจรจบดอกเล็ก หญ้าคา และหญ้าเนเปียร์ จากการเปลี่ยนเชิงชีวภาพของ α-เซลลูโลสจากวัชพืชไปเป็นเอทานอล โดยอาศัยการย่อยด้วยกรดและด่าง พืชทั้งหมดมีปริมาณ α-เซลลูโลส อยู่ในช่วง 32.1–42.5% (ศรัญญา ยิ้มย่อง, 2547) เห็นได้ว่าตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสจากธูปฤาษีมีปริมาณ α-เซลลูโลสสูงกว่าพืชทั่วไปจึงเหมาะสมในการแปรรูปใช้ประโยชน์จากเส้นใยได้ดี

4.1.10. ปริมาณลิกนิน (T 204 Om88)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินในตัวอย่างธูปฤาษีและปริมาณลิกนินในตัวอย่างเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีตามวิธี T 204 Om88 ได้ผลดังตารางที่ 4.1.10

ตารางที่ 4.1.10 ปริมาณร้อยละของลิกนินในตัวอย่างธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ร้อยละของลิกนิน (%)	
	ธูปฤาษี	เซลลูโลส
ใบอ่อน	8.92	0.40
โคนอ่อน	14.54	0.04
ใบแก่	16.75	0.14
โคนแก่	11.42	0.65

จากการศึกษาปริมาณลิกนินในตัวอย่างธูปฤาษีและเซลลูโลสที่สกัดจากจากธูปฤาษีในส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ พบว่าธูปฤาษีมีลิกนิน 8.92% 14.54% 6.75% และ 11.42% ตามลำดับ ซึ่งในไม้ใบแคบจะมีลิกนินประมาณ 25-30% (ปรีชา เกียรติกระจายและทรงกลด จารุสมบัติ, 2528) ขณะที่เซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีมีลิกนิน 0.40% 0.04% 0.14% และ 0.65% ตามลำดับ เซลลูโลสที่สกัดจากส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีมีปริมาณลิกนินต่ำจะส่งผลดีต่อร่างกาย เนื่องจาก ถ้าร่างกายมีปริมาณลิกนินมากเกินไป อาจมีผลชะลอการดูดซึมสารอาหารบางชนิดในลำไส้เล็ก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.2 การสกัดเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี

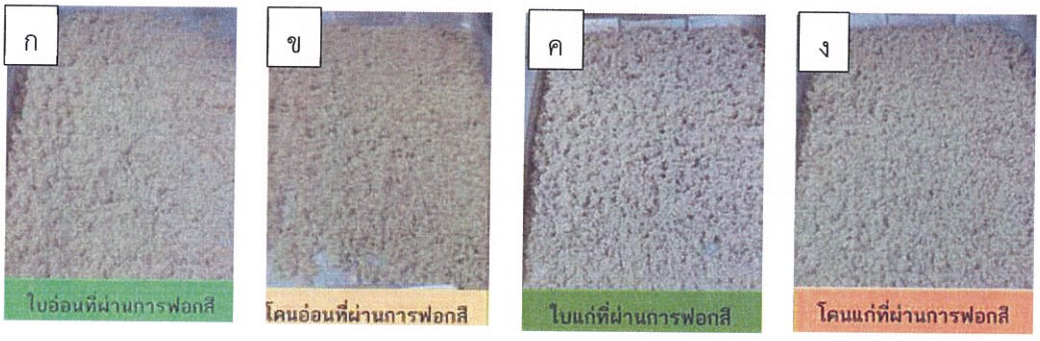
จากขั้นตอนการสกัดเซลลูโลสจากธูปฤาษี ในส่วนของ ใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ ตามลำดับ สามารถคิดเป็นร้อยละของผลผลิตที่สกัดได้ ดังตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1 ปริมาณร้อยละของเซลลูโลสที่สกัดจากธูปฤาษีในส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักเซลลูโลส(กรัม)				% cellulose
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
ใบอ่อน	20	5.91	4.41	4.02	4.78	23.90
โคนอ่อน	20	5.17	4.90	5.47	5.18	25.90
ใบแก่	20	3.34	4.73	5.03	4.36	21.83
โคนแก่	20	5.74	4.49	5.70	5.31	26.55

จากการศึกษาปริมาณการสกัดเซลลูโลสในตัวอย่างธูปฤาษี โดยตัวอย่างธูปฤาษีในส่วนของ ใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ ซึ่งทำการสกัดจำนวน 3 ซ้ำ โดยวิธีที่ทำการสกัด คือ ใช้เอทานอล 90% ตามด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% และฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 12% พบว่าทำให้ได้เซลลูโลสผงสีขาว คล้ายกับเซลลูโลสในท้องตลาด ดังภาพที่ 4.1 พบว่าเซลลูโลสที่สกัดได้มีปริมาณ 23.90% 25.90% 21.83% และ 26.55% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งตัวอย่างธูปฤาษีส่วนโคนสามารถเตรียมเซลลูโลสได้มากกว่าส่วนใบ

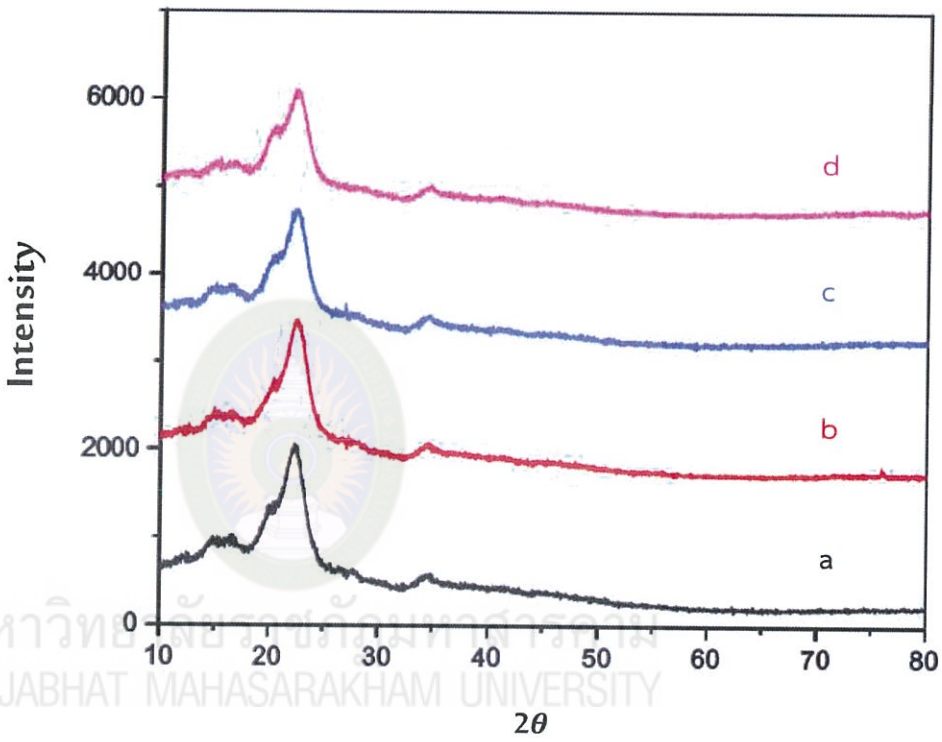
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างธูปฤาษีที่ผ่านการฟอกสี ก) เซลลูโลสจากใบอ่อน ข) เซลลูโลสจากโคนอ่อน ค) เซลลูโลสจากใบแก่ และ ง) เซลลูโลสจากโคนแก่

4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดจากธูปฤาษี

จากการสกัดเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในส่วน ใบแก่ ใบอ่อน โคนแก่ และโคนอ่อน โดยนำเซลลูโลสที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction Analysis ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.2



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2 X-ray diffraction analysis เซลลูโลสของต้นธูปฤาษี
(a) เซลลูโลสจากใบแก่ (b) เซลลูโลสจากใบอ่อน (c) เซลลูโลสจากโคนแก่ (d) เซลลูโลสจากโคนอ่อน

จากภาพที่ 4.2 เซลลูโลสจากส่วนต่างๆของต้นธูปฤาษี พบพีค 2-theta ที่ตำแหน่งเดียวกัน คือ เท่ากับ 23° ซึ่งใกล้เคียงกับพีคของเซลลูโลสบริสุทธิ์ยืนยันได้ว่าสามารถสกัดเซลลูโลสได้จากส่วนต่างๆของต้นธูปฤาษี (Ahmed and Jong, 2015)

4.4 ผลการการแปรรูปเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ

จากการแปรรูปเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในเต้าฮวยนมสดโดยมีการประเมินความพึงพอใจทางด้านรสชาติของเต้าฮวยนมสดและเนื้อสัมผัสของเส้นใยเซลลูโลสในเต้าฮวยนมสด ซึ่งข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการประเมิน ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 11 คน ผู้หญิงจำนวน 6 คนและผู้ชายจำนวน 5 คน อายุต่ำกว่า 20 ปี จำนวน 2 คน และช่วงอายุ 20-30 ปี จำนวน 9 คน ระดับการศึกษา ต่ำกว่าปริญญาตรี จำนวน 2 คน และระดับปริญญาตรี จำนวน 9 คน

ตารางที่ 4.4.1 ความพึงพอใจในระดับต่างๆ ด้านรสชาติของเต้าฮวยนมสดที่เติมเซลลูโลสส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีปริมาณที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับเต้าฮวยที่ไม่เติมเซลลูโลส

ความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูปเซลลูโลสด้านรสชาติ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ใบอ่อนปริมาณ 1 g	4.00	1.78	มาก
2. ใบอ่อนปริมาณ 2 g	2.63	1.51	ปานกลาง
3. ใบอ่อนปริมาณ 3 g	2.90	0.83	ปานกลาง
4. โคนอ่อนปริมาณ 1 g	4.00	2.16	มาก
5. โคนอ่อนปริมาณ 2 g	4.09	3.34	มาก
6. โคนอ่อนปริมาณ 3 g	4.09	2.48	มาก
7. ใบแก่ปริมาณ 1 g	4.54	3.34	มากที่สุด
8. ใบแก่ปริมาณ 2 g	4.00	3.83	มาก
9. ใบแก่ปริมาณ 3 g	4.36	2.77	มาก
10. โคนแก่ปริมาณ 1 g	3.36	1.78	ปานกลาง
11. โคนแก่ปริมาณ 2 g	3.18	1.14	ปานกลาง
12. โคนแก่ปริมาณ 3 g	2.72	0.83	ปานกลาง
13. ไม่เติมเซลลูโลส	3.36	1.48	ปานกลาง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ผลการแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในผลิตภัณฑ์อาหารเต้าฮวยนมสดโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ ทางด้านรสชาติที่ไม่เติมเซลลูโลสเปรียบเทียบกับส่วนที่เติมเซลลูโลสจากส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีในอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมด (มิลลิลิตร):เซลลูโลส (กรัม) คือ 1370:1 1370:2 และ 1370:3 พบว่าเต้าฮวยนมสดที่ไม่เติมเซลลูโลสที่มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 3.36 มีความพึงพอใจระดับปานกลาง เต้าฮวยนมสดที่เติมเซลลูโลสในปริมาณ 1 กรัม ส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ มีระดับความพึงพอใจในระดับ มาก มาก มากที่สุด และปานกลาง ตามลำดับ เต้าฮวยนมสดที่เติมเซลลูโลสในปริมาณ 2 กรัม ส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และ โคนแก่ มีระดับความพึงพอใจระดับ ปานกลาง มาก มาก และ ปานกลาง ตามลำดับ ส่วนเต้าฮวยที่เติมเซลลูโลสในปริมาณ 3 กรัม ส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และ โคนแก่ มีความพึงพอใจในระดับ ปานกลาง มาก มาก และ ปานกลาง ตามลำดับ โดยความพึงพอด้านรสชาติของเต้าฮวยนมสด จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเทียบความพึงพอใจกับเต้าฮวยนมสดที่ไปเติมเซลลูโลส พบว่า เซลลูโลสจากใบอ่อน เมื่อเติมปริมาณ 1 กรัม มีระดับความพึงพอใจสูงขึ้น เติมปริมาณ 2 และ 3 กรัม ความพึงพอใจคงเดิม เมื่อเติมเซลลูโลสจากส่วนของโคนอ่อนปริมาณ 1 2 และ 3 กรัม มีความพึงพอใจสูงขึ้น ส่วนใบแก่เมื่อเติมปริมาณ 1 กรัม มีระดับความพึงพอใจมีค่ามากที่สุด เติมปริมาณ 2 และ 3 กรัม มีระดับความพึงพอใจที่สูงขึ้น ในขณะที่เติมเซลลูโลสจากโคนแก่ ไม่ทำให้ความพึงพอใจต่อเต้าฮวยนมสดเปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่า การเติมเซลลูโลสจากส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีปริมาณ 3 กรัม ยังทำให้ผู้รับประทานเกิดความพึงพอใจด้านรสชาติ โดยการเติมเซลลูโลสปริมาณ 1 กรัม ช่วยเพิ่มความพึงพอใจต่อรสชาติได้ดีที่สุด ดังนั้น ปริมาณการเติมจึงขึ้นกับความต้องการเซลลูโลสของผู้บริโภคว่ามุ่งหวังต่อรสชาติหรือการดูดซึมเพื่อลดน้ำหนัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.4.2 ความพึงพอใจในระดับต่างๆ ด้านเนื้อสัมผัสเส้นใยของเต้าฮวยนมสดที่เติมเซลลูโลสส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีปริมาณที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับเต้าฮวยนมสดที่ไม่เติมเซลลูโลส

ความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูปเซลลูโลสด้านเนื้อสัมผัส	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ใบอ่อนปริมาณ 1 g	4.00	2.86	มาก
2. ใบอ่อนปริมาณ 2 g	4.00	2.86	มาก
3. ใบอ่อนปริมาณ 3 g	3.00	2.16	ปานกลาง
4. โคนอ่อนปริมาณ 1 g	4.36	2.77	มาก
5. โคนอ่อนปริมาณ 2 g	2.72	2.48	ปานกลาง
6. โคนอ่อนปริมาณ 3 g	2.18	2.28	น้อย
7. ใบแก่ปริมาณ 1 g	3.81	2.28	มาก
8. ใบแก่ปริมาณ 2 g	2.81	2.68	ปานกลาง
9. ใบแก่ปริมาณ 3 g	2.18	1.64	น้อย
10. โคนแก่ปริมาณ 1 g	3.09	2.77	ปานกลาง
11. โคนแก่ปริมาณ 2 g	4.09	4.38	มาก
12. โคนแก่ปริมาณ 3 g	3.09	1.30	ปานกลาง
13. ไม่เติมเซลลูโลส	3.81	3.89	มาก

ผลการแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในผลิตภัณฑ์อาหารเต้าฮวยนมสดโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ ทางด้านเนื้อสัมผัสเส้นใยในเต้าฮวยนมสด โดยเปรียบเทียบส่วนของเต้าฮวยนมสดที่ไม่เติมเซลลูโลสกับส่วนที่เติมเซลลูโลสจากส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีในอัตราส่วนปริมาณส่วนผสมทั้งหมด (มิลลิลิตร):เซลลูโลส (กรัม) คือ 1370:1 1370:2 และ 1370:3 พบว่าเต้าฮวยนมสดที่ไม่เติมเซลลูโลสที่มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 3.81 มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก เต้าฮวยนมสดที่เติมเซลลูโลสในปริมาณ 1 กรัม ในส่วนของ ใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และ โคนแก่ มีระดับความพึงพอใจในระดับ มาก มาก มาก และ ปานกลาง ตามลำดับ เต้าฮวยนมสดที่เติมเซลลูโลสในปริมาณ 2 กรัม ส่วนของใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ มีระดับความพึงพอใจระดับ มาก ปานกลาง ปานกลาง และมาก ตามลำดับ ส่วนเต้าฮวยที่เติมเซลลูโลสในปริมาณ 3 กรัม ใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และ โคนแก่ มีความพึงพอใจในระดับ ปานกลาง น้อย น้อย และปานกลาง ตามลำดับ โดยความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัส

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ของเต้าฮวยนมสด จากตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า เซลลูโลสจากใบอ่อน เมื่อเติมปริมาณ 1 และ 2 กรัม มีระดับความพึงพอใจคงเดิม และเติมปริมาณ 3 กรัม มีระดับความพึงพอใจลดลง เมื่อเติมเซลลูโลสจากส่วนของโคนอ่อน และใบแก่ ปริมาณ 1 กรัม มีความพึงพอใจคงเดิม เมื่อเติมปริมาณ 2 และ 3 กรัม มีระดับความพึงพอใจลดลง ในขณะที่เมื่อเติมเซลลูโลสจากโคนแก่ปริมาณ 2 กรัม มีระดับความพึงพอใจคงเดิม เมื่อเติมปริมาณ 1 และ 3 กรัม มีระดับความพึงพอใจลดลง เมื่อเทียบกับเต้าฮวยนมสดที่ไม่ได้เติมเซลลูโลส จากความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัส แสดงให้เห็นว่าอายุของธูปฤาษีที่นำมาสกัดเซลลูโลสไม่มีผลต่อความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัส แต่ส่วนของธูปฤาษีที่ใช้ในการสกัดส่งผลต่อเนื้อสัมผัส โดยส่วนของใบทำให้ได้เซลลูโลสที่มีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าและการเติมเซลลูโลสในอัตราส่วน 1370:2 ทำให้ความพึงพอใจทางด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับมาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1.1 คุณค่าทางอาหารของต้นธูปฤาษี และเซลลูโลสจากธูปฤาษีที่ขึ้นบริเวณดินเค็ม หนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเยื่อใยหยาบ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณโฮโลเซลลูโลส ปริมาณ α-cellulose และปริมาณลิกนิน ตามลำดับ โดยแบ่งธูปฤาษีเป็นส่วนโคนและส่วนใบ ดังนี้

1. ความชื้น (AOAC, 2000) ตัวอย่างธูปฤาษีจากโคนอ่อน โคนแก่ ใบอ่อน และใบแก่ มีความชื้น 88.99% 85.57% 80.25% และ 78.59% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณความชื้นมากที่สุด คือ ใบอ่อน ใบแก่ โคนอ่อน และโคนแก่ พบว่ามีความชื้น 3.31% 2.90% 1.75% และ 1.62% ตามลำดับ

2. ปริมาณเถ้า (D 2866-94 Total Ash Content of Activated Carbon D 2867-95 Moisture in Activated Carbon) ตัวอย่างธูปฤาษีจากโคนอ่อน โคนแก่ ใบแก่และใบอ่อน มีปริมาณเถ้า 9.40% 8.50% 7.57% และ 7.43% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือใบแก่ โคนอ่อน ใบอ่อน และโคนแก่ พบว่ามีปริมาณเถ้า1.76% 1.68% 1.57% และ 0.79% ตามลำดับ

3. ปริมาณโปรตีน (Model Kjeltec System 1002, Tecator, Sweden) ตัวอย่างธูปฤาษีจากใบอ่อน ใบแก่ โคนอ่อน และโคนแก่ มีโปรตีน 0.45% 0.29% 0.98% และ 0.75% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณโปรตีนจากโคนแก่ โคนอ่อน ใบแก่ และใบอ่อน คิดเป็น 0%

4. ปริมาณไขมัน (Model TFE 2000, Leco, USA) โดยใช้เครื่อง buchi ตัวอย่างธูปฤาษีจากโคนแก่ โคนอ่อน ใบแก่ และใบอ่อน มีไขมัน 1.32% 1.32% 1.32% และ 0.99% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณไขมันมากที่สุดจากโคนอ่อน โคนแก่ ใบอ่อน และใบแก่ พบว่ามีปริมาณไขมัน 2.99% 1.98% 1.31% และ 0.98% ตามลำดับ

5. ปริมาณเยื่อใยหยาบ (AOAC, 1990) ตัวอย่างธูปฤาษีจากโคนแก่ใบอ่อน โคนอ่อน และใบแก่มีเยื่อใยหยาบ 36.61% 33.84% 33.69% และ 29.13% ตามลำดับสำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณเยื่อใยหยาบมากที่สุดคือโคนแก่ โคนอ่อน ใบแก่ และใบอ่อน พบว่ามีปริมาณเยื่อใยหยาบ 67.09% 65.35% 63.37% และ 61.71% ตามลำดับ

6. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 1990) ตัวอย่างธูปฤาษีจากใบแก่ ใบอ่อน โคนแก่ และโคนอ่อน มีคาร์โบไฮเดรต 59.90% 58.70% 57.20% และ 57.18% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ธูปฤาษีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุดคือ ใบแก่ ใบอ่อน โคนอ่อน และโคนแก่ พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 68.04% 66.89% 66.04% และ 65.94% ตามลำดับ

7. ปริมาณสารอินทรีย์ (T 204 Om88) ตัวอย่างธูปฤาษีจากใบอ่อน โคนอ่อน ใบแก่ และโคนแก่ มีสารอินทรีย์ 17.81% 15.73% 13.86% และ 11.98% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีสารอินทรีย์ปริมาณมากที่สุด คือ ใบอ่อน ใบแก่ โคนอ่อน และโคนแก่ พบว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ 1.97% 1.61% 1.60% และ 1.09% ตามลำดับ

8. ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (T 204 Om88) ตัวอย่างธูปฤาษีที่จากใบอ่อน ใบแก่ โคนอ่อน และโคนแก่ มีโฮโลเซลลูโลส 66.16% 64.89% 57.82% และ 52.52% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสมากที่สุด คือ ใบอ่อน ใบแก่ โคนอ่อน และโคนแก่ พบว่ามีปริมาณโฮโล-เซลลูโลส 67.40% 62.55% 57.11% และ 54.61% ตามลำดับ

9. ปริมาณ α-เซลลูโลส (Zobel et al., 1996) ตัวอย่างธูปฤาษีที่จากใบอ่อน โคนแก่ โคนอ่อน และใบแก่ มีปริมาณ α-เซลลูโลส 77.82% 63.94% 54.44% และ 38.01% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณ α-เซลลูโลส มากที่สุด คือ โคนแก่ โคนอ่อน ใบอ่อน และใบแก่ พบว่ามีปริมาณ α-เซลลูโลส 86.51% 77.35% 60.18% และ 42.61% ตามลำดับ

10. ปริมาณลิกนิน (T204 Om88) ตัวอย่างธูปฤาษีจากใบแก่ โคนอ่อน โคนแก่ และใบอ่อน มีลิกนิน 16.75% 14.54% 11.42% และ 8.92% ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่สกัดจากธูปฤาษีมีปริมาณลิกนินมากที่สุด คือ โคนแก่ ใบอ่อน ใบแก่ และโคนอ่อน 0.65% 0.40% 0.14% และ 0.04% ตามลำดับ

5.1.2 การสกัดเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี

จากการสกัดเซลลูโลสโดยวิธีที่ทำการสกัดคือ ใช้เอทานอล 90% ตามด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% และฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 12% พบว่าปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากโคนแก่ โคนอ่อน ใบอ่อน และใบแก่ คิดเป็น 26.55% 25.90% 23.90% และ 21.83% ตามลำดับ

5.1.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดจากธูปฤาษี

เซลลูโลสที่ได้จากการสกัดธูปฤาษีในส่วนของใบแก่ ใบอ่อน โคนแก่ และโคนอ่อน พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง X-ray diffraction Analysis พบพีค 2-theta ที่ตำแหน่งเดียวกันคือ เท่ากับ 23° ซึ่งใกล้เคียงกับพีคของเซลลูโลสบริสุทธิ์ยืนยันได้ว่าสามารถสกัดเซลลูโลสได้จากส่วนต่างๆของต้นธูปฤาษี (Ahmed and Jong, 2015)

5.1.4 ผลการแปรรูปเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ

การแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในผลิตภัณฑ์เต้าฮวยนมสด โดยการประเมินความพึงพอใจด้านรสชาติ และเนื้อสัมผัสในอัตราส่วน ปริมาณส่วนผสมทั้งหมด(มิลลิลิตร):เซลลูโลส(กรัม) คือ 1370:1 1370:2 และ 1370:3 พบว่าการเติมเซลลูโลสจากส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีปริมาณ 3 กรัม ยังทำให้ผู้รับประทานเกิดความพึงพอใจด้านรสชาติ โดยการเติมเซลลูโลสอัตราส่วน 1370:1 ช่วยเพิ่มความพึงพอใจต่อรสชาติได้ดีที่สุด และการเติมเซลลูโลสอัตราส่วน 1370:2 ทำให้ผู้รับประทานเกิดความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัสในระดับสูงกว่าไม่เติม ดังนั้นปริมาณการเติมจึงขึ้นกับความต้องการเซลลูโลสของผู้บริโภคว่ามุ่งหวังต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสที่รับประทานง่าย หรือการดูดซึมเพื่อลดน้ำหนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษาวิจัยเรื่องการแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็มเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหาร มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. เต้าฮวยนมสดที่ผสมเซลลูโลสต้นธูปฤาษีจากใบแก่ให้รสชาติที่อร่อยลงตัว น่ารับประทานกว่าเต้าฮวยนมสดที่ผสมเซลลูโลสต้นธูปฤาษีจากใบอ่อนและโคนแก่

2. เต้าฮวยนมสดที่ผสมเซลลูโลสปริมาณ1กรัมรับประทานง่าย ส่วนเต้าฮวยนมสดที่ผสมเซลลูโลสปริมาณ 2-3 กรัม รับประทานยาก

3. เพิ่มสีสันของเต้าฮวยนมสดให้น่ารับประทาน

4. ควรเพิ่มรสชาติหวานให้ทานง่ายขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

1. ในขั้นตอนการล้างตัวอย่างธูปฤาษีด้วยผ้าขาวบาง จะทำให้มีการสูญเสียตัวอย่างในปริมาณมาก ในการทำจึงควรมีการระมัดวังให้มากขึ้น และควรใช้กระดาษกรองแทนเพื่อลดการสูญเสียสารตัวอย่างธูปฤาษี

2. ในการสกัดเซลลูโลส ควรระมัดระวังเซลลูโลสที่ได้อาจจะมีสารที่ไม่ต้องการเจือปนอยู่สังเกตได้จากสี ถ้าเป็นเซลลูโลสจะได้สีขาว แต่ถ้าได้สีอื่นเช่น สีดำ น้ำตาล แสดงว่าอาจกำจัดลิกนินไม่หมด เมื่อนำมารับประทาน จะทำให้ท้องเสียได้

บรรณานุกรม

จักรพงศ์ สังโชติและคณะ. (2555). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยลำต้นธูปฤาษีด้วยกรดเพื่อการผลิตเอทานอล.** วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.

จันทร์รัตน์ เลิศมโนรัตน์และคณะ. (2539). **การใช้เซลลูโลสที่สกัดจากกากอ้อยในผลิตภัณฑ์เค้กช็อกโกแลตแคลอรีต่ำ.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

จิติ หนูแก้ว. (2556). **ต้นธูปฤาษีวัชพืชกำจัดคราบน้ำมัน.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.

จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญและคณะ. (2544). **การใช้เซลลูโลสผงที่ผลิตจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวเพื่อลดการอมน้ำมันในปาท่องโก๋.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

ฐิตา ฟูเผ่าและคณะ. (2557). **ผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม**. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. กรุงเทพมหานคร.

ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์. (2553). **การสกัดและประเมินคุณลักษณะของเซลลูโลสจากชานอ้อย ผักตบชวาและธูปฤาษี.** ปริญญานิพนธ์เภสัชศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. นครปฐม.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2537). **โภชนศาสตร์เบื้องต้น.** กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). **เคมีอาหาร.** กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

บรรจบ ชุณหสวัสดิกุลและปาริชาติ สักกะทำนุ. (2539). **คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค.** กรุงเทพมหานคร: รวมทัศน์.

ปรีชา เกียรติกระจายและทรงกลด จารุสมบัติ. (2528). **เคมีของเนื้อไม้.** ค้นเมื่อ 28 ธันวาคม 2558. จาก http : //www.buranapagroup.com/knowledgechemical.php.

พรชัย ราชตนะพันธุ์และคณะ. (2556). **การผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอและคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

พรรณทิวา คำดี. (2554). **การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture) หรือวัตถุแห้ง (Dry matter, DM).** ค้นเมื่อ 6 มกราคม 2558. จาก https : //kasetsart.academia.edu/PanthiwaKhamdee.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม (ต่อ)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2555). เซลลูโลส. ค้นเมื่อ 2 กันยายน 2558, จาก http : //www. foodnetworksolution.com/cellulose.

ไพศาล วรคำ. (2558). **การวิจัยทางการศึกษา (Education research).** มหาสารคาม: ตักสิลาการพิมพ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม คณะครุศาสตร์.

วิทวัส จิรัฐพงศ์และกฤษณ เวชทรงธนศักดิ. (2554). **การศึกษาปริมาณเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลสและลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร.

ศรัญญา ยิ้มย่อง. (2547). **การเปลี่ยนเชิงชีวภาพของแอลฟาเซลลูโลสจากวัชพืชไปเป็นเอทานอล.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

ศศิเกษม ทองยงค์และพรรณี เดชกำแหง. (2530). **เคมีอาหารเบื้องต้น.** กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

สุพรรณี พุมมา. (2550). **ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีผลิตภัณฑ์หัตถกรรมโคมไฟกระดาษจากธูปฤาษี.** กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

สุมิตร คุณเจตน์. (2557). **การปลูกข้าวให้เจริญเติบโตในพื้นที่ดินเค็ม,** 4 เมษายน 2557. คณะวิทยาศาสตร์และศิลปะศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.

สุรพงษ์ ศรีเจ้า. (2556). **การศึกษาและการพัฒนาวัสดุจากต้นธูปฤาษีเพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ตกแต่งบนโต๊ะทำงาน.** ปริญญานิพนธ์ศิลปกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร.

เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจและอภิชาต ศรีภัย. (2554). **การใช้ประโยชน์จากเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นอาหารหยาบสำหรับโคขาวขุน.** โครงการวิจัย คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

สารานุกรมเสรี. (2558). ธูปฤาษี. ค้นเมื่อ 2 กันยายน 2558, จาก https : //th.wikipedia.org/wiki.

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์และคณะ. (2554). **การสกัดและการใช้ประโยชน์ทางอาหารของใยอาหารและเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย** โครงการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

Ahmed A. and Jong W.R. (2015). **Effect of post-treatments and concentration of cotton linter cellulose nanocrystals on the properties of agar-based nanocomposite films.** Carbohydrate Polymers, 134, 20–29.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม (ต่อ)

Ang, J. F. and Miller, W. B. (1990). **Reduction of fat in douts containing a new form of powder cellulose.** Solka-Floc Division: James River Corporation.

Ang, J. F. (1991). **Water retention capacity and viscosity effect powdered cellulose.** J. Food Scince., 56(2), 1682–1684 .

Changquan, C.S. (2015). **Quantifying effects of moisture content on flow properties of microcrystalline cellulose using a ring shear tester.** Pharmaceutical Materials Science and Engineering Laboratory, 104–108.

Hoqbani, A. Al. (2014). **Extraction of palm tree cellulose and its functionalization via graft copolymerization.** King Saud University. Riyadh, SaudiArabiaa.

Le Liu. and Meiting Ju. (2014). **Cellulose extraction from Zoysia japonica pretreated by alumina-doped MgO in AMIMCl.** Nankai University. Tianjin, China.

Ramchandra, P. (2015). **Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant.** Kyung Hee University, Department of Physics, 1468–1485.

Prakongpan, T. Nititha myong, A. and Luangpituksa, P. (2002). **Extraction and application of dietary fiber cellulose from pineapple cores,** Journal of Food Science, 67(7), 1308–1313 .

Punnavarakul, N. and Sangnark, A. (2009). **Production and Fortification of Cellulose Powder Prepared from Sugarcane Bagassein Steam Cake,** Agricultural Science Journal, 40(1), 417–420.

Sun, J. X., Sun, X. F., Zhao, H. and Sun, R. C. (2004). **Isolation and characterization of Cellulose from sugarcane bagasse.** Polymer Degradation and Stability, 84, 331-339.

Sun, R. C., and Hughes, S. (1998). **Fractional extraction and physic-chemical Characterization of hemicellulose and cellulose from sugar beet pulp.** Carbohydrate Polymers, 36, 293-299.

ThaiHerbal. (2558. ธูปฤาษี. ค้นเมื่อ 2 กันยายน 2558, จาก http : // thaiherbal.org/ 2790/2790.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม (ต่อ)

Walter, R.H. (1977). **Development and characterization of an apple cellulose gel.** Food Scince, 42(6), 241–243.

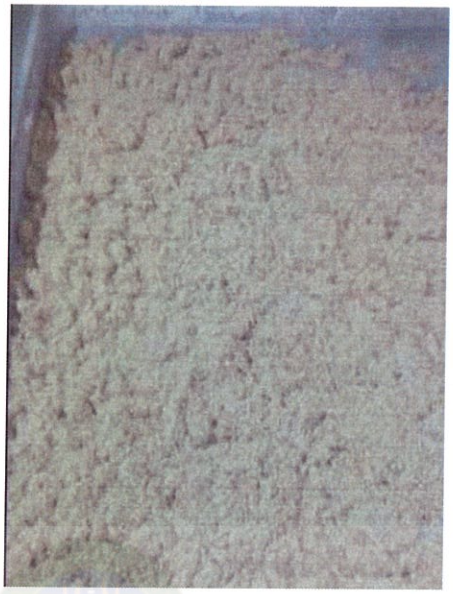
Yanjun, T. (2015). **Extraction of cellulose nano-crystals from old corrugated Container fiber using phosphoric acid and enzymatic hydrolysis followed by sonication.** Zhejiang Sci-Tech University. Hangzhou, China.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

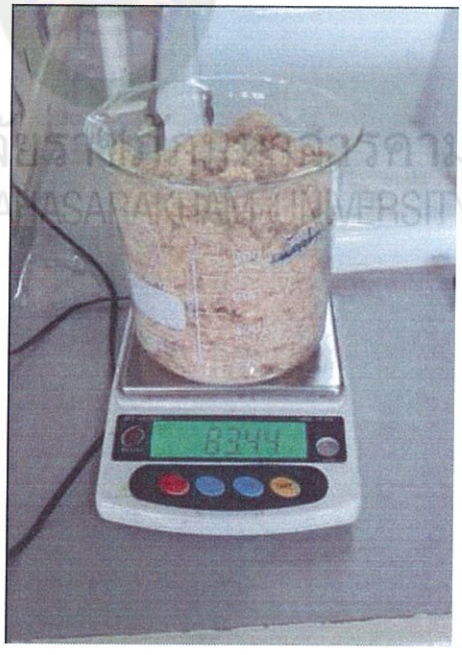
ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การฟอกสีเซลลูโลส



ภาพที่ 6.1 ตัวอย่างธูปฤาษีที่ผ่านการปั่นและการร่อน



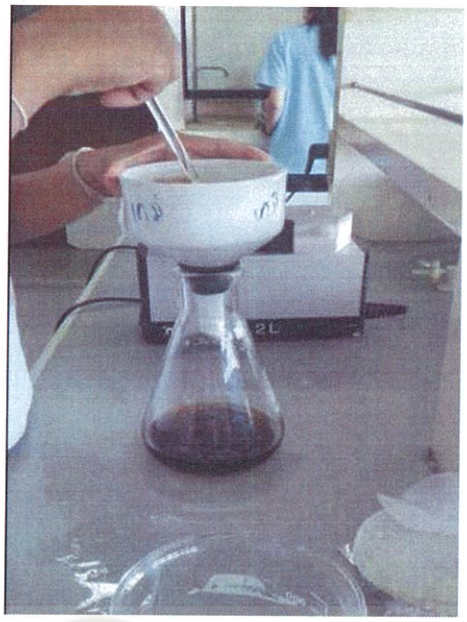
ภาพที่ 6.2 การนำตัวอย่างธูปฤาษี ชั่งน้ำหนักทั้งหมด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

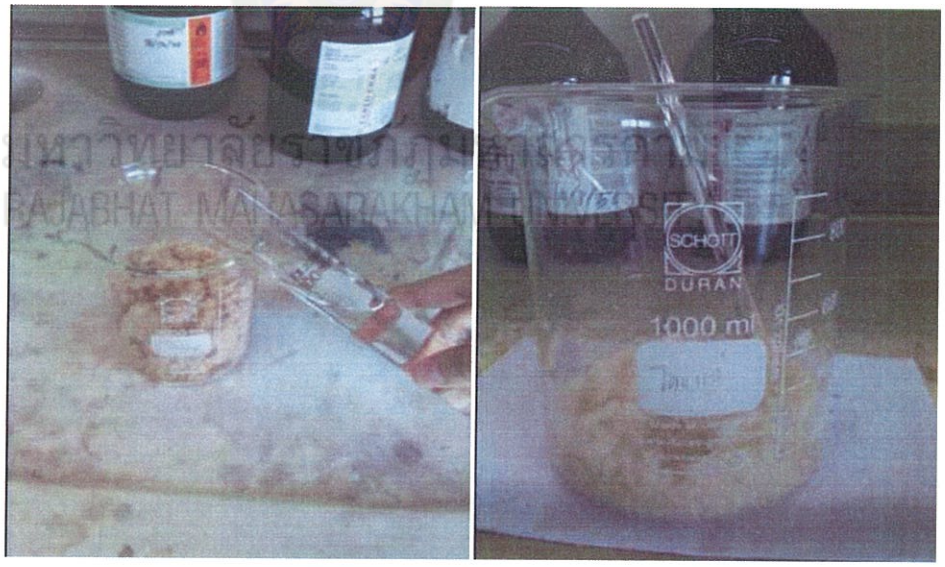
ภาพที่ 6.3 การแบ่งตัวอย่างธูปฤาษีมา และเติมเอทานอล 95% (v/v) นำไปอุ่นใน Water bath 24 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

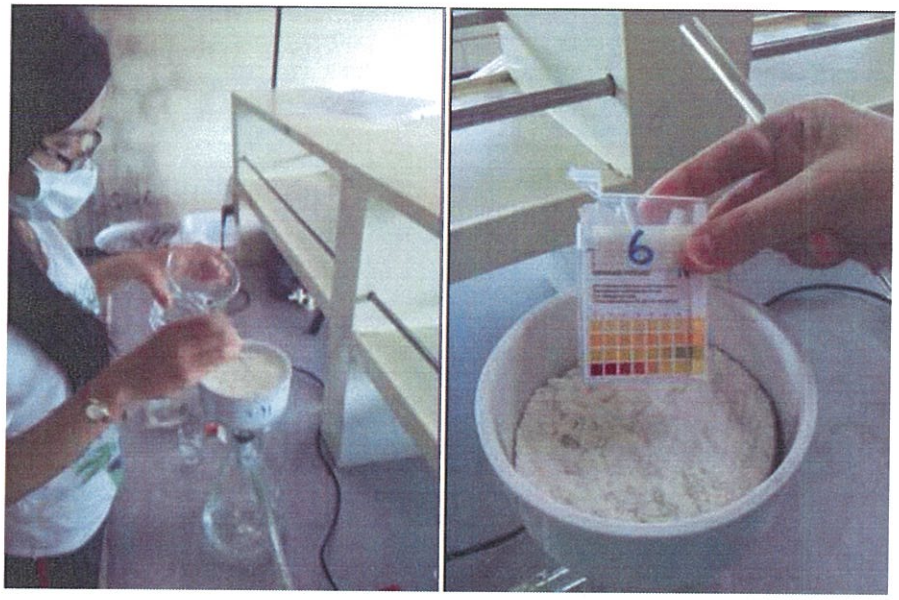
ภาพที่ 6.4 การนำตัวอย่างธูปฤาษีไปอุ่นใน Water bath 24 ชั่วโมง



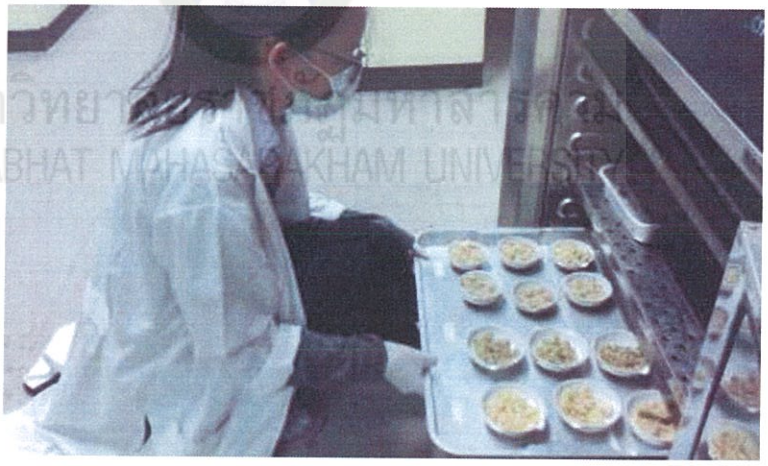
ภาพที่ 6.5 ล้างตัวอย่างธูปฤาษีด้วยเอทานอล 95% (v/v) โดยใช้เครื่อง Suction จนสะอาด pH = 7



ภาพที่ 6.6 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ + สารละลายกรดแอซิติก ในอัตราส่วน 1:1 ตั้งทิ้งไว้ คน และสังเกตสีของตัวอย่างธูปฤาษี ถ้าเปลี่ยนเป็นสีขาวนำไปล้างทันที

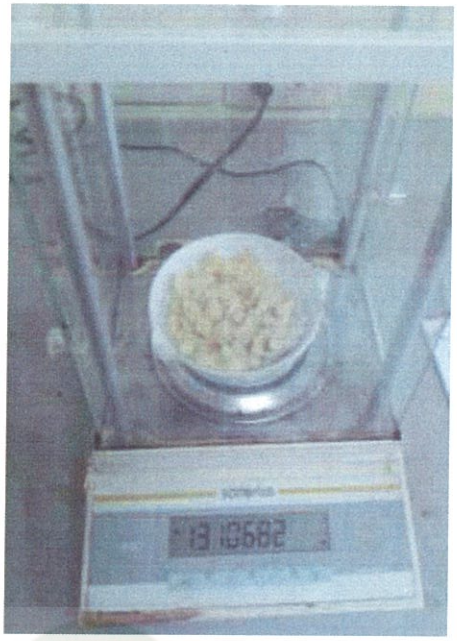


ภาพที่ 6.7 การล้าง สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ + สารละลายกรดแอซิติก จนสะอาด pH = 7



ภาพที่ 6.8 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง

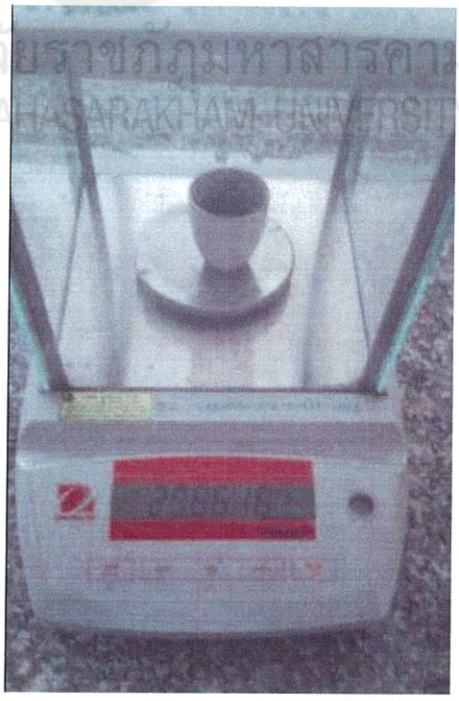
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



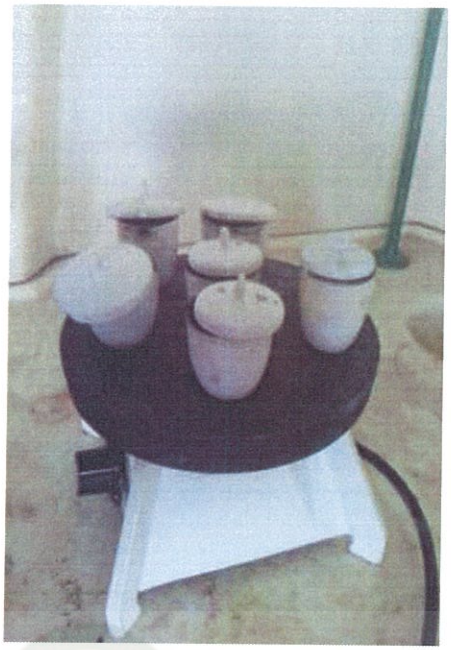
ภาพที่ 6.9 การนำตัวอย่างธูปฤาษีที่อบมาชั่งน้ำหนัก

วิเคราะห์โดยการเผา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 6.10 การชั่งตัวอย่างธูปฤาษี อย่างละ 1 กรัม ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ใส่ในคูซิเบิลเผา



ภาพที่ 6.11 การเผาตัวอย่างธูปฤาษีด้วย hot plate จนหมดควัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.12 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าเตาเผา ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

ภาพที่ 6.13 การนำตัวอย่างธูปฤาษีหลังเผาเข้าโถดูดความชื้น เพื่อทิ้งไว้ให้เย็น

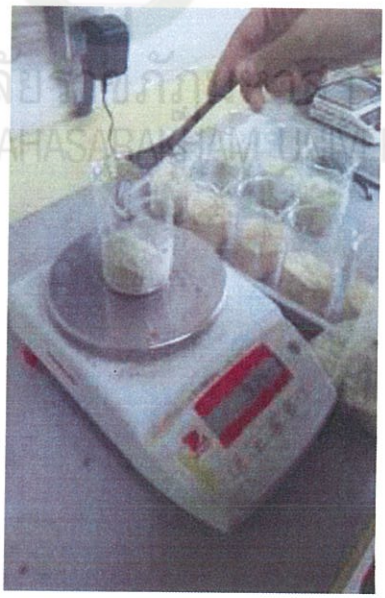
ภาพที่ 6.14 การนำตัวอย่างธูปฤาษีที่ได้ชั่งน้ำหนักหลังเผา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

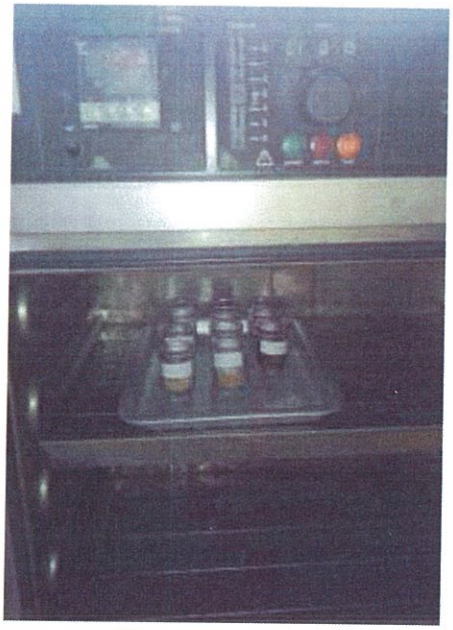
ภาพที่ 6.15 ตัวอย่างธูปฤาษีส่วนขี้เถ้าที่เผาแล้ว

วิเคราะห์ Extractive free fibre โดยวิธี Soxhlet Extraction (การเตรียมตัวอย่าง)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



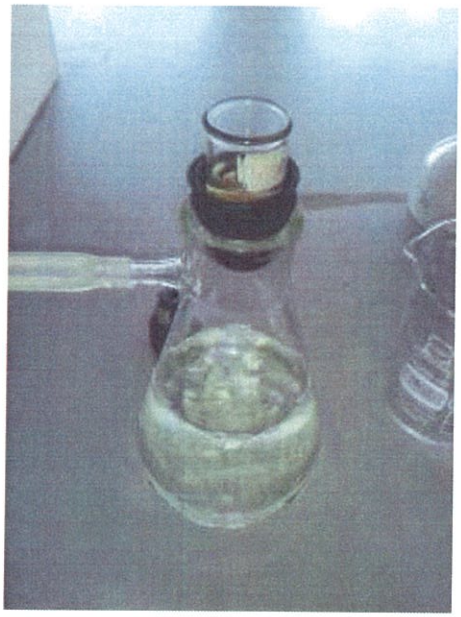
ภาพที่ 6.16 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างธูปฤาษีอย่างละ 8 กรัม



ภาพที่ 6.17 การอบตัวอย่างธูปฤาษีที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

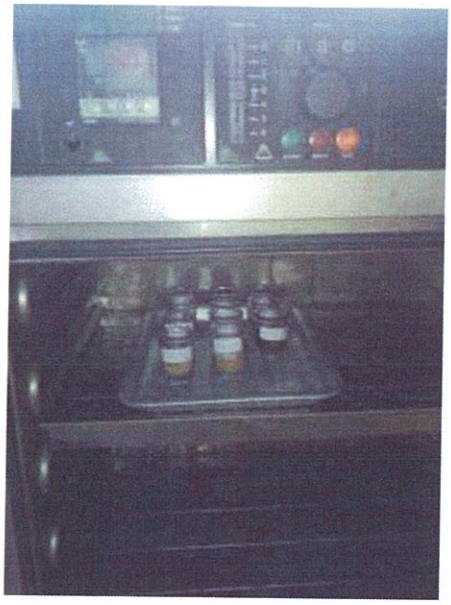
ภาพที่ 6.18 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเป็น เอทานอล:เบนซีน ในอัตราส่วน 64:137 ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

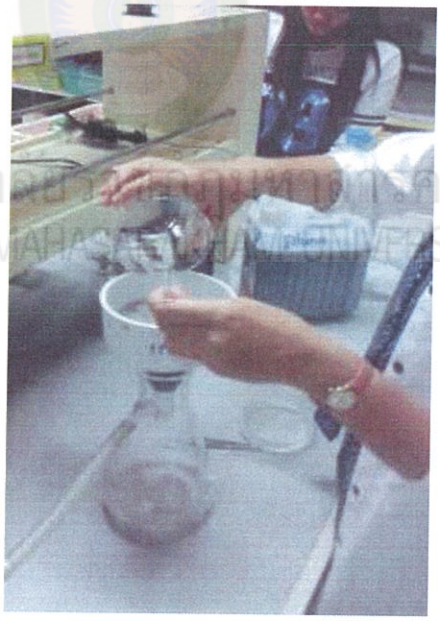


ภาพที่ 6.19 การล้างตัวอย่างธูปฤาษีด้วย เอทานอล 100 มิลลิลิตร ผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศ

ภาพที่ 6.20 การนำสารละลายแต่ละชนิดไปกลั่นระเหยเอาตัวทำละลาย
ออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator)

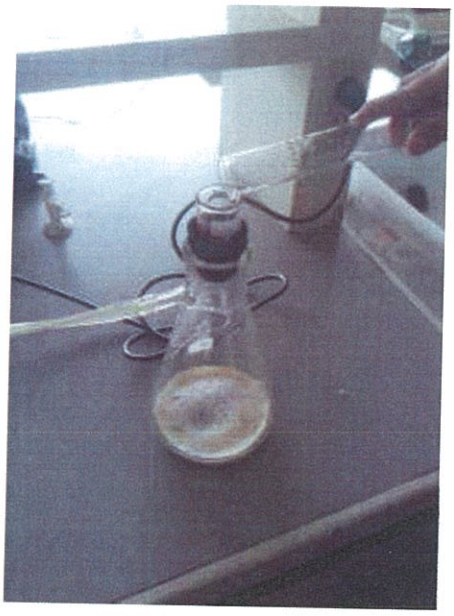


ภาพที่ 6.21 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

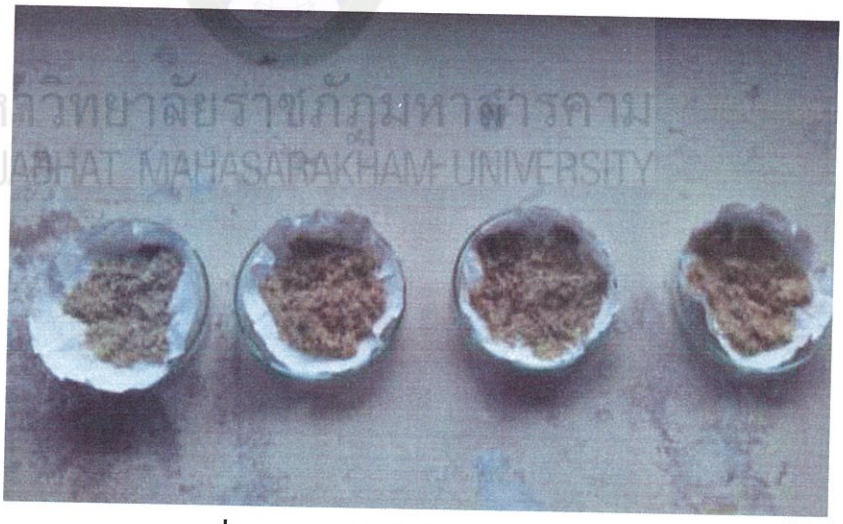


ภาพที่ 6.22 การล้างสารที่ได้ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร
ผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



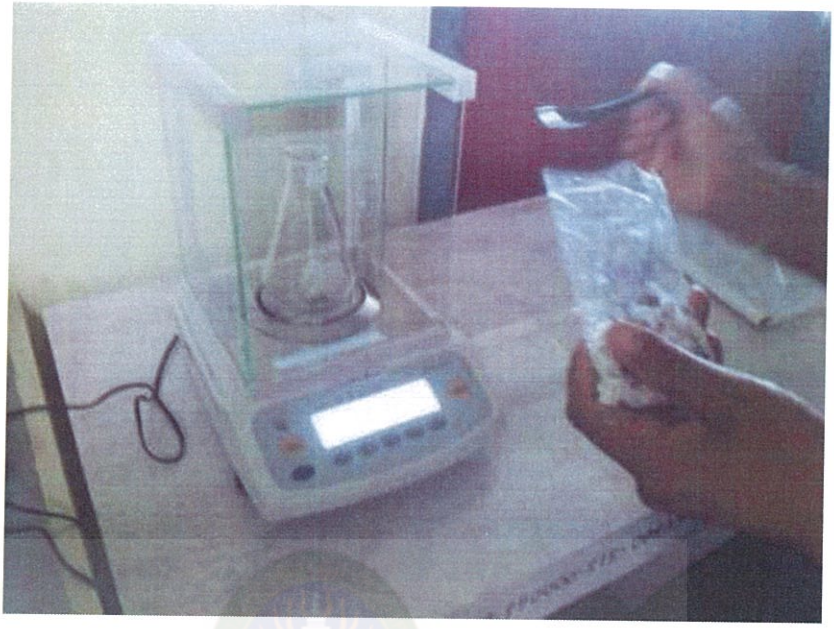
ภาพที่ 6.23 การกรองผ่านเครื่องกรองระบบสุญญากาศ และล้างสารที่ได้ด้วยน้ำร้อน 500 มิลลิลิตร



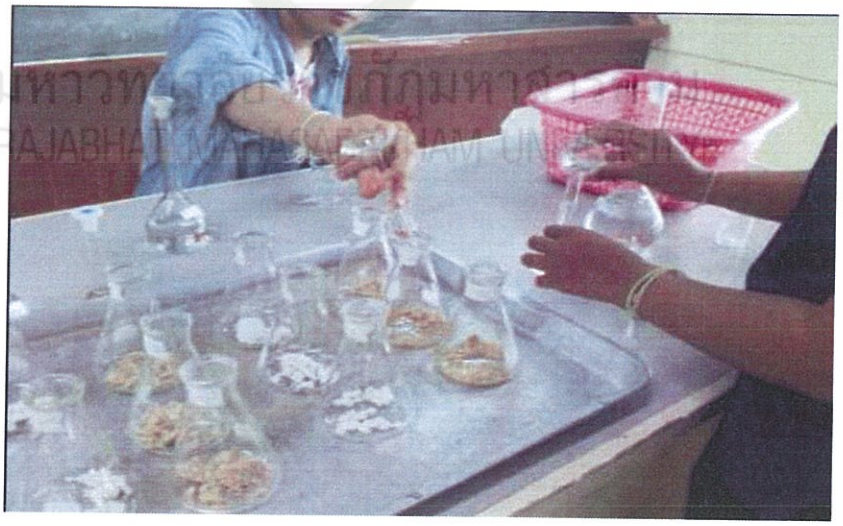
ภาพที่ 6.24 การทำให้แห้งด้วยอากาศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วิเคราะห์หาปริมาณโฮโลเซลลูโลส



ภาพที่ 6.25 การชั่งตัวอย่างธูปฤาษี 0.7±0.1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขวด 250 มิลลิลิตร



ภาพที่ 6.26 การเติมแอซิติกเข้มข้น 0.6% (v/v) 10 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.02% (w/v) 10 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 20% (w/v) 1 มิลลิลิตร

ภาพที่ 6.27 การนำตัวอย่างธูปฤาษีอุ่นใน water bath อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทุกๆ 1 ชั่วโมง ให้เติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์อีก 1 มิลลิลิตร รวม 4 ชั่วโมง

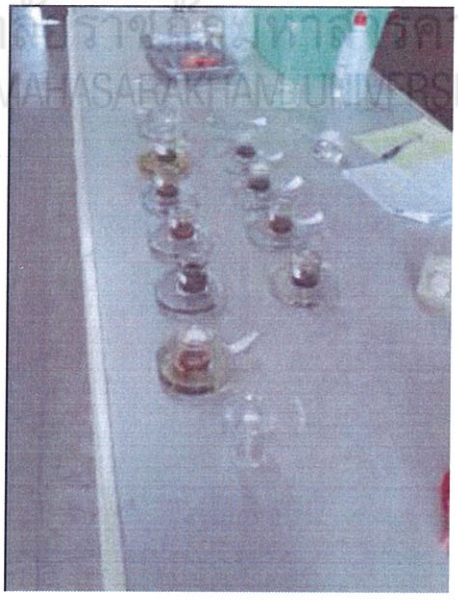
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.28 การนำขวดรูปชมพู่วางในอ่างน้ำแข็งจนสารละลายอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์หาปริมาณ α-cellulose

ภาพที่ 6.29 การวาง sinter glass crucible ลงใน dish ที่มีน้ำสูง 1 เซนติเมตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% (w/v) หรือ 5.21 นอร์มอล 3 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้ว นาน 5 นาที

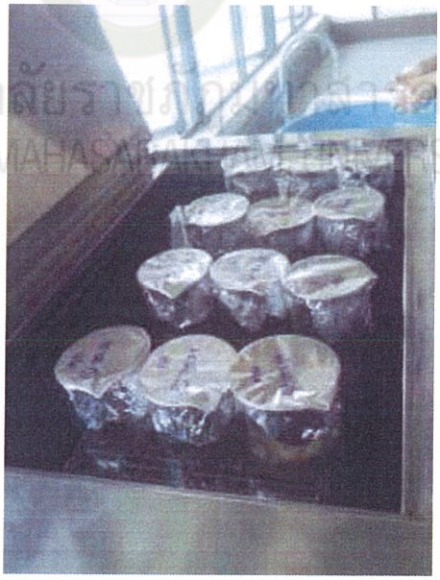
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 6.30 การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% (w/v) หรือ 5.21 นอร์มอล 3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 35 นาที

วิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน

ภาพที่ 6.31 การเทสารละลายใส่บีกเกอร์ 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 560 มิลลิลิตร



ภาพที่ 6.32 การต้มตัวอย่างธูปฤาษีให้เดือดนาน 4 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

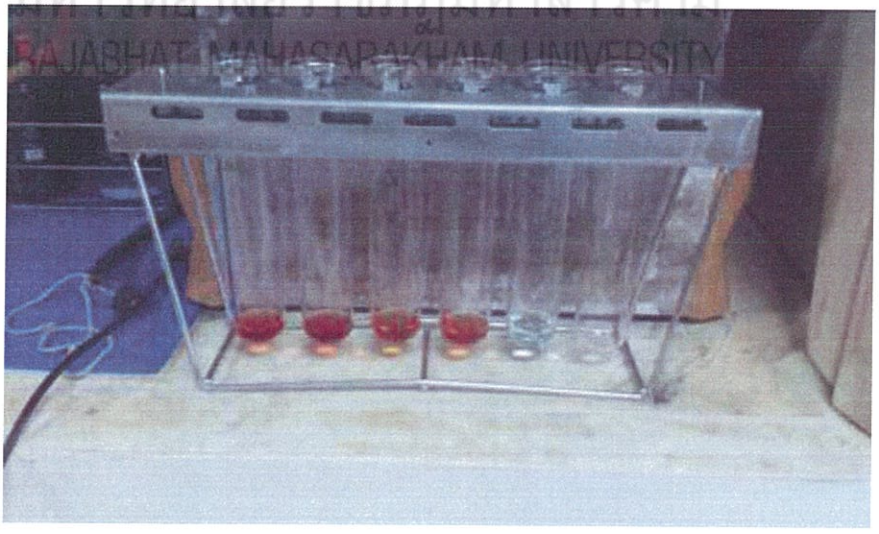
การวิเคราะห์หาความชื้น

ภาพที่ 6.33 การชั่งน้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างธูปฤาษี 1.00 กรัม

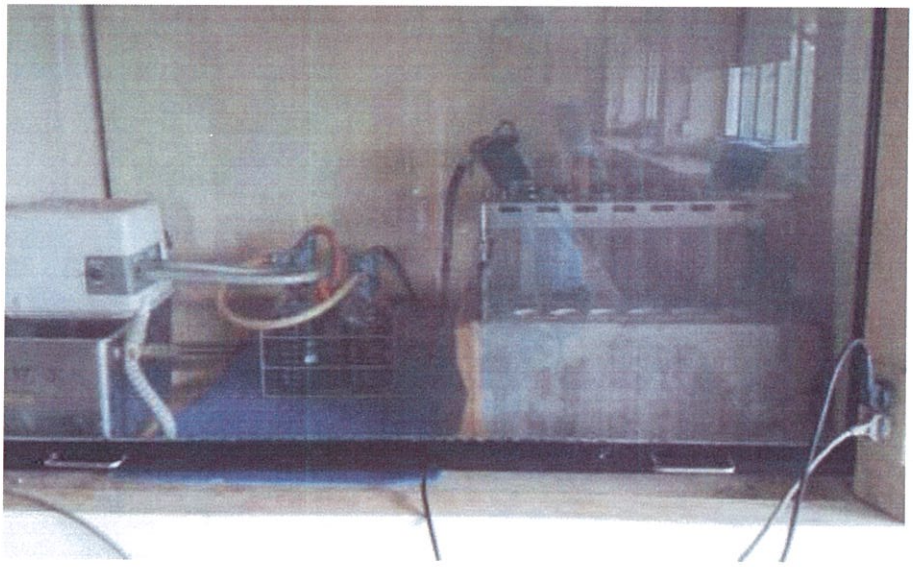
การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การย่อย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



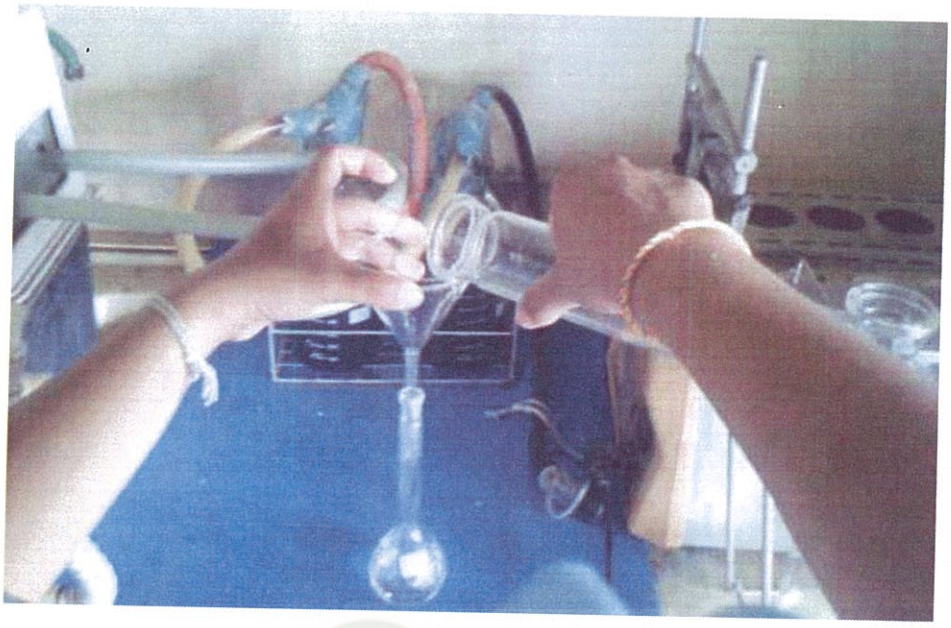
ภาพที่ 6.34 การชั่งตัวอย่างธูปฤาษี 0.5±0.1 กรัม เติมสารเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม + กรดซัลฟิวริก 15 มิลลิลิตร + สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36% (v/v) 1 มิลลิลิตรใส่หลอดย่อย



ภาพที่ 6.35 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าเครื่องย่อย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.36 การย่อยจนสารละลายใสและไม่มีตะกอน



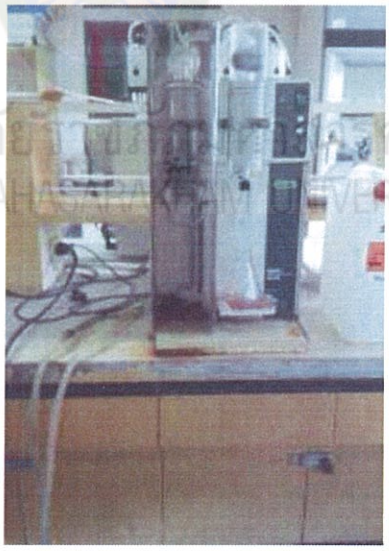
ภาพที่ 6.37 การตั้งตัวอย่างธูปฤาษีทิ้งไว้ให้เย็น และเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

ภาพที่ 6.38 การแช่ตัวอย่างธูปฤาษีในอ่างน้ำจนสารละลายเย็น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.39 สารตัวอย่างธูปฤาษีที่มีการปรับปริมาตรให้ถึง 100 มิลลิลิตร

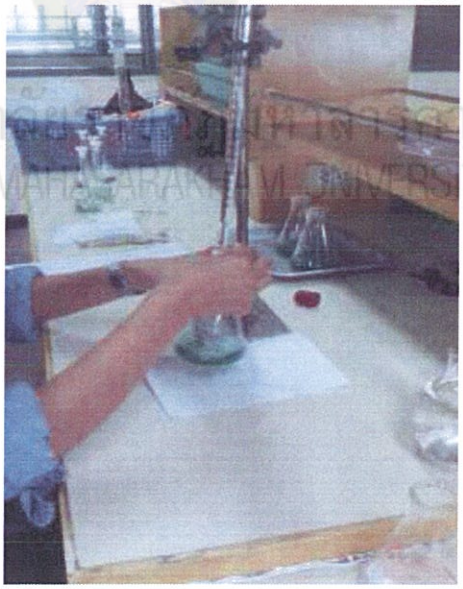
การกลั่น



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.40 การใส่หลอดตัวอย่างธูปฤาษีที่ผ่านการย่อยเข้ากับเครื่องกลั่น + กรดบอริกความเข้มข้น 4% (v/v) ปริมาณ 25-30 มิลลิลิตร (หลอดแรกเป็นน้ำกลั่น และเรียงไปเรื่อยๆจนครบ 6 หลอด)

ภาพที่ 6.41 สารละลายที่ได้จากการกลั่นจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเขียว



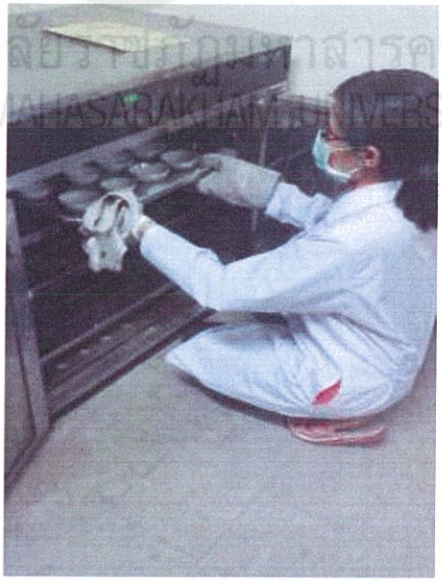
ภาพที่ 6.42 การไทเทรตหาไนโตรเจนด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

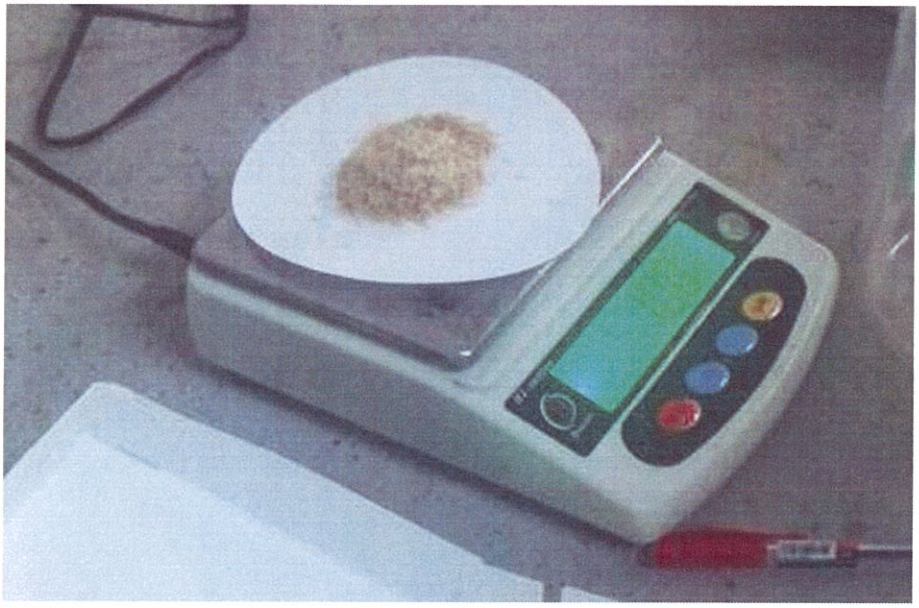
ภาพที่ 6.43 สารละลายที่ได้หลังการไทเทรตจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู

การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

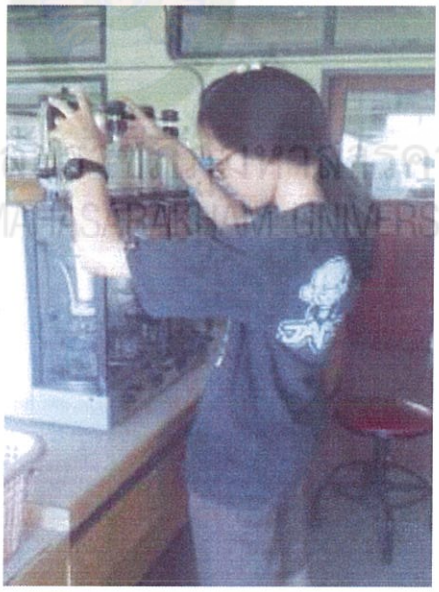
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 6.44 การอบตัวอย่างธูปฤาษีที่ 105 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมง

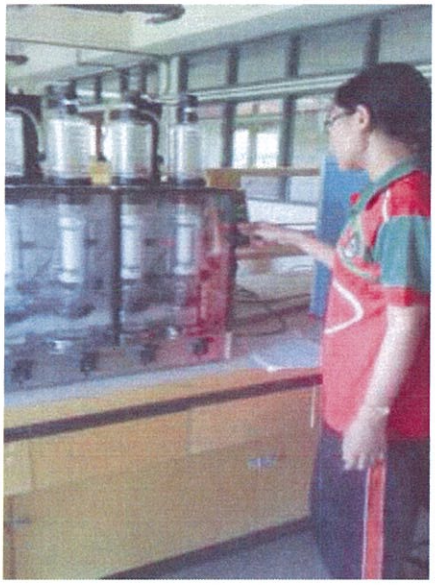


ภาพที่ 6.45 การชั่งตัวอย่างธูปฤาษี 1.00 กรัม ใส่กระดาษกรอง



มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.46 การนำ thimble ที่มีตัวอย่างธูปฤาษีประกอบในเครื่อง B-811

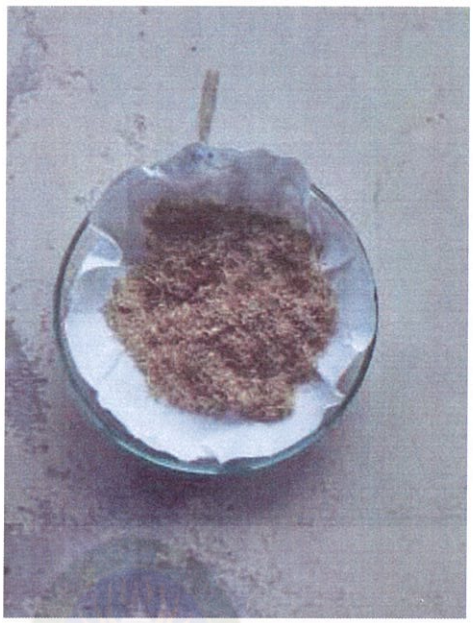


ภาพที่ 6.47 การตั้งค่าระบบเครื่อง B-811

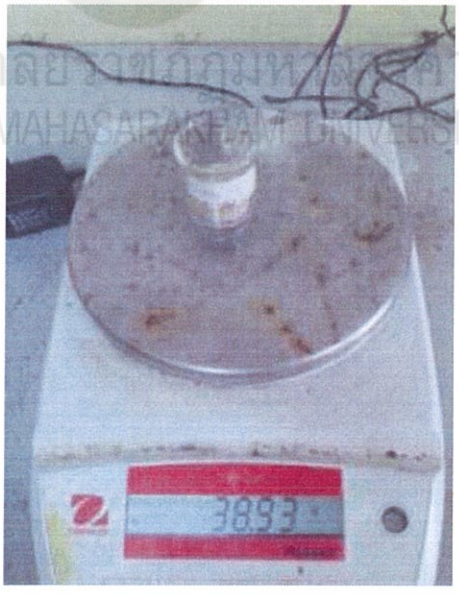
ภาพที่ 6.48 ไขมันที่ได้จากการสกัดตัวอย่างธูปฤาษี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบ



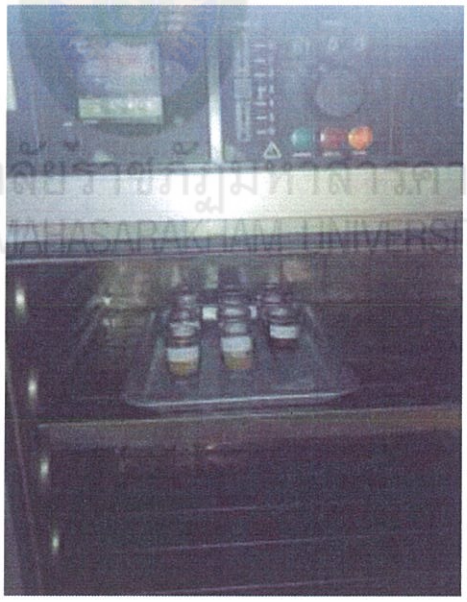
ภาพที่ 6.49 กากจากการสกัดไขมันจากตัวอย่างธูปฤาษี



ภาพที่ 6.50 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างธูปฤาษี

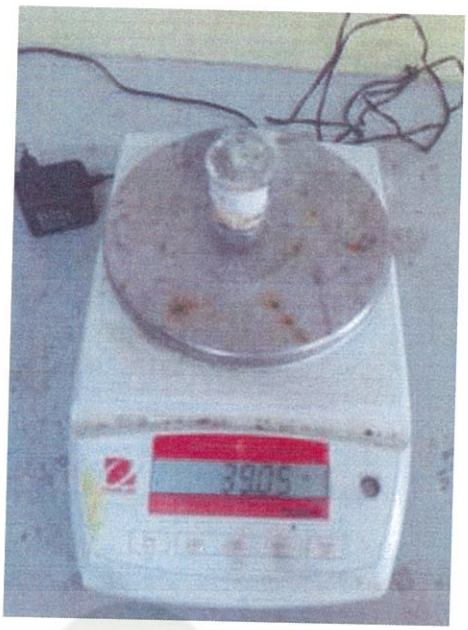
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.51 การนำตัวอย่างธูปฤาษีเข้าเครื่องสกัดเยื่อใย



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

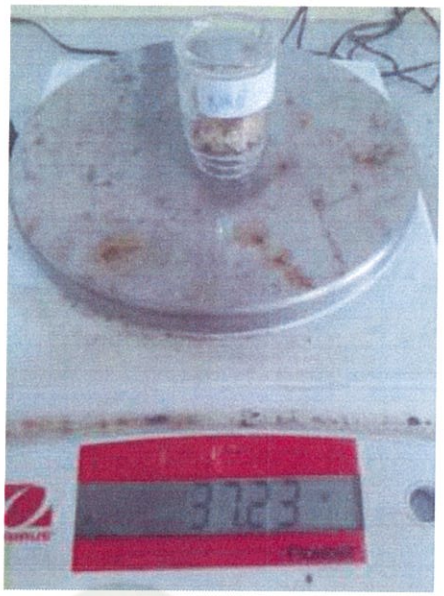
ภาพที่ 6.52 การอบตัวอย่างธูปฤาษีหลังการสกัดเยื่อใยหยาบที่ 105 องศาเซลเซียส 16-18 ชั่วโมง



ภาพที่ 6.53 การชั่งน้ำหนัก crucible + ตัวอย่างธูปฤาษี หลังอบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.54 การเผาตัวอย่างธูปฤาษีที่เตาเผา 550 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 6.55 การชั่งน้ำหนัก crucible + ตัวอย่างธูปฤาษี หลังเผา

การทำเต้าฮวยนมสด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.56 การต้มน้ำจนเดือด

ภาพที่ 6.57 การเติมผงเต้าฮวย คนจนละลายหมด

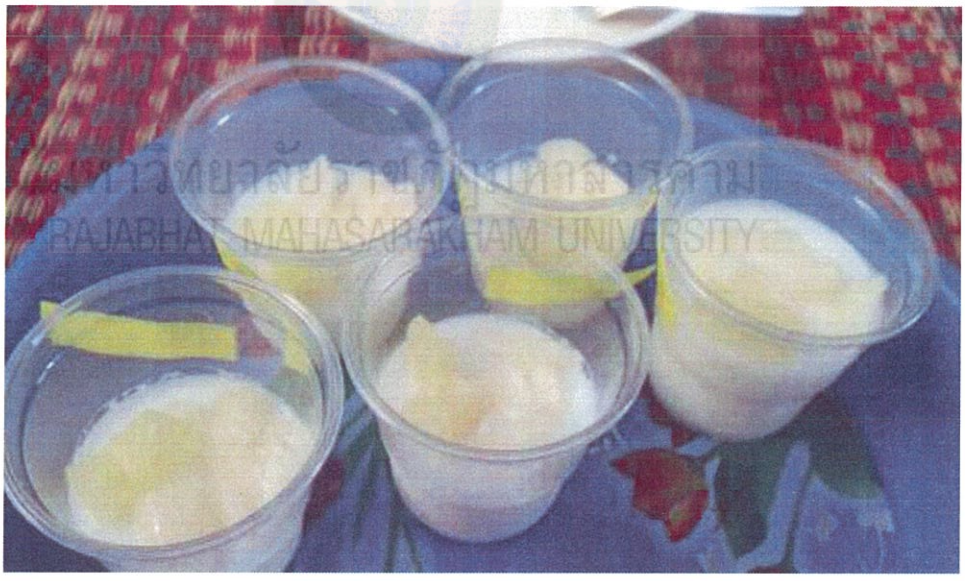
ภาพที่ 6.58 การเติมเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดธูปฤาษีในเต้าฮวย

ภาพที่ 6.59 การคนจนเซลลูโลสและผงเต้าฮวยละลายเข้ากัน

ภาพที่ 6.60 การตั้งเต้าฮวยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วตักใส่ภาชนะบรรจุ นำไปแช่ในตู้เย็น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

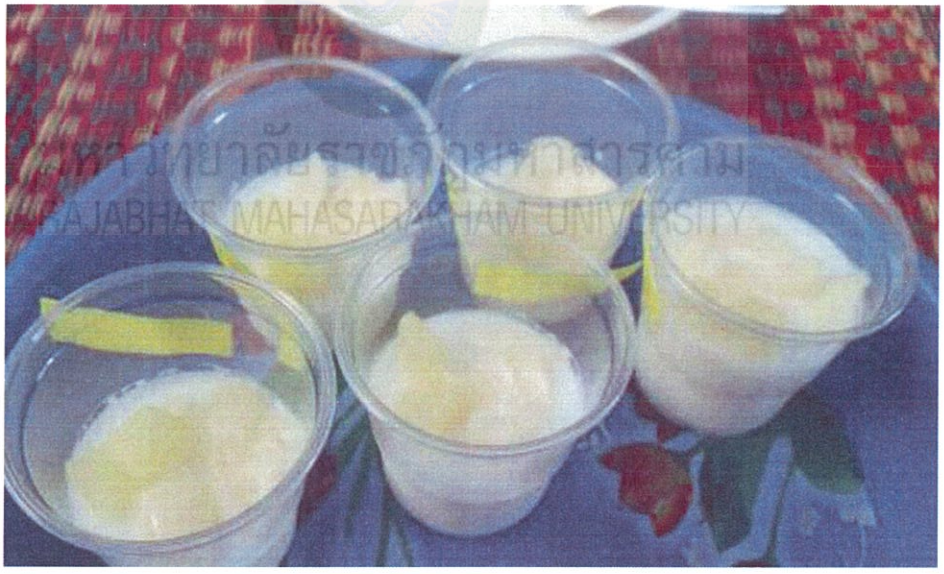
ภาพที่ 6.61 การหั่นเงาะเป็นชิ้นพอประมาณเพื่อใส่ในเต้าฮวย



ภาพที่ 6.62 การนำเงาะไปจัดใส่หน้าเต้าฮวยตามต้องการ

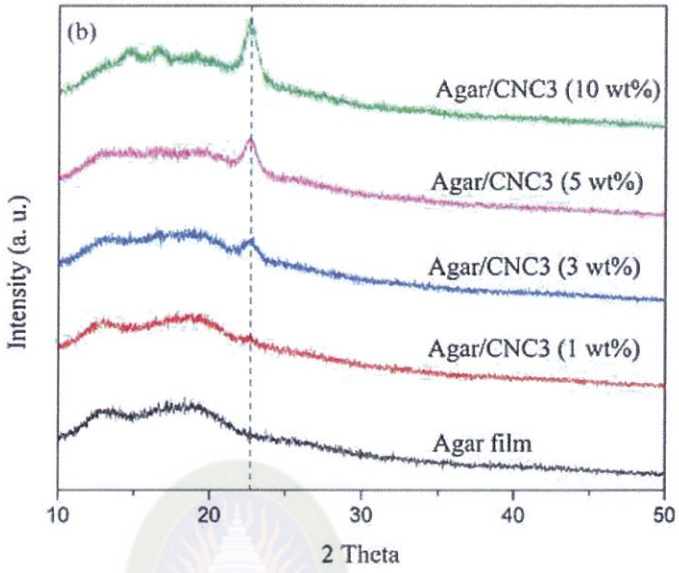
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 6.63 การต้มนมข้นหวาน นมข้นจืด และนมจืดสด คนจนเข้ากันดี



ภาพที่ 6.64 การเติมน้ำนมสำหรับราดใส่เต้าฮวยที่เตรียมไว้ พร้อมรับประทาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 6.65 กราฟมาตรฐานเซลลูโลส (Ahmed and Jong, 2015)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 6.1 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาการแปรรูปเซลลูโลส

ลำดับที่	ข้อเสนอแนะ
1	เพิ่มสีสันให้น่ารับประทาน
2	กลิ่นหอมอร่อย
3	เซลลูโลสเข้ากันดีกับเต้าฮวย
4	รับประทานแต่น้อย แต่รู้สึกอิ่ม
5	ภาชนะที่ใส่ไม่มีสีสันชวนรับประทาน
6	รสชาติที่หวานเกินไป
7	มีตะกอนของเซลลูโลสเล็กน้อย
8	เต้าฮวยนมสด A1 ให้รสชาติที่อร่อยลงตัวน่ารับประทานง่ายกว่า A2 และ A3
9	เต้าฮวยนมสดที่ผสมเซลลูโลสปริมาณ 1 กรัม รับประทานง่าย เต้าฮวยนมสดที่ผสมเซลลูโลสปริมาณ 2-3 กรัม รับประทานยาก
10	เพิ่มรสชาติหวานให้ทานง่ายขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

เรื่อง ความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็ม เพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหาร

สาขาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

.....

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามฉบับนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็มเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหาร

2. แบบสอบถามฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ

2.1) แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

2.2) แบบสอบถามความพึงพอใจพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูป

2.3) ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาการแปรรูปเซลลูโลส

3. แบบสอบถามฉบับนี้ใช้สำหรับการศึกษาวิจัยเท่านั้น การตอบแบบสอบถามนี้จะไม่มีผลกระทบต่อท่านแต่อย่างใด แต่จะเป็นประโยชน์ในการกระบวนการพัฒนางานวิจัย สาขาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

.....

ตอนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ลงในช่อง( )ที่ตรงกับสภาพเป็นจริงของท่าน

1. เพศ ( ) หญิง ( ) ชาย
2. อายุ ( ) น้อยกว่า 20 ปี ( ) 20 – 30 ปี ( ) 31 – 40 ปี ( ) มากกว่า 40 ปีขึ้นไป
3. ระดับการศึกษา ( ) ต่ำกว่าปริญญาตรี ( ) ปริญญาตรี ( ) ปริญญาโท ( ) ปริญญาเอก

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูปเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็มเพื่อผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารสาขาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับตามความรู้สึก/ความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ตารางที่ 6.2 ความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูปเซลลูโลส

ความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดจากการแปรรูปเซลลูโลส	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A1 ปริมาณ 1 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
2. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A1 ปริมาณ 2 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
3. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A1 ปริมาณ 3 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
4. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A2ปริมาณ 1 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
5. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A2ปริมาณ 2 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
6. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A2ปริมาณ 3 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
7. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A3ปริมาณ 1 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
8. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A3ปริมาณ 2 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
9. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A3ปริมาณ 3 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
10. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A4ปริมาณ 1 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
11. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A4ปริมาณ 2 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
12. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A4ปริมาณ 3 g เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
13. รสชาติของเต้าฮวยนมสด A5เมื่อรับประทานแล้วรู้สึกดี					
14. การรับประทาน A1 ปริมาณ 1 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
15. การรับประทาน A1 ปริมาณ 2 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
16. การรับประทาน A1 ปริมาณ 3 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
17. การรับประทาน A2ปริมาณ 1 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
18. การรับประทาน A2ปริมาณ 2 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
19 การรับประทาน A2ปริมาณ 3 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
20. การรับประทาน A3ปริมาณ 1 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
21. การรับประทาน A3ปริมาณ 2 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
22. การรับประทาน A3ปริมาณ 3 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
23. การรับประทาน A4ปริมาณ 1 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
24. การรับประทาน A4ปริมาณ 2 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
25. การรับประทาน A4ปริมาณ 3 g สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					
26. การรับประทาน A5สัมผัสได้ถึงเส้นใยเซลลูโลส					

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาการแปรรูปเซลลูโลสสาขาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณที่กรุณาตอบแบบสอบถาม
สาขาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 6.3 แสดงการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) จากความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดทางด้านรสชาติ

ความพึงพอใจด้านรสชาติ	มากสุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยสุด (1)	$\bar{X}$	เกณฑ์การประเมิน	S.D.
1. เซลลูโลสจากใบอ่อนปริมาณ 1 g	4	4	2	1	0	4.0000	มาก	1.7888
2. เซลลูโลสจากใบอ่อนปริมาณ 2 g	1	4	2	1	0	2.6364	ปานกลาง	1.5165
3. เซลลูโลสจากใบอ่อนปริมาณ 3 g	2	3	1	2	3	2.9091	ปานกลาง	0.8366
4. เซลลูโลสจากโคนอ่อนปริมาณ 1 g	4	5	1	0	1	4.0000	มาก	2.1679
5. เซลลูโลสจากโคนอ่อนปริมาณ 2 g	2	8	1	0	0	4.0909	มาก	3.3466
6. เซลลูโลสจากโคนอ่อนปริมาณ 3 g	3	6	2	0	0	4.0909	มาก	2.4899
7. เซลลูโลสจากใบแก่ปริมาณ 1 g	8	1	2	0	0	4.5455	มากที่สุด	3.3466
8. เซลลูโลสจากใบแก่ปริมาณ 2 g	1	9	1	0	0	4.0000	มาก	3.8340
9. เซลลูโลสจากใบแก่ปริมาณ 3 g	7	2	1	1	0	4.3636	มาก	2.7748
10. เซลลูโลสจากโคนแก่ปริมาณ 1 g	2	2	5	2	0	3.3636	ปานกลาง	1.7888
11. เซลลูโลสจากโคนแก่ปริมาณ 2 g	2	3	1	3	4	3.1818	ปานกลาง	1.1401
12. เซลลูโลสจากโคนแก่ปริมาณ 3 g	1	2	3	3	2	2.7273	ปานกลาง	0.8366
13. ไม่เติมเซลลูโลส	3	2	4	0	2	3.3636	ปานกลาง	1.4832

หมายเหตุ เกณฑ์การประเมินความพึงพอใจทางรสชาติ

(5.00-4.51) มากที่สุด (4.50-3.51) มาก (3.50-2.51) ปานกลาง (2.50-1.51) น้อย (1.50-0.51) น้อยที่สุด

ตารางที่ 6.4 แสดงการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) จากความพึงพอใจของผู้บริโภคเต้าฮวยนมสดทางด้านเนื้อสัมผัส

ความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัส	มากสุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยสุด (1)	$\bar{X}$	เกณฑ์การประเมิน	S.D.
1. เซลลูโลสจากใบอ่อนปริมาณ 1 g	2	7	2	0	0	4.0000	มาก	2.8635
2. เซลลูโลสจากใบอ่อนปริมาณ 2 g	2	7	2	0	0	4.0000	มาก	2.8635
3. เซลลูโลสจากใบอ่อนปริมาณ 3 g	3	0	5	0	3	3.0000	ปานกลาง	2.1679
4. เซลลูโลสจากโคนอ่อนปริมาณ 1 g	7	2	1	1	0	4.3636	มาก	2.7748
5. เซลลูโลสจากโคนอ่อนปริมาณ 2 g	0	3	2	6	0	2.7273	ปานกลาง	2.4899
6. เซลลูโลสจากโคนอ่อนปริมาณ 3 g	0	0	4	5	2	2.1818	น้อย	2.2803
7. เซลลูโลสจากใบแก่ปริมาณ 1 g	6	1	2	0	2	3.8182	มาก	2.2803
8. เซลลูโลสจากใบแก่ปริมาณ 2 g	0	4	1	6	0	2.8182	ปานกลาง	2.6832
9. เซลลูโลสจากใบแก่ปริมาณ 3 g	1	0	3	3	4	2.1818	น้อย	1.6431
10. เซลลูโลสจากโคนแก่ปริมาณ 1 g	2	0	7	1	1	3.0909	ปานกลาง	2.7748
11. เซลลูโลสจากโคนแก่ปริมาณ 2 g	1	10	0	0	0	4.0909	มาก	4.3817
12. เซลลูโลสจากโคนแก่ปริมาณ 3 g	3	3	0	2	3	3.0909	ปานกลาง	1.3038
13. ไม่เติมเซลลูโลส	0	9	2	0	0	3.8182	มาก	3.8987

หมายเหตุ เกณฑ์การประเมินความพึงพอใจทางเนื้อสัมผัส

(5.00-4.51) มากที่สุด(4.50-3.51) มาก(3.50-2.51) ปานกลาง (2.50-1.51) น้อย (1.50-0.51) น้อยที่สุด

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ(ไทย) นางสาวสุรีย์รัตน์ อู่สูงเนิน
ชื่อ(อังกฤษ) Miss Sureerut U-Soongnern
เกิดวันที่ 5 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2536
ที่อยู่ 157 หมู่ 10 บ้านโนนสวรรค์ ตำบลบัวขาว อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46110
เบอร์โทร 093-5074828 **E-mail** sureerut1669@gmail.com
ประวัติการศึกษา

ระดับประถม โรงเรียนบ้านโนนสวรรค์ อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกุฉินารายณ์ อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกุฉินารายณ์ อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
ระดับอุดมศึกษา หลักสูตรสาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ชื่อ(ไทย) นางสาวแสงระวี บิดร
ชื่อ(อังกฤษ) Miss Sangrawee Bidon
เกิดวันที่ 1 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537
ที่อยู่ 161 หมู่ 4 บ้านดงพัฒนา ตำบลธาตุนาเวง อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000
เบอร์โทร 087-2218248 **E-mail** sanave_pang@hotmail.com
ประวัติการศึกษา

ระดับประถม โรงเรียนอนุบาลสกลนคร อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร
ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนธาตุนารายณ์วิทยา อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนธาตุนารายณ์วิทยา อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร
ระดับอุดมศึกษา หลักสูตรสาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ชื่อ(ไทย) นางสาวสิริกานต์ ดวงดี
ชื่อ(อังกฤษ) Miss. Sirikan Duangdee
เกิดวันที่ 8 เดือน กันยายน พ.ศ. 2536
ที่อยู่ 128 หมู่ 1 บ้านโนนเกษตร ตำบลวังไชย อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม 44130
เบอร์โทร 090-6298863 **E-mail** ammy_sirikan2558@hotmail.com
ประวัติการศึกษา

ระดับประถม โรงเรียนบ้านโนนเกษตร อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม
ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบรบือวิทยาคาร อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบรบือวิทยาคาร อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม
ระดับอุดมศึกษา หลักสูตรสาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY