



รายงานการวิจัย

คุณสมบัติของคัพภะ รำ และแป้งลูกเดือยเพื่ออาหารสุขภาพ
(Properties of Adlay's Germ, Bran and Flour for Functional Foods)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

คุณสมบัติของคัพภะ รำ และแป้งลูกเดี๋ยเพื่ออาหารสุขภาพ
(Properties of Adlay's Germ, Bran and Flour for Functional Foods)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนันทา ทองทา

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

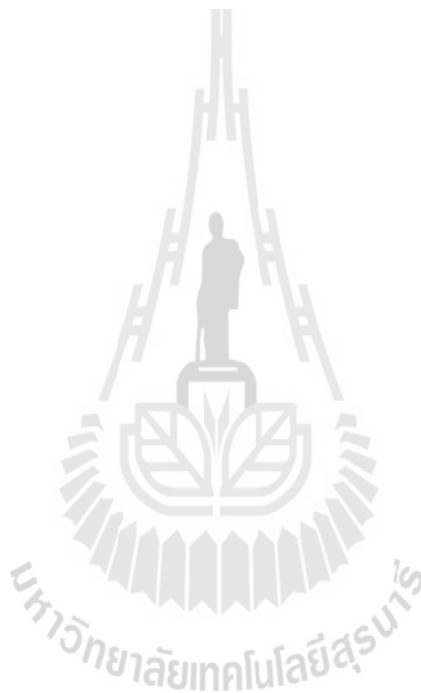
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2553 - 2554

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้งบประมาณทุนอุดหนุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2553-2554 ทำให้ผลงานวิจัยโครงการนี้เกิดขึ้นได้ ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับอาคาร สถานที่ และเครื่องมือในการวิจัย และงานวิจัยนี้คงไม่สำเร็จหากขาดผู้ช่วยวิจัยเหล่านี้ คือ นางสาวสุภาพร อภิรัตนานุสรณ์ นางสาวจิราภรณ์ ชัยสิริเจริญกุล และนางสาวกรรณิการ์ กันทะวงศ์ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย



บทคัดย่อ

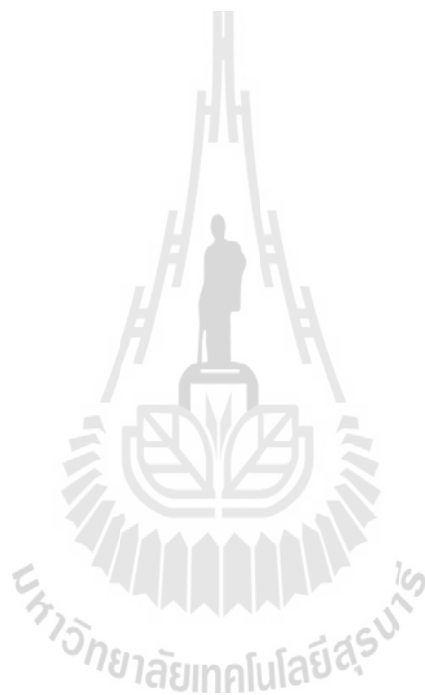
การศึกษาโครงสร้างของเมล็ดลูกเดือยด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอและแบบส่องกราด พบว่ามีรูปร่างลักษณะค่อนข้างกลมและรี ส่วนของคัพภะถูกล้อมรอบด้วยส่วนเอนโดสเปิร์มและมีขนาดประมาณ 1 ใน 3 ของเมล็ด แป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดมีปริมาณโปรตีน 13.54% ไขมัน 4.86% และมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันอยู่ในช่วง 66 – 81.1 องศาเซลเซียส แป้งลูกเดือยที่แยกคัพภะลูกเดือยถูกแยกออกเพื่อศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งลูกเดือยที่แยกคัพภะออก พบว่า มีปริมาณโปรตีน 13.18% ไขมัน 0.91% และมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนเซชันแคบลง (66.4 ถึง 79.8 องศาเซลเซียส)

การแยกคัพภะลูกเดือยด้วยมือเป็นวิธีการที่สามารถแยกคัพภะได้ดี และมีประสิทธิภาพ แต่เป็นวิธีการที่ใช้เวลานานเมื่อต้องคัดแยกในปริมาณมาก การพัฒนาการแยกคัพภะโดยการแช่น้ำอุ่นตามด้วยการลดขนาดด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกหรือเครื่องขัดขาวและคัดขนาด เป็นวิธีที่ควบคุมง่ายและรวดเร็ว แต่มีประสิทธิภาพในการแยกคัพภะต่ำกว่าวิธีการแยกด้วยมือ ปริมาณไขมันในแต่ละขนาดอนุภาคมีปริมาณ 3-8% แสดงให้เห็นถึงมีคัพภะปนอยู่ในปริมาณมาก

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของคัพภะลูกเดือย พบว่า มีปริมาณโปรตีน 24.34 % ไขมัน 40.19% เถ้า 11.88% และใยอาหาร 37.17% คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของคัพภะลูกเดือย ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด, สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด, DPPH (IC₅₀), Ferric reducing antioxidant power และ Metal chelating activity มีปริมาณ 2.75 mgGAE/g, 12.46 mgCE/g, 120.00 mg/ml, 6.0 μmol FeSO₄/g และ 3.74 mgEDTA/g ตามลำดับ

รำลูกเดือย ประกอบด้วยโปรตีน 16.9%, ไขมัน 21.5%, เถ้า 6.8% และใยอาหาร 20.2% คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของรำลูกเดือย มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 11.94 mgGAE/g, สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 15.79 mgCE/g, Ferric reducing antioxidant power 29.0 μmol FeSO₄/g และ Metal chelating activity และ 56.14 mgEDTA/g รำลูกเดือยนำมาสกัดด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถแยกเป็นส่วนที่สามารถสกัดด้วยน้ำและไม่สามารถสกัดด้วยน้ำ ทั้งสองส่วนประกอบด้วยโปรตีน เถ้า และกรดยูโรนิค อัตราส่วนอะราบีโนสต่อไซโลสในรำลูกเดือยอยู่ระหว่าง 0.93-1.17 รำลูกเดือยส่วนที่สามารถสกัดด้วยน้ำประกอบด้วยอะราบีโนไซแลนและอะราบีโนกาแลกแตน ส่วนที่ไม่สามารถสกัดด้วยน้ำประกอบด้วยอะราบีโนไซแลน น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 488,000 ดาลตัน

จากการศึกษาอายุการเก็บรำลูกเดี๋ยโดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด(AV), ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV), ค่า TBA และการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า ค่า AV, ค่า PV และค่า TBA เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษารำลูกเดี๋ยไว้เป็นระยะเวลา 133 วัน พบว่ารำลูกเดี๋ยมีกลิ่นเหม็นหืนในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ



Abstract

The morphological characteristics of adlay seed were studied using TEM and SEM, showing spherical to oval structure and found that the germ is enfolded inside the kernel and comprises *ca.* one third of the whole grain. The whole grain flour contained 13.54% protein and 4.86% fat. Its gelatinization Temperature ranged from 66.9 to 81.1 °C. The adlay germ was separated to investigate the functional properties of degermed flour (DGF). The DGF had 13.18% protein, 0.91% fat and narrower gelatinization temperature range (66.4 to 79.8 °C).

Degreasing with hand separation was found to be efficient to separate the germ from the endosperm, but the disadvantageous is time-consuming for a large-scale application. The developed degerming process, which included soaking adlay in warm water and subsequent using rice dehulling or polishing machines and then sieving, was easy to control and could degerm faster but less efficiency in separation than hand degerming. The fat contents of all particle size fractions were 3-8%, suggesting the high level of germ contamination.

Adlay germ was found to have 24.34% protein, 40.19% fat, 11.88% ash and 37.1% dietary fiber. The antioxidant properties of adlay germ, which were total phenolic content, total flavonoid content, DPPH (IC₅₀), ferric reducing antioxidant power and metal chelating activity were 2.75 mgGAE/g, 12.46 mgCE/g, 120.00 mg/ml, 6.0 µmol FeSO₄/g and 3.74 mgEDTA/g, respectively.

Adlay bran contained 16.9% protein, 21.5% fat, 6.8% ash and 20.2% dietary fiber. Adlay bran higher antioxidant activities than those of adlay germ, containing total phenolic content of 11.94 mgGAE/g, total flavonoid content of 15.79 mgCE/g, ferric reducing antioxidant power of 29.0 µmol FeSO₄/g and metal chelating activity of 56.14 mgEDTA/g. Water-extractable and water-unextractable fractions from adlay bran were extracted using water and

alkali. Both fractions contained protein, ash and uronic acid, and had an arabinose to xylose ratio of 0.93-1.17. The water-extractable fraction comprised arabinoxylans and arabinogalactan, whereas the water-unextractable fraction contained arabinoxylan with molecular weight of 488,000 Da.

Shelf-life of adlay bran was studied by acid value (AV), peroxide value (PV) and thiobarbituric acid (TBA), as well as sensory evaluation during storage. The AV, PV and TBA values were increased during storage time. The adlay bran was unacceptable as rancidity after 133 days of storage.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Reviewed literature).....	3
1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลูกเดือย.....	4
1.1 ลูกเดือย (Coix lachrymal-jobi L.).....	4
1.2 คัพภะ (germ).....	7
1.3 รำ (bran).....	8
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง.....	9
3. Non-starch polysaccharide.....	11
4. อนุโมลิสระและสารต้านอนุโมลิสระ.....	13
4.1 อนุโมลิสระ.....	14
4.2 สารต้านอนุโมลิสระ.....	15
5. อายุการเก็บ (Shelf life).....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
1. วัตถุประสงค์.....	20
2. การตรวจสอบโครงสร้างทางสรีรวิทยาของเมล็ดลูกเดือย.....	20
3. การตรวจสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งลูกเดือย.....	20
4. การศึกษาวิธีการแยกคัพภะลูกเดือยด้วยวิธีการต่างๆ.....	23
5. การตรวจสอบองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของคัพภะลูกเดือย.....	24
6. การตรวจสอบองค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีและโครงสร้างของ non – starch polysaccharide (NSP) และการหาอายุการเก็บของรำ	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ลูกเด็ย.....	27
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	35
1. ลักษณะทางสรีรวิทยาของเมล็ดลูกเด็ย.....	35
2. องค์ประกอบทางเคมีและเคมีกายภาพของแป้งลูกเด็ย.....	37
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเด็ย.....	37
2.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งลูกเด็ย.....	39
3. ผลการแยกคัพพะลูกเด็ยด้วยวิธีการต่างๆ.....	45
3.1 การแยกคัพพะลูกเด็ยโดยใช้คน.....	45
3.2 การแยกคัพพะลูกเด็ยโดยใช้การ preconditioning ร่วมกับการ ลดขนาดและคัดขนาด.....	46
4. องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเคมีกายภาพของคัพพะลูกเด็ย.....	56
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของคัพพะลูกเด็ย.....	56
4.2. คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant properties) ในคัพพะลูกเด็ย.....	57
5. องค์ประกอบทางเคมี, คุณสมบัติทางเคมี, โครงสร้างของ non – starch Polysacchahrides.....	60
5.1 องค์ประกอบทางเคมีในรำลูกเด็ย.....	60
5.2. คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant properties) ในรำลูกเด็ย.....	60
5.3 โครงสร้างของ non – starch polysacchahrides ในรำลูกเด็ย.....	63
5.4 การหาอายุการเก็บของรำลูกเด็ย.....	68
บทที่ 5 บทสรุป.....	73
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก.....	88
ประวัติผู้วิจัย.....	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเดี๋ย..... 38
2	คุณสมบัติการเกิดเพสท์ของแป้งลูกเดี๋ยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดี๋ยที่ แยกคัพพะออก..... 42
3	คุณสมบัติการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งลูกเดี๋ยเต็มเมล็ดและ แป้งลูกเดี๋ยที่แยกคัพพะออก..... 45
4	ปริมาณไขมันของลูกเดี๋ยที่ผ่านการคักแยกคัพพะด้วยเครื่องกะเทาะ เปลือกและเครื่องขัดข้าว..... 53
5	องค์ประกอบทางเคมีของคัพพะลูกเดี๋ย..... 56
6	ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม (Total phenolic content), สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Total flavonoid content), ฤทธิ์ต้านอนุมูล อิสระ DPPH, FRAP value และ Metal chelating ability ของสารสกัด methanol ในคัพพะลูกเดี๋ย..... 57
7	องค์ประกอบทางเคมีของรำลูกเดี๋ย..... 60
8	ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม (Total phenolic content), สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Total flavonoid content), ฤทธิ์ต้านอนุมูล อิสระ DPPH, FRAP value และ Metal chelating ability ของสารสกัด methanol ในรำลูกเดี๋ย..... 61
9	องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและส่วนที่สกัดไม่ได้ ด้วยน้ำจากรำลูกเดี๋ย..... 64
10	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (MW), radius of gyration (Rg), polydispersity index(Pd), and Intrinsic viscosity [η] ของอะราบีโนไซแลนที่สกัด ไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดี๋ย..... 65
11	การทดสอบทางประสาทสัมผัส แบบ Quantitative Descriptive Analysis ในรำลูกเดี๋ย 72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	กระบวนการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชจากรำลูกเดี๋ย.....29
2	ลักษณะรูปร่างภายนอกของเมล็ดลูกเดี๋ยพันธุ์เปลือกขาว.....35
3	ภาพตัดขวางและภาพแนวยาวของเมล็ดลูกเดี๋ยพันธุ์ขาว ส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ.....36
4	ลักษณะโครงสร้างภายในของเมล็ดลูกเดี๋ยจากกล้อง SEM36
5	กำลังการพองตัวของแป้งลูกเดี๋ยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดี๋ยที่แยกคัพเพาะออก.....40
6	ค่าการละลายของแป้งลูกเดี๋ยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดี๋ยที่แยกคัพเพาะออก.....41
7	คุณสมบัติการเกิดเพสท์ของแป้งลูกเดี๋ยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดี๋ยที่แยกคัพเพาะออก.....43
8	การแยกคัพเพาะลูกเดี๋ยโดยใช้คน.....45
9	การทำ preconditioning ที่ 2 ชั่วโมง แยกคัพเพาะโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตรและร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน.....47
10	การทำ preconditioning ที่ 4 ชั่วโมง แยกคัพเพาะโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตรและร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน.....48
11	การทำ preconditioning ที่ 6 ชั่วโมง แยกคัพเพาะโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตรและร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน.....49
12	การทำ preconditioning ที่ 2 ชั่วโมง แยกคัพเพาะโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.4 มิลลิเมตรและร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน.....50
13	การทำ preconditioning ที่ 4 ชั่วโมง แยกคัพเพาะโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.4 มิลลิเมตรและร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน.....51
14	การทำ preconditioning ที่ 6 ชั่วโมง แยกคัพเพาะโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.4 มิลลิเมตรและร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน.....52
15	การทำ preconditioning ที่ 2 ชั่วโมง แยกคัพเพาะโดยใช้เครื่องขัดข้าว และร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน.....54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
16	การทำ preconditioning ที่ 4 ชั่วโมง แยกคัพภะโดยใช้เครื่องขัดข้าว และ ร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน..... 55
17	การทำ preconditioning ที่ 6 ชั่วโมง แยกคัพภะโดยใช้เครื่องขัดข้าว และ ร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน..... 55
18	Elution profile ของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ ของรำลูกเดือยขวิดจากเครื่องตรวจวัด 3 ชนิด66
19	พฤติกรรมการไหลของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ (a) และส่วนที่สกัดไม่ได้ ด้วยน้ำ..... 67
20	Storage moduli (G') และ Loss moduli (G'') ของส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วย น้ำ.....68
21	ค่าความเป็นกรด (acid value) ในรำลูกเดือยที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็น ระยะเวลา 150 วัน..... 69
22	ปริมาณเปอร์ออกไซด์ในรำลูกเดือยที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็น ระยะเวลา 150 วัน.....70
23	ค่ากรดโทโอบาร์บิทรูริก (TBA) ในรำลูกเดือยที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 150 วัน71
1ก	ลักษณะรูปร่างของเมล็ด (a) ภาพแนวยาว (b) และภาพตัดขวาง (c) ของ เมล็ดข้าวสาลี..... 88
2ก	ลักษณะรูปร่างของเมล็ด (a) ภาพแนวยาว (b) และภาพตัดขวาง (c) ของ เมล็ดข้าวบาร์เลย์..... 88
3ก	ลักษณะรูปร่างของเมล็ด (a), ภาพแนวยาว (b) และภาพตัดขวาง (c) ของ เมล็ดข้าวโพด..... 89
4ก	ลักษณะรูปร่างของเมล็ด (a) และภาพแนวยาว (b) ของเมล็ดข้าวฟ่าง.....89
1ค	เครื่องกะเทาะเปลือก (A) และส่วนของลูกกลิ้งที่ทำหน้าที่กะเทาะ เปลือก (B)..... 93
2ค	เครื่องขัดข้าว (A, B, C) และอุปกรณ์สำหรับเครื่องขัดข้าว (D)..... 94

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ลูกเดี๋ยหรือเดี๋ยเป็นพืชในตระกูลหญ้า (Gramineae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coix lachrymal-jobi* L. (Chang และคณะ, 2003; Chiang และคณะ, 2000; Li and Cork, 1999) ชื่อในภาษาอังกฤษที่รู้จักทั่วไปคือ coix, Job's tears หรือ adlay เป็นพืชที่มีการเพาะปลูกในประเทศแถบเอเชียหลายประเทศ ได้แก่ ประเทศฟิลิปปินส์ พม่า ศรีลังกา รวมทั้งประเทศไทย (Duke, 1983; Bender and Bender, 1999) ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยนิยมปลูกเดี๋ยข้าวเหนียวมากกว่าเดี๋ยข้าวเจ้าเพราะแป้งมีความเหนียวนุ่ม และมีกลิ่นหอมมากกว่า (จักรพรรดิ วันสีแซง, 2546) ลูกเดี๋ยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกมากในพื้นที่ จังหวัดเลย และพื้นที่ในจังหวัดใกล้เคียง ได้แก่ จังหวัดชัยภูมิ อุดรธานี เพชรบูรณ์ และหนองคาย มีการปลูกในช่วงเดือนเมษายน-สิงหาคม และเก็บเกี่ยวช่วงเดือนธันวาคม-มีนาคม ของปีถัดไป ผลผลิตที่ได้จะส่งออกต่างประเทศเป็นหลัก ประเทศที่สำคัญที่รับซื้อได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น และเกาหลี การจำหน่ายเพื่อบริโภคในประเทศยังมีน้อยเมื่อเทียบกับการส่งออก (กระทรวงพาณิชย์, 2546)

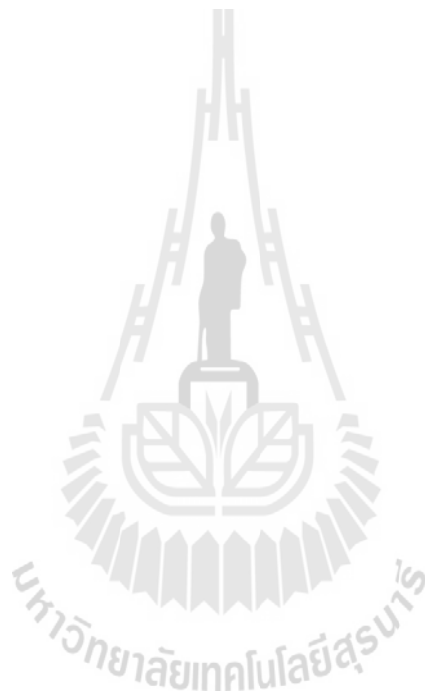
ลูกเดี๋ยเป็นธัญพืชที่ให้คุณค่าทางด้านโภชนาการสูงเมื่อเทียบกับธัญพืชอื่น ๆ อาทิ เช่น ปริมาณ โปรตีนประมาณ 12 – 15 %, ไขมันประมาณ 5 %, สตาร์ช 50 -60 %, ไฟเบอร์ 8-10 % และเส้นใย 2-3 % (ศิริพร, 2529) และยังมีอุดมไปด้วยแร่ธาตุและวิตามินต่างๆ ดังความเชื่อของชาวจีนและญี่ปุ่นที่กล่าวไว้ว่า ลูกเดี๋ยเป็นอาหารบำรุงสุขภาพ โดยในประเทศญี่ปุ่นมีการนำลูกเดี๋ยทำเป็นเครื่องดื่มประเภทข้าวหมักและให้ชื่อว่า Dzu ยาต้ม โจ๊ก ชา สำหรับขงคิมและใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับหมักทำเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และมีแนวโน้มที่จะนำลูกเดี๋ยมาผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (Health food) มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ลูกเดี๋ยยังสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เช่น มิโซ (miso) ซีอิ้ว (soy sauce) แครกเกอร์ ขนมปัง บิสกิต และอื่นอีกมากมาย (ศิริพร, 2529) นอกจากนี้ ในประเทศศรีลังกาได้นำเอาลูกเดี๋ยมาใช้เป็นอาหารหลักแทนข้าวอีกด้วย (ทัศนีย์และอรอนงค์, 2531) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าลูกเดี๋ยเป็นธัญพืชที่ได้รับความนิยมมากขึ้น และจากรายงานการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์การแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ พบว่า ลูกเดี๋ยมีสารสำคัญหลายชนิดซึ่งออกฤทธิ์ทางยาต่อร่างกาย ตัวอย่างเช่น สารโคอิกโซล (coixol) ที่มีฤทธิ์คล้ายอาการเกร็งของกล้ามเนื้อ ลดความดันโลหิต ลดระดับน้ำตาลในกระแสโลหิตและลดอุณหภูมิของร่างกาย

และสารโคอิกซิโนไลด์ (coixenolide) ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้องอก (antineoplastic หรือ antitumor) และป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง (จรัสพรรณ, 2544) จากรายงานการวิจัยของ Bao และคณะ (2005) พบว่า กลุ่มของสารประกอบไขมัน (natural lipid) ที่สามารถสกัดได้จากส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ด้วยตัวทำละลายอะซิโตนมีฤทธิ์ต้านการเกิดมะเร็งที่ดัดอ่อนซึ่งเข้าไปยับยั้งการทำงานในระดับยีน นอกจากนี้ยังมีสารประกอบประเภท polyphenol ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่เป็นสาเหตุของการเกิดริ้วรอย การเกิดออกซิเดชันที่อวัยวะต่างๆ ซึ่งสารนี้ช่วยป้องกันการเริ่มต้นของการเกิดเนื้องอกเนื่องจากกระบวนการออกซิเดชันได้ (Kuo และคณะ, 2002) นอกจากนี้คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระแล้ว ลูกเดือยยังมีคุณสมบัติเป็น 프리ไบโอติก (prebiotic) ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) และยังช่วยลดปริมาณของไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือด (Chiang และคณะ, 2000; Tsai และคณะ, 1998)

จากงานวิจัยทางด้านสุขภาพของลูกเดือยที่อ้างแล้วนั้น แสดงให้เห็นถึงความเป็นอาหารเพื่อสุขภาพของลูกเดือยอย่างเห็นได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาวิเคราะห์แยกส่วนองค์ประกอบทางสรีระวิทยาของลูกเดือย ที่แสดงให้เห็นองค์ประกอบและบทบาทสำคัญในเชิงสุขภาพของส่วนต่างๆ ของลูกเดือยอย่างชัดเจน งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาในลักษณะของทั้งเมล็ดไม่ได้แยกส่วน ซึ่งยังรวมส่วนของคัพภะที่มีไขมันและโปรตีนเป็นองค์ประกอบมาก ส่วนของคัพภะที่มีไขมันสูงนี้หากบดรวมทั้งเมล็ดเป็นแป้งที่มีไขมันเต็มจะก่อให้เกิดปัญหาในด้านอายุการเก็บรักษา ดังนั้นหากจะมีการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากลูกเดือยในอุตสาหกรรมอาหารให้กว้างขวางยิ่งขึ้น โดยแปรรูปเบื้องต้นเป็นแป้งลูกเดือยก็ควรมีการแยกคัพภะออกก่อนบดเป็นแป้งเพื่อให้มีการใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบและคุณสมบัติของแป้งลูกเดือยที่ผลิตจากลูกเดือยทั้งเมล็ดมาแล้วและพบปัญหาเหล่านี้ที่จะเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมต่อไป จึงเห็นว่าลักษณะของแป้งลูกเดือยที่เหมาะสมควรเป็นแป้งขาดไขมัน จึงจะสามารถพัฒนาเป็นอาหารชนิดต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้องค์ประกอบและคุณสมบัติต่าง ๆ ของคัพภะ รำ และแป้งลูกเดือยขาดไขมันยังไม่มีรายงาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาวิเคราะห์ส่วนต่างๆ เหล่านี้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการนำส่วนต่างๆ ของลูกเดือยเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในอาหารสุขภาพต่างๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1 เพื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งลูกเดี๋ย
- 2.2 เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสมในการแยกคัพภะลูกเดี๋ย
- 2.3 เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบ สมบัติทางเคมีและเชิงหน้าที่ของคัพภะลูกเดี๋ย
- 2.4 เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบ สมบัติทางเคมีและเชิงหน้าที่ของรำลูกเดี๋ย
- 2.5 เพื่อหาอายุการเก็บของรำลูกเดี๋ย



บทที่ 2

วรรณกรรมและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Reviewed literature)

1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลูกเดือย

1.1 ลูกเดือย (*Coix lachrymal-jobi* L.)

ลูกเดือยเป็นพืชในตระกูล Gramineae เหล่า Andropogoneae สกุล *Coix* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coix lachryma-jobi* L.var. mayeun. Stapf. และชื่อสามัญว่า Job's tears, coix, adlay, Chinese pearl barley และ hatomogi ซึ่งการเรียกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศ (Tseng, Yang, Chang, Lee และ Mau, 2005) เป็นพืชที่ให้ผลผลิตปีละครั้ง มีความสูงประมาณ 1-3 เมตร มีหลายสายพันธุ์ตามขนาดและโครงสร้างของเมล็ด เพาะปลูกในแถบเอเชียและแอฟริกา (D.A.Bender and A.E.Bender, 1999) รวมทั้งในแถบอเมริกาเหนือ (Encyclopedia Britannica, 1997) มีเปลือกแข็งรูปร่างกลมขนาด 0.5-0.8 มิลลิเมตร เปลือกหุ้มมีสีเทา และอาจมีสีงา น้ำตาลและดำ (Purseglove, 1972) ลูกเดือยมี 2 ชนิดด้วยกันคือ เมล็ดเปลือกอ่อนที่เพาะปลูกเพื่อบริโภคและเมล็ดเปลือกแข็งใช้ทำเครื่องประดับและลูกประคำ (Arora, 1977) ลูกเดือยที่นิยมปลูกกันทั่วไปในทางการค้าคือ ลูกเดือยพันธุ์ *C. lacryma-jobi* L var. ma-yuen สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามเมล็ด ลำต้น และชนิดของสตาเร็กซ์ ภายในเมล็ดคือ ลูกเดือยข้าวเหนียว (glutinous type) และลูกเดือยข้าวเจ้า (non-glutinous type) (Vacharotayan, Jan-orn, Cheaorn, Tiatarn and Kingkaew, 1982 อ้างถึงใน ศัพท์พจนานุกรมพืชสวน, 2530) เดือยข้าวเหนียวเป็นเดือยที่ตลาดในประเทศและต่างประเทศมีความต้องการมากกว่าเดือยข้าวเจ้า เนื่องจากแป้งมีความนุ่ม เหนียว และมีกลิ่นหอมมากกว่า เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกมากในพื้นที่ จ. เลย และพื้นที่ในจังหวัดใกล้เคียง ได้แก่ จ. ชัยภูมิ อุดรธานี เพชรบูรณ์ และหนองคาย มีการปลูกในช่วงเดือนเมษายน-สิงหาคม และเก็บเกี่ยวช่วงเดือนธันวาคม-มีนาคม ของปีถัดไป ผลผลิตที่ได้จะส่งออกต่างประเทศเป็นหลัก ประเทศที่สำคัญที่รับซื้อได้แก่ประเทศญี่ปุ่น และเกาหลี การจำหน่ายเพื่อบริโภคในประเทศยังมีน้อยเมื่อเทียบกับการส่งออก (กระทรวงพาณิชย์, 2546)

เมล็ดเดือยที่ผ่านการกะเทาะเปลือกและขัดสีมีชื่อสามัญที่รู้จักในประเทศฟิลิปปินส์ว่า “adlay” ส่วนในประเทศจีนเรียกว่า “ma yuen” เมล็ดที่ผ่านการขัดสีนี้นำมาบริโภคเป็นอาหารเช่นเดียวกับเมล็ดธัญชาติทั่วไป และสามารถนำมาแปรรูปเป็นแป้งได้ (Purseglove, 1972) องค์ประกอบใน 100 กรัม มีพลังงาน 380 แคลอรี น้ำ 11.2 กรัม โปรตีน 15.4 กรัม ไขมัน 6.2 กรัม คาร์โบไฮเดรต 65.5 กรัม ไฟเบอร์ 0.8 กรัม เถ้า 1.5 กรัม แคลเซียม 25 มิลลิกรัม โปแตสเซียม 435 มิลลิกรัม เหล็ก 5 มิลลิกรัม ไทอะมิน 0.28

มิลลิกรัม ไบโอฟลาเวิน 0.19 มิลลิกรัม และไนอะซิน 4.3 มิลลิกรัม (Duke, 1983) ศิริพร จันทนา (2529) รายงานว่า เต๋อซัวเหินยวประกอบด้วยความชื้น 10.83 กรัม โปรตีน 13.05 กรัม ไขมัน 5.45 กรัม คาร์โบไฮเดรต 68.60 กรัม และ เถ้า 1.3 กรัม ชนิดของโปรตีนที่พบมากที่สุดในลูกเต๋อซัวคือ โคอิซิน (coixin) ซึ่งเป็นโปรตีนโพรลามีนชนิดหนึ่ง มีกรดอะมิโนโปรลีนและลิซีนในปริมาณสูงแต่มีไลซีนในปริมาณต่ำ นอกจากนี้ยังมีโปรตีนอัลบูมินและกลบูลิน และอนุพันธ์โปรตีนอื่น ๆ อีก (Ottoboni และคณะ, 1990) Ukita and Tanimura (1961) พบว่าสาร coixenolide เป็นสารที่สามารถต้านการเจริญของเนื้องอกได้ มีการศึกษาพบว่าสารสกัดจากอะซิโตนที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรด (acidic fraction) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเกิดเนื้องอกเมื่อทดสอบในสิ่งมีชีวิต (vivo test) ส่วนที่เป็นกรดนี้ประกอบด้วยกรดไขมัน 4 ชนิด คือกรดพาลมิติก สเตอริก โอลิอิก และลิโนลิค

จากการรายงานการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์การแพทย์ พบว่า ลูกเต๋อซัวมีสารสำคัญหลายชนิดซึ่งออกฤทธิ์ทางยาต่อร่างกาย ตัวอย่างเช่น Ukita and Tanimura (1961) พบว่าสาร coixenolide เป็นสารที่สามารถต้านการเจริญของเนื้องอกได้ มีการศึกษาพบว่าสารสกัดจากอะซิโตนที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรด (acidic fraction) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเกิดเนื้องอกเมื่อทดสอบในสิ่งมีชีวิต (vivo test) ส่วนที่เป็นกรดนี้ประกอบด้วยกรดไขมัน 4 ชนิด คือกรดพาลมิติก สเตอริก โอลิอิก และลิโนลิค Nagoa และคณะ (1985) รายงานว่าสาร benzoxazinone ที่สกัดได้จากเมล็ดเต๋อซัวมีความสามารถในการต้านการไหม้ของเซลล์ Takahashi และคณะ (1986) พบว่าสารสกัด coixan A B และ C ในเมล็ดสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ Hsu และคณะ (2003) พบว่าสารสกัดจากเมทานอลสามารถลดสารต้าน OVA IgE (anti-OVA IgE) ซึ่งมีประโยชน์ต่อการรักษาโรคมะเร็งแพ้สารสกัดลูกเต๋อซัวโดยใช้เมทานอล นอกจากนี้จะมีประโยชน์ต่อการรักษาโรคมะเร็งแพ้แล้ว ยังมีคุณสมบัติด้านการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วของเซลล์มะเร็ง และด้านการเจริญของเนื้องอกในสัตว์ทดลองได้อีกด้วย (Chang และคณะ, 2003; Hung and Chang, 2003) ในประเทศจีนมีการใช้สารสกัดไขมัน (neutral lipid) โดยตั้งชื่อว่า “kanglaite” เป็นไขมันที่ได้จากส่วนของเอนโดสเปิร์มของเมล็ดเต๋อซัวนำมารักษาผู้ป่วยจำนวน 270,000 คน พบว่านอกจากมีผลในการต้านการเจริญของเซลล์มะเร็งและฆ่าเซลล์มะเร็งแล้ว ยังกระตุ้นการสร้างภูมิในการกำจัดเซลล์มะเร็ง ลดความเจ็บปวด และป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้ด้วย อย่างไรก็ตามกลไกหน้าที่การทำงานของ kanglaite ในการรักษายังไม่เป็นที่แน่ชัดนักนอกจากนี้สารสกัดจากเปลือกลูกเต๋อซัวยังมีคุณสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชันที่ดีอีกด้วย โดยมีฤทธิ์มากที่สุดรองลงมาคือ สารที่สกัดได้จากส่วนเทสด้า (testa) รำ (bran) และเมล็ดที่ขัดสีแล้ว ตามลำดับ

องค์ประกอบที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันที่สำคัญ 6 ชนิดคือ coniferyl alcohol syringic acid ferulic acid syringaresinol 4-ketopinoresinol และ new ligan ชื่อ mayuenolide ซึ่งจัดเป็นสารประกอบฟีนอลิก สารดังกล่าวยังมีระดับฤทธิ์ของสารต่างกันด้วย (Kuo และ คณะ, 2002)

ลูกเดือยเป็นธัญพืชที่สามารถนำมาบริโภคได้ทั้งในรูปอาหารและเป็นยาในการบำรุงสุขภาพเนื่องจากลูกเดือยเป็นธัญพืชที่มีคุณค่าทางด้านโภชนาการสูง จากความเชื่อของชาวจีนและญี่ปุ่นตั้งแต่สมัยโบราณกาลที่กล่าวไว้ว่า ลูกเดือยเป็นอาหารเพื่อบำรุงสุขภาพ สำหรับในประเทศญี่ปุ่นมีการนำลูกเดือยทำเป็นเครื่องดื่มประเภทข้าวหมักและให้ชื่อว่า dzu นำมาทำเป็นยาต้ม เป็นโถง ซาสำหรับขงคิมและใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อหมักสำหรับทำเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยพบว่าในประเทศญี่ปุ่นมีแนวโน้มของการนำลูกเดือยมาผลิตเป็นอาหารประเภทอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น เนื่องจากเป็นธัญพืชที่มีอัลบูมินและไขมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ยังมีการนำลูกเดือยมาผลิตเป็นมิโซชิอิ้ว แครกเกอร์ ขนมปัง บิสกิต และอื่นๆอีกมากมาย และในประเทศจีนก็มีการนำมาผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพเช่นเดียวกับประเทศญี่ปุ่น (ศิริพร จันทนา, 2529) นอกเหนือจากประเทศจีนและญี่ปุ่นแล้วในประเทศศรีลังกาก็มีการนำลูกเดือยมาใช้เป็นอาหารหลักแทนอาหารประเภทข้าว (ทัศนีย์ พรกิจประสานและอรอรนงค์ นัยวิกุล, 2531) จากความนิยมในการนำลูกเดือยมาใช้จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพบางประการในการศึกษาของศิริพร จันทนา (2529) ได้ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเดือยเพื่อนำมาผลิตเป็นขนมจีน พบว่า แป้งลูกเดือย (flour) ประกอบด้วยปริมาณ โปรตีน 13.05% ไขมัน 5.45% คาร์โบไฮเดรต 68.60% ไฟเบอร์ 0.36% และเถ้า 1.3% และการศึกษาของทัศนีย์ พรกิจประสาน (2530) ซึ่งทำการศึกษาร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของแป้งและสตาร์ชลูกเดือยพันธุ์ผสมที่มีขายในท้องตลาด พบว่าในแป้งลูกเดือยมีปริมาณ โปรตีน 14 -16% ไขมัน 5-6% เถ้า 1-2% เยื่อใย 0.2-0.3% คาร์โบไฮเดรต 77-78% และสตาร์ช 56-57% ส่วนสตาร์ชลูกเดือยมีปริมาณ โปรตีน 2.79% ไขมัน 0.78% เถ้า 0.29% อะไมโลส 10.85% และอะไมโลเพคติน 89.15% สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งและสตาร์ชลูกเดือย พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำและการละลายของแป้งมีค่าสูงกว่าสตาร์ชลูกเดือย แต่สตาร์ชมีค่ากำลังการพองตัวช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชันและความหนืดสูงกว่าในแป้งลูกเดือย และการศึกษาของ Li และ Corke (1999) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพระหว่างสตาร์ชลูกเดือยพันธุ์ข้าวเหนียวและพันธุ์ข้าวเจ้า 8 พันธุ์ พบว่า ปริมาณอะไมโลสของพันธุ์ข้าวเจ้าอยู่

ในช่วง 15.9-25.8% และพันธู์ข้าวเหนียวอยู่ในช่วง 0.7-1.1%กำลังการพองตัว (swelling power) และการละลาย (solubility) ของพันธู์ข้าวเจ้ามีค่าต่ำกว่าพันธู์ข้าวเหนียว คุณสมบัติทางความร้อน (thermal properties) ซึ่งวัดค่าต่าง ๆ ด้วย Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่า ค่าต่าง ๆ คือ peak temperature (T_p) onset temperature (T_o) completion temperature (T_c) gelatinization range (T_r) และค่า Enthalpy(ΔH)ใน พันธู์ข้าวเจ้ามีค่าใกล้เคียงกับพันธู์ข้าวเหนียว ส่วนคุณสมบัติการเกิดเพสท์ (pasting properties) นั้นค่าความหนืดสูงสุด(peak viscosity) ของพันธู์ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีค่าใกล้เคียงกันส่วน hot paste viscosity,cold paste viscosity และค่าเซตแบค (set back) ของพันธู์ข้าวเจ้ามีค่าสูงกว่าพันธู์ข้าวเหนียว แต่มีค่าเบรคดาวน์(breakdown)ต่ำกว่าพันธู์ข้าวเหนียว และคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของเจล (gel textural properties) ซึ่งจะทำการวัดค่า hardness และค่า adhesiveness พบว่า ในพันธู์ข้าวเจ้ามีค่า hardness สูงกว่า แต่มีค่า adhesiveness ต่ำกว่าพันธู์ข้าวเหนียว

1.2 คัพพะ (germ)

เมล็ดธัญพืชเป็นอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์ที่สำคัญ โดยองค์ประกอบหลักของเมล็ดธัญพืชจัดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ นอกจากเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตแล้วยังเป็นแหล่งของสารอาหารประเภทโปรตีน วิตามินและแร่ธาตุอีกด้วย ซึ่งโครงสร้างของเมล็ดธัญพืชประกอบด้วย เปลือกหุ้มผล(pericarp) เปลือกหุ้มเมล็ด (testa) ชั้นเยื่อโปร่งใส (hyaline layer) ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เนื้อเมล็ด (endosperm) และคัพพะ (germ) โดยในระหว่างการขัดสีเมล็ดจะทำให้สูญเสียส่วนของชั้นแอลิวโรน และคัพพะไปซึ่งในส่วนนี้เป็นส่วนที่อุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ แต่ธัญพืชบางชนิดเมื่อผ่านการขัดสีแล้วไม่สูญเสียส่วนของคัพพะไป อาทิเช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ลูกเดือย เนื่องจากส่วนของคัพพะในธัญพืชเหล่านี้อยู่ภายใน โครงสร้างโดยมีส่วนของเนื้อเมล็ดห่อหุ้มอยู่ และเมื่อรับประทานในรูปเต็มเมล็ดจะทำให้ได้รับสารอาหารที่อยู่ในส่วนนี้ด้วย ซึ่งส่วนของคัพพะเป็นส่วนที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นในปริมาณที่สูงเพราะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับการงอกของเมล็ด ตัวอย่างเช่น คัพพะของข้าวสาลี ประกอบด้วย โปรตีน 32.9% ไขมัน 3.8% เกล็ด 4.9% และอุดมด้วยวิตามินต่าง ๆรวมทั้งเป็นแหล่งของวิตามินอีที่ดีที่สุดเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันต่าง ๆ ในคัพพะข้าวสาลี พบว่า มีปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว โดยกรดไขมันที่พบมากที่สุด คือ กรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ดังนั้น ปัจจุบันความนิยมในการนำส่วนของคัพพะมาใช้ประโยชน์จึงมีมากขึ้นโดยนำมาใช้ในรูปของอาหารเสริม ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก

หลากหลายงานวิจัยที่ได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของคัพพะ ตัวอย่างเช่น รายงานการวิจัยของ Zaltnai และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษารสชาติของคัพพะข้าวสาลีจากการหมักด้วย *Saccharomyces cerevisiae* พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักสามารถช่วยยับยั้งสารที่ทำให้เกิดมะเร็งในลำไส้ของสัตว์ทดลองได้ ซึ่งความสามารถในการยับยั้งสารที่ทำให้เกิดมะเร็งได้นั้นเป็นเพราะในส่วนของคัพพะของข้าวสาลีเป็นแหล่งของวิตามินอีที่ดีที่สุด Beeson และคณะ (1947) ได้ทำการศึกษารสชาติของคัพพะจากข้าวสาลีและข้าวโพดเป็นส่วนผสมเพิ่มเติมลงไปให้อาหารเลี้ยงสัตว์ พบว่า การนำส่วนของคัพพะจากข้าวสาลีเป็นส่วนผสมเพิ่มเติมรวมกับอาหารหลักที่เป็นถั่วเป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหนูที่นำมาใช้ในการศึกษานี้มากกว่าการนำส่วนของคัพพะจากข้าวโพดมาเป็นส่วนผสม Boros และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคัพพะของข้าวสาลีที่ผ่านกระบวนการหมัก มีชื่อว่า Avemar พบว่า สาร Avemar นี้สามารถป้องกันสารที่ทำให้เกิดมะเร็งได้ซึ่งได้ทำการศึกษาทั้งในหลอดทดลองและกับมนุษย์ที่เป็นมะเร็ง จากประโยชน์ที่ได้กล่าวมา ขันตัน Ge และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาทดลองนำส่วนของคัพพะข้าวสาลีที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วเป็นส่วนประกอบในเส้นบะหมี่ พบว่า ช่วยเพิ่มปริมาณกรดอะมิโนถึงแม้ว่าจะสกัดส่วนของไขมันออกไปแล้วแต่ยังคงเหลือส่วนของโปรตีนมากกว่า 30% ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลากหลายชนิดด้วย ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเป็นแหล่งอาหารเสริมทางด้านโปรตีนอีกแหล่งหนึ่งนอกจากจะได้รับจากเนื้อสัตว์เท่านั้น และส่วนของคัพพะจากข้าวสาลีที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วยังสามารถเพิ่มเติมลงไปในแป้งจากธัญพืชอื่น ๆ ได้อีกหลายชนิด อาทิเช่น แป้งข้าวเจ้า แป้ง buckwheat เป็นต้น นอกจากการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเส้นบะหมี่แล้วยังมีการนำส่วนของไขมันจากคัพพะของข้าวสาลีมาเติมลงในผลิตภัณฑ์นมต่างๆ พบว่า การเติมไขมันจากคัพพะของข้าวสาลีในปริมาณ 0.2 % ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันในน้ำมัน, ครีมแช่แข็ง และ นมผง นอกจากการบรรจุด้วยแก๊สไนโตรเจน ซึ่งการทำงานร่วมกันระหว่างการเติมไขมันจากคัพพะของข้าวสาลีและการบรรจุด้วยแก๊สไนโตรเจนช่วยยืดอายุการเก็บได้มากขึ้น (Tracy และคณะ, 1943) จากการศึกษาทั้งหมดนี้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของการนำส่วนของคัพพะมาใช้ประโยชน์เนื่องจากเป็นแหล่งอาหาร โปรตีน, กรดไขมันที่จำเป็น รวมถึงเป็นแหล่งของวิตามินด้วย

1.3 รำ (bran)

รำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาระหว่างกระบวนการสี รำเป็นแหล่งที่มีใยอาหารสูง (dietary fiber) และสามารถเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มปริมาณของใยอาหาร ในผลิตภัณฑ์

อาหาร breakfast cereal หรือพวกขนมอบอื่นๆ เป็นต้น และมีรายงานว่าในรำยังเป็นแหล่งของกรดเฟอรูลิก(Yadav และคณะ, 2007; Kim และคณะ, 2006) และเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีอีกด้วย (Andreasen, Kroon, Williamson, and Garcia-Conesa, 2001; Emmons, Peterson, and Paul, 1999) รำเป็นแหล่งที่สำคัญของอะราบีโนไซแลน (Cui, Wood, Weisz, and Beer, 1999) ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานมะเร็งได้(Ghoneum and Gollapudi, 2003) นอกจากนี้รำข้าวสาลีสามารถไปเพิ่มปริมาณ SCFA ในลำไส้ใหญ่ (Treem, et al., 1995)

รำลูกเดี๋ยมีใยอาหาร 20.2 % โปรตีน 16% ไขมัน 21.5% และ เถ้า 6.8% (สุภาพร อภีรัตนานุสรณ์, 2550) จากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของ Lee และคณะ (2008) พบว่า รำลูกเดี๋ยมีสาร coixspirolactam A, coixspirolactam B, coixspirolactam C, coixlactam และ methylindole-3-acetate ซึ่งเป็นสารมีฤทธิ์ช่วยยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็งในปอดและลำไส้ใหญ่ Chen และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาผลของการต้านการอักเสบของสารฟลาโวนอยด์ในรำลูกเดี๋ยพบว่า สารฟลาโวนอยด์ในรำลูกเดี๋ย 14 ชนิด ได้แก่ chromones 2 ชนิด, dihydrochalcone 1 ชนิด, chalcone 1 ชนิด, flavanones 4 ชนิด, flavones 5 ชนิดและ isoflavone 1 ชนิดมีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ

2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง

แป้ง (flour) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเมล็ด หัว หรือส่วนอื่นที่ใช้บริโภคได้ของพืช โดยนำวัตถุดิบมาสี โม่ หรือบด หรือตี แล้วร่อนเป็นผงละเอียด ดังนั้นส่วนประกอบของฟลาวัวร์จึงมีสารอาหารต่างๆ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิมทั้งหมด และมีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบหลัก

สตาร์ชจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากที่สุด ในแอนโดสเปิร์มของธัญพืชประมาณร้อยละ 90 โดยโมเลกุลของสตาร์ชรวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ชซึ่งมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของธัญพืช เช่น ข้าว มีขนาดของเม็ดสตาร์ชประมาณ 3-5 ไมครอนและมีรูปร่างลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยมข้าวโพดมีขนาดของเม็ดสตาร์ชประมาณ 5-25 ไมครอนและมีรูปร่างลักษณะกลมแบน มีหลายเหลี่ยม หรือในมันฝรั่ง จะมีขนาดของเม็ดสตาร์ชประมาณ 15-121 ไมครอนและมีรูปร่างลักษณะกลม รูปไข่มีลักษณะคล้ายเปลือกหอย เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) โครงสร้างทางเคมีของสตาร์ชประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวขนาดใหญ่ซึ่ง

โดยส่วนใหญ่โครงสร้างของสตาร์ชประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิดเป็นหลัก คือ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน

สตาร์ชสามารถแบ่งตามอัตราการย่อยของสตาร์ช (rate of digestion) อัตราการปลดปล่อยกลูโคส (rate of glucose release) และการดูดซึมภายในทางเดินอาหาร ออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ แป้งย่อยเร็ว (rapidly digest starch, RDS) แป้งย่อยช้า (slowly digested starch, SDS) และแป้งทนย่อยต่อเอนไซม์ (resistant starch, RS) (Englyst, Kingman และ Cummings, 1992; Zhang, Ao, และ Hamaker, 2006; Zhang, Ao, และ Hamaker, 2008) โดยปริมาณของ RDS และ SDS ในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถนำมาใช้ในการทำนายค่า glycemic index (GI) ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีองค์ประกอบหลักเป็นแป้งหรือสตาร์ชที่ได้จากธัญพืช ซึ่งค่า GI เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับการเพิ่มขึ้นในเลือดหลังรับประทานอาหารเทียบกับสารมาตรฐานกลูโคส (Zhang, Ao, และ Hamaker, 2006)

RDS คือ แป้งที่มีอัตราการย่อยของสตาร์ชและการปลดปล่อยกลูโคสมีอัตราการย่อยและปลดปล่อยกลูโคสที่เร็ว ทำให้ระดับกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับอาหารประเภทนี้จะอยู่ในกลุ่มอาหารที่ผ่านการปรุงสุกใหม่

SDS คือ แป้งที่มีอัตราการย่อยของสตาร์ชเป็นไปอย่างช้า ๆ แต่เป็นการย่อยที่สมบูรณ์ ทำให้อัตราการปลดปล่อยกลูโคสสู่กระแสเลือดอย่างช้า ๆ ซึ่งแป้งที่ย่อยได้ช้าในกลุ่มนี้มีค่า GI ต่ำ สำหรับสตาร์ชหรือแป้งจากธัญพืชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A มีการรายงานพบว่า มีปริมาณของ SDS สูง อย่างเช่น ในสตาร์ชข้าวโพดพันธุ์ปกติ (normal maize starch) มีปริมาณ SDS มากกว่า 50% เป็นต้น ในอาหารที่มีส่วนประกอบของแป้งที่ย่อยได้ช้าเป็นหลักนั้นให้ประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายหลากหลายและเหมาะกับผู้ป่วยที่มีโรคประจำตัวหรือโรคเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน และโรคหัวใจ ซึ่งเกี่ยวข้องกับภาวะสมดุลของน้ำตาลกลูโคส (Zhang, Ao, และ Hamaker, 2006)

จากงานการวิจัยของ Sandhu และ Lim (2008) ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติการย่อยของสตาร์ช (in vitro digestibility) จากเนื้อเมล็ดของมะม่วง (mango kernel starch) พบว่า สตาร์ชจากมะม่วงมีโครงสร้างผลึกแบบ A และมีปริมาณ SDS ประมาณ 20% แต่มีปริมาณ RS สูงถึง 80% ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณ SDS (45%) และ RS (27%) ในสตาร์ชข้าวโพดที่มีโครงสร้างผลึกในแบบเดียวกัน และในสตาร์ชมะม่วงมีค่า GI ประมาณ 50 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในสตาร์ชข้าวโพด (GI = 75) ซึ่งให้เห็นว่าสตาร์ชจากมะม่วงมีความสามารถในการต้านการย่อยด้วยเอนไซม์สูง ทำให้เห็นว่าปริมาณ SDS ไม่ได้มีผลมาจากโครงสร้างผลึกเพียงอย่างเดียว นอกจากโครงสร้างผลึกแบบ A จะมี

ปริมาณ SDS สูงแล้วในโครงสร้างผลึกแบบ C ที่เป็นการผสมผสานระหว่างโครงสร้างผลึกแบบ A และ B ก็มีปริมาณ SDS สูงเช่นกัน โดยจากการศึกษาคุณสมบัติด้านการย่อยของสตาร์ชในพืชตระกูลถั่ว พบว่า แป้งที่ได้จากพืชตระกูลถั่วมีปริมาณ SDS ต่ำ แต่มีปริมาณ RS สูงเมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ได้จากพืชตระกูลถั่วชนิดเดียวกัน โดยสตาร์ชพืชตระกูลถั่วมีปริมาณ SDS สูงแต่ปริมาณ RS ต่ำ (Chung, Liu, Pauls, Fan และ Yada, 2008) นอกจากนี้ลักษณะพื้นฐานและโครงสร้างของธัญพืชแล้วกระบวนการคัดแปรต่าง ๆ สามารถเพิ่มปริมาณ SDS เพิ่มขึ้นได้เช่นกันเพื่อนำแป้งหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้มาประยุกต์ใช้สำหรับผู้ที่ป่วยเป็นโรคประจำตัวข้างต้นได้ อย่างเช่น งานวิจัยของ Shin, Kim, Ha, Lee และ Moon (2005) ที่ทำการศึกษาการคัดแปรด้วยวิธีการคัดแปรทางกายภาพด้วยความร้อนขึ้นในสตาร์ชมันเทศ พบว่า การให้ความร้อนที่ 50% และความร้อนที่ 55 องศาเซลเซียสทำให้ปริมาณ SDS สูงกว่าการให้ความร้อนที่ความชื้นและอุณหภูมิอื่น ๆ

3 Non-starch polysaccharide

สาร โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starch polysaccharide : NSP) เป็นสารที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเส้นใยอาหาร NSP จะแบ่งออกเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำทั้งสองประเภทของ NSP มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น ใยอาหารที่ละลายน้ำช่วยให้ภาวะกระเพาะว่างช้าลง ช่วยเพิ่มเวลาในการขนส่งในลำไส้ และลดการดูดซึมสารอาหารอื่น (เช่น กลูโคส) ส่วนใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะทำให้เวลาการขนส่งในลำไส้ลดลงและช่วยทำให้มวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เป็นต้น (Russell and Bass, 1985)

เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำโดยทั่วไปจะถูกหมักโดยหมักจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่และส่งผลทำให้เพิ่มการผลิตของกรดไขมันสายสั้น (SCFA) ซึ่งช่วยในการละลายของแร่ธาตุ (Lopez et al., 1999) นอกจากนี้ยังได้รับการพิสูจน์ว่าใยอาหารที่ละลายน้ำไม่มีผลข้างเคียงต่อการดูดซึมแร่ธาตุ (Debon et al, 2001) สามารถลดคอเลสเตอรอลและควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพที่เฉพาะเจาะจงสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรค hypercholesterolemic (Spiller, 1993; Kahlon, 2003; Lopez et al., 1999; Al-Othman, Al-Shagrawi, Hewedy, and Hamdi, 1998; Sudheesh, and Vijayalakshmi, 1999; Wang, Onnagawa, Yoshie, and Suzuki, 2001) ในขณะที่ความสามารถนี้จะไม่แสดงในเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ (Carter, Hardman, Heitman, and Cameron, 1998; Anderson and Tietjen-Clark, 1986) ที่ผ่านมาก็ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพของ NSP ที่ละลายน้ำได้ใน

ธัญพืช เช่น arabinoxylans อะราบิโนไซแลนในรำข้าวโพด (Lopez et al., 1999), β -glucans ในข้าวโอ๊ต (Kalra and Jood, 2000) และข้าวบาเลย์ (Delaney et al., 2003)

β -glucans และอะราบิโนไซแลน เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเอนโดสเปิร์ม ซึ่งสามารถแบ่งชนิดตามการละลายได้เป็น สกัดได้ด้วยน้ำ (water-extractable) และสกัดไม่ได้ด้วยน้ำ (water-unextractable) อะราบิโนไซแลน เป็น NSP หลักที่ละลายน้ำได้ในข้าวสาลีและข้าวไรย์ ส่วน β -glucans จะพบในข้าวโอ๊ตและข้าวบาเลย์ (Cui, 2001) อะราบิโนไซแลนถูกสร้างขึ้นจากน้ำตาลเพนโทแซน (pentosans) ส่วนใหญ่เกิดจากอะราบิโนสและไซโลส ดังนั้นจึงมักจะเรียกว่าอะราบิโนไซแลน (arabinoxylans) (Aman and Westerlund, 1996) แป้งสาลีประกอบด้วยทั้งอะราบิโนไซแลนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ปริมาณ 25% และ 75% ตามลำดับ (Gruppen, Marseille, Voragen, Hamer, and Pilnik, 1989) ปริมาณของอะราบิโนไซแลนจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และการเลือกวิธีการสกัด ตัวอย่างเช่น เมื่อนำแป้งสาลีไปสกัดด้วยน้ำเย็น ผลผลิตรวมของ อะราบิโนไซแลนที่ละลายน้ำได้ในข้าวสาลีเป็น 1.0-1.5% (Hoseney, 1986) หลังจากที่ทำเป็นโคและล้างด้วย 0.1 M โซเดียมคลอไรด์ พบว่าระดับของอะราบิโนไซแลนที่ละลายน้ำ เป็น 0.5% ที่มีปริมาณโปรตีนต่ำที่ 0.6% (Hoffmann, Roza, Maat, Kamerling, and Vliegenter, 1991)

จากการศึกษาของ Dervilly - Pinel และคณะ (2001) ได้ศึกษาการสกัด pearled flours ของข้าวสาลี, ข้าวบาร์เลย์และ triticale ด้วยน้ำอุ่น พบว่า ปริมาณอะราบิโนไซแลนอยู่ในช่วง 0.2-0.7% ในขณะที่ในข้าวไรย์มีปริมาณ 2.1 % และมีรายงานว่าอะราบิโนไซแลนมีผลต่อประสิทธิภาพของโคของแป้งสาลี (Wang, 2003) จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า อะราบิโนไซแลนมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบ ตัวอย่างเช่น การกำจัดเพนโทแซนที่ละลายน้ำได้จากแป้งสาลีจะส่งผลให้ปริมาณของก้อนขนมปังลดลง ในขณะที่เติมนอกเหนือจากการละลายน้ำ 2% pentosans endosperm ที่ละลายน้ำได้ จะส่งผลทำให้ปริมาณของก้อนขนมปังเพิ่มขึ้น 30-45% ซึ่งช่วยปรับปรุงให้เนื้อสัมผัสของขนมปังมีความสม่ำเสมอ (Hoseney, 1984)

โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) จากธัญพืชที่มีพันธะหรือไม่มีพันธะโควาเลนต์ร่วมกับเซลลูโลสและลิกนินในผนังเซลล์พืช NSP สามารถแยกได้โดยน้ำ (Bengtsson and Aman, 1990; Izydorzyk, Macri, and MacGregor, 1998a) และโดยวิธีการสกัดด้วยอัลคาไล (Cui, et al, 1999; Nilsson, et al, 1996) สารสกัดที่ได้แบ่งออกเป็นสองประเภทที่แตกต่างกันคือ สารที่สกัดได้ด้วยน้ำ (water extractable) และสารที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ (water-unextractable) ตามลำดับ สารสกัดของโพลีแซคคาไรด์เหล่านี้ ขึ้นอยู่กับการรวม

conformational ที่พันธะโควาเลนต์ของเอสเทอร์ ระหว่างกรดเพอริลิก และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ลิกนิน (Scalbert, Monties, Lallemand, Guittet, and Rolando, 1985) Izydorczyk และคณะ (1998) ได้ศึกษาการสกัด NSP ที่ละลายในน้ำจากข้าวบาร์เลย์ โดยศึกษาการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า yield ของสารสกัดที่ 40 องศาเซลเซียส และ 65 องศาเซลเซียส คือ 1.4 และ 1.3% (w/w) ตามลำดับ ปริมาณของอะราบิโนไซแลนที่สกัดที่ 40 องศาเซลเซียส คือ 16% ซึ่งสูงกว่าการสกัดที่ 65 องศาเซลเซียส คือ 6% สารสกัดที่ 40 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย กลูโคส 82.5% ไซโลส 8.9% และอะราบิโนส 7.0% ในขณะที่สารสกัดที่ 65 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย กลูโคส 93.3% ไซโลส 3.3% และอะราบิโนส 2.5% Westerlund และคณะ (1993) ได้ศึกษาขั้นตอนเพื่อให้ได้ β -glucans และอะราบิโนไซแลนจากข้าวโอ๊ตที่ผ่านการสี พบว่า ระดับของกาแลคโตสและกลูโคสมีเพียงเล็กน้อยในส่วนของวัตถุดิบที่สกัดได้ด้วยน้ำ และเมื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบของอะราบิโนไซแลน พบว่ามีอะราบิโนส 27.4% ไซโลส 44.2% เถ้า 19.8% และโปรตีน 4.8%

น้ำหนักโมเลกุลของอะราบิโนไซแลนที่ละลายน้ำจากข้าวสาลีคำนวณได้จากสมการของ Mark - Houwink อยู่ในช่วง 134,700 ไป 204,600 (Rattan, Izydorczyk, and Billaderis, 1994) ความหนืดอยู่ในช่วง 3.60-5.48 dl/g ซึ่งมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างห่วงโซ่ของแมคโครโมเลกุลเหล่านี้ อะราบิโนไซแลนทั้งหมดจะแสดงการกระจายตัวโมเลกุลค่อนข้างกว้าง โดยดูจากเจลฟิวเทรชันโปรไฟล์ (gel filtration profiles) Dervilly และคณะ (2000) รายงานค่าของโมเลกุล คือ 300,000 และ polydispersity index คือ 1.6 สำหรับอะราบิโนไซแลนที่ละลายน้ำของข้าวสาลี โดยทำการวิเคราะห์ด้วย high performance size exclusion chromatography (SEC) ค่าความหนืด (intrinsic viscosity) คล้ายกับที่พบ โดย Rattan และคณะ (1994) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของอะราบิโนไซแลนที่ละลายได้ในแป้งข้าวไรย์มีมาก ที่พบในแป้งสาลี 2-3 เท่า (Meuser and Suckown, 1986) Girhammar และ Nair (1992) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของอะราบิโนไซแลนในข้าวไรย์ โดยใช้ utilizing gel permeation chromatography (GPC) มีประมาณ 519,000 ถึง 770,000 เมื่อเทียบกับในข้าวสาลี คืออยู่ในช่วง 219,000 ถึง 255,000 และยังมีรายงานว่าเพนโทแซนที่ละลายน้ำในข้าวไรย์ มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงกว่าในข้าวสาลี (Vinkx et al, 1991)

4 ข้อมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

ในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ทุกชนิดมีกระบวนการควบคุมอนุมูลอิสระ (antioxidant defense system) เพื่อรักษาสมดุลของอนุมูลอิสระภายในร่างกายเรียกสารที่ทำหน้าที่ในกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระว่าสารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมสมดุลของอนุมูลอิสระในสภาวะที่มีปริมาณอนุมูลอิสระมากกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้งอนุมูลดังกล่าวได้ทำให้เกิดสภาวะ oxidative stress ส่งผลให้อนุมูลอิสระไปทำลายเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆของร่างกายส่งผลให้เกิดพยาธิสภาพได้ (Ames และคณะ, 1993) การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกอาจจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการควบคุมและการป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นแต่สารต้านอนุมูลอิสระที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมีจะมีข้อจำกัดในการใช้งานและความปลอดภัยในการบริโภคทำให้มีการศึกษาสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระจากพืชและสมุนไพรไทยซึ่งสามารถนำประยุกต์ใช้ในทางเภสัชวิทยาการแพทย์ผลิตภัณฑ์เสริมความงามหรือเครื่องสำอางและอุตสาหกรรมอาหารเพื่อลดการนำเข้าสารสังเคราะห์จากต่างประเทศอีกทั้งเป็นการส่งเสริมและเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรธรรมชาติของไทยที่มีความหลากหลายทางชีวภาพให้ใช้อย่างถูกวิธีและมีความปลอดภัย

4.1 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (free radicals) หมายถึง สาร หรือ โมเลกุล ที่มีอิเล็กตรอนที่ขาดคู่อยู่ในวงรอบของอะตอม ซึ่งทำให้โมเลกุลไม่เสถียรเนื่องจากขาดอิเล็กตรอนจึงจำเป็นต้องหาอิเล็กตรอนเพื่อมาทำให้เกิดความเสถียร ดังนั้นจึงไปแย่งอิเล็กตรอนจากสารอื่นเพื่อมาทดแทน ซึ่งสารอื่น ๆ ที่ถูกแย่งอิเล็กตรอนไปก็กลายเป็นสารที่สร้างปัญหาต่อเนื่องจากจะต้องไปแย่งเอาอิเล็กตรอนอื่น ๆ มาทดแทนเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้นต่อเนื่อง นอกจากนี้อนุมูลอิสระที่มีอายุสั้นมากนั้นยังไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อมีการบริโภคอาหารประเภทเนื้อสัตว์และในขณะที่ร่างกายเกิดการเผาผลาญอาหารประเภทนี้จากกลไกของระบบการย่อยของร่างกายก็จะมีของเสียเกิดขึ้นที่เรียกว่า “อนุมูลอิสระ” เป็นจำนวนมากในร่างกายและเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ภายในร่างกาย นอกจากนั้นโดยปกติแล้ว มักจะมีการกล่าวถึงเฉพาะอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย แต่ยังมีสารกระตุ้นอีกตัวหนึ่งที่สำคัญที่เรียกว่า reactive oxygen species (ROS) ซึ่งหมายถึงโมเลกุลที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยาซึ่งสารตัวนี้อาจเป็นอนุมูลอิสระหรือไม่ใช่อนุมูลอิสระ (nonradicals) ก็ได้ ตัวอย่างของอนุมูลอิสระและ ROS ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide anion radical) อนุมูลไฮดรอก

ซิด (hydroxyl radical) อนุมูลเพอร์ออกไซด์ (peroxide radical) อนุมูลเพอร์ออกซิล (peroxyl radical) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) โอโซน (ozone) ออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (singlet oxygen) อนุมูลไฮโดรเจน (hydrogen radical) และอนุมูลเมทิล (methyl radical) เป็นต้น (อนันต์ สกฤตภูมิ, 2551) การเกิดขึ้นของอนุมูลอิสระทั้งจากภายในและภายนอกร่างกายส่งผลก่อให้เกิดความเสียหายและอันตรายต่อร่างกาย ซึ่งนำไปสู่ภาวะการเกิดพยาธิสภาพของโรคบางโรคได้หรือทำให้เซลล์ผิดปกติดังที่กล่าวข้างต้น โดยโรคต่างๆ ที่เกิดจากการที่ร่างกายได้รับอนุมูลอิสระสะสมในปริมาณที่สูง อย่างเช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ โรคข้ออักเสบ โรคอัลไซเมอร์ (alzheimer) และโรคพาร์กินสัน (parkinson) เป็นต้น (นวลศรี รักอริยธรรม และอัญชญา เจริญวิเศษ, 2545) ภาวะเหล่านี้สามารถควบคุมและแก้ไขได้โดยสารตัวหนึ่ง ที่เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ หรือ สารแอนติออกซิเดนท์ ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดกระบวนการออกซิเดชันที่เป็นสาเหตุให้เกิดอนุมูลอิสระ

4.2 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant หรือ antiradical) เป็นสารในกลุ่มเอนไซม์หรือสารอื่นที่มีฤทธิ์สามารถชะลอหรือป้องกันการปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเริ่มต้นหรือซับสเตรต (substrate) สารเริ่มต้นหรือซับสเตรตนี้คือ สารที่สามารถทำปฏิกิริยาในเซลล์ ซึ่งรวมถึงสารเกือบทุกชนิดในร่างกายเช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ดีเอ็นเอ แต่ถ้าในบางสภาวะที่มีปริมาณอนุมูลอิสระมากจนระบบสารต้านอนุมูลอิสระทำงานไม่ทันจะเกิดสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงมาก (oxidative stress) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเซลล์ได้ เช่น ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเกิดการทำลายโมเลกุลที่มีพันธะซัลไฮดริล (S-H) และเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นต้น โดยจะก่อให้เกิดผลเสียต่อเซลล์และการทำลายเซลล์ทำให้เกิดความแก่และรุนแรงไปถึงการเกิดเป็นโรคเช่น เส้นเลือดตีบ โรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน และโรคมะเร็ง เป็นต้น (อนันต์ สกฤตภูมิ, 2551) โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิดเช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) สารประกอบไนโตรเจน (nitrogen compounds) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) (Velioğlu et al., 1998) บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระคือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ของมนุษย์ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบันองค์กรที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหารและยาได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติเช่นสารหว่านทะเลแบคทีเรียซีเอร์ราและพืชชั้นสูง (Chattopadhyay et

al., 2010) อย่างไรก็ตามในภาวะปกติร่างกายของคนเราจะมีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่แล้วซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนแรกเกิดจากร่างกายสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุลและส่วนที่สองคือกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินเอซีอีหรือเบต้าแคโรทีน (β -carotinoid) รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอลซึ่งเป็นพฤษเคมีที่สามารถพบได้ในพืชผักและผลไม้เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดียิ่งขึ้น (Shapoval and Gromovaia, 2003)

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศงุ่นและสมุนไพรได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างกว้างขวางเนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) สารประกอบฟีนอลิกสังเคราะห์ 5 ชนิดได้แก่ propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylated hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) tertiary butylhydroquinone เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่นสีและรสชาติที่เปลี่ยนไปสารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติแต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค (Yang et al., 2000; Pokorny et al., 2001) และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants) สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้พบได้ทั้งในจุลชีพสัตว์และพืชซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามินเช่นวิตามินซีวิตามินอีเบต้าแคโรทีนและสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่นแซนโทน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไปหมู่ฟังก์ชัน (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นหรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้โดยการให้อนุมูล H⁺ แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้นนอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล OH[•] ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชันคือ Fe²⁺ และ Cu²⁺ เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) (Sanchez-Moreno et al., 2000) สารประกอบกลุ่มโ

ลีฟินอลซึ่งพบในพืชพรรณธรรมชาติสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) และในสิ่งมีชีวิต (*in vivo*)

สารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิกสารกลุ่มนี้มีหลากหลายชนิดตัวอย่างเช่น tocopherol, tocotrienol, γ -oryzanol, oryzanols (Lai et al., 2007), caffeic acid, syring acid, rutin, (-)-epicatechin, (+)-catechin, gallic acid, vanilic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid และ quercetin (Que et al., 2007) รวมทั้งสารจากพวกฟลาโวนอยด์ (Vichitphan et al., 2007) โดยทั่วไปการสกัดสารประกอบฟีนอลิกมักใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งมีความแตกต่างกันตามแต่ลักษณะและองค์ประกอบของสารตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้สำหรับสกัดสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ น้ำเมทานอลเอทานอล (Alluri et al., 2009) และตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ เช่น เฮกเซน (C_6H_{14}), อะซีโตน (C_3H_6O), คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$), ปิโตรเลียมอีเทอร์หรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) สารต้านอนุมูลอิสระมักประกอบด้วยสารหลายชนิดที่ทำงานเสริมกันจึงจะมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน ปัจจุบันพบว่า พืชผักและผลไม้ที่มีสี เช่น สีสแดง คำ หรือ ม่วง จะมีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูง (Zhang et al., 2006) วิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีความจำเพาะต่อสารแตกต่างกัน โดยปกติแล้วการตรวจสอบมักจะสรุปผลจากหลายวิธีร่วมกัน เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องยิ่งขึ้น วิธีที่ใช้ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่นิยม ได้แก่ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Ferric reducing /antioxidant power (FRAP), Trolox equivalents antioxidant capacity (TEAC), lipid peroxidation reducing power และ metal chelating activity (Lai et al., 2007) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของรำลูกเดี๋ยต่อการลดภาวะกรดยูริกในเลือดสูงและพบว่าลูกเดี๋ยสีน้ำตาลสามารถลดปริมาณกรดยูริกในหนูทดลองลงได้ (Zhao et al., 2014) อีกทั้งยังมีงานวิจัยสนับสนุนว่ารำลูกเดี๋ยสามารถยับยั้งมะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดไมอีลอยด์ในหนูทดลองได้ เนื่องจากสารสกัดจากรำลูกเดี๋ยไปยับยั้งการสร้าง histamines และ cytokines (Chen et al., 2012) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen et al. (2011) ที่รายงานว่ารำลูกเดี๋ยสกัดโดยใช้เอทานอลที่มีสัดส่วนของสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์สูง สามารถกระตุ้น IL-6 และส่งเสริมการปลดปล่อย TNF- α ซึ่งช่วยลดอาการอักเสบได้

5 อายุการเก็บ (Shelf life)

สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการแปรรูปและการเก็บอาหาร อาจมีผลต่อคุณภาพของอาหารภายหลังการเก็บในช่วงเวลาหนึ่ง โดยลักษณะทางคุณภาพเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่

ต้องการอาจมีหนึ่งลักษณะหรือมากกว่า ที่ระบุว่าอาหารนั้นไม่เหมาะสำหรับการบริโภค และกล่าวได้ว่า อาหารนั้นหมดอายุการเก็บ การที่อาหารที่เก็บมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ จนถึงจุดที่เราไม่ต้องการ (undersirable state) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย ซึ่งได้แก่การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2548) โดยเฉพาะอาหารที่มีไขมันสูงซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดออกซิเดชันของไขมันและส่งผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมันเกิดได้จากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (auto-oxidation) (Nawar, 1996)

การเกิดออกซิเดชันของไขมันซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ

1) ระยะเหนี่ยวนำเริ่มต้น (initiation) เป็นระยะที่กรดไขมันแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ โดยมีแสงหรืออุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังสมการ



2) ระยะเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical) แล้วทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydro peroxide) และอนุมูลอิสระซึ่งถ้ามีแสงและความร้อนเป็นตัวเร่งก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อทำให้อนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นแล้วอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นก็สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในใหม่ได้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ

3) ระยะสิ้นสุด (termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมตัวกันกลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร

ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันในไขมัน ไม่เพียงแต่ส่งผลต่อการเกิดกลิ่นหืน และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น (off-flavor) เท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อการสร้างสารพิษ และเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาต่างๆ ตามมา Jaswir และคณะ (2000) พบว่า ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ไม่เพียงแต่ส่งผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เท่านั้นแต่ยังมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคด้วย

การเหม็นหืนของอาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเกิดจากปฏิกิริยา 2 ชนิดคือชนิดแรกเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหรือที่เรียกว่า hydrolytic rancidity ซึ่งเกิดจากการแตกสลายของไตรกลีเซอไรด์เมื่อมีความชื้นซึ่งอาจเร่งปฏิกิริยาโดยเอ็นไซม์ไลเปสหรือความร้อนสูงที่อาหารได้รับชนิดที่สองคือการเหม็นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งอาจเป็นแบบออกโต

ออกซิเดชันหรือการออกซิเดชันภายใต้ความร้อนสูง ซึ่งการตรวจสอบการเหม็นหืนจากปฏิกิริยาเกิดการออกซิเดชันได้หลายวิธี เช่น การหาค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความเป็นกรด หรือค่า TBA เป็นต้น ซึ่งได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของไขมันจากงานวิจัยของSuzuki และคณะ (1996) ได้ศึกษาเสถียรภาพของการเกิดออกซิเดชันของไขมันในรำข้าวหลายสายพันธุ์โดยทำการเปรียบเทียบการเกิดออกซิเดชันของไขมันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของรำข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสสูงกว่ารำข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แต่ระดับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบคาร์บอนิลในรำข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันAhmed และคณะ (2007) ได้ศึกษาการปรับปรุงอายุการเก็บของรำข้าวโดยใช้ความร้อน ได้เปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนรำข้าวด้วยไมโครเวฟและ pan roasted กับตัวอย่างที่ไม่ให้ความร้อน พบว่า รำข้าวที่ผ่านให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและ pan roasted ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน มีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนในปริมาณที่ต่ำกว่ารำข้าวที่เก็บรักษาโดยไม่ผ่านการให้ความร้อน Molteberg และคณะ (1995) ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนและเก็บรักษาต่อปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวโอ๊ต พบว่า ข้าวโอ๊ตที่ผ่านการให้ความร้อนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3.5 เดือน และ 15.5 เดือน มีปริมาณกรดไขมันอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดออกซิเดชันและปริมาณ fat acidity ที่เป็นสาเหตุการเกิดกลิ่นหืน ต่ำกว่าข้าวโอ๊ตที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนเก็บรักษา Ramezanzadeh และคณะ (2000) ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ, บรรจุภัณฑ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บต่อปริมาณกรดไขมันและองค์ประกอบทางเคมีในรำข้าวโดยเปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน และบรรจุภัณฑ์แบบถุงสุญญากาศและถุง zipper-top พบว่า รำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแล้วเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ ทั้งที่เก็บในถุงสุญญากาศและเก็บในถุง zipper-top มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แต่ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า ไม่แตกต่างกัน และรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ที่เก็บไว้ในถุงสุญญากาศและถุง zipper-top ซึ่งเก็บไว้เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกัน

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุประสงค์

ลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาวและรำลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาวจากบริษัท ขงสวัสดิ์พืชผล
วังสะพุง จำกัด จังหวัดเลย

2. การตรวจสอบโครงสร้างทางสรีรวิทยาของเมล็ดลูกเดือย

เมล็ดลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาวแช่ในน้ำประมาณ 4 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดที่แช่แล้ว
ตัดในแนวขวางและแนวยาวและย้อมด้วยสีย้อม congo red และนำไปส่องผ่านกล้อง
จุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope)(Nikon SMZ-2T Nikon Crop., Japan) และ
นำลูกเดือยที่ผ่านการตัดทั้งแนวขวางและแนวยาวทำการเคลือบทองบน stub ด้วยเครื่อง Ion
sputterin device (JFC -110E, Jeol, Co.,Ltd., Japan) และนำไปส่องผ่านเครื่อง Scanning
Electron Microscopy (SEM, JSM-6400 Jeol, Co.,Ltd., Japan) ซึ่งตั้งค่าความต่างศักย์ที่ 10
กิโลโวลต์

3. การตรวจสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งลูกเดือย

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

ลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาว นำมาบดเป็นแป้ง ด้วยวิธีการบดแบบแห้งด้วย
เครื่องบดแบบ centrifugal mill (Retsch ZM1000, Gmbh and KG, Germany) ลูกเดือยที่ผ่าน
การแยกส่วนคัพออกด้วยมือ และนำไปบดเป็นแป้งด้วยวิธีการบดแบบแห้งด้วยเครื่องบด
แบบ centrifugal mill (Retsch ZM1000, Gmbh and KG, Germany) จากนั้น ร่อน ผ่าน
ตะแกรงขนาด 0.18 มิลลิเมตร (mesh No. 60)

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเดือย

ปริมาณความชื้น โพรตีน ใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber, TDF)
ใยอาหารที่ละลายไม่ได้ (insoluble dietary fiber, IDF)และใยอาหารที่ละลายได้(soluble
dietary fiber, SDF)ของแป้งลูกเดือยวิเคราะห์ด้วยวิธี AOAC (2000) การวิเคราะห์ปริมาณ
ไขมันใช้เครื่อง 2050 Soxtec Avanti autoextraction unit(Foss Tecator, Sweden) และ
ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดวิเคราะห์ด้วยวิธี AACC method (2000)

การวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่ย่อยได้เร็ว (rapidly digested starch, RDS) แป้งที่ย่อยได้ช้า (slowly digested starch, SDS) และแป้งทนย่อยต่อเอนไซม์ (resistant starch, RS) วิเคราะห์ตามวิธีการของ Englyst และคณะ (1992 และ 1999) โดยชั่งตัวอย่างหนัก 400 มิลลิกรัม และกั๊กหนัก 50 มิลลิกรัมลงในหลอดเซนทรีฟิวขนาด 85 มิลลิลิตรที่มีลูกแก้วขนาด 1.5 เซนติเมตรจำนวน 5 ลูก จากนั้นเติม 0.1 โมลาร์สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท (pH 5.2) จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วนำหลอดเซนทรีฟิวใสในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 นาทีพร้อมเขย่าอย่างต่อเนื่อง (Julabo EC, Julabo Labortechnik GMBH, Germany) จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์ผสมของ porcine pancrease และ amyloglucosidase ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร เมื่อครบเวลาที่ 20 และ 120 นาที เปิดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.4 มิลลิลิตรลงในหลอดเซนทรีฟิวที่มีสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และให้นิยามเป็นส่วน G20 และ G120 ตามลำดับ หลังจากครบเวลา 120 นาที นำหลอดเซนทรีฟิวจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส มาแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาแช่ในน้ำแข็งเป็นเวลา 20 นาทีและเติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 7 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และนำไปเขย่าในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่บรรจุน้ำแข็งเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเปิดตัวอย่างปริมาตร 0.2 มิลลิลิตรลงในหลอดเซนทรีฟิวที่มีสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายเอนไซม์ amyloglucosidase (50 AGU/มิลลิลิตร) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและนำไปวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีพร้อมกับเขย่าอย่างต่อเนื่อง จากนั้นเมื่อครบเวลาย้ายหลอดเซนทรีฟิวไปวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำให้เย็นและเติมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ให้นิยามส่วนนี้ว่า total glucose (TG) สุกทำย่นำส่วน G20, G120 และ TG มาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนทรีฟิว (centrifuge, Hettich, Universal 16 R, Germany) ที่ความเร็ว 3000xg เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Libras22, Biochrom, Ltd., Cambridge, England) คำนวณปริมาณ RDS SDS และ RS ดังนี้

$$\text{RDS} = \text{G20} \times 0.9$$

$$\text{SDS} = (\text{G120} - \text{G20}) \times 0.9$$

$$\text{RS} = (\text{TG} - \text{G120}) \times 0.9 \quad \text{หรือ} \quad \text{RS} = \text{TG} - (\text{RDS} + \text{SDS})$$

3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งลูกเดี๋ย

3.3.1 กำลังการพองตัวและการละลาย

วิเคราะห์กำลังการพองตัว (swelling power) และปริมาณการละลาย (solubility) ตามวิธีการของ Li และ Corke (1999) ซึ่งตัวอย่างจำนวน 0.3 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในหลอดเซนทริฟิว และเติมน้ำกลั่นปริมาณ 15 มิลลิลิตรจากนั้นแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส พร้อมกับการเขย่าในระดับคงที่ (Ratex SWB20, Instruments PTY., LTD., Australia) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนทริฟิว (centrifuge, Hettich, Universal 16 R, Germany) ที่ความเร็ว 2000xg เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นแยกส่วนใสไว้ในภาชนะที่ทราบน้ำหนักและนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณเป็นร้อยละการละลาย และนำตัวอย่างแป้งที่เหลือในหลอดเซนทริฟิวมาชั่งน้ำหนักและคำนวณเป็นร้อยละกำลังการพองตัว

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการละลาย (\%)} &= \frac{\text{น้ำหนักแป้งส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \\ \text{กำลังการพองตัว} &= \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})} \end{aligned}$$

3.3.2 คุณสมบัติการเกิดเพสท์

วิเคราะห์คุณสมบัติการเกิดเพสท์ (pasting properties) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว Rapid Visco Analyzer (RVA, Newport Scientific, Warriewood, Australia) ตามวิธีการของ Li และ Corke (1999) ซึ่งตัวอย่างจำนวน 3 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ลงใน RVA canister และเติมน้ำกลั่นลงใน RVA canister ให้มีน้ำหนักรวมทั้งหมดเป็น 28 กรัม จากนั้นผสมให้เข้ากัน และใช้โปรแกรมการทำงานด้วย standard profile 2 ดังต่อไปนี้ เริ่มต้นการทำงานที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 0-1 นาที ด้วยความเร็ว 960 รอบต่อนาที สำหรับ 10 วินาทีแรก แล้วลดลงเป็น 160 รอบต่อนาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาระหว่างนาทีที่ 1-8.5 และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงมาที่ 50 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาระหว่างนาทีที่ 13.50-21 และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที รวมระยะเวลาการทดสอบ 23 นาที ทำการวัดค่าอุณหภูมิเริ่มเกิด

เพสท์ (pasting temperature) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ค่าเบรคดาวน์ (breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าเซตแบค (setback)

3.3.3 คุณสมบัติทางด้านความร้อน

ศึกษาคุณสมบัติทางด้านความร้อน (thermal properties) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Colorimetry (DSC1, Mettler-Toledo, Switzerland) ซึ่งตัวอย่าง 7 มิลลิกรัมลงในถ้วยสแตนเลสขนาด 60 ไมโครลิตร (PerkinElmer DCS pan) และเติมน้ำกลั่นลงให้มีความชื้นประมาณ 70% จากนั้นปิดฝาให้สนิทและบ่มที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติการเกิดเจลาทีไนเซชันด้วย DSC โดยใช้ถ้วยสแตนเลสเปล่าเป็น reference ทดสอบที่อุณหภูมิ 25 ถึง 125 องศาเซลเซียสด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที หลังจากนั้นลดอุณหภูมิถึง 25 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 60 องศาเซลเซียสต่อนาที วัดอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาทีไนเซชัน (onset gelatinization temperature, T_o) อุณหภูมิที่จุดสูงสุดในการเกิดเจลาทีไนเซชัน (peak gelatinization temperature, T_p) อุณหภูมิที่จุดสิ้นสุดของการเกิดเจลาทีไนเซชัน (conclusion gelatinization temperature, T_c) ช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลาทีไนเซชัน ($T_c - T_o$) และค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีไนเซชัน (ΔH) โดยใช้โปรแกรมประมวลผล STAR software (Mettler-Toledo, Switzerland)

4. การศึกษาวิธีการแยกคัพพะลูกเต๋อยด้วยวิธีการต่างๆ

4.1 การแยกคัพพะลูกเต๋อยโดยใช้คน

นำลูกเต๋อยมาทำการแยกเอาคัพพะออกโดยการใช้แรงงานคนในการแยกคัพพะออกจากเอนโดสเปิร์มด้วยการใช้มือแยกเอาส่วนที่เป็นคัพพะออกมาทีละเมล็ด

4.2 การแยกคัพพะลูกเต๋อยโดยใช้การ preconditioning ร่วมกับการลดขนาดและคัดขนาด

นำลูกเต๋อยขัดสีปริมาณ 100 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 ml แช่ลูกเต๋อยในน้ำอุณหภูมิ 25 °C เพื่อทำ preconditioning เป็นเวลา 2, 4, 6 ชั่วโมงนำตัวอย่างที่ผ่านการทำ preconditioning ในช่วงเวลาต่าง ไปทำการแยกคัพพะออกจากเอนโดสเปิร์มด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก (ภาพที่ 1ค) และเครื่องขัดข้าว (ภาพที่ 2ค) นำตัวอย่างที่ผ่านเครื่องกะเทาะเปลือกและเครื่องขัดข้าวไปลดความชื้น (drying) ด้วย hot air oven อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้มีความชื้นเหลือเท่ากับความชื้นเริ่มต้น นำตัวอย่างที่ผ่านการลด

ความชื้นไปร่อนแยกด้วยตะแกรงรูกมขนาด 20-56 mesh นำตัวอย่างลูกเดือยแต่ละส่วน (fraction) ที่ผ่านการร่อนแยกไปทำการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยใช้เครื่อง 2050 SoxtecAvanti autoextraction unit (Foss Tecator, Sweden)

5. การตรวจสอบองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของคัพพะลูกเดือย

5.1 การเตรียมตัวอย่าง

ลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาว นำมาแยกส่วนคัพพะออกด้วยมือ และนำส่วนของคัพพะ ไปบดด้วยวิธีการบดแบบแห้งด้วยเครื่องบดแบบ centrifugal mill (Retsch ZM1000, GmbH and KG, Germany) จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.18 มิลลิเมตร (mesh No. 60)

5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคัพพะลูกเดือย

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ใยอาหารหยาบ (crude fiber) ของคัพพะลูกเดือยด้วยวิธี AOAC (2000) วิเคราะห์ใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber, TDF) ด้วยวิธี AOAC985.29 วิเคราะห์ปริมาณไขมัน ด้วยเครื่อง 2050 Soxtec Avanti autoextraction unit (Foss Tecator, Sweden)

5.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant properties) ในคัพพะลูกเดือย

5.3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในคัพพะลูกเดือย

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ antioxidant properties ด้วยวิธีการของ Choi และคณะ (2007) เตรียมโดยชั่งตัวอย่างคัพพะลูกเดือยหนัก 10 กรัมและเติมสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำสารละลายตัวอย่างแบ่งกรองผ่านกระดาษกรอง whatman No.1 จากนั้นนำตะกอนตัวอย่างมาเติมสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ เขย่าอย่างต่อเนื่องและกรองอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นรวมสารละลายที่ได้จากการกรองครั้งที่ 1 และ 2 และนำไประเหยด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบสูญญากาศ (rotary evaporator, R-114S, Buchi Labortechnik AG, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้ง จากนั้นเก็บตัวอย่างแห้งที่ได้หลังจากการระเหยที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อร่อนมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยก่อนการนำมาวิเคราะห์ให้นำตัวอย่าง

แห้งที่ได้ละลายในสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์อีกครั้งให้ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต้องการ

5.3.2 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ตามวิธีการของ Marinova, Ribarova และ Atanassova (2005) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 5.3.1 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร น้ำกลั่นปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร และสารประกอบ Folin-Ciocalteu's phenol ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 20% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร หลังจากปรับปริมาตรแล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 90 นาที เมื่อครบเวลานำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Libras22, Biochrom, Ltd., Cambridge, England) เทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) ในช่วงความเข้มข้นที่ 0.05 – 0.25 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร

5.3.3 การวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วยวิธี อลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3$) ตามวิธีการของ Chang, Yang, Wen และ Chern (2002) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 5.3.1 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร $AlCl_3$ ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร โพแทสเซียมอะซิเตรต ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 2.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ นาน 30 นาที เมื่อครบเวลานำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Libras22, Biochrom, Ltd., Cambridge, England) เทียบกับสารมาตรฐานเคเทชิน (catechin) ในช่วงความเข้มข้นที่ 0.05 – 0.35 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร

5.3.4 การวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity

DPPH radical scavenging activity วิเคราะห์ตามวิธีการของ Choi, Jeong และ Lee (2007) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 5.3.1 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร และสารละลาย DPPH ที่ละลายในสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 4.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ นาน 10 นาที ในความมืด จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟ

โตมิเตอร์ (Libras22, Biochrom, Ltd., Cambridge, England) เทียบกับ blank (DI water) และ control (เมทิลแอลกอฮอล์) รายงานค่าในรูปแบบของค่า IC₅₀ โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % Inhibition DPPH[•] กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง เพื่อหาค่า IC₅₀ โดยคำนวณ % Inhibition DPPH[•] ตามสูตรดังนี้

$$\% \text{ Inhibition DPPH}^{\bullet} = \left(\frac{\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right) \times 100$$

เมื่อ $\text{Abs}_{\text{control}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของ Control
 $\text{Abs}_{\text{sample}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

5.3.5 การวิเคราะห์ Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

Ferric reducing antioxidant power วิเคราะห์ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996) ปีเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 5.3.1 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย FRAP (เป็นสารละลายผสมระหว่างโซเดียมอะซิเตรตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ กับสารละลาย TPTZ เข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ กับสารละลายเฟอริกคลอไรด์ เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ อัตราส่วน 10:1:1) ปริมาตร 1.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลานำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Libras22, Biochrom, Ltd., Cambridge, England) เทียบกับสารมาตรฐาน Ferrous(II) sulphate ในช่วงความเข้มข้นที่ 0.20 – 1.00 มิลลิโมลาร์

5.3.6 การวิเคราะห์ Metal chelating activity

Metal chelating activity วิเคราะห์ตามวิธีของ Yu และคณะ (2002) และ Yamaguchi และคณะ (2000) ปีเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 5.3.1 เข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร สารละลาย Ferrous(II) sulphate เข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร สารละลาย Tris-HCl buffer (pH 7.4) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร สารละลาย hydroxylamine HCl เข้มข้น 10% ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร สารละลาย Bipyridyl (ละลายในกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.2 โมลาร์) เข้มข้น 0.1% ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และเมทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 522 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Libras22,

Biochrom, Ltd., Cambridge, England) เทียบกับสารมาตรฐาน EDTA ในช่วงความเข้มข้นที่ 75 – 675 ไมโครโมลาร์

6. การตรวจสอบองค์ประกอบและคุณสมบัติทางเคมีและโครงสร้างของ non – starch polysaccharide (NSP) และการหาอายุการเก็บของรำลูกเด็ย

6.1 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของรำลูกเด็ย

6.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

คัดแยกเอาเปลือกและสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ ที่ปนมาออกจากรำ นำรำมาบดและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35 mesh เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

6.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำลูกเด็ย

วิเคราะห์ความชื้นและเถ้าโดยวิธี AOAC (2000) วิเคราะห์โปรตีนโดยใช้เครื่อง NA2100 Nitrogen and Protein Analyzer/ThermoQuest Itallia S.P.A. EA/NA 1110 Automatic Elemental Analyzer (Strada Rivoltana, Milan, Italy) ใช้ค่าแฟกเตอร์ 6.25 ในการคำนวณเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นค่าโปรตีน วิเคราะห์หาปริมาณไขมันโดยใช้เครื่อง 2050 Soxtec autocontrol unit and drive unit (Foss Tecator, Sweden) วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) โดยใช้ชุด Total dietary fiber assay kit ของ Sigma-Aldrich ตามหลักการวิธี AOAC (1997) วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชโดยวิธีดัดแปลงจาก Wood et al. (1991) วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธีจาก Dubois et al. (1956)

6.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant properties) ในรำลูกเด็ย

6.2.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในรำลูกเด็ย

คัดแยกเอาเปลือกและสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ ที่ปนมาออกจากรำ นำรำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20-mesh แล้วนำรำมาสกัดตามวิธีการเตรียมตัวอย่างในข้อ 5.3.1

6.2.2 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามวิธีการวิเคราะห์ในข้อ 5.3.2

6.2.3 การวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content)

วิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดตามวิธีการวิเคราะห์
ในข้อ 5.3.3

6.2.4 การวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity

วิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ตามวิธีการวิเคราะห์
ในข้อ 5.3.4

6.2.5 การวิเคราะห์ Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

วิเคราะห์ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ตามวิธีการ
วิเคราะห์ในข้อ 5.3.5

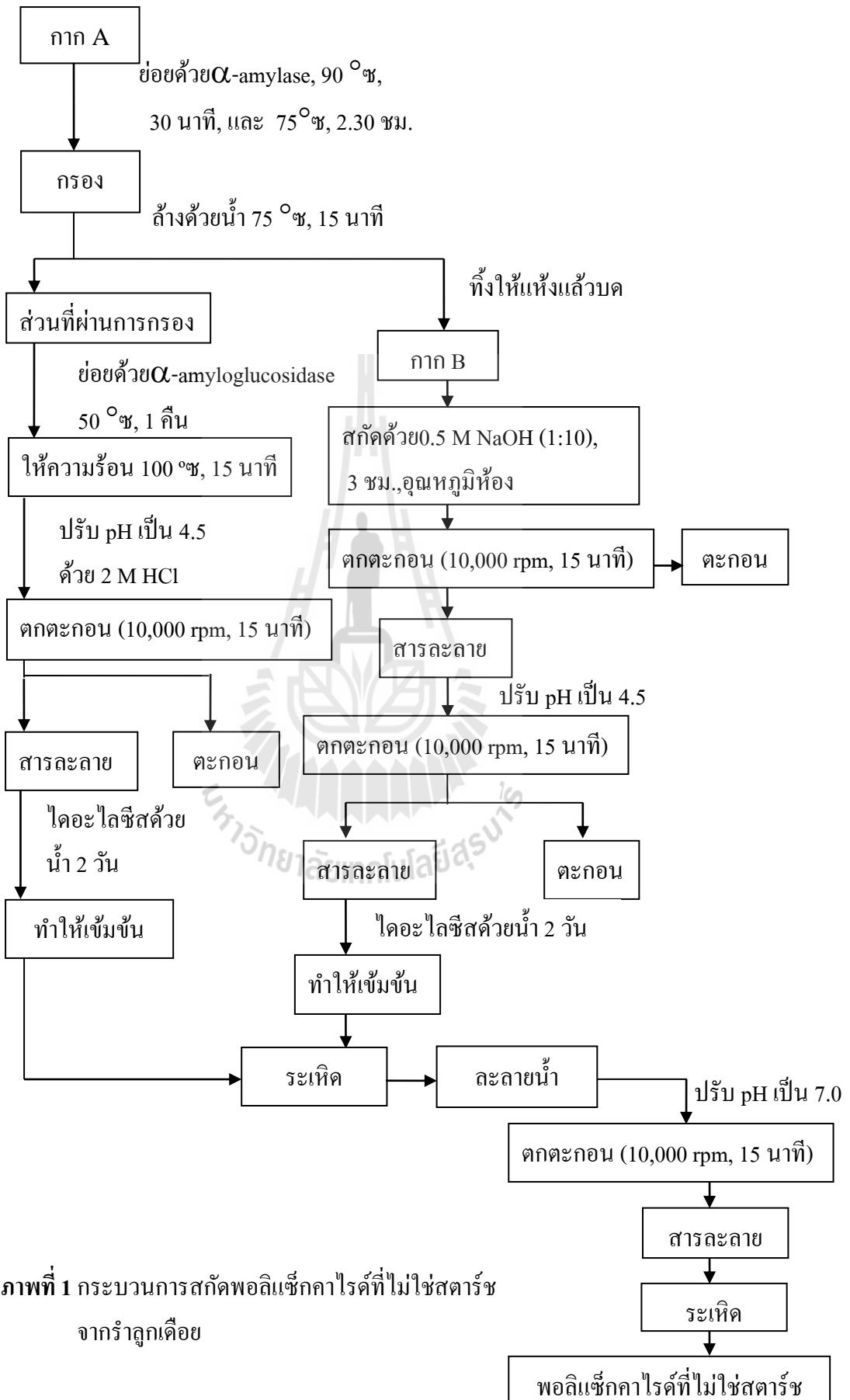
6.2.6 การวิเคราะห์ Metal chelating activity

วิเคราะห์ Metal chelating activity ตามวิธีการวิเคราะห์ใน
ข้อ 5.3.6

6.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของ non – starch polysaccharide ในรำลูกเดี๋ย

6.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

คัดแยกเอาเปลือกและสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ ที่ปนมาออกจากรำ นำตัวอย่างรำมาบดและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35 mesh แล้วนำมาผ่านกรกลั่นไหลกลับ (Reflux) ของเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 ในอัตราส่วน 1:10 กรองเอาสารละลายเอทานอลออก นำกากที่ได้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดกากที่ได้นี้ เรียกว่า กาก A นำมาทำการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชจากลูกเดี๋ย (Non-starch polysaccharides) โดยนำกาก A มาสกัดด้วยน้ำและย่อยเอาสตาร์ชออกโดยใช้แอลฟาอะไมเลส ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที สกัดและย่อยต่อที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสนาน 2.30 ชม. (ภาพที่ 1) กรองสารละลายออกนำกากที่ได้มาล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที และล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 100 อีกครั้งหนึ่ง เรียกกากที่ได้นี้ว่า กาก B นำสารละลายที่กรองได้มาย่อยเอาสตาร์ชออกอีกครั้งด้วยแอลฟาอะไมโลกลูโคซิเดสที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 1 กระบวนการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช
จากรำลูกเดี๋ย

แล้วให้ความร้อนสารละลายที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เพื่อทำลายเอนไซม์ จากนั้นปรับสารละลายที่ได้ให้ค่า pH 4.5 เพื่อตกตะกอนโปรตีน ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 2 โมลาร์นำไปเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 10,000 rpm นาน 15 นาที นำส่วนที่เป็นสารละลายใส (Supernatant) ไปไดอะไลซิส (Dialysis) ด้วยน้ำบริสุทธิ์เป็นระยะเวลา 2 วัน จากนั้นระเหยเอาน้ำในสารละลายออกโดยใช้เครื่อง Vacuum rotary evaporator ให้เหลือสารละลายประมาณ 1/4 ของปริมาตรเริ่มต้น นำสารละลายไปอบแห้งแบบระเหิด (Freeze-dried) นำตัวอย่างมาละลายน้ำ ปรับให้ได้ pH 7.0 เหวี่ยงแยกตะกอนอีกครั้ง นำสารละลายอบแห้งแบบระเหิด ตัวอย่างที่ได้นี้เรียกว่า พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่ละลายในน้ำ

น้ำกาก B มาสกัดด้วยสารละลาย 0.5 M NaOH ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) นาน 3 ชั่วโมง แล้วเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 10,000 rpm นาน 15 นาที ปรับสารละลายที่ได้ให้ค่า pH 4.5 นำมาเหวี่ยงแยกตะกอน เอาส่วนที่เป็นสารละลายใสไปไดอะไลซิสเป็นระยะเวลา 2 วัน ระเหยเอาน้ำในสารละลายออกให้เหลือสารละลายประมาณ 1/4 ของปริมาตรเริ่มต้น แล้วนำสารละลายไปอบแห้งแบบระเหิด นำตัวอย่างที่แห้งแล้วมาละลายน้ำปรับให้ได้ pH 7 เหวี่ยงแยกตะกอนอีกครั้ง นำสารละลายอบแห้งแบบระเหิด ตัวอย่างที่ได้นี้เรียกว่า พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่ไม่ละลายในน้ำ (Huang et al., 2014)

6.3.2 การวิเคราะห์กรดยูโรนิก (Uronic acid)

วิเคราะห์ปริมาณกรดยูโรนิกตามวิธีของ Blumenkrantz และ Asboe-Hansen (1973) โดยการละลายตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เจือจางสารละลายตัวอย่างให้อยู่ในช่วงของสารละลายมาตรฐานกรดกาแลกทูโรนิก (Galacturonic acid) เติมสารละลายเตตระบอเรท เข้มข้น 12.5 มิลลิโมลาร์ในกรดซัลฟูริก เข้มข้น ลงในตัวอย่างที่เจือจางรวมทั้งสารละลายมาตรฐาน ผสมให้เข้ากัน แล้วแช่ไว้ในน้ำแข็งให้เย็นตัวลงทันที จากนั้นให้ความร้อนสารละลายตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานทั้งหมดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วแช่ในน้ำแข็งให้สารละลายเย็นตัวลง เติมสารละลาย m-Hydroxydiphenyl เข้มข้น 0.15% เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย โดยใช้เครื่อง UV-Visible spectrophotometer (Varian Cary 3C) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

6.3.3 วิเคราะห์ชนิดของมอโนแซ็กคาไรด์

นำตัวอย่างมาย่อยด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงแล้วเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์ กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง (0.45 μm) แยกชนิดและปริมาณของมโนแซ็กคาไรด์โดยฉีดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 ไมโครลิตร ในเครื่อง High Performance Anion Exchange Chromatography (HPAEC) ยี่ห้อ DIONEX แยกโดยใช้คอลัมน์ CaboPac PA1 ที่เชื่อมต่อกับเครื่องตรวจวัดชนิด PAD (Pulsed amperometric detector) ตามวิธีของ Wood และคณะ (1994) ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์และน้ำบริสุทธิ์ เป็นตัวชะสาร (Eluent solution) ในอัตราส่วน 8/92 ถึง 0/100 ตามวิธี Gradient elution ที่อัตราความเร็ว 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ล้างคอลัมน์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ นาน 15 นาที ทุกครั้งก่อนทดสอบตัวอย่างใหม่ เปรียบเทียบชนิดและปริมาณของมโนแซ็กคาไรด์โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมโนแซ็กคาไรด์ ได้แก่ แรมโนส อะราบิโนส กาแลกโทส กลูโคส ไซโลส และแมนโนส คำนวณอัตราส่วนระหว่างอะราบิโนสต่อไซโลส โดยหักอะราบิโนกาแลกแทนจากค่าเฉลี่ยอะราบิโนสต่อกาแลกโทส 0.7 (Loosveld et al., 1998)

6.3.4 การกระจายขนาดของโมเลกุล (Molecular size distribution)

วิเคราะห์การกระจายขนาดโมเลกุลตามวิธีของ Wang, Wood, Huang, และ Cui (2003) โดยใช้เครื่อง High Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC) ที่มีเครื่องตรวจวัด 3 ชนิด คือ Refractive index, Right angle laser light scattering (RALLS) และ Viscosity (Model Dual 250, Viscotek, Houston, USA) ใช้คอลัมน์ 2 ชนิด คือ Shodex OHpak SB-806M HQ, Showa Denko K.K., Tokyo, Japan และ Ultrahydrogel linear, Waters, Milford, USA ในการแยกสาร โดยควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้โซเดียมไนเตรต (NaNO_3) เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ที่อัตราความเร็ว 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสาร เทียบมาตรฐานคอลัมน์ (Column calibration) โดยใช้สารละลายมาตรฐาน Pullulans 100, 400 และ 800 ใช้ค่า Specific refractive index increment (dn/dc) 0.146 และ 0.190 มิลลิลิตรต่อกรัม เป็นค่าแฟกเตอร์ ในการคำนวณขนาดโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช เตรียมสารตัวอย่างโดยนำมาละลายน้ำให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง กรองสารละลายตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง (0.45 μm) แยกขนาดโมเลกุลสารโดยฉีดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร ในเครื่อง HPSEC

6.3.5 การวัดคุณสมบัติทางรีโอดิจี (Rheological measurement)

วัดค่า Steady shear flow ของสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, และ 20 (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยใช้เครื่อง Bohlin VOR rheometer ใช้ Cone and plate geometry ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มีมุม 4 องศา วัดค่าที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และวัดลักษณะของสารในช่วงความถี่ 0.01 ถึง 20 เฮิรท์ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ด้วยค่า สเตรน (Strain) ร้อยละ 2

6.4 การหาอายุการเก็บของรำลูกเดี๋ย

6.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (acid value) และการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริค (TBA) โดยนำรำลูกเดี๋ยมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35-mesh เก็บตัวอย่างรำในถุงซิปล็อค (Zip lock bag) ที่อุณหภูมิห้อง แล้วสุมตัวอย่างรำมาสกัดไขมันด้วยเครื่อง 2050 Soxtec Avanti autoextraction unit (Foss Tecator, Sweden) โดยวันที่ 1 – 21 สุมตัวอย่างทุก 2 วัน, วันที่ 22 – 42 สุมตัวอย่างทุก 4 วัน, วันที่ 43 – 90 สุมตัวอย่างทุก 5 วัน และ วันที่ 91 – 150 สุมตัวอย่างทุก 10 วัน เป็นเวลา 150 วัน จากนั้นนำส่วนที่เป็นน้ำมันที่ได้จากการสกัดในแต่ละครั้งไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

6.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ออกไซด์ในรำลูกเดี๋ย

ปริมาณเปอร์ออกไซด์วิเคราะห์ตามวิธีของ AOCS (1998) โดยชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อที่ 6.4.1 ปริมาณ 1 กรัม ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) เติมสารละลายผสม acetic-chloroform (อัตราส่วน 3:2) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนกระทั่งสีเหลืองของสารละลายเกือบจางหายไป เติม starch indicator เข้มข้น 1% ประมาณ 0.5 มิลลิลิตร และไตเตรทต่ออย่างช้าๆ จนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเปอร์ออกไซด์

$$\text{Peroxide value (per 1000 g of sample)} = \frac{(S-B)(N)}{\text{weight of sample (g)}} \times 1000$$

เมื่อ B = ปริมาตรของ Blank (มิลลิลิตร)
S = ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (นอร์มอล)

6.4.3 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (acid value) ในรำลูกเดี๋ย

ค่าความเป็นกรดวิเคราะห์ตามวิธีของ AOCS (1998) โดยชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อที่ 6.4.1 ปริมาณ 0.5 กรัม ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายผสมระหว่าง Isopropyl alcohol กับ toluene (อัตราส่วน 1:1) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร และ phenolphthalein indicator ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน และนำปริมาตรที่ไตเตรทได้มาคำนวณหาค่าความเป็นกรด

$$\text{Acid value (mg KOH / g of sample)} = \frac{(A - B) \times N \times 56.1}{W}$$

เมื่อ	A	=	ปริมาตรของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
	B	=	ปริมาตรของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มิลลิลิตร)
	N	=	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
	56.1	=	Molecular weight ของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

6.4.4 การวิเคราะห์หาค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ในรำลูกเดี๋ย

ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) วิเคราะห์ตามวิธีของ AOCS (1998) โดยชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อที่ 6.4.1 ปริมาณ 50-200 มิลลิกรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร ละลายด้วยบิวทานอลปริมาณเล็กน้อย ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตรด้วยบิวทานอล จากนั้นปิเปตสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ปิเปตสารละลาย TBA เข้มข้น 2% ในบิวทานอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีตัวอย่าง ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำหลอดตัวอย่างมาทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 440 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Libras22, Biochrom, Ltd., Cambridge, England) เทียบ

กับสารมาตรฐาน TMP (1,1,3,3-tetraethoxypropane) ในช่วงความเข้มข้น $10^{-6} - 10^{-5}$ M malonaldehyde คำนวณค่า TBA value

$$\text{TBA value} = K \times A_{532}$$

เมื่อ A_{532} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 532 nm

$$K = (3.60 \times 10^8) / (\text{slope} \times m)$$

เมื่อ m = น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

$$3.60 \times 10^8 = 72.03 \text{ g/mol} \times (25 \text{ ml} / 5 \text{ ml}) \times 10^6$$

$$72.03 \text{ g/mol} = \text{molecular weight ของ malonaldehyde}$$

6.4.5 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

ทำการหาอายุการเก็บรำลูกเดือย โดยเก็บรำในถุงซิปล็อค (Zip lock bag) ไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาทดสอบกับ panelist ซึ่งทดสอบประสาทสัมผัส โดยใช้การวิเคราะห์แบบเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) ให้ผู้ทำการทดสอบ (panelist) ที่ผ่านการฝึกฝน (trained panels) จำนวน 1 คน ทำการทดสอบกลิ่นหืนของรำลูกเดือย ซึ่งเป็นการประเมินประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์ และทำการให้คะแนนลงบนเส้นสเกลที่ตรงกับความรู้สึกของผู้ประเมิน โดยใช้ Hexanol เข้มข้น 0.1% ผสมในรำลูกเดือยปริมาณ 10 กรัม เป็นตัวเปรียบเทียบการให้คะแนนการเกิดกลิ่นเหม็นหืน ซึ่งผู้ทดสอบลงความเห็นว่ารำลูกเดือยที่ผสม hexanol ให้คะแนนสเกล เท่ากับ 5.0 และให้ผู้ทดสอบทำการเลือกว่ากลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ประเมินเป็นที่ยอมรับหรือไม่ยอมรับสำหรับผู้ประเมิน

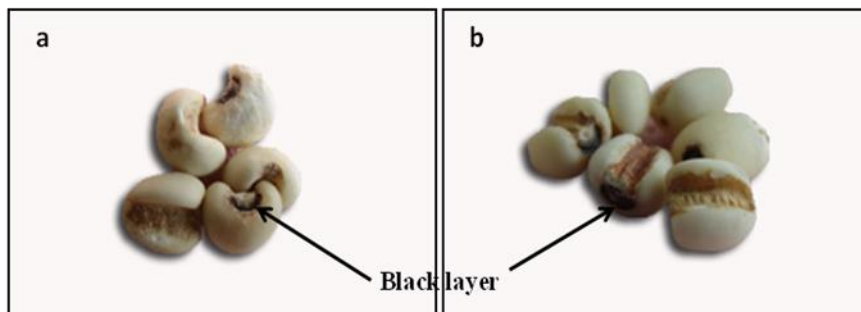
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

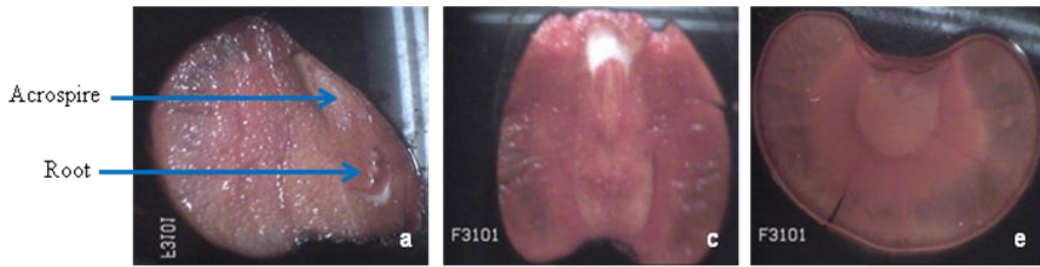
1. ลักษณะทางสรีรวิทยาของเมล็ดลูกเดือย

ลักษณะทางสรีรวิทยาของเมล็ดลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาวได้ทำการศึกษาด้วยวิธีการสังเกตด้วยตาเปล่าและการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) จากการสังเกตลักษณะภายนอกของเมล็ดลูกเดือย (ภาพที่ 2) พบว่าลักษณะรูปร่างของเมล็ดลูกเดือยมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับเมล็ดข้าวสาลี (ภาคผนวก ก, ภาพที่ 1ก) และข้าวบาร์เลย์ (ภาคผนวก ก, ภาพที่ 2ก) มีลักษณะร่องบริเวณกลางเมล็ดเช่นเดียวกัน เมล็ดลูกเดือยจัดอยู่ใน tribe เดียวกับข้าวโพดและข้าวฟ่าง คือ Andropogoneae ในขณะที่เมล็ดข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีจัดอยู่ใน tribe เดียวกันคือ Triticeae (Shewry และคณะ, 1992) เมื่อพิจารณาถึงขนาดของเมล็ดภายนอก พบว่าเมล็ดลูกเดือยมีขนาดของเมล็ดทั้งหมดและขนาดด้านกว้างของเมล็ดที่ใหญ่กว่าเมล็ดข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี (ภาพที่ 2 และ ภาคผนวก ก, ภาพที่ 1ก และ 2ก)

โครงสร้างทางสรีรวิทยาภายในเมล็ดลูกเดือยด้วยการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (ภาพที่ 3) และกล้อง SEM (ภาพที่ 4) ภาพที่ 3 แสดงถึงลักษณะทางสรีรวิทยาภายในเมล็ดลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาว พบว่า รูปร่างของเมล็ดลูกเดือยทั้งแนวขวางและแนวยาวมีลักษณะของรูปร่างเมล็ดที่ใกล้เคียงกับของเมล็ดข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ (ภาคผนวก ก, ภาพที่ 1ก และ 2ก) สำหรับตำแหน่งของคัพภะหรือเอมบริโอ (embryo) นั้น พบว่า ส่วนของคัพภะอยู่บริเวณร่องกลางของเมล็ดลูกเดือยและมีส่วนของเอนโดสเปิร์มล้อมรอบส่วนของคัพภะไว้ โดยส่วนของคัพภะต่ออยู่กับส่วน black layer ซึ่งส่วน

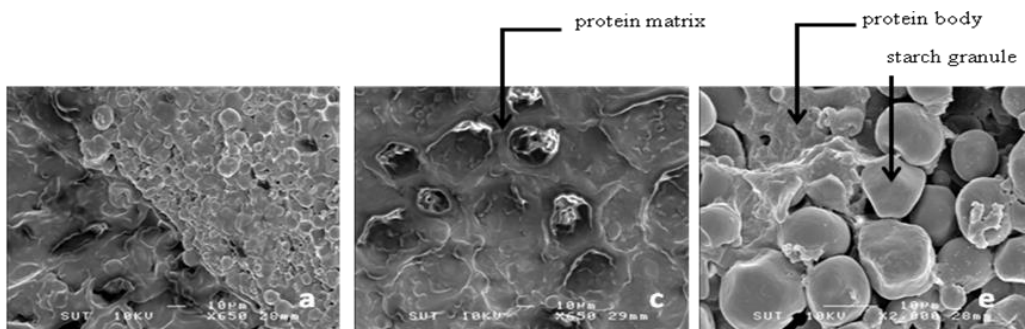


ภาพที่ 2 ลักษณะรูปร่างภายนอกของเมล็ดลูกเดือยพันธุ์เปลือกขาว



ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางและภาพแนวยาวของเมล็ดลูกเดือยพันธุ์ขาว ส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (a= ภาพตัดขวางทั้งเมล็ด และ c, e = ภาพแนวยาวทั้งเมล็ด)

black layer เป็นส่วนของเซลล์ที่อ่อนนุ่มและที่ตายแล้วหลังจากที่เมล็ดงอกเต็มที่ โดยลักษณะของเมล็ดลูกเดือยที่อยู่ติดกับส่วน black layer ของเมล็ดเช่นเดียวกับเมล็ดข้าวโพด (ภาคผนวก ก, ภาพที่ 3ก) และเมล็ดข้าวฟ่าง (ภาคผนวก ก, ภาพที่ 4ก) ดังนั้นการที่ส่วนของคัพภะที่อยู่บริเวณร่องกลางในเมล็ดลูกเดือยทำให้ในระหว่างขัดสีด้วยเครื่องขัดสีแบบลูกกลิ้งจึงไม่สามารถขัดสีแยกส่วนคัพภะออกได้ เมื่อคำนวณสัดส่วนโดยประมาณของคัพภะต่อเมล็ดทั้งหมดของลูกเดือยจากภาพตัดขวางและยาวทั้ง 2 ด้าน พบว่า มีปริมาณของคัพภะอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของทั้งเมล็ด นอกจากนี้ในส่วนของคัพภะจากภาพตัดขวางของเมล็ดลูกเดือย (ภาพที่ 3a) สามารถสังเกตเห็นลักษณะของใบ (acrospires) และราก (root) ที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป การศึกษาโครงสร้างทางสรีรวิทยาภายในของเมล็ดลูกเดือยที่ดูด้วยกล้อง SEM (ภาพที่ 4) พบว่า สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของลักษณะของส่วนคัพภะและเอนโดสเปิร์ม ซึ่งจะสังเกตเห็นโครงสร้างทางสรีรวิทยาภายในที่แตกต่างกันได้จากบริเวณรอยต่อระหว่างส่วนคัพภะและเอนโดสเปิร์ม (ภาพที่ 4a) ซึ่งจาก



ภาพที่ 4 ลักษณะโครงสร้างภายในของเมล็ดลูกเดือยจากกล้อง SEM (a = แสดงรอยต่อระหว่างเอนโดสเปิร์มกับคัพภะ c = ส่วนคัพภะ e = ส่วนเอนโดสเปิร์ม)

การสังเกตลักษณะของคัพพะ (ภาพที่ 4c) จะเห็นว่า มีลักษณะเป็นช่องของอากาศและมีลักษณะเป็นร่างแหซึ่งคาดว่าร่างแหที่สังเกตเห็นนั้น คือ ร่างแหของโปรตีน ในขณะที่ลักษณะของเอนโดสเปิร์มประกอบด้วยเม็ดสตาร์ช (starch granule) และร่างแหของโปรตีนที่อยู่ล้อมรอบเม็ดสตาร์ช(ภาพที่ 4e) ซึ่งเม็ดสตาร์ชลูกเดียวนั้นมีขนาดโดยประมาณ 10-15 ไมครอน ดังนั้น เมล็ดลูกเดียวที่บริโภคนั้นโดยทั่วไปจึงยังคงมีส่วนของคัพพะ ซึ่งคัพพะของเมล็ดธัญพืชส่วนใหญ่เป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญ เช่น คัพพะของข้าวสาลี เป็นส่วนที่อุดมไปด้วยวิตามินต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะวิตามินอี และยังมีกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายหรือในคัพพะของข้าวบาร์เลย์ที่อุดมไปด้วยกรดไขมันที่สำคัญหลายชนิด เช่น กรดลิโนเลอิก กรดโอเลอิก และกรดพัลมิติก (อรอนงค์นัยวิกุล, 2532) เพราะฉะนั้นการบริโภคทั้งเมล็ดของลูกเดียวจึงได้รับคุณค่าทางโภชนาการจากส่วนคัพพะด้วย

2. องค์ประกอบทางเคมีและเคมีกายภาพของแป้งลูกเดียว

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเดียว

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเดียวยพันธุ์ข้าวแบบเต็มเมล็ด (whole grain flour) แสดงในตารางที่ 1 พบว่า แป้งลูกเดียวเต็มเมล็ดพันธุ์เปลือกขาวมีปริมาณโปรตีน 13.57% ไขมัน 5.18% และเส้นใย 1.72 % ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber, TDF) 2.14% ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wu, Charles และ Huang (2007) ที่รายงานว่าลูกเดียวจากประเทศไทย ลาว เวียดนามและไต้หวันมีปริมาณโปรตีน 12-14% ไขมัน 6.2-7.2% และเส้นใย 1.7-2.4% และการศึกษาของทัศนีย์ พรกิจประสานและอรอนงค์นัยวิกุล (2530) ที่รายงานว่า ลูกเดียวยมีปริมาณโปรตีน 15% ไขมัน 5.5% และ เส้นใย 1.53% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเดียวกับธัญพืชอื่น ๆ เช่น ข้าวโพด (9-13% โปรตีน 4-5% ไขมัน 1.5-2% เส้นใยและ 12-13% TDF) ข้าวสาลี (14-20% โปรตีน, 1.4-2.4% ไขมัน, 1.7-2.4% เส้นใยและ 8.8-15% TDF) และข้าวบาร์เลย์ (15-19% โปรตีน, 1.8-5.2% ไขมัน, 2.0-2.5% เส้นใยและ 12-21% TDF) (Grausgruber, Scheiblaue, Schönlechner, Ruckebauer และ Berghofer, 2004; Silva และ Ciocca, 2005; Hasjim, Srichuwong, Scott และ Jane, 2009) เห็นได้ว่า ลูกเดียวยมีปริมาณโปรตีนเส้นใยและ TDF ใกล้เคียงกับข้าวโพด ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ สำหรับปริมาณไขมันในลูกเดียวยมีปริมาณใกล้เคียงกับข้าวบาร์เลย์ และข้าวโพดนอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างแป้งข้าวโพดแบบเต็มเมล็ดและแบบที่แยกส่วนคัพพะออก พบว่า แป้งข้าวโพดเต็มเมล็ดมีปริมาณไขมัน 6.02% และเส้นใย 1.51% ขณะที่แป้งข้าวโพดที่แยกคัพพะออกมีปริมาณไขมัน 1.42% และเส้นใย 0.2%

(Houssou และ Ayernor, 2002) ดังนั้น องค์ประกอบทางเคมีที่หายไปเมื่อนำส่วนคัพภะออกคือ ไขมันและเส้นใยเช่นเดียวกับในลูกเดี๋ย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ส่วนของคัพภะของลูกเดี๋ยที่ถูกแยกออกนั้นน่าจะเป็นส่วนที่อุดมไปด้วยกรดไขมันจำเป็น สารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในไขมันต่างๆ รวมถึงแร่ธาตุด้วยเช่นเดียวกับในคัพภะของข้าวสาลีที่อุดมไปด้วยวิตามินอี (tocopherol) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและละลายในส่วนของไขมัน (Zalatnai และคณะ, 2001) นอกจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของแป้งลูกเดี๋ยระหว่างแบบเต็มเมล็ดและแบบที่แยกคัพภะออกพบว่า ปริมาณโปรตีนของแป้งลูกเดี๋ยเต็มเมล็ดกับแป้งลูกเดี๋ยที่แยกคัพภะออกมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเดี๋ย

Composition	Whole grain flour	Degermed flour
Protein (%db)	13.54±0.12 ^a	13.18±0.20 ^a
Lipid (%db)	4.86±0.14 ^a	0.91±0.02 ^b
Ash(%db)	1.74±0.02 ^a	0.59±0.02 ^b
TDF (%db)	2.14±0.04	-
SDF (%db)	0.63±0.01	-
IDF (%db)	1.51±0.05	-
Moisture (%)	8.05±0.11 ^a	6.92±0.11 ^b
TS (%db)	69.57±0.12	-
RDS (%TS)	13.99±0.25 ^a	14.66±0.25 ^a
SDS (%TS)	45.03±1.74	45.77±1.39
RS (%TS)	40.98±1.02	39.57±0.58

หมายเหตุ TDF = total dietary fiber SDF = soluble dietary fiber IDF = insoluble dietary fiber TS = total starch RDS= rapidly digested starch SDS =slowly digested starch RS = resistant starch

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนแสดงตามความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

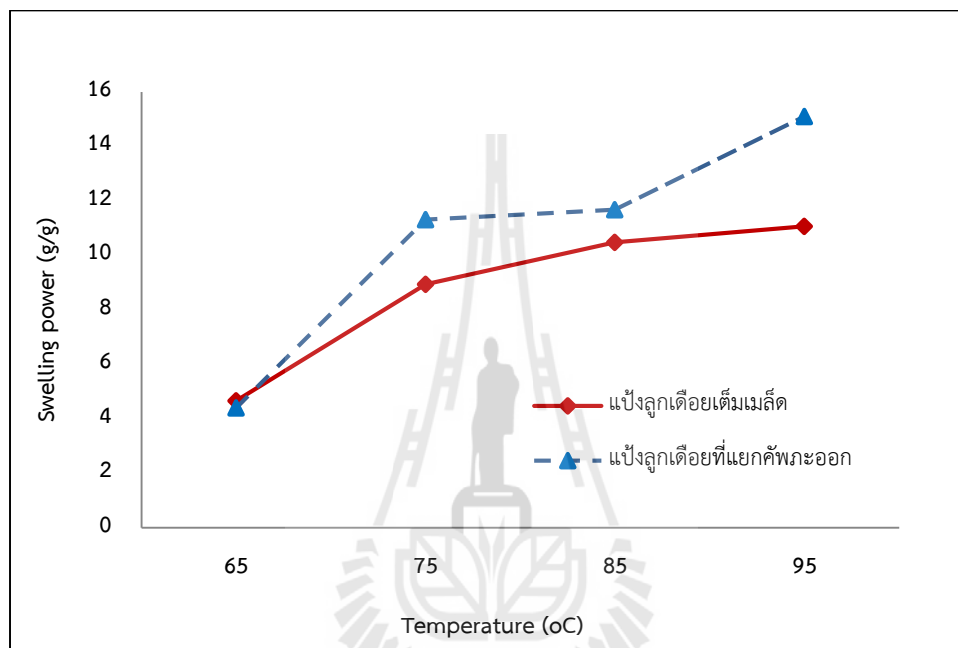
ปริมาณโปรตีนของแป้งเต็มเมล็ดและที่แยกคัพพะออกที่ไม่แตกต่างกันนั้นมีลักษณะเหมือนกับในแป้งข้าวโพด ที่มีปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวโพดเต็มเมล็ดมีปริมาณ 8.20% และในแป้งข้าวโพดที่แยกคัพพะออกมีปริมาณ 7.46% (Houssou และ Ayernor, 2002) แสดงให้เห็นว่า โปรตีนของลูกเดือยมีการกระจายทั้งในส่วนของเอนโดสเปิร์มและคัพพะ ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตการกระจายของโปรตีนที่ล้อมรอบ เม็ดสตาร์ชลูกเดือยดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งการกระจายของโปรตีนของลูกเดือยมีลักษณะ เช่นเดียวกับข้าวโพดที่มีการกระจายของโปรตีนล้อมรอบเม็ดสตาร์ชและกระจายทั่วเมล็ด ข้าวโพด โปรตีนโพรลามีนในลูกเดือยให้ชื่อว่า coixin (วันชัย จันทร์ประเสริฐ, 2537; Ottoboni และคณะ, 1990) โดยโปรตีนโพรลามีนเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายได้ในเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70-80 (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตและคณะ, 2546) โปรตีนชนิดนี้เกิดขึ้นในส่วนโปรตีนโอพลาสในขณะเมล็ดกำลังเจริญเติบโตกลายเป็นกลุ่มโปรตีน (protein bodies) ทำให้เกิดการกระจายอยู่ทั่วเมล็ดและพบมากที่สุดในส่วนเอนโดสเปิร์ม (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

2.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งลูกเดือย

2.2.1 กำลังการพองตัวและการละลาย

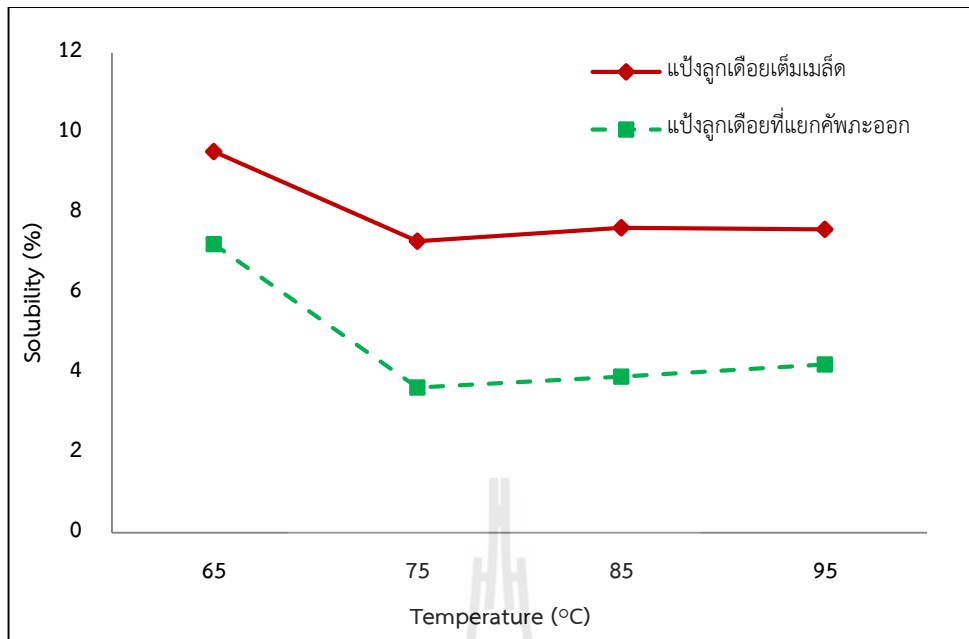
กำลังการพองตัว (swelling power) ของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด และแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก แสดงในภาพที่ 5 พบว่า กำลังการพองตัวของแป้งลูกเดือยมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งที่อุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียสกำลังการพองตัวของแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมีค่าสูงกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด ทั้งนี้เป็นผลมาจากแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน และไขมัน ที่น้อยกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด ซึ่งโปรตีนและไขมันมีผลในการขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ซึ่งกำลังการพองตัวของแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกที่สูงกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamaker และ Griffin (1993); Yang และ Chang (1999) ที่รายงานว่า โปรตีนในแป้งข้าวเจ้ามีผลด้านการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและทำให้ความหนืดของระบบลดลง ซึ่งเมื่อนำโปรตีนออกมีผลให้แป้งข้าวมีการพองตัวได้มากขึ้นและทำให้ค่าความหนืดของแป้งมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น การที่แป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกจึงมีกำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด เพราะแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดนอกจากเรื่องของโปรตีนแล้วยังมีผลมาจากเรื่องของอะไมโลส และไขมันที่มีต่อกำลังการพองตัวของเม็ดแป้งด้วย ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 2 นี้สามารถจับกันและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไขมัน (amylose-lipid complex) ที่มีผล

ต่อความแข็งแรงของเม็ดแป้ง โดยแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดมีปริมาณของไขมันสูงกว่าแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก ส่งผลให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไขมันได้ในปริมาณที่มากกว่า มีผลให้ความแข็งแรงของเม็ดแป้งมีค่าสูงกว่า ซึ่งมีผลไปขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้งจึงทำให้กำลังการพองตัวของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดมีค่าต่ำกว่าแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพที่ 5 กำลังการพองตัวของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก

นอกจากนี้อาจเป็นผลจากปริมาณของไขมันที่เคลือบบนเม็ดสตาร์ช ซึ่งแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมีปริมาณของไขมันที่เคลือบบนเม็ดสตาร์ชน้อยกว่า ทำให้โมเลกุลน้ำสามารถที่จะแทรกเข้าไปในเม็ดสตาร์ชได้ง่ายมากกว่าแป้งแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด การเพิ่มขึ้นของค่ากำลังการพองตัวทั้งในแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก สอดคล้องกับคุณสมบัติการเกิดเจล อุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่สตาร์ชเกิดการเจลาทีในเซชันและเป็นช่วงอุณหภูมิที่โปรตีนในธัญพืชเกิดการสูญเสียสภาพส่งผลให้เม็ดแป้งสามารถพองตัวได้อย่างอิสระ ทำให้แป้งมีกำลังการพองตัวสูงขึ้น



ภาพที่ 6 ค่าการละลายของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก

ค่าการละลาย (solubility) ของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งค่าการละลายมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากโปรตีนภายในเมล็ดแป้งเกิดสูญเสียสภาพเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการคลายตัวออก ส่งผลให้โปรตีนมีโอกาสในการจับกับอะไมโลสได้มากขึ้นกลายเป็นสารประกอบระหว่างโปรตีนกับอะไมโลส (protein-amylose complex) ซึ่งมีผลต่อปริมาณอะไมโลสและโปรตีนที่ละลายออกมาได้มีปริมาณลดน้อยลง จึงทำให้ค่าการละลายของของแข็งในน้ำมีค่าลดลง (Hamaker และ Griffin, 1990; Pomeranz, 1991) โดยค่าการละลายวัดได้จากปริมาณของของแข็งที่สามารถละลายได้ในน้ำ ซึ่งอะไมโลสและโปรตีนสามารถที่จะหลุดออกจากโครงสร้างของเม็ดแป้งได้จากแรงที่ให้อันระหว่างขั้นตอนการเขย่าที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยอะไมโลสสามารถหลุดออกจากส่วนอสัณฐานจากบางส่วนของเม็ดแป้งที่เกิดการพองตัว (Simi และ Abraham, 2008) เมื่อเปรียบเทียบค่าการละลายระหว่างแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดกับแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกพบว่า ค่าการละลายของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดมีค่าสูงกว่าแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก เนื่องจากองค์ประกอบของแป้งและไขมันในแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดมีปริมาณสูงกว่าแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก ส่งผลให้แป้งหรือแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้มากกว่ามีผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูงกว่า และส่วนของไขมันที่แขวนลอยในน้ำที่มี

ปริมาณมากกว่า ซึ่งจากทั้ง 2 ส่วนนี้ส่งผลให้ค่าการละลายของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดมีค่าสูงกว่าแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก

2.2.2 คุณสมบัติการเกิดเพสท์

คุณสมบัติการเกิดเพสท์ (pasting properties) ของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกทำการทดสอบด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) แสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการเกิดเพสท์ระหว่างแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก พบว่า แป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ค่าเบรคดาวน์ (breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าเซตแบค (setback) สูงกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด แต่อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเพสท์ของแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมีค่าต่ำกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด ทั้งนี้คุณสมบัติการเกิดเพสท์ของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดที่มีค่าน้อยกว่าแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณไขมันที่แตกต่างกันระหว่างแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก โดยแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมี

ตารางที่ 2 คุณสมบัติการเกิดเพสท์ของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก

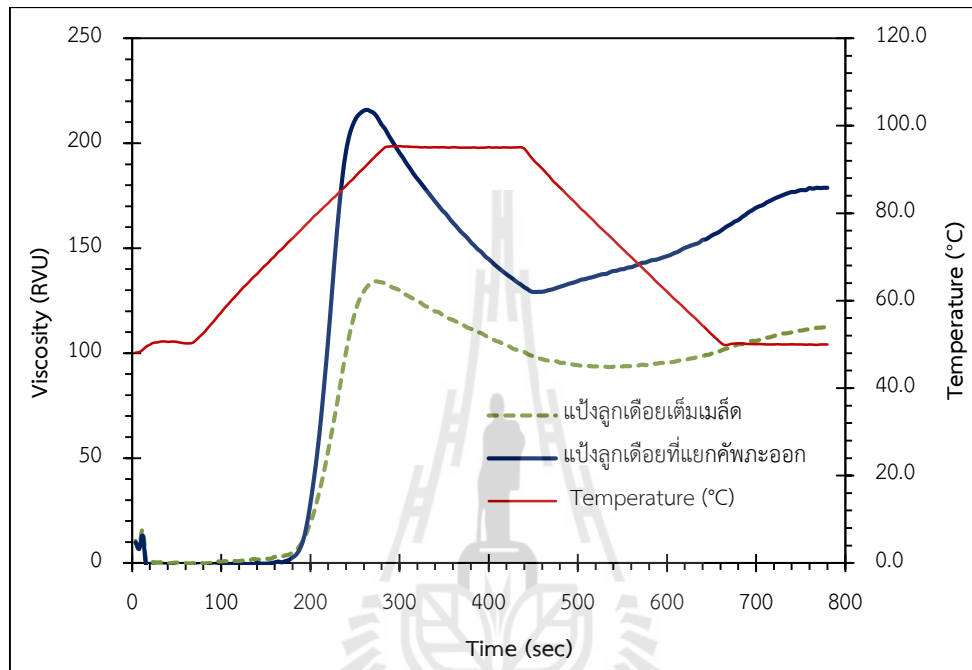
Sample	Pasting parameter (RVU)					Pasting Temperature (°C)
	Peak viscosity	Trough viscosity	Break down	Final viscosity	Setback	
WF	134.17± 0.88	93.34± 0.58	40.84± 0.33	112.46±0.99	19.13±0.41	75.10± 0.28
DGF	215.90±1.23	129.00±1.40	86.92±0.24	178.75±0.56	49.75±0.86	74.73± 0.35

หมายเหตุ WF = แป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด (Whole grain flour)

DGF = แป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก (Degermed flour)

ปริมาณไขมันน้อยกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด ซึ่งไขมันมีผลต่อการจับกับอะไมโลสและได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมันที่มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของเม็ดแป้ง ทำให้โอกาสการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกมีน้อยกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด จึงทำให้คุณสมบัติการเกิดเพสท์ทางด้านความหนืดมีค่าสูงกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดดังที่อธิบายไว้ข้างต้น ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนนี้มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของเม็ดแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสหรือไขมันที่ต่ำสามารถที่จะพองตัวได้

ดีกว่า มีผลให้คุณสมบัติการเกิดเพสท์ทางด้านความหนืดที่สูงกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสหรือไขมันสูง(กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) นอกจากนี้องค์ประกอบของโปรตีนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณสมบัติการเกิดเพสท์ด้วย เนื่องจากโปรตีนมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของเม็ดแป้ง และการพองตัวของเม็ดแป้งด้วย



ภาพที่ 7 คุณสมบัติการเกิดเพสท์ของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก

ซึ่งแป้งที่มีปริมาณ โปรตีนสูงจะมีการพองตัวของเม็ดแป้งที่ช้ากว่าแป้งที่มีปริมาณ โปรตีนต่ำส่งผลทำให้โปรไฟล์ความหนืดมีค่าลดลง (Shimelis, Meaza และ Rakshit, 2006; กล้าณรงค์ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)และในงานวิจัยของHamaker และ Griffin (1993) และ Yang และ Chang (1999) รายงานว่า โปรตีนในแป้งข้าวเจ้ามีผลด้านการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและทำให้ความหนืดของระบบลดลง ซึ่งการนำโปรตีนออกมีผลให้ค่าความหนืดของสตาร์ชมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติการเกิดเพสท์ทางด้านความหนืด โดยเฉพาะค่าความหนืดสูงสุดที่ได้ของแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกสูงกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดที่มีปริมาณ โปรตีนสูงกว่า

2.2.3 คุณสมบัติการเกิดเจลลิตีในเซชัน

คุณสมบัติการเกิดเจลลิตีในเซชัน (gelatinization properties)ของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออกทำการศึกษาดูด้วยเครื่อง Differential

Scanning Calorimetry (DSC) แสดงในตารางที่ 3 คุณสมบัติการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ได้แก่ onset temperature (T_o) peak temperature (T_p) completion temperature (T_c) และ ค่า enthalpy (ΔH) ซึ่งค่า T_o , T_p , T_c และ ช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ($T_c - T_o$) ของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดสูงกว่าแป้งลูกเดือยที่แยกคัพทะออก แต่ค่า ΔH ของแป้งลูกเดือยที่แยกคัพทะออกสูงกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด โดยแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดมีค่า T_o , T_p , T_c , $T_c - T_o$ และ ΔH เท่ากับ 66.94, 73.80, 81.05, 14.11 องศาเซลเซียส และ 6.51 (J/g) ตามลำดับ และแป้งลูกเดือยที่แยกคัพทะออกมีค่า T_o , T_p , T_c , $T_c - T_o$ และ ΔH เท่ากับ 66.40, 73.23, 79.79, 13.39 องศาเซลเซียส และ 9.94 (J/g) ตามลำดับ คุณสมบัติการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพทะออกที่แตกต่างกันเกิดเนื่องจากความแตกต่างของปริมาณองค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณโปรตีน และไขมัน เป็นต้น โดยแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดมีปริมาณโปรตีน และไขมันสูงกว่าแป้งที่แยกคัพทะออก ซึ่งโปรตีนและไขมัน มีผลทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเกิดได้ช้า ชัดขวางการดูดซึมน้ำเข้าสู่เม็ดสตาร์ชและลดความแข็งแรงของโครงสร้างของโมเลกุลของเม็ดแป้ง ส่งผลทำให้ต้องใช้พลังงานในการทำลายพันธะต่าง ๆ ภายในโครงสร้างของแป้งลูกเดือยที่แยกคัพทะออกสูงกว่าแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด และ ส่งผลให้อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง DSC มีปริมาณสูงขึ้น (Sasaki, Yasui และ Matsuki, 2000)

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพทะออกจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC และอุณหภูมิที่เริ่มการเกิดเพสท์ด้วยเครื่อง RVA พบว่า อุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพทะออกที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง DSC มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่เริ่มการเกิดเพสท์ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง RVA เนื่องจากผลของกำลังการพองตัวที่ช้า ส่งผลทำให้การวัดอุณหภูมิของการเริ่มเกิดเจลลาทีโนเซชันที่วัดได้จากเครื่อง RVA ได้ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการวัดอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโน-เซชันด้วยเครื่อง DSC

ตารางที่ 3 คุณสมบัติการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งลูกเดือยเต็มเมล็ดและแป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก

Sample	Thermal transition parameters				
	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	$T_c-T_o(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\text{H}(\text{J/g})$
WF	66.94 ± 0.40	73.80 ± 0.13	81.05 ± 0.30	14.11 ± 0.70	6.51 ± 0.46
DGF	66.40 ± 0.04	73.23 ± 0.01	79.79 ± 0.06	13.39 ± 0.03	9.94 ± 0.33

หมายเหตุ WF = แป้งลูกเดือยเต็มเมล็ด, DGF = แป้งลูกเดือยที่แยกคัพพะออก

T_o = gelatinization onset temperature, T_p = gelatinization peak temperature,

T_c = gelatinization completion temperature, $T_c - T_o$ = gelatinization temperature range

และ ΔH = Enthalpy

3. ผลการแยกคัพพะลูกเดือยด้วยวิธีการต่างๆ

3.1 การแยกคัพพะลูกเดือยโดยใช้คน

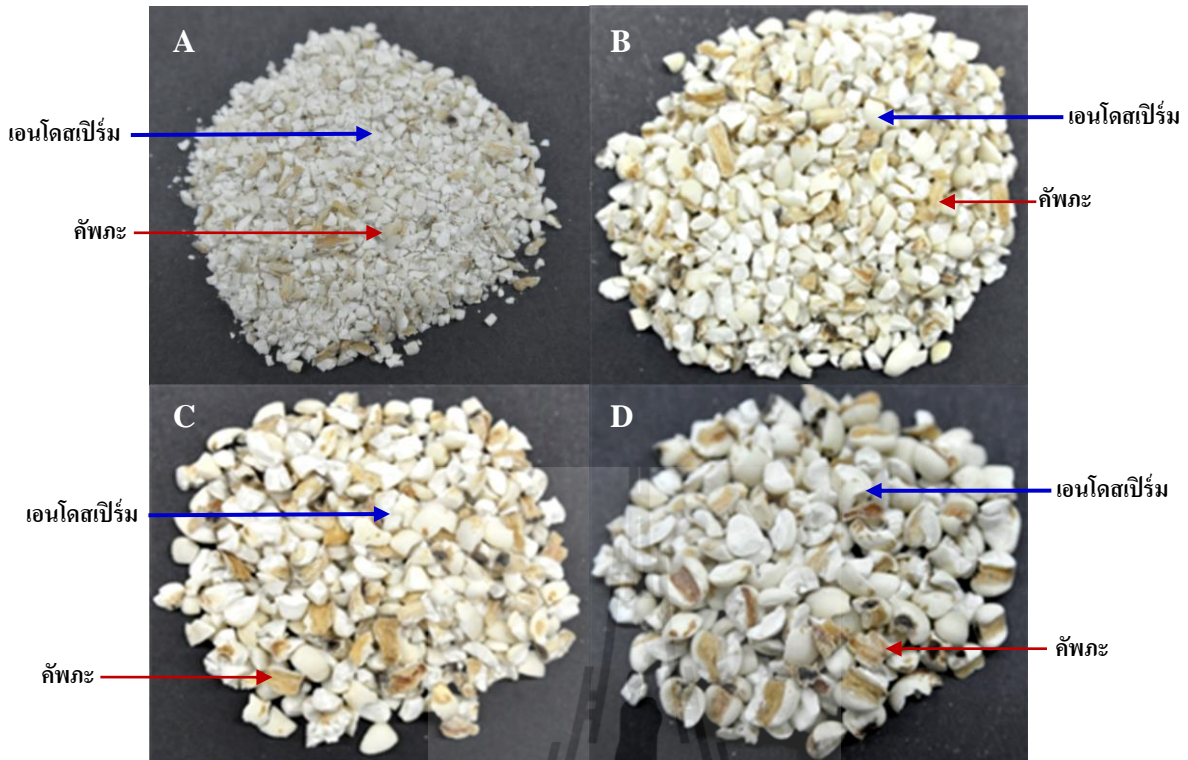
การแยกส่วนของคัพพะออกจากส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของเมล็ดลูกเดือยโดยใช้คน พบว่า สามารถแยกส่วนที่เป็นคัพพะออกจากส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 8 ซึ่งการแยกคัพพะลูกเดือยโดยใช้คนเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก สามารถแยกส่วนของคัพพะและเอนโดสเปิร์มออกจากกันได้อย่างชัดเจน ไม่เกิดการปนของส่วนที่เป็นคัพพะในส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์ม แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลานาน เนื่องจากต้องทำการแยกคัพพะออกจากส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มทีละเมล็ด จึงไม่เหมาะสำหรับการแยกคัพพะในปริมาณที่มาก หรือในระดับอุตสาหกรรม



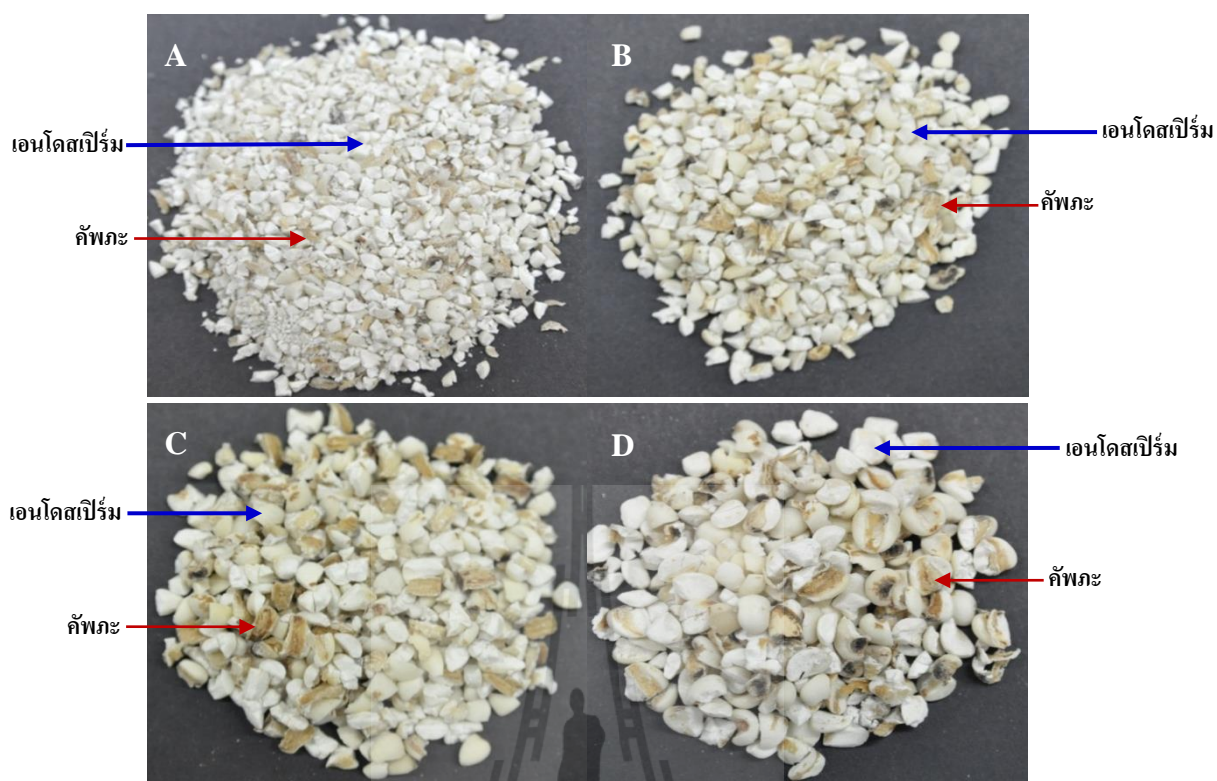
ภาพที่ 8 การแยกคัพพะลูกเดือยโดยใช้คน (A = เอนโดสเปิร์ม, B = คัพพะ)

3.2 การแยกคัพภะลูกเดี่ยวโดยใช้การ preconditioning ร่วมกับการลดขนาดและ คัดขนาด

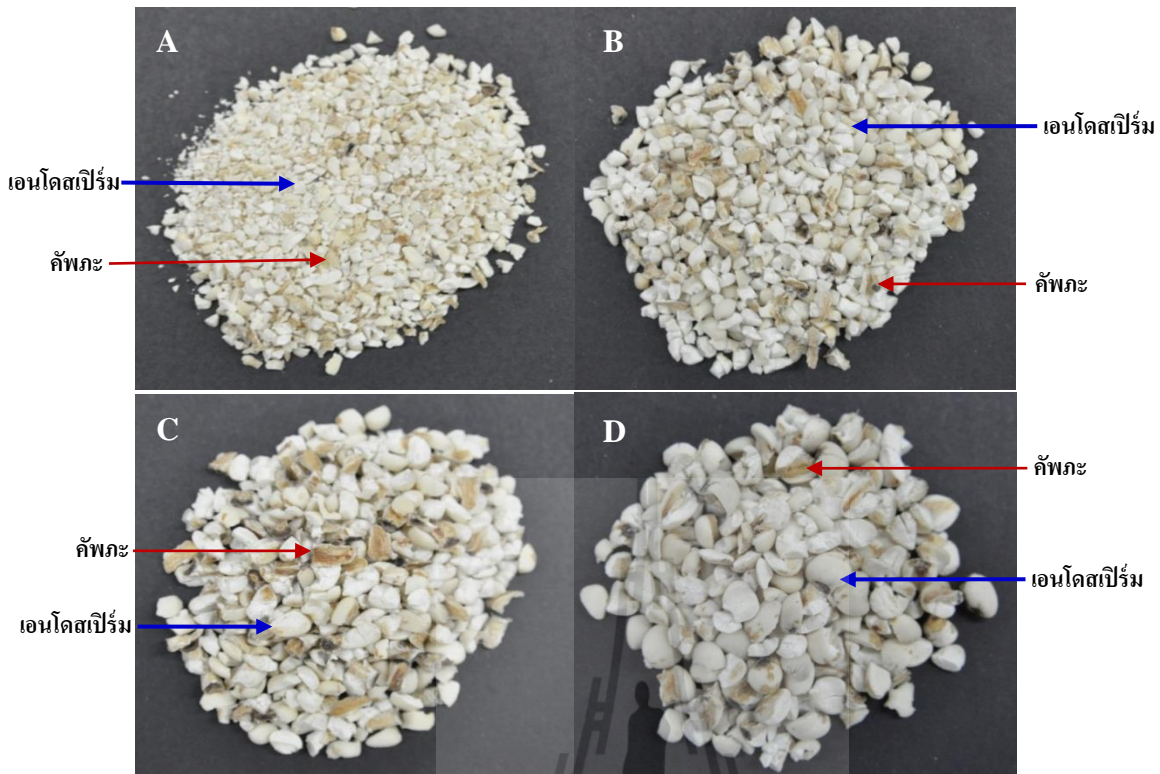
การแยกส่วนของคัพภะออกจากส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของเมล็ดลูกเดี่ยวโดยใช้การ preconditioning ร่วมกับการลดขนาดโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก และทำการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนรูกกลม เมื่อนำลูกเดี่ยวที่ผ่านการ preconditioning ที่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ไปผ่านเครื่องกะเทาะเปลือก ที่ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร และ 0.4 มิลลิเมตร (ภาพที่ 9-14) พบว่า ส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของเมล็ดลูกเดี่ยวที่ได้มีลักษณะแตกออกจากกันเป็นอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่รวมกัน แต่ส่วนที่เป็นคัพภะลูกเดี่ยวเกิดการแตกหักน้อย ส่วนใหญ่ยังคงรูปร่างเป็นส่วนของคัพภะที่มีอนุภาคขนาดใหญ่และหลุดออกจากส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของเมล็ดลูกเดี่ยว และมีคัพภะบางส่วนยังคงติดอยู่กับส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์ม เนื่องจากลูกเดี่ยวเมื่อผ่านการ preconditioning ที่ระยะเวลาต่างๆ เกิดการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ส่วนของเนื้อเมล็ด ส่วนของเอนโดสเปิร์มที่น้ำซึมผ่านเข้าไปเกิดลักษณะของเนื้อเอนโดสเปิร์มที่นุ่มขึ้น เมื่อนำไปผ่านเครื่องกะเทาะเปลือกทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย แต่ส่วนที่เป็นคัพภะเมื่อผ่านการ preconditioning และเกิดการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ส่วนของเนื้อเมล็ด ทำให้ส่วนคัพภะเกิดลักษณะที่เหนียวขึ้นในระหว่างการขัดสีหรือผ่านเครื่องกะเทาะ จึงทำให้เกิดการต้านทานหรือทนต่อการแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ (Kulp and Ponte, 2000) เมื่อนำลูกเดี่ยวที่ผ่านการลดขนาดไปคัดขนาดโดยการร่อนแยกด้วยตะแกรงร่อนรูกกลมขนาด 20-50 mesh พบว่าลูกเดี่ยวที่ผ่านการ preconditioning ที่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง แต่ละ fraction ที่ได้จากการร่อนแยกเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า จะเห็นว่ามีส่วนของคัพภะหรือส่วนที่เป็นสีน้ำตาลปนไปในแต่ละ fraction ของเอนโดสเปิร์มที่เป็นส่วนที่เป็นสีขาว และคัพภะบางส่วนยังคงติดอยู่กับส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มไม่แยกออกจากกัน เมื่อสังเกตการปนของส่วนคัพภะในส่วน fraction ที่เวลาการทำ preconditioning ต่างกัน ที่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน มีสัดส่วนและปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 9-14) แต่เมื่อนำแต่ละ fraction ที่ร่อนแยกได้ไปวิเคราะห์ปริมาณไขมันเพื่อเปรียบเทียบการปนคัพภะมาในส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์ม พบว่า ที่เวลาการทำ preconditioning เดียวกัน แต่ละ fraction มีปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการทำ preconditioning ต่างกัน 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน พบว่า มีปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4)



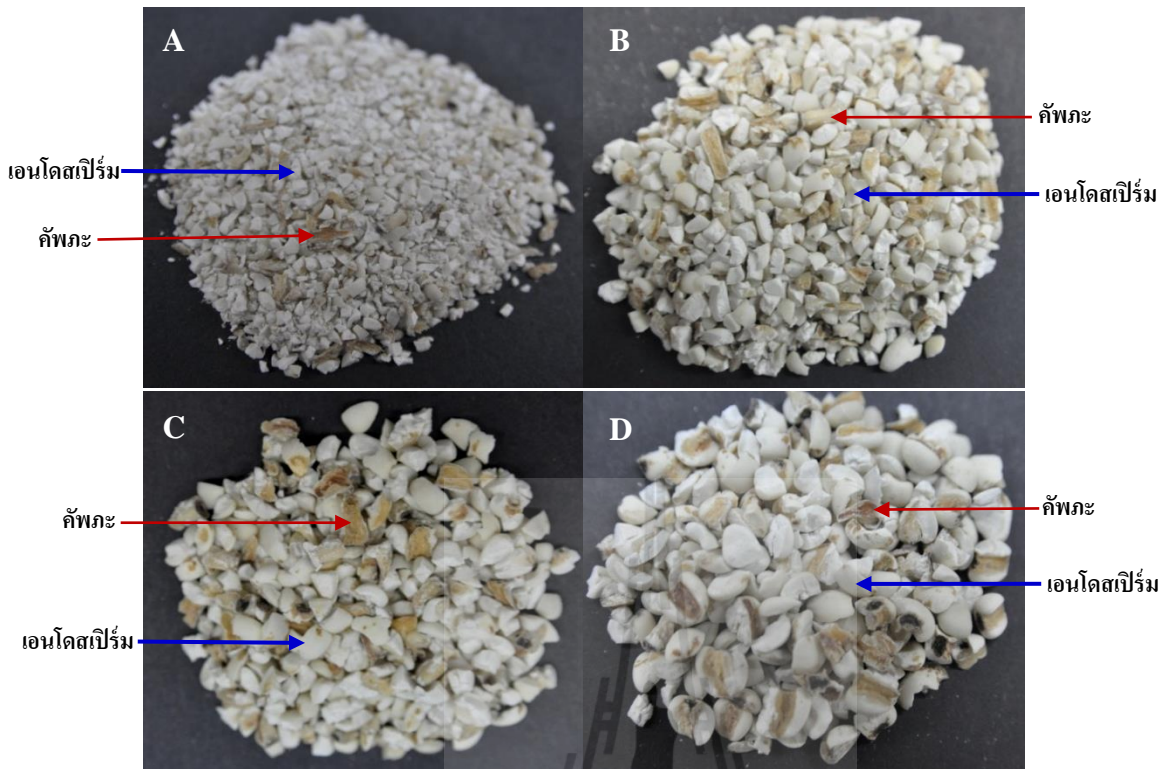
ภาพที่ 9 การทำ preconditioning ที่ 2 ชั่วโมง แยกคัพภะ โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก
 ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตรและร่อนแยกด้วยตะแกรงร่อน (A =ขนาดอนุภาค
 235 μm , B = ขนาดอนุภาค 310 μm , C = ขนาดอนุภาค 415 μm , D = ขนาด
 อนุภาคใหญ่กว่า 415 μm)



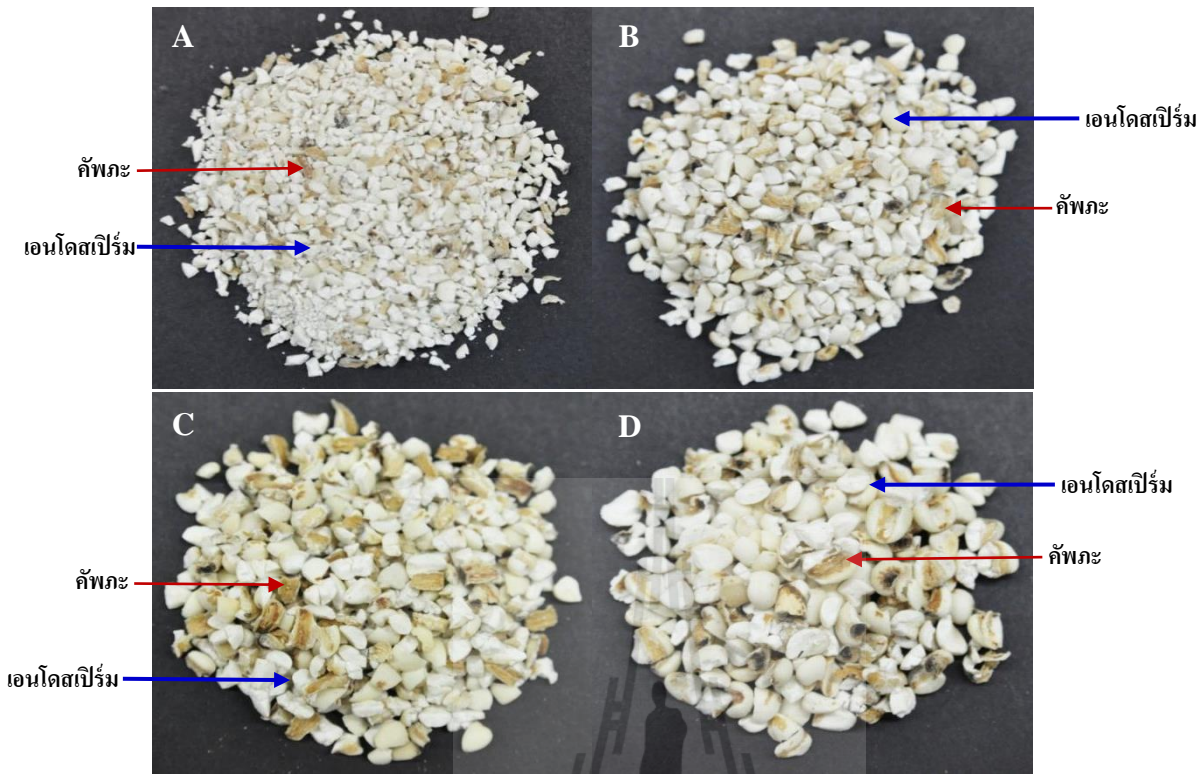
ภาพที่ 10 การทำ preconditioning ที่ 4 ชั่วโมง แยกคัพพะ โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก
 ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตรและร่อนแยกด้วยตะแกรงร่อน (A = ขนาดอนุภาค
 235 μm , B = ขนาดอนุภาค 310 μm , C = ขนาดอนุภาค 415 μm , D = ขนาด
 อนุภาคใหญ่กว่า 415 μm)



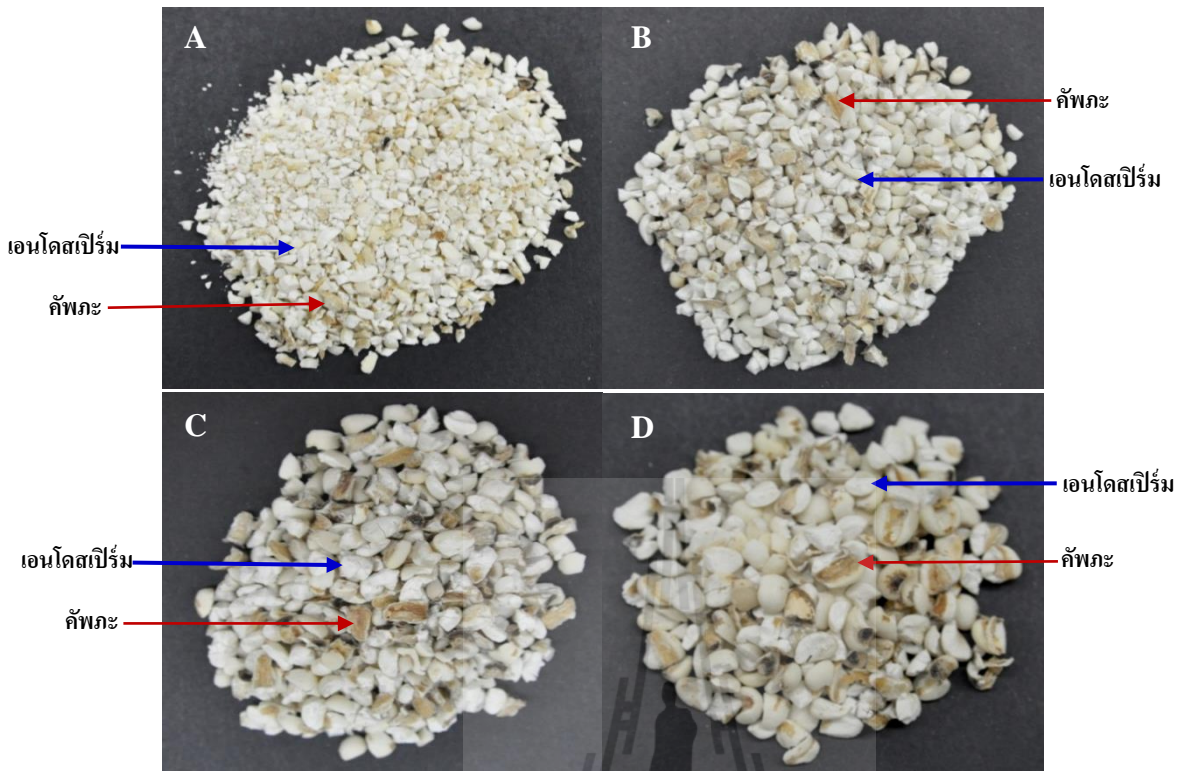
ภาพที่ 11 การทำ preconditioning ที่ 6 ชั่วโมง แยกคัพเพาะโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตรและร่อนแยกด้วยตะแกรงร่อน (A = ขนาดอนุภาค 235 μm , B = ขนาดอนุภาค 310 μm , C = ขนาดอนุภาค 415 μm , D = ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 415 μm)



ภาพที่ 12 การทำ preconditioning ที่ 2 ชั่วโมง แยกคัฟกะ โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก
 ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.4 มิลลิเมตรและร่อนแยกด้วยตะแกรงร่อน (A =ขนาดอนุภาค
 235 μm , B = ขนาดอนุภาค 310 μm , C = ขนาดอนุภาค 415 μm , D = ขนาด
 อนุภาคใหญ่กว่า 415 μm)



ภาพที่ 13 การทำ preconditioning ที่ 4 ชั่วโมง แยกคัพพะ โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก
 ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.4 มิลลิเมตรและร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน (A =ขนาดอนุภาค
 235 μm , B = ขนาดอนุภาค 310 μm , C = ขนาดอนุภาค 415 μm , D = ขนาด
 อนุภาคใหญ่กว่า 415 μm)



ภาพที่ 14 การทำ preconditioning ที่ 6 ชั่วโมง แยกคัพพะ โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก
 ระยะห่างลูกกลิ้ง 0.4 มิลลิเมตรและร่อนแยกด้วยตะแกรงร่อน (A =ขนาดอนุภาค
 235 μm , B = ขนาดอนุภาค 310 μm , C = ขนาดอนุภาค 415 μm , D = ขนาด
 อนุภาคใหญ่กว่า 415 μm)

ตารางที่ 4 ปริมาณไขมันของลูกเดือยที่ผ่านการคัดแยกคัพพะด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกและเครื่องขัดข้าว

เครื่องมือ	ระยะห่างของลูกกลิ้ง	เวลาที่ใช้ทำ preconditioning	ปริมาณไขมัน (%)			
			ขนาดอนุภาคของเอนโดสเปิร์มของลูกเดือย			
			235 μm	310 μm	415 μm	> 415 μm
เครื่องกะเทาะเปลือก	0.3 mm	2 ชั่วโมง	3.84 ^{D,x} ±0.04	4.04 ^{C,y} ±0.18	6.86 ^{A,z} ±0.15	5.31 ^{B,y} ±0.26
		4 ชั่วโมง	3.79 ^{D,y} ±0.30	4.03 ^{C,y} ±0.43	7.66 ^{A,x} ±0.50	6.04 ^{A,x} ±0.33
		6 ชั่วโมง	3.10 ^{D,z} ±0.35	4.21 ^{C,x} ±0.11	7.57 ^{A,y} ±0.25	5.28 ^{A,y} ±0.01
	0.4 mm	2 ชั่วโมง	6.37 ^{A,x} ±0.32	3.49 ^{D,y} ±0.27	6.04 ^{B,x} ±0.35	4.22 ^{C,x} ±0.40
		4 ชั่วโมง	5.43 ^{A,y} ±0.23	4.10 ^{C,x} ±0.32	4.45 ^{B,z} ±0.12	3.78 ^{D,z} ±0.45
		6 ชั่วโมง	4.73 ^{B,z} ±0.28	3.38 ^{D,z} ±0.40	5.60 ^{A,y} ±0.30	3.90 ^{C,y} ±0.06
เครื่องขัดข้าว	-	2 ชั่วโมง	4.22 ^{B,x} ±0.14	4.80 ^{A,x} ±0.21	3.62 ^{C,z} ±0.04	-
		4 ชั่วโมง	3.52 ^{B,y} ±0.16	2.27 ^{C,y} ±0.20	4.57 ^{A,y} ±0.28	-
		6 ชั่วโมง	2.60 ^{B,z} ±0.38	1.80 ^{C,z} ±0.17	4.63 ^{A,x} ±0.35	-

หมายเหตุ ตัวอักษร A, B, C, D ที่แตกต่างกันตามแนวนอนแสดงความแตกต่างกันของขนาดอนุภาคของเอนโดสเปิร์มของลูกเดือยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษร x, y, z ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันของเวลาที่ใช้ทำ preconditioning ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

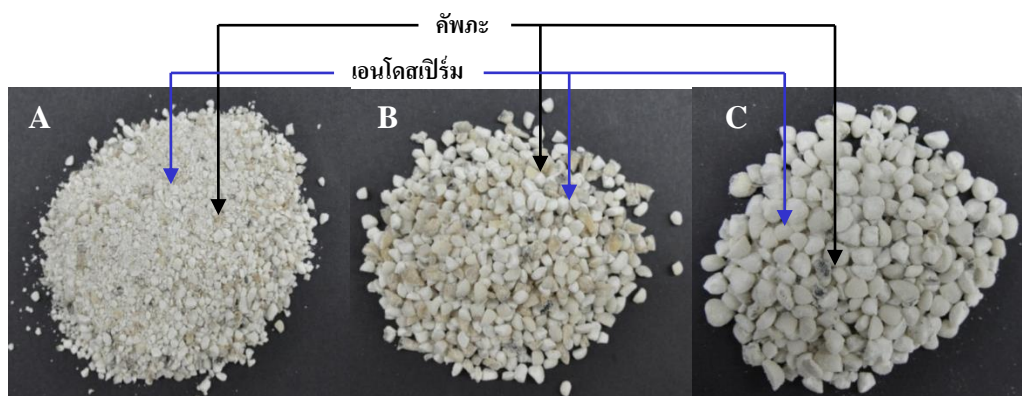
การแยกส่วนของคัพพะออกจากส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของเมล็ดลูกเดือยโดยใช้การ preconditioning ร่วมกับการลดขนาดโดยใช้เครื่องเครื่องขัดข้าว และทำการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน เมื่อนำลูกเดือยที่ผ่านการ preconditioning ที่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ไปผ่านเครื่องเครื่องขัดข้าว (ภาพที่ 15-17) พบว่า ลูกเดือยเกิดการแตกหักเป็นอนุภาคเล็กๆ บางส่วนมีลักษณะเป็นผงละเอียด ทั้งนี้เนื่องจาก ลูกเดือยที่ผ่านการทำ preconditioning เกิดการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ส่วนของเนื้อเมล็ด ส่วนของเอนโดสเปิร์มและส่วนของคัพพะที่น้ำซึมผ่านเข้าไปเกิดลักษณะนิ่มขึ้น (Kulp and Ponte, 2000) เมื่อนำผ่านเครื่องขัดข้าวเป็นการผ่านสภาวะที่มีความรุนแรงจึงส่งผลให้เมล็ดลูกเดือยทั้งส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มและส่วนที่เป็นคัพพะเกิดการแตกหักได้ง่าย เมื่อนำไปคัดขนาดโดยการร่อนแยกด้วยตะแกรงร่อนขนาด 20-56 mesh แล้วสังเกตปริมาณของเอนโดสเปิร์มและส่วนของคัพพะที่รวมกันอยู่ในแต่ละ fraction ด้วยตาเปล่าพบว่ามีส่วนของคัพพะรวมกับเอนโดสเปิร์มในแต่ละ fraction ในสัดส่วนที่ไม่แตกต่างกันและในส่วนที่มีอนุภาคขนาดเล็ก คือ

ขนาด 56 mesh (ภาพที่ 15A, 16A, 17A) เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าเป็น fraction ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก การคัดแยกคัพพะและเอนโดสเปิร์มทำได้ยาก เนื่องจากใน fraction นี้มีขนาดเล็กละเอียดจากการผ่านสภาวะที่รุนแรงโดยเครื่องขัดข้าว จึงทำให้อนุภาคของเอนโดสเปิร์มและคัพพะมีขนาดใกล้เคียงกันมาก เมื่อนำแต่ละ fraction ที่ร่อนแยกได้ไปวิเคราะห์ปริมาณไขมันเพื่อเปรียบเทียบการปนคัพพะมาในส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์ม พบว่าที่เวลาการทำ preconditioning เดียวกัน แต่ละ fraction มีปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการทำ preconditioning ต่างกัน 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน พบว่า มีปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่6)

จากงานวิจัยนี้บอกได้ว่าการแยกคัพพะลูกเด็ดยด้วยการทำ preconditioning ร่วมกับการลดขนาดโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก และเครื่องขัดข้าว ยังเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสำหรับการแยกคัพพะลูกเด็ย แม้จะเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วแต่มีส่วนคัพพะปนออกมากับส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มอยู่มาก



ภาพที่ 15 การทำ preconditioning ที่ 2 ชั่วโมง แยกคัพพะโดยใช้เครื่องขัดข้าว และร่อนแยกด้วยตะแกรงร่อน (A =ขนาดอนุภาค 235 μ m, B = ขนาดอนุภาค 310 μ m, C = ขนาดอนุภาค 415 μ m)



ภาพที่ 16 การทำ preconditioning ที่ 4 ชั่วโมง แยกกะปิโดยใช้เครื่องขัดข้าว และร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน (A =ขนาดอนุภาค 235 μm , B = ขนาดอนุภาค 310 μm , C = ขนาดอนุภาค 415 μm)



ภาพที่ 17 การทำ preconditioning ที่ 6 ชั่วโมง แยกกะปิโดยใช้เครื่องขัดข้าว และร้อนแยกด้วยตะแกรงร้อน (A =ขนาดอนุภาค 235 μm , B = ขนาดอนุภาค 310 μm , C = ขนาดอนุภาค 415 μm)

4. องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเคมีกายภาพของคัพพะลูกเดี๋ย

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของคัพพะลูกเดี๋ย

องค์ประกอบทางเคมีของคัพพะลูกเดี๋ยแสดงในตารางที่ 5 โดยคัพพะลูกเดี๋ยปริมาณ โปรตีน 24.34 % ไขมัน 40.19% เถ้า 11.88% และมีปริมาณใยอาหารอาหารทั้งหมด (total dietary fiber, TDF) 37.17% เมื่อเทียบปริมาณไขมันและเถ้าจากส่วนคัพพะของข้าวสาลีและลูกเดี๋ย พบว่า ปริมาณไขมันและเถ้าจากส่วนคัพพะของลูกเดี๋ยมีปริมาณสูงกว่าคัพพะของข้าวสาลี ซึ่งมีปริมาณ ไขมัน 7% และเถ้า 4.5% (Pomeranz, 1988) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างแป้งข้าวโพดแบบเต็มเมล็ดและแบบที่แยกส่วนคัพพะออก พบว่า แป้งข้าวโพดเต็มเมล็ดมีปริมาณไขมัน 6.02% และเถ้า 1.51% ขณะที่แป้งข้าวโพดที่แยกคัพพะออกมีปริมาณไขมัน 1.42% และเถ้า 0.2% (Houssou และ Ayernor, 2002) ดังนั้น องค์ประกอบทางเคมีที่หายไปเมื่อนำส่วนคัพพะออก คือ ไขมันและเถ้าเช่นเดียวกับในลูกเดี๋ย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ส่วนของคัพพะของลูกเดี๋ยที่ถูกแยกออกนั้นน่าจะเป็นส่วนที่อุดมไปด้วยกรดไขมันจำเป็น สารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในไขมันต่างๆ รวมถึงแร่ธาตุคล้ายเช่นเดียวกับในคัพพะของข้าวสาลีที่อุดมไปด้วยวิตามินอี (tocopherol) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและละลายในส่วนของไขมัน (Zalatnai และคณะ, 2001)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของคัพพะลูกเดี๋ย

องค์ประกอบ	คัพพะลูกเดี๋ย
Protein (%db)	24.34± 0.22
Lipid (%db)	40.19± 0.11
Ash(%db)	11.88± 0.08
Moisture (%)	6.03 ± 0.06
Crude Fiber (%db)	5.54 ± 0.52
Total cabohydrate (%db)	16.64 ± 0.09
TDF (%db)	37.17 ± 0.14

หมายเหตุ TDF = total dietary fiber

4.2. คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant properties) ในคัพภะลูกเด็ย

ตารางที่ 6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic content), สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Total flavonoid content) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH, FRAP value และ Metal chelating capacity ของสารสกัด methanol ในคัพภะลูกเด็ย

ตัวอย่าง	Total Phenolic (mg GAE/g)	Total Flavonoid (mgCE/g)	IC ₅₀ (mg/ml)	FRAP value (μ mol FeSO ₄ /g)	Metal chelating capacity (mgEDTA/g)
คัพภะลูกเด็ย	2.75 \pm 0.10	12.46 \pm 0.12	120.00 \pm 0.13	6.0 \pm 0.09	3.74 \pm 0.05
สารมาตรฐาน Ascorbic acid	-	-	0.30 \pm 0.10	-	-
สารมาตรฐาน Trolox	-	-	0.18 \pm 0.34	-	-

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในคัพภะลูกเด็ยแสดงในตารางที่ 6 โดยในคัพภะลูกเด็ยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 2.75 mgGAE/g และมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 12.46mgCE/g ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดขึ้นกับชนิดของพันธุ์ ชนิดของัญพืช องค์ประกอบทางเคมี (Maisuthisakul, Pasuk และ Ritthiruangdej, 2008) งานวิจัยของ Tseng และคณะ(2006) พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของลูกเด็ยที่ผ่านการขัดสี (polished adlay) มีปริมาณ 3.05 mgGAE/g งานวิจัยของ Adom และ Liu (2002) ได้รายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในธัญพืช 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด, ข้าวเจ้า, ข้าวสาลี และข้าวโอ๊ต พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 0.411 mg/g of grain, 0.407 mg/g of grain, 0.368 mg/g of grain และ 0.343 mg/g of grain ตามลำดับ งานวิจัยของ Choi และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในธัญพืชต่าง ๆ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของลูกเด็ยมีปริมาณ 43 mgGAE/100g เมื่อนำปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของลูกเด็ยที่วิเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับธัญพืชอื่น ๆ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของลูกเด็ยที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของลูกเด็ยสูงกว่าธัญพืชอื่น ๆ เช่น black rice (313mgGAE/100g) ข้าวกล้อง (brown rice) (54 mgGAE/100g) ข้าวบาร์เลย์ (50

mgGAE/100g) ถั่วเขียว (mungbean) (45 mgGAE/100g) foxtail millet (47mgGAE/100g) prosomillet (29 mgGAE/100g) และข้าวเจ้า (18 mgGAE/100g)

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัด methanol ในคัพภะลูกเดือย แสดงในตารางที่ 6 พบว่าสารสกัดในคัพภะลูกเดือยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 120 mg/ml ส่วนในสารมาตรฐาน ascorbic acid และสารมาตรฐาน trolox มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.30mg/ml และ 0.18mg/ml ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดในคัพภะลูกเดือยกับ ascorbic acid และ trolox พบว่าสารสกัดในคัพภะลูกเดือยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยกว่า ascorbic acid ประมาณ 400 เท่า และน้อยกว่า trolox ประมาณ 600 เท่า ในงานวิจัยของ Kuo และคณะ (2002) ได้ศึกษาหา scavenging DPPH radicals ของแต่ละส่วนในลูกเดือย โดยรายงานเป็นค่า EC_{50} พบว่า ในส่วนของเปลือกหุ้ม (hull), เยื่อหุ้มเมล็ด (testa), รำ (bran) และลูกเดือยขัดสี มีค่า EC_{50} 81.3 μ g/ml, 566.0 μ g/ml, 795.0 μ g/ml และ 1707.0 μ g/ml ตามลำดับ ซึ่งในส่วนของเปลือกหุ้ม (hull) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุด Tseng และคณะ (2007) ที่ทำการศึกษาหา DPPH radical scavenging activity ในลูกเดือย พบว่า DPPH radical scavenging activity ของลูกเดือยที่ผ่านการขัดสีมีปริมาณ 6.2% Yang และ Zhai (2010) ได้ศึกษาหา DPPH-free radical-scavenging activity ในข้าวโพดม่วง (purple corn) โดยรายงานเป็นค่า IC_{50} พบว่า ในซังข้าวโพดม่วงและเมล็ดข้าวโพดม่วงมีค่า IC_{50} เท่ากับ 40.1 μ g/ml และ 48.5 μ g/ml ซึ่งมีความสามารถในการเป็นสารต้านการออกซิเดชันได้ดีกว่า BHA ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 175.7 μ g/ml ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า IC_{50} ในคัพภะลูกเดือยจากงานวิจัยนี้ พบว่า ในคัพภะลูกเดือยมีความสามารถในการเป็นสารต้านการออกซิเดชันได้ดีกว่า BHA แต่มีความสามารถในการเป็นสารต้านการออกซิเดชันได้ต่ำกว่าสารสกัดจากข้าวโพดม่วง และในงานวิจัยของ Tseng และคณะ (2006) ยังมีการศึกษาหา DPPH radical scavenging activity ในข้าวที่ผ่านการขัดสี (polished rice) คั่ว โดย DPPH radical scavenging activity ในข้าวที่ผ่านการขัดสีมีค่า 10.5% จากงานวิจัยของ Butsat และ Siriamornpun (2010) รายงานว่า ความแตกต่างของ DPPH radical scavenging activity ในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าว (รำ เปลือก ข้าวกล้องและแป้งข้าว) ขึ้นกับปริมาณ สารประกอบฟีนอลิก Morismta, Harai, Sudai และ Tetsukai (2002) ก็พบว่า DPPH radical scavenging activity ในเมล็ด buckwheat มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีค่าเพิ่มขึ้น

Ferric reducing antioxidant power ในสารสกัดจากคัพภะลูกเดือยรายงานในค่าของ FRAP value ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า สารสกัดจากคัพภะลูกเดือยมีค่า FRAP value เท่ากับ $6.0 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g extract}$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า FRAP value ในคัพภะลูกเดือยจากงานวิจัยนี้กับธัญพืชชนิดอื่น ๆ พบว่าในงานวิจัยของ Yang และ Zhai (2010) ได้ศึกษาคุณสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวโพดม่วง (purple corn) โดย FRAP assay พบว่า ในชั่งข้าวโพดม่วง (purple corn cob) มีค่า FRAP value เท่ากับ $18.7 \text{ mmol FeSO}_4/\text{g DW}$ และในส่วนของเมล็ดข้าวโพดม่วง (purple corn seed) มีค่า FRAP value เท่ากับ $16.2 \text{ mmol FeSO}_4/\text{g DW}$ ซึ่งในข้าวโพดม่วงมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดีกว่า BHA ซึ่งจากการศึกษานี้ใน BHA มีค่า FRAP value เท่ากับ $8.6 \text{ mmol FeSO}_4/\text{g DW}$ และในงานวิจัยของ Busat และ Siriamonpun ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในแกลบ(husk), รำ (bran), ข้าวกล้อง (brown rice) และข้าวเจ้า(milled rice) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ในข้าวกล้อง(brown rice) และข้าวเจ้า(milled rice) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่า FRAP value เท่ากับ $6.3 - 12.5 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$ และ $4.6 - 6.5 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$ ตามลำดับ

ค่า metal chelating capacity ในคัพภะลูกเดือยแสดงดังในตารางที่ 6 พบว่า ในคัพภะลูกเดือยมีค่า metal chelating capacity เท่ากับ $3.74 \text{ mgEDTA/g extract}$ โดยค่า metal chelating capacity เป็นการวัดความสามารถในการแย่งจับกับ โลหะของสาร ซึ่งเป็นวิธีการหาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารที่ต้องการทดสอบ เพราะโลหะไอออนเป็นตัวการสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระต่างๆ โดยเฉพาะธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปของเฟอร์รัส หรือ Fe^{2+} จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นสารอนุมูล Superoxide anion radical (O_2^-) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระตัวเริ่มต้นที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวอื่นๆ ต่อไป งานวิจัยของ Yu และคณะ (2002) ได้ศึกษาคุณสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใน hard winter wheat 3 พันธุ์ พบว่า สารสกัดจาก hard winter wheat มีค่า chelating capacity เท่ากับ $2.0 - 5.4 \text{ mgEDTA/g extract}$ เมื่อเปรียบเทียบกับคัพภะลูกเดือยจากงานวิจัยนี้ พบว่า สารสกัดจากคัพภะลูกเดือยมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงเทียบเท่ากับสารสกัดจาก hard winter wheat นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้ลูกเดือยเป็นส่วนผสมของขนมปัง และพบว่าขนมปังที่ได้มีคุณสมบัติต้านการเกิด oxidation (Lee et al., 2016) อีกทั้งยังมีรายงานว่าสารสกัดจากรำลูกเดือยสามารถต้านการเกิด oxidation และต้านเซลล์มะเร็งได้อีกด้วย (Manosroi, et al., 2016 (a); Manosroi, et al., 2016 (b); Xi et al., 2016)

5. องค์ประกอบทางเคมี, คุณสมบัติทางเคมี, โครงสร้างของ non – starch polysaccharides ในรำลูกเดี๋ย

5.1 องค์ประกอบทางเคมีในรำลูกเดี๋ย

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของรำลูกเดี๋ย

Compositions	Job's tear bran
Total sugar (%db)	37.7 ± 0.24
Total starch (%db)	17.1 ± 0.42
TDF (%db)	20.2 ± 0.68
Protein (%db)	16.9 ± 0.05
Moisture (%)	6.9 ± 0.02
Lipid (%db)	21.5 ± 0.29
Ash (%db)	6.8 ± 0.00

องค์ประกอบทางเคมีของรำลูกเดี๋ยแสดงในตารางที่ 12 รำลูกเดี๋ยประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหารในปริมาณสูง มีสตาร์ชในปริมาณต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดเดี๋ยที่ขัดสีแล้ว ปริมาณใยอาหารทั้งหมดในรำลูกเดี๋ยพันธุ์เปลือกขาวมีร้อยละ 22.2 มีโปรตีนร้อยละ 16.9 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับใยอาหารทั้งหมดที่พบในรำข้าวโอ๊ตและรำข้าวพบว่ามีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยคือ รำข้าวโอ๊ตมีใยอาหารร้อยละ 18.7 รำข้าวมีใยอาหารร้อยละ 22.9 รำลูกเดี๋ยมีโปรตีนอยู่สูงจึงเป็นแหล่งที่สำคัญของโปรตีนโดยพบว่ามีปริมาณของโปรตีนมากกว่ารำข้าว (ร้อยละ 13.7) และรำข้าวโอ๊ต (ร้อยละ 0.5) (Kahlon, 2007) ปริมาณไขมันและเถ้าในรำลูกเดี๋ยมีร้อยละ 21.5 และ 6.8 ตามลำดับมากกว่าที่พบในเมล็ดเดี๋ย

5.2. คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant properties) ในรำลูกเดี๋ย

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรำลูกเดี๋ยแสดงในตารางที่ 8 โดยในรำลูกเดี๋ยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 11.94 mgGAE/g และมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 15.79 mgCE/g งานวิจัยของChen และคณะ (2011) พบว่า รำลูกเดี๋ยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 6.6 – 19.1 mg GAE/g และมีสารประกอบฟลาโวนอยด์ 3.5 – 13.7 mgCE/g นอกจากนี้

Chen และคณะ (2011) ยังศึกษาพบว่า สารฟลาโวนอยด์ในรำลูกเดี๋ยมี 14 ชนิด ได้แก่ chromones 2 ชนิด, dihydrochalcone 1 ชนิด, chalcone 1 ชนิด, flavanones 4 ชนิด, flavones 5 ชนิด และ isoflavone 1 ชนิด ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดขึ้นกับชนิดของพันธุ์ ชนิดของธัญพืช องค์ประกอบทางเคมี (Maisuthisakul, Pasuk และ Ritthiruangdej, 2008) งานวิจัยของ Dykes และ Rooney (2007) รายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในรำข้าวโอ๊ต, รำข้าวไรย์ และ รำข้าวสาลี พบว่ามีปริมาณ เท่ากับ 0.65 mgGE/g, 4.19 mgGE/g และ 4.53 mgGE/g ตามลำดับ Kim และคณะ (2006) รายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 3.3 – 3.9mgGE/g ในรำข้าวสาลี Zhou และ Yu (2004) ได้ศึกษาผลของการสกัดด้วยตัวทำละลายต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในรำข้าวสาลี พบว่า รำข้าวสาลีที่สกัดด้วย ตัวทำละลายเมทิลแอลกอฮอล์ 70% มีสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 1.00 – 1.10 mg GAE /g bran เมื่อนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน 50% พบว่า มีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเป็น 2.09 - 2.63 mg GAE /g bran และในงานวิจัยของ Busat และ Siriamonpun ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในแกลบรำ และในเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ในส่วนของแกลบ และ รำข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณ สารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 1.2 – 2.2 mg GAE /g และ 2.5 – 2.7 mg GAE /g ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic content), สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Total flavonoid content) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH, FRAP value และ Metal chelating capacity ของสารสกัด methanol ในรำลูกเดี๋ย

ตัวอย่าง	Total Phenolic (mg GAE/g)	Total Flavonoid (mgCE/g)	IC ₅₀ (mg/ml)	FRAP value (μ mol FeSO ₄ /g)	Metal chelating capacity (mgEDTA/g)
คัพภะลูกเดี๋ย	11.94 \pm 0.08	15.79 \pm 0.03	30.00 \pm 0.12	29.0 \pm 0.02	56.14 \pm 0.10
สารมาตรฐาน Ascorbic acid	-	-	0.30 \pm 0.10	-	-
สารมาตรฐาน Trolox	-	-	0.18 \pm 0.34	-	-

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัด methanol ในรำลูกเดือย แสดงในตารางที่ 8 พบว่าสารสกัดในรำลูกเดือยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 30.0 mg/ml ส่วนในสารมาตรฐาน ascorbic acid และสารมาตรฐาน trolox มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.30mg/ml และ 0.18mg/ml ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดในรำลูกเดือยกับ ascorbic acid และ trolox พบว่าสารสกัดในรำลูกเดือยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำกว่า ascorbic acid ประมาณ 100 เท่า และต่ำกว่า trolox ประมาณ 167 เท่า จากงานวิจัยนี้พบว่าสารสกัดจากรำลูกเดือยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดีกว่าสารสกัดจากคัพภะลูกเดือย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kuo และคณะ (2002) ได้ศึกษาหา scavenging DPPH radicals ของแต่ละส่วนในลูกเดือย โดยรายงานเป็นค่า EC_{50} พบว่าในส่วนของเปลือกหุ้ม (hull), เยื่อหุ้มเมล็ด (testa), รำ (bran) และลูกเดือยขัดสี มีค่า EC_{50} 81.3 μ g/ml, 566.0 μ g/ml, 795.0 μ g/ml และ 1707.0 μ g/ml ตามลำดับ ซึ่งพบว่าในส่วนรำลูกเดือยมีความสามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าส่วนที่เป็นเมล็ดลูกเดือย เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในธัญพืชชนิดอื่นๆ จากงานวิจัยของ Zhou และ Yu (2004) รายงานว่า DPPH radical scavenging activity ในรำข้าวสาลีพันธุ์ Akron ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน 50%, เอทิลแอลกอฮอล์ 70% และเมทิลแอลกอฮอล์ 70% มีค่า 38.48%, 37.83% และ 16.87% ตามลำดับ และ DPPH radical scavenging activity ในรำข้าวสาลีพันธุ์ Trego สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน 50%, เอทิลแอลกอฮอล์ 70% และเมทิลแอลกอฮอล์ 70% มีค่า 47.68%, 46.56% และ 24.60% ตามลำดับ และในงานวิจัยของ Busat และ Siriamonpun ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในแกลบ (husk) และรำข้าว (bran) พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พบว่า DPPH radical scavenging activity ในส่วนของแกลบและรำข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีค่า 42.0 – 89.5% และ 85.9 – 86.7% ตามลำดับ

Ferric reducing antioxidant power ในสารสกัดจากรำลูกเดือยรายงานในค่าของ FRAP value ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า สารสกัดจากรำลูกเดือยมีค่า FRAP value เท่ากับ 29.0 μ mol $FeSO_4$ /g extract เมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชชนิดอื่น พบว่าจากงานวิจัยของ Busat และ Siriamonpun ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในแกลบ(husk),และรำข้าว(bran) พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พบว่า ในส่วนของแกลบและรำข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีค่า FRAP value เท่ากับ 12.4 – 28.2 μ mol $FeSO_4$ /g และ 27.5 – 32.2 μ mol $FeSO_4$ /g ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับสารสกัดที่ได้จากรำลูกเดือยกล่าวได้ว่าสารสกัดจากรำลูกเดือยมีความสามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่ากับสารสกัดที่ได้จากรำข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ค่า metal chelating capacity ในรำลูกเดือยแสดงในตารางที่ 8 พบว่า ในคัพภะลูกเดือยมีค่า metal chelating capacity เท่ากับ 56.14mgEDTA / g extract ซึ่งในรำลูกเดือยมีค่า metal chelating capacity สูงกว่าในคัพภะลูกเดือย แสดงว่ารำลูกเดือยมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารที่คิดว่าเป็นคัพภะลูกเดือย งานวิจัยของ Yu และคณะ (2003) รายงานค่า metal chelating capacity 557 – 665 μ gEDTA/g bran ในรำข้าวสาลี พันธุ์ Akorn งานวิจัยของ Yu และ Zhou (2004) รายงานค่า metal chelating capacity Platte 300 – 780 μ gEDTA/g bran ในรำข้าวสาลี พันธุ์ Platte เมื่อเปรียบเทียบกับรำลูกเดือย จากงานวิจัยนี้ พบว่า ค่า metal chelating capacity ในรำลูกเดือยสูงกว่าในรำข้าวสาลีทั้งสองพันธุ์

5.3 โครงสร้างของ non – starch polysaccharides ในรำลูกเดือย

5.3.1 การสกัดและองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชจากรำลูกเดือย

ปริมาณของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดือยมีร้อยละ 0.5 และ 1.0 ตามลำดับประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ (โมโนแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ) โพรตีนและเส้นใยเป็นองค์ประกอบ(ตารางที่ 9) โพรตีนในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดือยมีปริมาณสูงกว่าในส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ ปริมาณเส้นใยในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดือยมีปริมาณต่ำกว่าในส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ ปริมาณกรดยูโรนิกในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำสูงกว่าส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ

ส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดือยพบว่ามีแรมโนส ซึ่งไม่พบในส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ และพบว่าในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำมีกาแลกโตสสูงกว่าในส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ น้ำตาลอื่น ๆ ที่พบได้แก่ อะราบิโนส กลูโคส ไซโลสและแมนโนส อะราบิโนสพบในปริมาณที่สูงกว่าน้ำตาลชนิดอื่น ๆ ปริมาณกาแลกโตส อะราบิโนส และ ไซโลสในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ บ่งบอกได้ว่ามีอะราบิโน-กาแลกแตน และอะราบิโนไซแลนเป็นองค์ประกอบ อัตราส่วนระหว่างอะราบิโนสต่อไซโลสในส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ มีค่าสูง (1.17) แสดงให้เห็นว่าอะราบิโนไซแลนมีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขามาก แต่ในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ (0.93) ที่มีกิ่งก้านน้อยกว่าในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำของอะราบิโนไซแลนจากรำลูกเดือยมีค่าสูงกว่าที่ได้มีรายงานไว้ในรำข้าวสาลี (0.59) (Annison et al., 1992) และรำข้าวไรย์ (0.56-0.58) นอกจากนี้พบว่ากาแลกโตสร้อยละ 5.8 และ 5.5 ที่พบในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำมีค่าสูงกว่ากาแลกโตส (ร้อยละ 1.6) ที่พบในรำข้าวไรย์ (Cyrán and

Saulnier, 2005) อะราบิโนไซแลนในส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดี๋ยมีอัตราส่วนระหว่างอะราบิโนสต่อไซโรส (1.17) สูงกว่ารำข้าวสาลี (0.33) (Cui et al., 1999) และรำข้าวโอ๊ต (0.98) (Ebringerová et al., 1994)

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดี๋ย

องค์ประกอบ	รำลูกเดี๋ยเปลือกสีขาว	
	WE fraction	WU fraction
โปรตีน(%db)	31.5 ± 0.86	26.1 ± 0.57
เถ้า(%db)	29.9 ± 0.09	30.2 ± 0.48
กรดยูโรนิก(%db)	4.6 ± 0.05	2.4 ± 0.09
มอโนแซ็กคาไรด์(%db)		
แรมโนส	0.3 ± 0.12	-
อะราบิโนส	5.7 ± 0.04	10.5 ± 0.01
กาแลกโตส	5.5 ± 0.15	2.2 ± 0.11
ไซโลส	2.0 ± 0.02	9.0 ± 0.17
กลูโคส	1.4 ± 0.16	1.8 ± 0.06
แมนโนส	1.1 ± 0.09	0.5 ± 0.06
ปริมาณทั้งหมด	17.0	24.0
อะราบิโนสต่อไซโลส	0.93 ¹	1.17

หมายเหตุ¹เป็นการคำนวณค่าสัดส่วนจากอะราบิโนกาแลกแทนจากค่าเฉลี่ย อะราบิโนสต่อกาแลกโตส 0.7

WE fraction = ส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ, WU fraction = ส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ

5.3.2 การกระจายขนาดโมเลกุล

กราฟการกระจายขนาดโมเลกุลของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดี๋ยพันธุ์เปลือกสีขาวมีพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่พบในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำมี 2 ชนิด สังเกตจากยอดกราฟที่แตกออกจากกันเป็น 2 ยอด วัดโดยเครื่องตรวจวัด Light scattering โดยที่ยอดกราฟแรกของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ อยู่ที่ Retention volume ประมาณ 14.0 ml ส่วนยอดกราฟที่ 2 อยู่ที่ประมาณ 15.8 ml ยอดกราฟทั้ง 2 ชนิดที่อยู่ใกล้เคียงกันนั้น แสดงให้เห็นถึงอะราบิโนไซแลนและอะราบิโนกาแลกแทนตามลำดับ (Trog, Courtin,

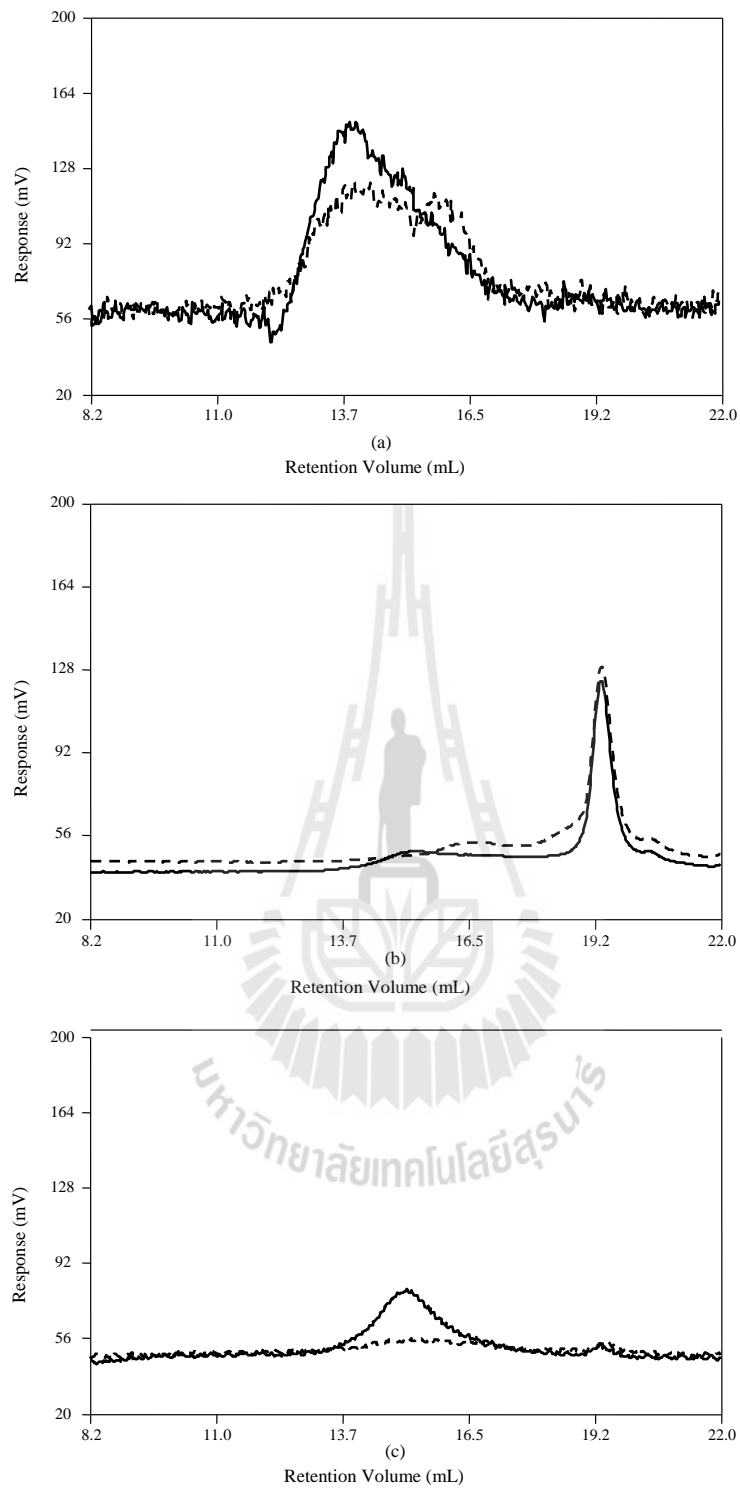
and Delcour, 2004; Izydorczyk, Biliaderis, and Bushuk, 1991; Michniewicz, Biliaderis, and Bushuk, 1990)

ตารางที่ 10 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (MW), radius of gyration (Rg), polydispersity index (Pd), and Intrinsic viscosity $[\eta]$ ของอะราบิโนไซเลนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดือย

รำลูกเดือย	MW (Da)	Rg (nm)	Pd	$[\eta]$ (dl/g)
อะราบิโนไซเลนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ	488,000	40.4	1.1	4.0

หมายเหตุ $dn/dc = 0.146 \text{ ml/g}$ ใช้ในการคำนวณค่า MW โดยเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ 2 ซ้ำ

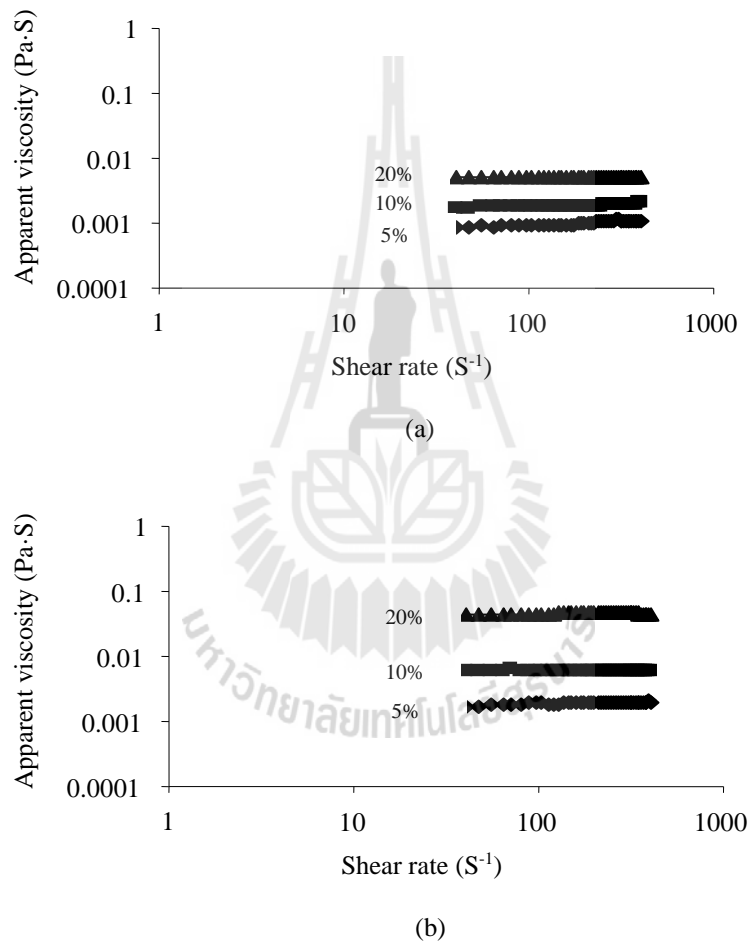
ส่วนยอดพีคที่เห็นจากเครื่องตรวจวัด Refractive index ที่ Retention volume ประมาณ 19.5 ml คือส่วนของโปรตีนคล้ายกับพีคที่ได้จากตัวอย่างของเมล็ดลูกเดือย ค่าการกระจายขนาดโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้ง 2 ชนิด ของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำไม่สามารถทำการวัดได้เนื่องจากยอดกราฟทั้ง 2 ยอดมีตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันมาก อะราบิโนไซเลนของส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดือยที่วัดโดยเครื่องตรวจวัด Light scattering มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุล 488,000 Da (Pd 1.1) และ 40.4 nm (ตารางที่ 18)



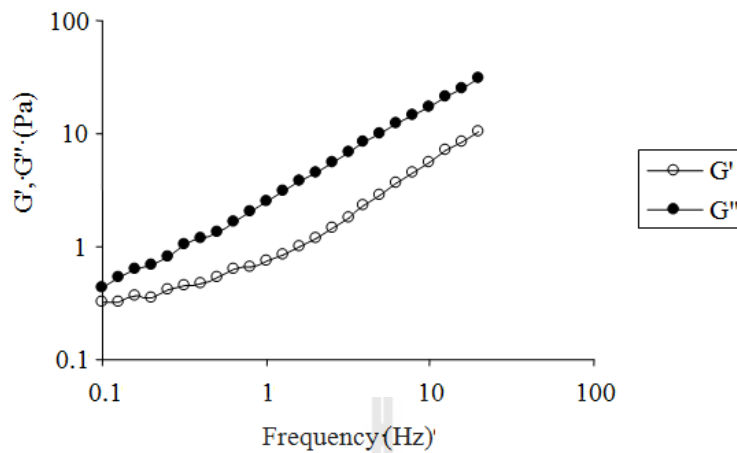
ภาพที่ 18 Elution profile ของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำของ
 รำลูกเดือยวัดจากเครื่องตรวจวัด 3 ชนิด (a) LS = Light scattering detector,
 (b) RI = Refractive index detector, (c) Viscometer detector, เส้นทึบคือส่วนที่
 สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ เส้นประคือส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ

5.3.3 คุณสมบัติทางด้านรีโอโลยี

สารละลายของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ มีลักษณะพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียนที่ความเข้มข้นถึงร้อยละ 20 ตลอดช่วงของ Shear rate ที่เปลี่ยนแปลงไป (ภาพที่ 19) เนื่องจากอะราบิโนไซแลนมีกิ่งก้านสาขามากเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสาลี ซึ่งข้าวสาลีมีพฤติกรรมการไหลแบบเชียร์ทินนิง (Shear thinning flow behavior) ที่ความเข้มข้นเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น (Izydorczyk et al., 1991)



ภาพที่ 19 พฤติกรรมการไหลของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ (a) และส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ (b) จากรำลูกเดี๋ยที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (น้ำหนักต่อปริมาตร)



ภาพที่ 20 Storage moduli (G') และ Loss moduli (G'') ของส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ;

(a) รำลูกเดือยเปลือกสีดำ (b) รำลูกเดือยเปลือกสีขาว; วัสดุที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนักต่อปริมาตร)

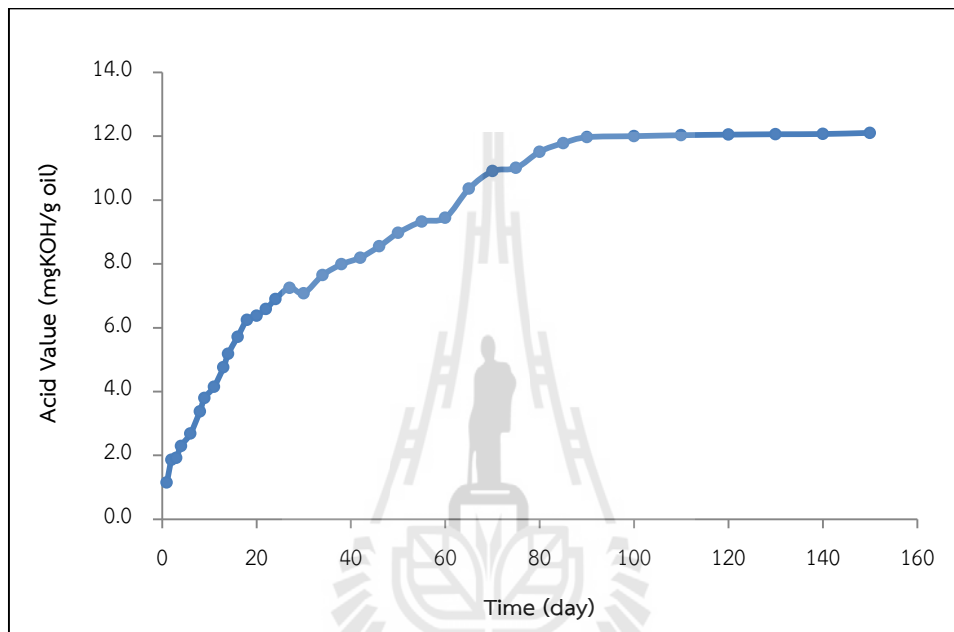
ภาพที่ 20 เป็นกราฟแสดง Dynamic moduli (G' and G'') ของส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดือยที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 จะเห็นได้ว่าค่า G'' มีค่าสูงกว่าค่า G' ณ ทุก ๆ ความถี่ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำมีลักษณะการไหลเหมือนของเหลว (Liquid like character) ความถี่ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อค่า G' and G'' อย่างมาก ดังเกิดจากค่าความชันของกราฟที่มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

5.4 การหาอายุการเก็บของรำลูกเดือย

5.4.1 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษารำลูกเดือยในถุงซิปล็อคที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 150 วัน พบว่า ค่าความเป็นกรด (Acid value) เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น วันที่ 9 ของการเก็บ ค่าความเป็นกรดของรำลูกเดือย เท่ากับ 4.15 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม (ภาพที่ 21) ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดให้ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม สำหรับน้ำมันหรือไขมันที่ทำโดยวิธีธรรมชาติ (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) โดยค่าความเป็นกรด (Acid value) เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยเป็นค่าที่บ่งบอกว่าไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่เป็นส่วนประกอบหลักถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไลเปส (lipase) ให้

เป็นกรดไขมันอิสระ หากค่าความเป็นกรดมากแสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพ เกิดขึ้นเพราะน้ำมันหรือไขมันสัมผัสกับน้ำ เป็นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) หรือที่เรียกว่า hydrolytic rancidity โดยมีเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นสาเหตุของการเหม็นหืน และมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ทำให้เกิดการเหม็นหืนอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว (ดาวัลย์, 2550)

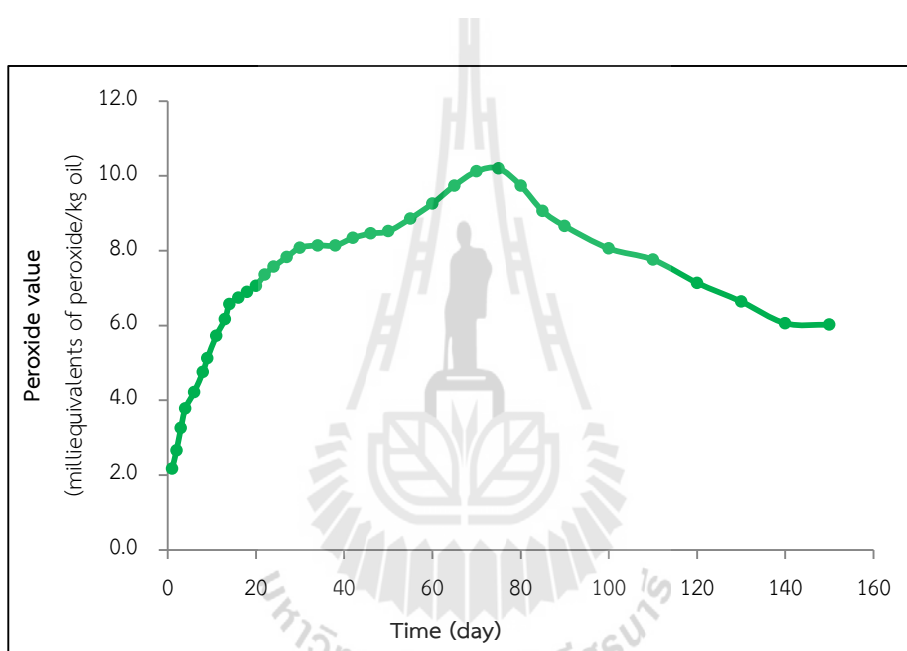


ภาพที่ 21 ค่าความเป็นกรด (acid value) ในรำลูกเดือยที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 150 วัน

5.4.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value ; PV)

ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) เป็นการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันและไขมันรวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง จากการศึกษาอายุการเก็บรักษารำลูกเดือยในถุงซิปล็อคที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 150 วันค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรก ช่วงการเก็บรักษาวันที่ 1 ถึงวันที่ 85 ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และช่วงที่ 2 คือ ช่วงการเก็บรักษาวันที่ 86 ถึงวันที่ 150 ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าเปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์อันดับแรกที่ได้จากการเกิดออกซิเดชันของไขมันซึ่งเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่

ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาจึงมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นที่ค่อยๆเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณและเวลาที่นานขึ้นเปอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้สารต่างๆ เกิดขึ้นหลายชนิด จึงทำให้เมื่อเวลานานขึ้นปริมาณเปอร์ออกไซด์มีค่าลดลง ดังนั้นการตรวจหาปริมาณเปอร์ออกไซด์เพียงชนิดเดียวจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการสรุประดับการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ จึงต้องมีการตรวจสอบหาปริมาณสารที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ซึ่งส่วนใหญ่คือแอลดีไฮด์ ซึ่งการประเมินหาปริมาณแอลดีไฮด์โดยวิธีหาค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ร่วมด้วย (นิธิยา, 2548)

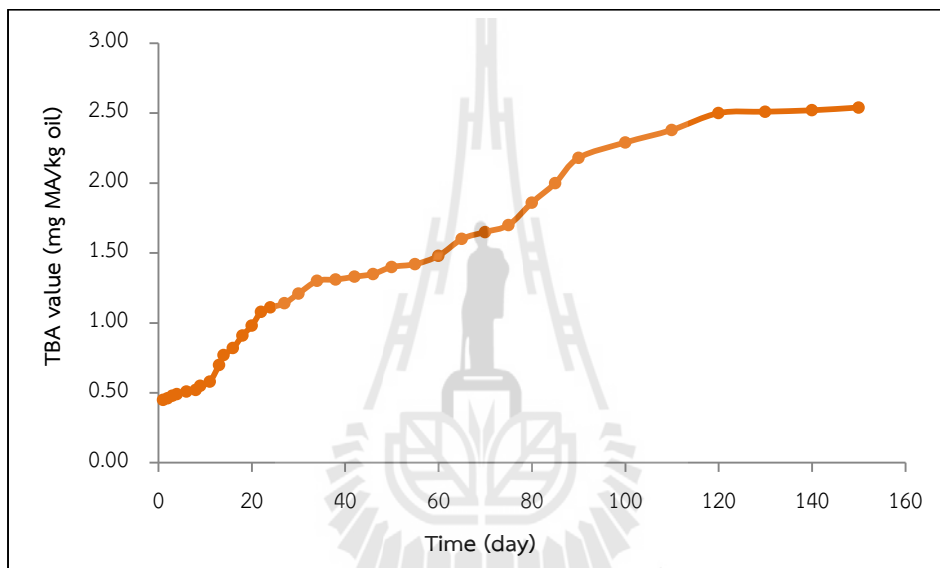


ภาพที่ 22 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ในรำลูกเดี๋ยที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 150 วัน

5.4.3 ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA)

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษารำลูกเดี๋ยในถุงซีล๊อคที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 150 วัน พบว่า ค่า TBA เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 75 วัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ในรำลูกเดี๋ยที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และพบว่าค่า TBA ของรำลูกเดี๋ยมีค่าเกินมาตรฐานกำหนดคือ 1.70 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม (ภาพที่ 23) ซึ่งตามมาตรฐานกำหนดให้ไม่ควรเกิน 1.6 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) แต่มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกลิ่นหืนกับค่า TBA พบว่า

ผู้บริโภคสามารถรับรู้กลิ่นหืนได้ เมื่อค่า TBA เท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม (ลินี, 2544) เนื่องจากค่ามาตรฐาน TBA ที่กำหนดไว้ บ่งบอกถึงว่าตัวอย่างหรืออาหารที่ศึกษานั้นมีกลิ่นเหม็นหืนที่ผู้บริโภคเริ่มไม่ยอมรับ ซึ่งค่า TBA เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (volatile decomposition product) จากการทำปฏิกิริยาแล้วเกิดสารประกอบที่เรียกว่ามาโลนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อันดับสองที่ได้จากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และเป็นค่าที่นิยมใช้ประเมินคุณภาพทางด้านการเหม็นหืนของไขมันหรือน้ำมันและอาหาร(นิธิยา, 2548)



ภาพที่ 23 ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) ในรำลูกเดือยที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ข เป็นระยะเวลา 150 วัน

5.4.4 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสในการศึกษาอายุการเก็บรักษารำลูกเดือยในถุงซิปล็อกที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเมื่อเก็บรักษารำลูกเดือยไว้เป็นเวลา 19 สัปดาห์ (133 วัน) ผู้ทดสอบ (panelist) ให้คะแนนสเกลเฉลี่ยกลิ่นเหม็นหืนของรำลูกเดือย เท่ากับ 6.38 และลงความเห็นว่ารำลูกเดือยที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 19 สัปดาห์ มีกลิ่นเหม็นหืนในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ (ตารางที่ 19) ซึ่งสอดคล้องกับค่า TBA ที่เก็บรักษารำลูกเดือยเป็นระยะเวลา 130 วัน พบว่า ค่า TBA ของรำลูกเดือย เท่ากับ 2.51 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม (ภาพที่ 23) สอดคล้องกับการศึกษาของ ลินี หนองเต่าดำ (2544) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกลิ่นหืนกับค่า TBA แล้วพบว่าผู้บริโภค

สามารถรับรู้กลิ่นหืนได้ เมื่อค่า TBA เท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม จากการศึกษาหาอายุการเก็บรำลูกเดือยในงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาจากค่าเปอร์ออกไซด์, ค่า TBA และการประเมินทางประสาทสัมผัส บอกได้ว่ารำลูกเดือยสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เป็นระยะเวลาประมาณ 120 – 130 วัน หรือ 17-18 สัปดาห์

ตารางที่ 11 การทดสอบทางประสาทสัมผัส แบบ Quantitative Descriptive Analysis
ในรำลูกเดือย

เวลา (สัปดาห์)	Scale	การยอมรับของ panelists
1	0.45	ยอมรับ
2	0.86	ยอมรับ
3	1.84	ยอมรับ
4	2.09	ยอมรับ
5	2.13	ยอมรับ
6	2.65	ยอมรับ
7	2.98	ยอมรับ
8	3.17	ยอมรับ
9	4.78	ยอมรับ
10	5.56	ยอมรับ
11	5.72	ยอมรับ
12	6.00	ยอมรับ
13	6.01	ยอมรับ
14	6.00	ยอมรับ
15	6.02	ยอมรับ
16	6.08	ยอมรับ
17	6.05	ยอมรับ
18	6.10	ยอมรับ
19	6.38	ไม่ยอมรับ

หมายเหตุ การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Quantitative Descriptive Analysis ในรำลูกเดือย เป็น
การทดสอบกลิ่นเหม็นหืนที่เป็นกลิ่นเฉพาะในผลิตภัณฑ์

บทที่ 5

บทสรุป

ลูกเด็ยมีลักษณะรูปร่างภายในและภายนอกใกล้เคียงกับเมล็ดข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ ซึ่งตำแหน่งของคัพภะของลูกเด็ยต่ออยู่กับส่วนของ black layer โดยมีส่วนของเอนโดสเปิร์มโอบล้อมส่วนคัพภะและปริมาณของส่วนคัพภะของลูกเด็ยมีปริมาณอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของทั้งเมล็ด องค์ประกอบทางเคมีของแป้งลูกเด็ยเต็มเมล็ดมีค่าสูงกว่าแป้งลูกเด็ยที่แยกคัพภะออกกำลังการพองตัวของแป้งลูกเด็ยเต็มเมล็ดมีค่าต่ำกว่าแป้งลูกเด็ยที่แยกคัพภะออก ในขณะที่ค่าการละลาย คุณสมบัติการเกิดเพสท์ทางด้านความหนืดและอุณหภูมิของแป้งลูกเด็ยเต็มเมล็ดมีค่าสูงกว่าแป้งลูกเด็ยที่แยกคัพภะออก ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนเซชันของแป้งลูกเด็ยเต็มเมล็ด และแป้งลูกเด็ยที่แยกคัพภะออก อยู่ในช่วง 66–81 องศาเซลเซียส และ 66–79 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การแยกคัพภะลูกเด็ยโดยการใช้คนเป็นวิธีที่สามารถแยกคัพภะได้ดี เป็นวิธีการที่ง่าย และสะดวก แต่ใช้เวลานานเมื่อต้องแยกในปริมาณมาก ส่วนการการแยกคัพภะโดยการทำ preconditioning ร่วมกับการลดขนาดและคัดขนาด ด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกและเครื่องขัดข้าว พบว่า ไม่สามารถแยกส่วนของคัพภะออกจากส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของลูกเด็ยได้ เมื่อนำลูกเด็ยแต่ละ fraction ไปวิเคราะห์ปริมาณไขมันเพื่อเปรียบเทียบการปนของส่วนที่เป็นคัพภะในส่วนของเอนโดสเปิร์ม พบว่า ณ เวลาการทำ preconditioning เดียวกัน ที่ขนาดอนุภาคต่างกันปริมาณไขมันในแต่ละ fraction แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน เวลาการทำ preconditioning ต่างกันที่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

คัพภะลูกเด็ยประกอบด้วย โปรตีน, ไขมัน, เถ้าและใยอาหารในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งลูกเด็ยเต็มเมล็ดและรำลูกเด็ย มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด, สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด, DPPH radical scavenging activity, Ferric reducing antioxidant power และ Metal chelating activity ในปริมาณที่ต่ำกว่ารำลูกเด็ย

รำลูกเด็ยประกอบด้วย โปรตีน, ไขมัน, เถ้าและใยอาหารในปริมาณสูง มีสารอยู่ ในปริมาณต่ำที่เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดเด็ยที่ขัดสีแล้ว แต่ประกอบด้วย โปรตีน, ไขมัน, เถ้าและใยอาหารในปริมาณต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคัพภะลูกเด็ย และในรำลูกเด็ยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด, สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด, DPPH radical scavenging activity, Ferric reducing antioxidant power และ Metal chelating activity

สูงกว่าในคัพภะลูกเดียว ส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและสกัดไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดียวยมีร้อยละ 0.5 และ 1.0 มีพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช โพรตีนและเถ้าเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณที่แตกต่างกันคล้ายคลึงกับส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำที่พบในเนื้อเมล็ดลูกเดียว ปริมาณของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชในส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดียวยมีค่าร้อยละ 17.0 และ 24.0 อัตราส่วนระหว่างอะราบิโนสต่อไซโลสของอะราบิโนไซแลนในรำลูกเดียวยมีค่าอยู่ในช่วง 0.93 และ 1.17 ส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำจากรำลูกเดียวยพบพอลิแซ็กคาไรด์ 2 ชนิดเป็นองค์ประกอบคือ อะราบิโนไซแลนและอะราบิโนกาแลกแตน ส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำพบอะราบิโนไซแลนเพียงชนิดเดียว คุณสมบัติทางรีโอโลยีของส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำมีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียนและส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำมีลักษณะการไหลเหมือนของเหลวแม้ที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งอาจไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เพื่อเพิ่มความข้นหนืดให้กับอาหารแต่อาจมีประโยชน์โดยเป็นแหล่งของสารอาหารและใยอาหารที่ละลายได้ในน้ำที่มีอยู่ในปริมาณสูง

รำลูกเดียวยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 150 วัน พบว่า ค่าความเป็นกรด(acid value) สูงกว่ามาตรฐานกำหนดเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 9 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์มีแวนอ์มเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 75 วัน และหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 76 – 150 วัน ค่าเปอร์ออกไซด์มีแวนอ์มลดลง ค่า TBA มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า เมื่อเก็บรักษารำลูกเดียวยเป็นระยะเวลา 133 วัน (19 สัปดาห์) รำลูกเดียวยมีกลิ่นเหม็นหืนในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- กระทรวงพาณิชย์. (2546). ลูกเดือย [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.moc.go.th/opscenter/lylmun.htm>.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2543). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ.2543) เรื่อง
น้ำมันและไขมัน. ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ.2543.
- จักรพรรดิ วุ่นสีแซง. (2546). เดือยข้าวเหนียว. กสิกร 76(2): 98-103.
- จรัสพรรณ ต้นหยง. (2544). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอ้ก๋ำวกลิ้งผสมกิ่งสำเร็จรูป.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดาวลัย ฉิมภู. (2550). ชิวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
กรุงเทพฯ. หน้า 162.
- ทัศนีย์ พรกิจประสาน. (2530). ลูกเดือย :คุณสมบัติบางประการและผลิตภัณฑ์. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทัศนีย์ พรกิจประสาน และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2530). การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและ
กายภาพของแป้งและสตาร์ชลูกเดือย. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย.)21: 371-377.
- ทัศนีย์ พรกิจประสาน และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2531). ผลิตภัณฑ์ลูกเดือย.วารสารเกษตรศาสตร์
(วิทย.)22: 103-109.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2535). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,
กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. สำนักพิมพ์
โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- นวลศรี ธีรก่อริษะธรรม และอัญชญา เจนวิถีสุข. (2545). แอนติออกซิเดนท์ สารต้าน
มะเร็งในผัก-สมุนไพรไทย. นพบุรีการพิมพ์ เชียงใหม่.
- รุ่งนภาพงศ์สวัสดิ์มานิต. (2548). การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารใน
สถานะแข็ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาณวัฒน์, รุ่งทิวา วันสุขศรี และบุญทิวา นิลจันทร์. (2546). การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- วันชัย จันทร์ประเสริฐ. (2537). **สรีระวิทยาเมล็ดพันธุ์**. ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริพร จันทนา. (2529). การใช้แป้งลูกเดี๋ยในการทำนมจืด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สินี หนองเต่าดำ. (2544). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อจระเข้ปรุงรสและการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัย ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุภาพร อภีรัตน์านุสรณ์. (2550). **อะราบิโนไซแลนจากลูกเดี๋ย (*Coix lachrymal-jobi L.*) : คุณสมบัติทางเคมี โมเลกุล และโครงสร้าง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อนันต์ สกุกกิม. (2551). อนุมูลอิสระ สารอันตรายต่อสุขภาพและร่างกาย. **ก้าวทันโลก วิทยาศาสตร์** 8(1): 28-33.
- อรอนงค์ นัยวิกุล (2532). **เคมีทางสัตววิทยา**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AACC (2000). **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists** (10th ed.). Volume 2. Washington DC, U.S.A.: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Adom, K. K. and Liu, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 6182-6187.
- Ahmed, F., Platel, K., Vishwanatha, S., Puttaraj, S., and Srinivasan, K. (2007). Improved shelf-life of rice bran by domestic heat processing and assessment of its dietary consumption in experimental rats. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 87: 60-67.
- Al-Othman, A. A., Al-Shagrawi, R. A., Hewedy, F. M., and Hamdi, M. M. (1998). Plasma total, lipoprotein cholesterol, organs cholesterol and growth performance in rats fed dietary gum arabic. **Food Chemistry**. 62 (1): 69-72.

- Åman, P. and Westerlund, E. (1996). Cell wall polysaccharides: structural, chemical, and analytical aspects. In A-C.Eliasson (ed.). **Carbohydrates in Food** (pp 191-226). Marcel Dekker, Inc. New York.
- Ames, B. N., Shigenaga, M.K. and Hagen, T.M. (1993). "Oxidants antioxidants, and the degenerative disease of aging" **Proc. Natl Acad. Sci. USA.** 90: 7915-7922.
- Anderson, J. W. and Tietyen-Clark, J. (1986). Dietary fiber: Hyperlipidemia, hypertension and coronary heart disease. **American Journal of Gastroenterology.** 81: 907-919.
- Andreasen, A. F., Kroon, P. A., Williamson, G., and Garcia-Conesa, M-T. (2001). Esterase activity able to hydrolyze dietary antioxidant hydroxyl cinnamates is distributed along the intestine of mammals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 49: 5679-5684.
- AOAC (1997). **Official Methods of Analysis** (16thed.). Washington DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC (2000). **Official Methods of Analysis** (17thed.). Washington DC. U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- AOAC (2005). **Official Methods of Analysis** (18thed.). Washington DC. U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- AOCS. (1998). **Official Method and Recommended Practices of the AOCS.** 5thed. American Oil Chemist's Society Champaign, IL.
- Arora, R. K. (1977). **Job's tears (*Coix lacryma-jobi*) A minor food and fodder crop from north eastern india.** Econ. Bot. 31: 358-366.
- Bao, J., Y. Cai, M. Sun, G. Wang and H. Corke. (2005). Anthocyanins, flavonols and free radical scavenging activity of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 53: 2327-2332.
- Beeson, W. M., Lehrer, W. P., and Woods, E. (1947). Peas, supplemented with wheat germ or corn germ, as a source of protein for growth. **Journal of Nutritional.** 1: 587-593.

- Bender, D.A. and Bender A.E. (1999). **Benders' Dictionary of Nutrition and Food Technoloty, 17th edn.** Woodhead Publishing, Abington.
- Bengtsson, S. and Åman, P. (1990). Isolation and chemical characterization of water soluble ambinoxylans in rye grain. **Carbohydrate Polymers.** 12: 267-277.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power" : The FRAP assay. **Journal of Analytical Biochemistry.** 239(1): 70-76.
- Blumenkrantz, N. and Asboe-Hansen, G. (1973). New method for quantitative determination of uronic acids. **Analytical Biochemistry.** 54: 484-489.
- Boros, L. G., Nichelatti, M. and Shoenfeld, Y. (2005). Fermented wheat germ extract (Aveamar) in the treatment of cancer and autoimmune diseases. **Ann. N.Y. Acad. Sci.** 1051: 529-542.
- Brouns, F., Kettlitz, B. and Arrigoni, E. (2002). Resistant starch and the butyrate revolution. **Trends Food Sci. Technol.** 13: 251-261.
- Butsat, S. and Siriamornpun, S. (2010). Antioxidant capacities and Phenolic Compounds of the Husk, Bran and Endosperm of Thai Rice. **Food Chemistry.** 119: 606 – 613.
- Carter, J. W., Hardman, W. E., Heitman, D. W., and Cameron, I. L. (1998). Type and amount of individual dietary fibers on: serum lipid profiles, serum glucose concentration and energy intake in rats. **Nutrition Research.** 18 (10): 1743-1756.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. E. (2002). Estimation of total flavonoids content in propolis by two complementary colorimetric methods. **Journal of Food and Drug Analysis.** 10(3): 178-182.
- Chang, H-C., Huang, Y-C., and Hung, W-C. (2003). Antiproliferative and chemopreventive effects of adlay seed on lung cancer in vitro and in vivo. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 51:3656-3660.
- Chattopadhyay, K. and Chattopadhyay, B. D. (2008). Effect of nicotine on lipid profile, peroxidation & antioxidant enzymes in female rats with restricted dietary protein. **Journal of Research and Education in Indian Medicine.** 127: 571-576.

- Chen, H. J., Chung, C. P., Chiang, W., and Lin, Y. L. (2011). Anti-inflammatory effects and chemical study of a flavonoid-enriched fraction from adlay bran. **Food Chemistry**. 126: 1741-1748.
- Chen, H.-J., Lo, Y.-C., Chiang, W. (2012). Inhibitory effects of adlay bran (*Coix lachryma-jobi L. var. ma-yuen Stapf*) on chemical mediator release and cytokine production in rat basophilic leukemia cells. **Journal of Ethnopharmacology**, 141, 119-127.
- Chiang, W., Cheng, C-H., Chiang, M-T., and Chung, K-T. (2000). Effects of dehulled adlay on the culture count of some microbiota and their metabolism in the gastrointestinal tract of rats. *J. Agric. Food Chemistry*. 48: 829-832.
- Choi, Y., Jeong, H-S. and Lee, J. (2007). Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. **Food Chemistry**. 103(1): 130-138.
- Chung, H. J., Liu, Q., Pauls, K. P, Fan, M. Z. and Yada, R. (2008). In vitro starch digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) varieties grown in Canada. **Food Res. Inter.** 41: 869-875.
- Cui, S. W. (2001). **Polysaccharide Gums from Agricultural Products: Processing, Structure & Functionality** (pp 103-228). Technomic Publishing Co., Inc.
- Cui, W., Wood, P. J., Weisz, J., and Beer, M. U. (1999). Nonstarch polysaccharides from preprocessed wheat bran: carbohydrate analysis and novel rheological properties. **Cereal Chemistry**. 76 (1): 129-133.
- Debon, S. J. J., and Tester, R. F. (2001). In vitro binding of calcium, iron and zinc by non-starch polysaccharides. **Food Chemistry**. 73: 401-410.
- Delaney, B., Carlson, T., Srazer, S., Zheng, T., Hess, R., Ostergren, K., Kierzek, K., Haworth, J., Knutson, N., Junker, K., and Jonker, D. (2003). Evaluation of the toxicity of concentrated barley β -glucan in a 28-day feeding study in wistar rats. **Food and Chemical Toxicology**. 41: 477-487.
- Dervilly-Pinel, G., Rimsten, L., Saulnier, L., Andersson, R., and Åman, P. (2001).

- Water-extractable arabinoxylan from pearled flours of wheat, barley, rye and triticale. Evidence for the presence of ferulic acid dimers and their involvement in gel formation. **Journal of Cereal Science**. 34: 207–214.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., and Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**. 28: 350-356.
- Duke, J. A. (1983). Handbook of Energy Crops [On-line]. Available: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Coix_lacryma-jobi.html.
- Dykes, L. and Rooney, L. W. (2007). Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. **Cereal Food World**. 52: 105 – 111.
- Emmons, C. L., Peterson, D. M., and Paul, G. L. (1999). Antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) extracts. 2. In vitro antioxidant activity and contents of phenolic and tocol antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 47: 4894-4898.
- Encyclopedia Britannica, New. (1997). Vol. 6 15th edn. Micropedia ready reference. encyclopedia britannica, Inc. USA.
- Englyst, H. N., Kingman, S. M. and Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **Euro. J. Clin. Nutr.** 46: 33-50.
- Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson, J. G., Cole, T. J. and Cummings, J. H. (1999). Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. **Am. J. Clin. Nutr.** 69: 448-454.
- Ge, Y., Sun, A., Ni, Y. and Cai, T. (2001). Study and development of a defatted wheat germ nutritive noodle. **Eur. Food Res. Technol.** 212: 344–348.
- Girhammar, U. and Nair, B. M. (1992). Certain physical properties of water-soluble non-starch polysaccharides from wheat, rye, triticale, barley and oats. **Food Hydrocolloids**. 6: 329–343.
- Grausgruber, H., Scheibkauer, J., Schönlechner, R., Ruckenbauer, P. and Berghofer, E. (2004). Variability in chemical composition and biologically active constituents of cereals. **Genetic Variation for Plant Breeding**: 23-26.

- Gruppen, H., Marseille, J. P., Voragen, A. G. J., Hamer, R. J., and Pilnik, W. (1989). Mild isolation of water-insoluble cell-wall material from wheat flour: Composition of fractions obtained with emphasis on non-starch polysaccharides. **Journal of Cereal Science**. 9: 247-260.
- Hamaker, B. R. and Griffin, V. K. (1990). Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. **Cereal Chem**. 67(3): 261-264.
- Hamaker, B. R. and Griffin, V. K. (1993). Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chem**. 70: 377-380.
- Hasjim, J., Srichuwong, S., Scott, M. P. and Jane, J-L. (2009). Kernel composition, starch structure, and enzyme digestibility of *opaque-2* Maize and quality protein maize. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 57(5): 2049-2055.
- Hoffmann, R. A., Roza, M., Maat, J., Kamerling, J. P., and Vliegthar, J. E. G. (1991). Structural characteristics of the cold-water-soluble arabinoxylans from the white flour of the soft wheat variety kadet. **Carbohydrate Polymers**. 15: 415-430.
- Hoseney, R. C. (1984). Functional-properties of pentosans in baked foods. **Food Technology**. 38: 114-117.
- Houssou, P. and Ayernor, G. S. (2002). Appropriate processing and food functional properties of maize flour. **AJST. Sci. Engi**. 3(1): 126-131.
- Hsu, H-Y., Lin, B-F., Lin, J-Y., Kuo, C-C., and Chiang, W. (2003). Suppression of allergic reactions by dehulled adlay in association with the balance of Th1/Th2 cell responses. **J. Agric. Food Chem**. 51: 3763-3769.
- Huang, D.-W., Wu, C.-H., Shih, C.-K., Liu, C.-Y., *et al.*, (2014). Application of the solvent extraction technique to investigation of the anti-inflammatory activity of adlay bran. **Food Chem**. 145, 445-453.
- Hung, W. C. and Chang, H. C. (2003). Methanolic extract of adlay seed suppresses COX-2 expression of human lung cancer cells via Inhibition of gene transcription. **J. Agric. Food Chem**. 51: 7333-7337.
- Kahlon, T. S. (2003). Cholesterol lowering with grain fractions. **Getreide Mehl Und Brot**. 57: 279-191.
- Kalra, J. and Jood, S. (2000). Effect of dietary barley β -glucan on cholesterol and

- lipoprotein fractions in rats. **Journal of Cereal Science**. 31: 141-145.
- Kim, J. H., Tanhehco, E. J. and Ng, P. K. W. (2006). Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. **Food Chem**. 99: 718-723.
- Kim, K-H., Tsao, R., Yang, R. and Cui, S. W. (2006). Phenolic Acid Profiles and Antioxidant Activities of Wheat Bran Extracts and the Effect of hydrolysis conditions. **Food Chemistry**. 95: 466 – 473.
- Kulp, K., Ponte, J. G. (2000): **Handbook of Cereal Science and Technology. 2nd Edition. Revised and expanded**. Marcel Dekker, Inc., New York, 790.
- Kuo, C-C., Chiang, W., Liu, G-P. Chien, Y-L., Chang, J-Y., Lee, C-K., Lo, J-M., Huang, S-L., Shih, M-C., and Kuo, Y-H. (2002). 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical-scavenging active components from adlay (*Coix Lacrym-jobi* L.var. ma-yuen Stapf) Hulls. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 5850-5855.
- Lai, A. K. et al. (2007). Colour in relation to total antioxidant Capacity of beers assessed using the FRAP assay. **Alcohol and Alcoholism**. 42 Suppl. 1: i55-i57.
- Lee. M. Y., Lin. H. Y., Cheng. F., et al. (2008). Isolation and characterization of new lactam compounds that inhibit lung and colon cancer cells from adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. ma-yuen Stapf) bran. **Food and Chemical Toxicology**. 46: 1933–1939.
- Lee, C. W., Park, Y. I., Kim, S. H., Lim, H., Chung, M. J. (2016) Antioxidant and Anti-Adipogenic Activities of Bread Containing Corn Silk, Job's Tears, Lentinus edodes, and Apple Peel in 3T3-L1 Preadipocytes. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**, 45, 651-663.
- Li, J., and Corke, H. (1999). Physicochemical properties of normal and waxy Job's tears (*Coix lachrymal-jobi* L.)starch. **Cereal Chem**. 76(3): 413-416.
- Loosveld, A., Maes, C., Casteren, W. H. M. van, Schols, H.A., Grobet, P.J., and Delcour, J.A. (1998). Structural variation and levels of water-extractable arabinogalactan-peptide in European wheat flours. **Cereal Chemistry**. 75 (6): 815-819.
- Lopez, H. W., Levrat, M-A., Guy, C., Messenger, A., Demigné, C., and Rémésy, C.

- (1999). Effects of soluble corn bran arabinoxylans on cecal digestion, lipid metabolism, and mineral balance (Ca, Mg) in rats. **The Journal of Nutritional Biochemistry**. 10: 500-509.
- Izydorczyk, M. S., Macri, L. J., and MacGregor, A. W. (1998). Structure and physicochemical properties of barley non-starch polysaccharides-II. Alkaliextractable β -glucans and arabinoxylans. **Carbohydrate Polymers**. 35: 259-269.
- Maisuthisakula, P., Pasukb, S. and Ritthiruangdej, P. (2008). Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. **J. Food Compos. Anal.** 21: 229-240.
- Manosroi, A., Sainakham, M., Chankhampan, C., Abe, M., *et al.*, (2016) Potent in vitro anti-proliferative, apoptotic and anti-oxidative activities of semi-purified Job's tears (*Coix lachryma-jobi* Linn.) extracts from different preparation methods on 5 human cancer cell lines. **Journal of Ethnopharmacology**, 187, 281-292.
- Manosroi, A., Sainakham, M., Chankhampan, C., Manosroi, W., Manosroi, J., (2016) In vitro anti-cancer activities of Job's tears (*Coix lachryma-jobi* Linn.) extracts on human colon adenocarcinoma. **Saudi Journal of Biological Sciences**, 23, 248-256.
- Marinova, D., Ribarova, F. and Atanassova, M. (2005). Total phenolics and total flavonoids in bulgarian fruits and vegetables. **J. Univer. Chem. Tech. Metallurgy**. 40(3): 255-260.
- Meuser, F. and Suckow, P. (1986). Nonstarch polysaccharides. In J.M.V. Blanshard, P.J. Frazier, and T. Galliard (eds.). **Chemistry and Physics of Baking** (pp 42). The Royal Society of Chemistry: London.
- Moleberg. E. L., Vogt. G., Nilsson. A., and Frolich. W. (1995). Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **American Association of Cereal Chemists**. 72(1): 88-93.
- Nagao, T., Otsuka, H., Kohda, H., Sato, T., and Yamasaki, K. (1985). Benzoxazinone from *Coix Lacryma-jobi* L. var. ma-yuen. **Phytochemistry**. 24: 2959-2962.
- Nilsson, M., Saulnier, L., Andersson, R., and Åman, P. (1996). Water unextractable

- polysaccharides from three milling fractions of rye grain. **Carbohydrate Polymers**. 30: 229-231.
- Ottoboni, L. M. M., Leite, A., Targon, M. L. N., Crozier, A., and Arruda, P. (1990). Characterization of the storage protein in seed of *Coix Lacrym-jobi*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 38: 631-635.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. (2001). **Antioxidants in Food : Practical Applications**. 380 pp. New York: CRC Press.
- Pomeranz, Y. (1988). Chemical composition of kernel structure. In: Pomeranz, Y. (ed), Wheat: chemistry and technology (vol I). (3rd ed). St Paul. MN: **Am Assoc Cereal Chem**: 97-158.
- Pomeranz, Y. (1991). **Functional properties of food components**. (2nd ed). pp.27-28, Academic Press. New York.
- Purseglove, J. W. (1972). **Tropical Crops Monocotyledons**. Longman Scientific Technical. pp. 134-135.
- Que, F., Mao, L. C. and Zheng, X. J. (2007). In vitro and vivo antioxidant activities of daylily flowers and the involvement of phenolic compounds. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**. 16: 196-203.
- Ramezanzadeh, F. M., Rao, R. M., Prinyawiwatkul, W., Marshall, W. E., Windhauser, M. (2000). Effects of microwave heat, packaging, and storage temperature on fatty acid and proximate compositions in rice bran. **Food Chem**. 48 : 464-467.
- Rattan, O., Izydorczyk, M. S., and Biliaderis, C. G. (1994). Structure and rheological behaviour of arabinoxylans from Canadian bread wheat flours. **Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie**. 27: 550–555.
- Russell, J. and Bass, P. (1985). Canine gastric emptying of fiber meals: influence of meal viscosity and antroduodenal motility American journal of physiology. **Gastrointestinal and Liver Physiology**. 12: G662-G667.
- Sanchez-Moreno, C., Jimenez-Escoria, A. and Saura-Calixto, J. (2000). Study of low-density lipoprotein oxidizability indexes to measure the antioxidant Aativity of dietary polyphenols. **Nutrition Research**. 20: 941-953.

- Sandhu, K. S. and Lim, S. T. (2008). Structure characteristics and in vitro digestibility of mango kernel starches (*Mangifera indica* L.). **Food Chem.** 107: 92-97.
- Sasaki, T., Yasui, T., and Matsuki, J. (2000). Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of starches from waxy and non-waxy wheat and their F1 seeds. **Cereal Chem.** 77: 58-63.
- Scalbert, A., Monties, B., Lallemand, J. Y., Guittet, E. R., and Rolando, C. (1985). Ether linkage between phenolic acids and lignin fractions of wheat straw. **Phytochemistry.** 24: 1359-1362.
- Shin, S. I., Kim, H. J., Ha, H. J., Lee, S. H. and Moon, T. W. (2005). Effect of hydrothermal treatment on formation and structural characteristics of slowly digestible non-pasted granular sweet potato starch. **Starch/Stärke.** 57: 421-430.
- Silva, L. P. and Ciocca, M. L. S. (2005). Total, insoluble and soluble dietary fiber values measured by enzymatic-gravimetric method in cereal grains. **J. Food Compos. Anal.** 18: 113-120.
- Simi, C. K. and Abraham, T. E. (2008). Physicochemical rheological and thermal properties of Njavara rice (*Oryza sativa*) starch. **J. Agr. Food Chem.** 56: 12015-12113.
- Spiller, G. A. (1993). **Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition.** (2nd ed.). CRC Press, Inc.
- Sudheesh, S. and Vijayalakshmi, N. R. (1999). Lipid-lowering action of pectin from *Cucumis sativus*. **Food Chemistry.** 67: 281-286.
- Suzuki, Y., Yasui, T., Matsukura, U., Terao, J. (1996). Oxidative stability of bran lipids from rice variety [*Oryza sativa* (L.)] lacking lipoxygenase-3 in seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 44: 3479-3483.
- Takahashi, M., Konno, C., and Hikino, H. (1986). **Isolation and hypoglycemic activity of coixan A, B, C, glycans of *Coix Lacrym-jobi* L.var. ma-yuen seed.** *Planta Med.* 52:64-65.
- Tracy, P. I., Hoskisson, W. and Thimble, A. J. M. (1943). Wheat **germ oil as an antioxidant in dairy products.** pp 311-318.
- Treem, W., Ahsan, N., Kastoff, G., Shoup, M., Lerer, T., Justinieh, C., and Hyams, J.

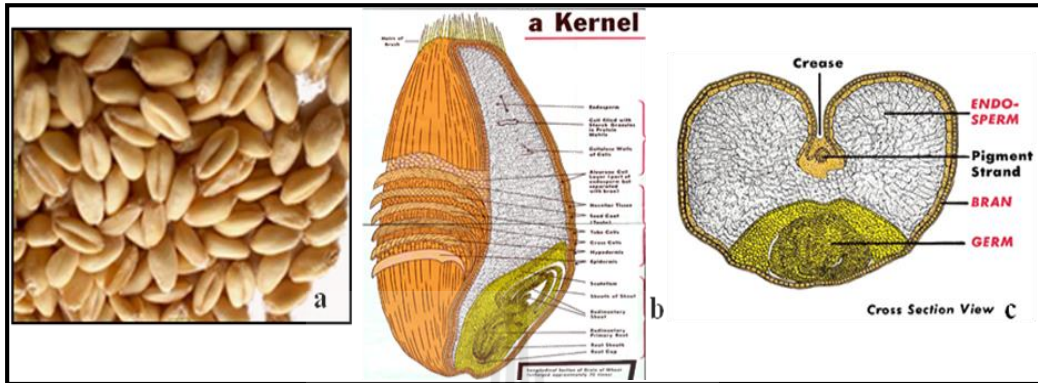
- (1995). Effects of wheat bran and pectin on the production of fecal short-chain fatty acids. (SCFAs). **Gastroenterology**. 108: Supplement 2. p. A700.
- Tsai, C. E., Yang, L., Su, P., and Chen, R. M-Y. (1998). **Beneficial effect of adlay on plasma lipids in hamsters and hyperlipidemic and diabetic patients.** **Atherosclerosis**. 136: Supplement 1. p. S43.
- Tseng, Y. H., Yang, J. H., Chang, H. L., Lee, Y. L., and Mau, J. L. (2005). Antioxidant properties of methanolic extracts from monascal adlay. **Food Chem.** 97: 375-381.
- Tseng, Y. H., Yang, J.-H., Chang, H. L., Lee, Y.-L. and Mau, J.-L. (2006). Antioxidant properties of methanolic extracts from monascal adlay. **Food Chem.** 97: 375-381.
- Ukita, T., and Tanimura, A. (1961). Studies on the antitumor components in the seeds of *Coix Lacrym-jobi* L.var. ma-yuen (Roman) Stapf. I. Isolation and antitumor activity of coixenolide. **Chemistry. Pharm. Bull.** 9: 43-46.
- Velioglu, Y.S., Mazza, G. Gao, L. and Oomah, B.D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 46: 4113-4117.
- Vichitphan, S., Vichitphan, K. and Sirikhansaeng, P. (2007). Flavonoid content and antioxidant activity of krachai-dun (*Kaempferia parviflora*) wine. **KMITL Science and Technology**. 7: 97-105.
- Vinkx, C. J. A., Nieuwenhove, C. G., and Delcour, J. A. (1991). Physicochemical and functional properties of rye nonstarch polysaccharides. III. Oxidative gelation of a fraction containing water-soluble pentosans and proteins. **Cereal Chemistry**. 68 (6): 617-622.
- Wang, M. (2003). **Effect of pentosans on gluten formation and properties**. Ph.D thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Wang, Q., Wood, P. J., Huang, X., and Cui, W. (2003). Preparation and characterization of molecular weight standards of low polydispersity from oat and barley (1→3) (1→4)- β -D-glucan. **Food Hydrocolloids**. 17: 845-853.

- Wang, W., Onnagawa, M., Yoshie, Y., and Suzuki, T. (2001). Binding of bile salts to soluble and insoluble dietary fibers of seaweeds. **Fisheries Science**. 67: 1169-1173.
- Wood, P. J., Weisz, J., and Blackwell, B.A. (1991). Molecular characterization of cereal β -D-glucans, structural analysis of oat glucan and rapid structural evaluation of β -D-glucans from different sources by HPLC of oligosaccharides released by lichenase. **Cereal Chemistry**. 68: 31–39.
- Wood, P. J., Weisz, J., and Blackwell, B. A. (1994). Structural studies of (1-3), (1-4)- β -D-glucans by ^{13}C -nuclear magnetic resonance spectroscopy and by rapid analysis of cellulose-like regions using high-performance anion-exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase. **Cereal Chemistry**. 71: 301-307.
- Wu, T.-T., Charles, A. L. and Huang, T.-Z. (2007). Determination of the contents of the main biochemical compounds of adlay (*Coix lachryma-jobi* L.). **Food Chem**. 104: 1509-1515.
- Yadav, M. P., Moreau, R.A., Hicks, K.B. (2007). Phenolic acids, lipids, and proteins associated with purified corn fiber arabinoxylans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55: 943-947.
- Yamaguchi, F., Ariga, T., Yoshimura, Y., and Nakazawa, H. (2000). Antioxidative and Anti-glycation activity of garcinol from *Garcinia indica* fruit rind. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 48: 180-185.
- Yang, C. H. and Chang, W. H. (1999). Effects of protein and lipid binding to starch on the physicochemical and pasting properties of rice flour. **J. Food Sci. Agr. Chem**. 1: 277- 285.
- Yang, J. H. et al. (2000). Antioxidant and related compounds. Baosci Biotechnol. **Journal of Biochemistry & Cell Biology**. 61: 1646-1649.
- Yang, Z. and Zhai, W. (2010). Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 169 – 176.

- Xi, X.-J., Zhu, Y.-G., Tong, Y.-P., Yang, X.-L., *et al.*, (2016) Assessment of the Genetic Diversity of Different Job's Tears (*Coix lacryma-jobi* L.) Accessions and the Active Composition and Anticancer Effect of Its Seed Oil. ***PLOS ONE***, *11*, e0153269.
- Yu, L., Haley, S., Perret, J., and Harris, M. (2002). Antioxidant properties of hard winter wheat extracts. ***Food Chemistry***. *78*: 457-461.
- Yu, L., Perret, J., Harris, M., Wilson, J. and Haley, S. (2003). Antioxidant properties of bran extracts from “Akron” wheat grown at different locations. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***. *51*: 1566-1570.
- Yu, L. and Zhou, K. (2004). Antioxidant Properties of bran extracts from “Platte” wheat grown at different locations. ***Food Chemistry***. *90*: 311- 316.
- Zalatnai, A., Lapis, K., Szende, B., Raso, E., Telekes, A., Resetar, A. and Hidvegi, M. (2001). Wheat germ extract inhibits experimental colon carcinogenesis in F-344 rats. ***Carcinogenesis***. *22*(10): 1649-1652.
- Zhang, G., Ao, Z. and Hamaker, B. R. (2006). Slow digestion properties of native cereal starches. ***Biomacromolecules***. *7*: 3252-3258.
- Zhang, G., Ao, Z. and Hamaker, B. R. (2008). Nutritional property of endosperm starches from maize mutants: A parabolic relationship between slowly digestible starch and amylopectin fine structure. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***. *56*:4686-4694.
- Zhou, K. and Yu, L. (2004). Effects of extraction solvent on wheat bran antioxidant activity estimation. ***Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*** *37*: 717 – 721.
- Zhao, M., Zhu, D., Sun-Waterhouse, D., Su, D., *et al.*, (2014) In Vitro and In Vivo Studies on Adlay-Derived Seed Extracts: Phenolic Profiles, Antioxidant Activities, Serum Uric Acid Suppression, and Xanthine Oxidase Inhibitory Effects. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***, *62*, 7771–7778.

ภาคผนวก ก

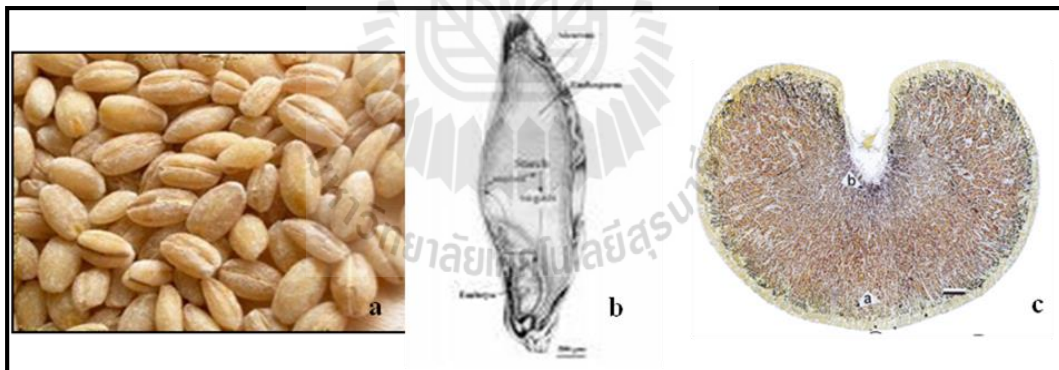
ลักษณะทางสรีรวิทยาของเมล็ดข้าวโพดต่างๆ



ภาพที่ 1ก ลักษณะรูปร่างของเมล็ด (a) ภาพแนวยาว (b) และภาพตัดขวาง (c) ของเมล็ดข้าว

สาลี

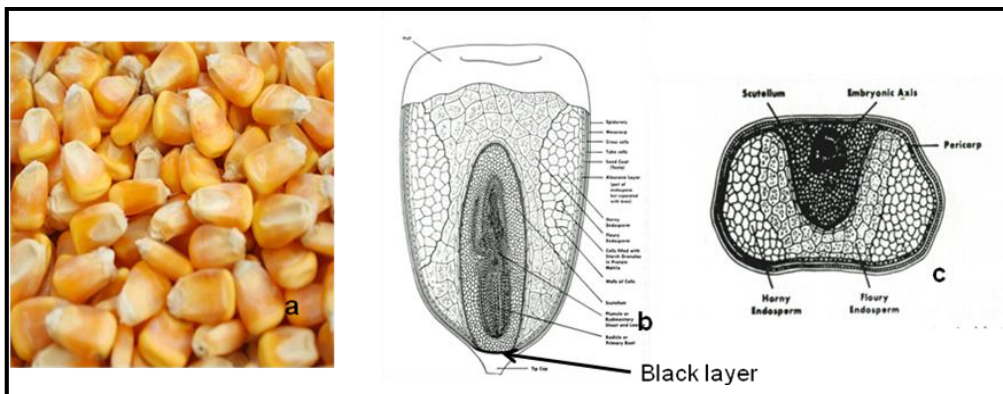
ที่มา: www.namamillers.org/prd_w.html



ภาพที่ 2ก ลักษณะรูปร่างของเมล็ด (a) ภาพแนวยาว (b) และภาพตัดขวาง (c) ของเมล็ดข้าว

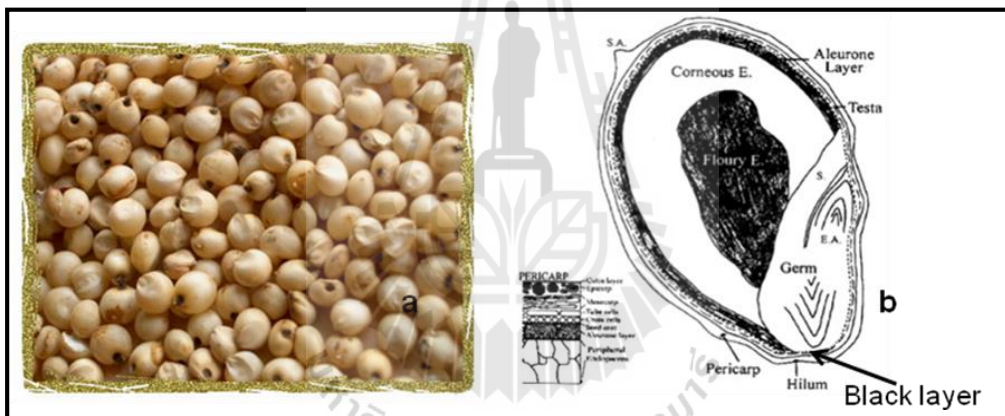
บาร์เลย์

ที่มา: Andersson., Andersson, Autio และ Man (1999) และ www.bio.psu.edu/faculty/gilroy/grain.GIF



ภาพที่ 3ก ลักษณะรูปร่างของเมล็ด (a), ภาพแนวยาว (b) และภาพตัดขวาง (c) ของเมล็ดข้าวโพด

ที่มา: Hoseney (1994) และ en.jlshengda.com



ภาพที่ 4ก ลักษณะรูปร่างของเมล็ด (a) และภาพแนวยาว (b) ของเมล็ดข้าวฟ่าง

ที่มา : Waniska (2000) และ www.purcellmountainfarms.co

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

วิธีการ

1. ออบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C นาน 2-3 ชั่วโมงนำออกจากตู้อบใส่ไว้ใน โถคู่ความชื้นรอนจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงถึง อุณหภูมิห้องแล้วชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-3 กรัมใส่ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบ น้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

3. ออบตัวอย่างในตู้อบไฟฟ้าด้วยอุณหภูมิ 105°C นาน 5-6 ชั่วโมง

4. เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วนำออกจากตู้อบใส่ไว้ใน โถคู่ความชื้นรอนจนกระทั่ง อุณหภูมิของภาชนะลดลงถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

5. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2. ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างบนกระดาษกรองให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.5-1.0 กรัมห่อให้มิดชิดใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน

2. ใส่สารผสมคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) และ โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 5 กรัม (อัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและ โพแทสเซียมซัลเฟต 1 : 10) เพื่อเร่งปฏิกิริยา

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) ปริมาตร 15-20 มิลลิลิตรและสารป้องกันการเกิดโฟม (anti-foaming agent) 4-5 หยด

4. ย่อยตัวอย่างบนเตาเครื่องย่อยโปรตีนที่อุณหภูมิ 380 °C จนได้สารละลายใส ปล่อยให้ทิ้งให้เย็น

5. จัดอุปกรณ์การกลั่นแล้วเปิดสวิตซ์ไฟและเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น

6. ใช้ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตรซึ่งบรรจุกรดบอริก(ความเข้มข้น 4%) ปริมาตร 25 มิลลิลิตรและน้ำซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยดเรียบร้อยแล้วไปรับรองของเหลวที่กลั่นโดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควมแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดนี้

7. กำหนดให้เครื่องเติมน้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% โดยน้ำหนักและทำการกลั่นที่ประมาณ 10 นาทีล้างปลายอุปกรณ์ควมแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ

8. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้กับกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัลจนสีของสารละลายเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีม่วง

9. ทำ blank และปฏิบัติตามข้อ 1-8 โดยไม่เติมตัวอย่าง

10. คำนวณปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน(\%)} = \frac{(A-B)N \times 1.4 \times F}{W}$$

เมื่อ A = ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง(มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรด(นอร์มัล)

F = ค่าคงที่สำหรับแป้งข้าวเจ้าคือ 6.25

W = น้ำหนักตัวอย่างที่เริ่มต้น(กรัม)

4. ปริมาณเถ้า(AOAC, 2000)

ซึ่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง (crucible) นำไปเผาจนหมดควันเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 - 600 °C ประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนมีสีขาว-เทาทั้งให้เย็นใน โถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักคำนวณปริมาณเถ้าเป็นร้อยละ

$$\text{ร้อยละเถ้า} = (\text{น้ำหนักตัวอย่าง} + \text{ถ้วยกระเบื้อง (หลังเผา)}) - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง} \times 100$$

เมื่อ น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม (น้ำหนักแห้ง)

3. การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber, TDF)

ดำเนินการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดตามวิธีของ AOAC method 985.29 โดยชั่งตัวอย่างสดารซ์ 1.0 g (ตัวอย่างที่ใช้ต้องบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 mesh ถ้าตัวอย่างมีปริมาณไขมันมากกว่า 10% ให้ทำการสกัดไขมันออกก่อน) ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 500 ml (ทำการเตรียมตัวอย่าง 2 ซ้ำ และ Blank 2 ซ้ำ) เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.08 M ปริมาตร 50 ml และ sonicated เพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างมีการกระจายใน buffer อย่างสมบูรณ์ เติม heat stable α -amylase ปริมาตร 100 μ l ปิดบีกเกอร์ด้วย aluminium foil นำบีกเกอร์ใส่ลงใน shaker water bath ที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลานำมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับ pH ของสารละลายให้มี pH 7.5 \pm 0.1 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.275 M จากนั้นเติม protease solution ปริมาตร 0.5 ml นำไปย่อยใน shaker water bath ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลานำมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับ pH ของสารละลายให้มี pH 4.5 \pm 0.2 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.325 M เติม amyloglucosidase ปริมาตร 0.3 ml นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที เติมเอทานอล 95% อุณหภูมิ 60 °C ปริมาตร 280 ml ตั้งสารละลายทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อให้เกิดตะกอนที่อุณหภูมิห้อง กรองตะกอนผ่าน crucible ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 °C อย่างน้อย 5 ชั่วโมงมาแล้ว และภายใน crucible บรรจุ celite ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนปริมาณ 1.0 g กรองตัวอย่างด้วย vacuum pump ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ที่บีกเกอร์ด้วยเอทานอล 78% ปริมาตร 20 ml จำนวน 3 ครั้ง ตามด้วยเอทานอล 95% ปริมาตร 10 ml จำนวน 2 ครั้ง และอะซิโตน ปริมาตร 10 ml จำนวน 2 ครั้ง นำ crucible ที่มีตะกอนของตัวอย่างไปทำแห้งในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 105°C ข้ามคืนและนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักตะกอน นำตะกอนตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจลดาคัล ตามมาตรฐาน AOAC, 2000 และวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber, TDF) จากสูตร

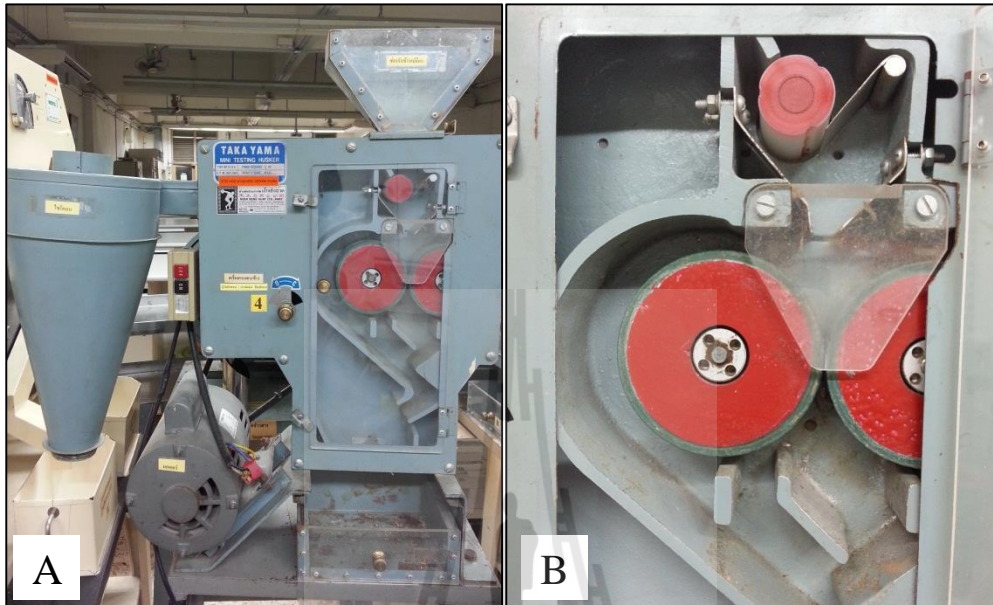
$$\text{TDF, \%} = \left[\frac{(\text{weight residue} - P - A - B)}{\text{weight test portion}} \right] \times 100$$

เมื่อ P = weight (mg) of protein

A = weight (mg) of ash

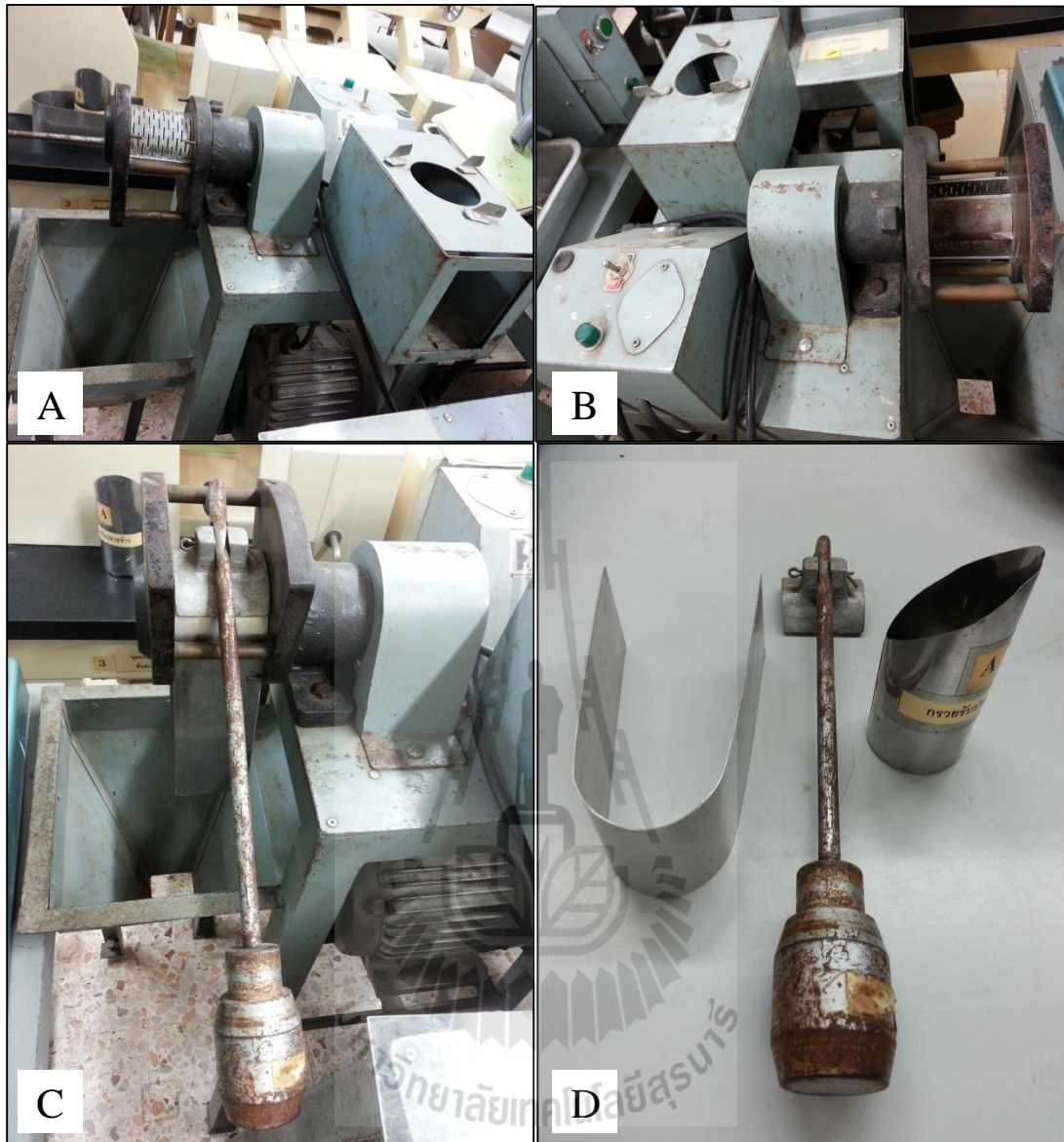
B = weight (mg) of blank

ภาคผนวก ก
เครื่องมือในการใช้แยกคัพทะลุเดี่ยว



ภาพที่ 1ค เครื่องกะเทาะเปลือก (A) และส่วนของลูกกลิ้งที่ทำหน้าที่กะเทาะเปลือก (B)





ภาพที่ 2ค เครื่องตัดขี้ว (A, B, C) และอุปกรณ์สำหรับเครื่องตัดขี้ว (D)

ประวัติผู้วิจัย

นางสุนันทา ทองทา

นางสุนันทา ทองทา เกิดเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2506 ณ จังหวัดนครราชสีมา ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังกัดสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2529 จบการศึกษาระดับปริญญาโท วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2533 จากนั้นเข้ารับราชการบรรจุตำแหน่งอาจารย์ที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีเดียวกัน ต่อมาในปี พ.ศ. 2536 ได้รับทุน Fulbright จากมูลนิธิการศึกษาไทย-อเมริกัน ไปศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก ที่ University Of Illinois at Urbana-Champaign สหรัฐอเมริกา และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2541

นางสุนันทา ทองทา ได้มีผลงานทางวิชาการดังต่อไปนี้

1. ผลงานตีพิมพ์ / การประชุมระดับชาติและนานาชาติ

Chaisiricharoenkul, J. and **Tongta, S.** 2009. Effect of extrusion parameters on starch digestion and physicochemical properties of Job's Tear (*Coix lacryma jobi* L.) flour. Poster presentation in Starch Update 2009: The 5th International Conference on Starch Technology. September 24-25, 2009. Bangkok, Thailand.

Dalai, N. and **Tongta, S.** 2009. Physicochemical properties of waxy and high amylose rice flour during storage. Poster presentation in Starch Update 2009: The 5th International Conference on Starch Technology. September 24-25, 2009. Bangkok, Thailand.

Kiatpongarp, W. and **Tongta, S.** 2009. Comparative effect of different temperature cycling on resistant starch formation. Poster presentation in Starch Update 2009: The 5th International Conference on Starch Technology. September 24-25, 2009. Bangkok, Thailand.

Tongta, S. and Boonna, S. 2009. Physical modification of rice flour by extrusion. Poster presentation in Starch Update 2009: The 5th International Conference on Starch Technology. September 24-25, 2009. Bangkok, Thailand.

- Tongta, S.** and Kiatpongarp, W. 2009. Impact of enzyme concentration and hydrolysis time on resistant starch formation. Poster presentation in Starch Update 2009: The 5th International Conference on Starch Technology. September 24-25, 2009. Bangkok, Thailand.
- Dalai, N. and **Tongta, S.** 2009. Physiochemical and textural properties of high amylose rice during storage. Poster presentation in Food Innovation Asia Conference 2009. June 18-19, 2009. BITEC, Bangkok, Thailand.
- Boonna, S., **Tongta, S.** and Piyachomkwan, K. Effect of aging condition on resistant starch formation of rice starch. Poster presentation in 2009 IFT Annual Meeting. June 6-9, 2009. Anaheim, CA, USA.
- Dalai, N. and **Tongta, S.** 2008. Comparative study on physical properties of waxy and non-waxy rice during storage. Poster presentation in The 34th Congress on Science and Technology of Thailand. October 31-November 2, 2008. Bangkok, Thailand.
- Boonna, S. and **Tongta, S.** 2008. Effect of starch content and aging temperature on slowly digestible starch and resistant starch formation in debranched rice starch. Oral presentation in The 34th Congress on Science and Technology of Thailand. October 31-November 2, 2008. Bangkok, Thailand.
- Apirattanusorn, S., **Tongta, S.**, Cui, S.W., and Wang, Q. 2008. Chemical, molecular, and structural characterization of alkali extractable polysaccharides from Job's Tears. *J. Agric. Food. Chem.* 56:8549-8557.
- Rareunrom, K., **Tongta, S.** and Yongsawatdigul, J. 2008. Effect of soy protein isolate on chemical and physical characteristics of meat analog. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 1(02):97-104.
- Phoungchandand, S., Bhulaidok, S., Nantachai, K., Woraphuttaporn, W., **Tongta, S.** and Suvannason, V. 2007. Influence of various cereal flours on physical properties of expanded extrudates. *Khon Kaen University Research Journal*. 12(4):431-441.
- Boonna, S. and **Tongta, S.** 2007. Effect of drum drying parameters on physical properties of pregelatinized rice flour. Poster presentation in Starch Update 2007: The 4th International Conference on Starch Technology. November 6-7, 2007. Bangkok, Thailand.

- Kiatponglar, W. and **Tongta, S.** 2007. Structural and physical properties of enzyme-resistant starch produced from debranched and retrogradation of cassava starch. Poster presentation in Starch Update 2007: The 4th International Conference on Starch Technology. November 6-7, 2007. Bangkok, Thailand.
- Siriboon, B. and **Tongta, S.** 2007. Effect of annealing on physicochemical properties of waxy and normal rice starches. Poster presentation in Starch Update 2007: The 4th International Conference on Starch Technology. November 6-7, 2007. Bangkok, Thailand.
- Chaisiricharoenkul, J. and **Tongta, S.** 2007. Physicochemical and antioxidant properties of Job's Tear Flour. Poster presentation in The 9th Agro-Industrial Conference, Food Innovation Asia 2007. June 14-15, 2007. Bangkok, Thailand.
- Rareunrom, K., **Tongta, S.** and Yongsawatdigul, J. 2007. Effect of soy protein isolate on chemical and physical characteristics of meat analog. Oral presentation in The 9th Agro-Industrial Conference, Food Innovation Asia 2007. June 14-15, 2007. Bangkok, Thailand.
- Siriboon, B. and **Tongta, S.** 2007. Effect of Annealing on Physicochemical Properties of Waxy Rice. Poster presentation in The 9th Agro-Industrial Conference, Food Innovation Asia 2007. June 14-15, 2007. Bangkok, Thailand.
- Kiatponglar, W. and **Tongta, S.** 2007. Structural and Physical Properties of Debranched Tapioca Starch. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 14(2):195-204.
- Rareunrom, K., **Tongta, S.** and Yongsawatdigul. 2007. Effect of full fat soy flour on characteristics of soy protein meat analog. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 14(2):185-193.
- Pakdeechuan, P., Intarapichet, K. and **Tongta, S.** 2007. Effect of extrusion parameters on conjugated linoleic acids of corn extrudate. *J. Agric. Food. Chem.*, 55: 1463-1468.
- Apirattananusorn, S., Cui, S.W., Wang, Q. and **Tongta, S.** 2006. Extraction and composition of water-unextractable arabinoxylans from Job's tears (*Coix lacrym-jobi* L.) (Abstract. pp. 238 and Poster presentation). 2006 CIFST/AAFC Joint Conference, May 28-30, 2006. Montreal, Canada.

- Kiatponglarp, W. and **Tongta, S.** 2006. Effect of debranching on enzyme resistant starch formation in tapioca starch. Poster presentation in The 8th Agro-Industrial Conference. June 15-16, 2006. Bangkok, Thailand.
- Tongta, S.**, Ningsanond, S. and Boonna, S. 2006. Influence of hydrocolloids and soy milk solid on physical and textural qualities of soy yoghurt. Poster presentation in The 8th Agro-Industrial Conference. June 15-16, 2006. Bangkok, Thailand.
- Tongta, S.**, Kiatponglarp, W. and K. Sriroth, K. 2004. Effect of aging temperature on retrogradation of concentrated cassava starch gel. In ' Starch: Progress in Structural studies, Modifications and Applications' Tomasik, P., Yuryev, V.P. and Bertoft, E. (eds.). pp. 357-364. Drukarnia GS, Cracow.
- Rareunrom, K., **Tongta, S.** and Yongsawatdigul. 2004. Structure and texture characteristic of soy protein meat analog. Poster presentation The 6th Agro-Industrial Conference. May 28-29, 2004. Bangkok, Thailand.
- Sottirattanapan, P. and **Tongta, S.** 2003. Effect of extrusion parameters on physical characteristics of rice extrudate. Suranaree Journal of Science and Technology. 10(3):220-229.

สถานที่ติดต่อ: สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 22-4266

