สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate Analysis) เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลัก คือ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น [7]

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของรำข้าวชนิดที่ผ่านการสกัดน้ำมัน รำข้าวชนิดหยาบ และรำข้าวชนิดละเอียด พบว่ารำข้าวแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่ารำข้าวชนิดหยาบมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ เยื่อใยสูง คิดเป็นร้อยละ 41.02 และมีปริมาณโปรตีนและไขมันที่ต่ำคิดเป็นร้อยละ 3.18 และ 1.83 ตามลำดับ ส่วนรำข้าวชนิดละเอียดมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ไขมัน คิดเป็นร้อยละ 17.32 รองลงมาคือ โปรตีน คิดเป็นร้อยละ 11.09 และรำข้าวชนิดที่ผ่านการสกัดน้ำมันมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ โปรตีน คิดเป็นร้อยละ 14.32 และมีปริมาณไขมันต่ำเช่นเดียวกับรำข้าวชนิดหยาบ องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับส่วนของรำที่ได้จากกระบวนการสีข้าวโดยรำข้าวที่ได้จากการสีข้าวจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ รำข้าวชนิดหยาบ (bran) ซึ่งได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้อง และรำชนิดละเอียด (polish) ได้จากการขัดขาวและขัดมัน โดยรำข้าวทั้ง 2 ส่วนมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ คือ เยื่อใย ไขมัน และโปรตีน เนื่องจากในกระบวนการสีข้าวส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเซลลัส ชั้นแอลิวโรน รวมทั้งคัพภะหลุดออกไป ทำให้มีสารอาหารที่แตกต่างกันซึ่งล้วนมีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนั้นแล้วอิทธิพลของสภาพแวดล้อมก็ยังมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวด้วย [7] จากตารางที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวทั้ง 3 ชนิด ในส่วนของเยื่อใย จึงสรุปได้ว่าชนิดของรำข้าวที่เหมาะสมในการนำไปสกัดเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) คือ รำข้าวชนิดหยาบ เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยหยาบอยู่สูงถึงร้อยละ 41.02 รวมทั้งรำข้าวชนิดหยาบเป็นรำข้าวส่วนที่ได้จากการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้องซึ่งจะมีเยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก ห่อหุ้มผลภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเส้นใย 6 ชั้น มีกลุ่มไขมัน และมีกลุ่มโปรตีนน้อย ส่วนใหญ่มีเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เซลลูโลส เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ [7] ดังนั้นรำข้าวชนิดหยาบจะใช้สำหรับการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารต่อไป

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของรำข้าวชนิดที่ผ่านการสกัดน้ำมัน รำข้าวชนิดหยาบ และรำข้าวชนิดละเอียด

องค์ประกอบ	รำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมัน ปริมาณ (ร้อยละ)	รำข้าวชนิดหยาบ ปริมาณ (ร้อยละ)	รำข้างชนิดละเอียด ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	8.48 ± 0.03^{c}	8.91 ± 0.31^{b}	9.97 ± 0.04^{a}
โปรตีน	14.32 ± 0.46^{a}	3.83 ± 0.07^{c}	11.09 ± 0.43^{b}
ไขมัน	1.85 ± 0.19^{b}	1.83 ± 0.02^{b}	17.32 ± 0.31^{a}
เยื่อใย	5.78 ± 0.24^{b}	41.02 ± 0.46^{a}	5.85 ± 0.61^{b}
เถ้า	10.23 ± 0.07^{a}	8.74 ± 0.09^{b}	6.34 ± 0.11^{c}
คาร์โบไฮเดรต*	59.34^{a}	35.66^{c}	49.42^{b}

หมายเหตุ: $^{a, b, c}$ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

*ค่าที่ได้จากคำนวณ คาร์โบไฮเดรต (%) = 100 – % (โปรตีน + ไขมัน + เยื่อใย + เถ้า + ความชื้น)

2. การสกัดเส้นใยอาหารจากรำข้าวชนิดหยาบ

การสกัดเส้นใยอาหารจากรำข้าวชนิดหยาบ ทำการสกัดโดยดัดแปลงตามวิธีการของ AOAC enzymatic-gravimetric method [33] นำเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดมาผ่านการทำแห้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber: TDF) เส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Dietary Fiber: IDF) และเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ (Soluble Dietary Fiber: SDF) แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า รำข้าวชนิดหยาบที่นำมาศึกษาโดยส่วนใหญ่เป็นเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน คิดเป็นร้อยละ 60.69 ส่วนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพคติน กัม และมิวซิเลจส์ คิดเป็นร้อยละ 0.0019 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่พบว่ารำข้าวชนิดหยาบเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่ดี โดยส่วนใหญ่เป็นเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ [38] ซึ่งให้ประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณอุจจาระโดยจะช่วยขับเคลื่อนปริมาณอุจจาระได้เร็วมากขึ้นจึงส่งผลให้ลดการส่งผ่านลำไส้เล็กไปยังลำไส้ใหญ่ อีกทั้งใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำจะไม่มีความหนืด ไม่ถูกย่อยโดยแบคทีเรียที่ลำไส้ใหญ่หรือถูกย่อยน้อยมาก ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณเนื้ออุจจาระทำให้อุจจาระอ่อนนุ่ม และลดระยะเวลาการค้างตัวของอุจจาระในลำไส้ใหญ่ เส้นใยอาหารชนิดนี้พบมากในข้าวสาลี รำข้าวสาลี ถั่วเปลือกแข็ง มะขาม เปลือกของผลไม้ และผักต่างๆ [11] นอกจากนั้นรำข้าวชนิดหยาบยังเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารสูง ซึ่งมีประโยชน์และส่งผลดีต่อสุขภาพ เช่น ช่วยป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ โรคเบาหวาน เป็นต้น [24] สำหรับปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจากการศึกษา คิดเป็นร้อยละ 60.92 ซึ่งมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่สูงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (rice bran insoluble dietary fiber: RBDF) จากรำข้าวมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงถึงร้อยละ 62.73 [39] และ

สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า รำข้าวมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงถึงร้อยละ 53.25 [32] แต่จากงานวิจัยบางงานพบว่า เส้นใยอาหารจากรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพียงร้อยละ 27.04 [33] ในทางตรงข้ามเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารทั้งหมดที่สกัดจากธัญพืชข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต และข้าวบาร์เลย์ พบว่าปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่สกัดจากรำข้าวมีปริมาณต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากธัญพืชทั้ง 4 ชนิด และจากการศึกษาเส้นใยอาหารจากธัญพืชข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต และข้าวบาร์เลย์ พบว่ามีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงถึงร้อยละ 97 [40] อย่างไรก็ตามปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาก่อนหน้านี้เกี่ยวกับเส้นใยอาหารจากรำข้าวถือว่ามีปริมาณที่สูง โดยจากการศึกษาในครั้งนี้เส้นใยอาหารที่ได้จะนำไปศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) และประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังต่อไป

ตารางที่ 2 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber: TDF) เส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Dietary Fiber: IDF) และเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ (Soluble Dietary Fiber: SDF) ของรำข้าวชนิดหยาบที่ผ่านการสกัดเส้นใยอาหาร

Dietary Fiber	**รำข้าวชนิดหยาบที่ผ่านการสกัดเส้นใยอาหาร ปริมาณ (ร้อยละ)**
ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber: TDF)	60.92 ± 0.40
เส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Dietary Fiber: IDF)	60.69 ± 2.88
เส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ (Soluble Dietary Fiber: SDF)	0.0019 ± 0.02

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. สมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) ของเส้นใยอาหารจากรำข้าวชนิดหยาบ

เส้นใยอาหารจากรำข้าวชนิดหยาบที่สกัดได้จะนำไปทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำ (Water retention capacity: WRC) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity: WHC) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity: SC) ความสามารถในการจับกับไขมัน (Fat binding capacity: FBC) และความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟอิง (Emulsifying capacity: EC) ของเส้นใยอาหารจากรำข้าวชนิดหยาบ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยอาหารและรำข้าวชนิดหยาบ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) ของเส้นใยอาหารและรำข้าวชนิดหยาบ

สมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties)	รำข้าวชนิดหยาบ	เส้นใยอาหาร
Water retention capacity: WRC (g water/g dry matter)	11.24 ± 1.91[b]	16.40 ± 1.98[a]
Water holding capacity: WHC (g water/g dry matter)	11.96 ± 1.37[b]	15.50 ± 1.11[a]
Swelling capacity: SC (ml water/g dry matter)	8.66 ± 1.22[b]	10.10 ± 0.25[a]
Fat binding capacity: FBC (ml oil/g dry matter)	3.07 ± 0.01[b]	3.26 ± 0.03[a]
Emulsifying capacity: EC (%)	6.90 ± 2.43[a]	8.13 ± 2.09[a]

หมายเหตุ: [a, b] ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 3 แสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารของรำข้าวชนิดหยาบ และรำข้าวชนิดหยาบพบว่า เมื่อทำการสกัดเส้นใยอาหารตามวิธีการของ AOAC enzymatic-gravimetric method [33] ของรำข้าวชนิดหยาบจะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำ (WRC) ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ความสามารถในการพองตัว (SC) และค่าความสามารถในการจับกับไขมัน (FBC) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรำข้าวชนิดหยาบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จาก 11.24, 11.95, 8.66 และ 3.07 สำหรับรำชนิดหยาบ เป็น 16.40, 15.50, 10.10 และ 3.26 ตามลำดับ สำหรับเส้นใยอาหาร ยกเว้นค่าความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟอิง (EC) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เส้นใยอาหารจะมีค่า EC สูงกว่ารำข้าวชนิดหยาบ จะเห็นได้ว่าสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารมีค่าสูงกว่ารำข้าวชนิดหยาบ ทั้งนี้น่าจะมีเหตุผลมาจากในกระบวนการสกัดเส้นใยอาหารมีการกำจัดโปรตีนและแป้งในโครงสร้างของรำข้าวให้มีปริมาณลดน้อยลง ส่งผลทำให้เกิดที่ว่างภายในโครงสร้างของเส้นใยอาหารเพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำและน้ำมันสามารถแทรกผ่านและเข้าไปเกาะอยู่ภายในอนุภาคได้เพิ่มมากขึ้น

จากสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหารจากรำข้าวชนิดหยาบที่มีค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำและการอุ้มน้ำสูง เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารประเภทกลุ่มขนมอบ จะส่งผลทำให้ลดการสูญเสียความชื้นของขนมอบในบรรจุภัณฑ์ได้ดี และยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความสด (freshness) และมีความชุ่มชื้นในปาก (moist mouth feel) ของขนมอบอีกด้วย [41] อีกทั้งความสามารถในการพองตัวของเส้นใยอาหารมีค่าสูง ดังนั้นเมื่อเติมเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์จะส่งผลทำให้อาหารพองตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น [42] ส่วนค่าความสามารถในการจับกับไขมันของเส้นใยอาหารจากรำข้าวชนิดหยาบมีค่ามากกว่า

รำข้าวชนิดหยาบอย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึงเส้นใยอาหารมีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟอิงมากกว่ารำข้าวชนิดหยาบ อย่างไรก็ตามทั้งเส้นใยอาหารและรำข้าวชนิดหยาบก็ยังเป็นแหล่งของอิมัลซิไฟเออร์ที่ไม่ดี เนื่องจากดัชนีความคงตัวของอิมัลชันมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 50 แต่สามารถช่วยในเรื่องความคงตัวของอิมัลชันในระบบอาหารได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษารำข้าวจากงานวิจัยอื่นที่พบว่า ค่าความสามารถในการจับกับไขมันของ Bfiber (Bran fiber) มีค่ามากกว่า FIBREX (เส้นใยอาหารทางการค้า) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็ยังไม่ใช่แหล่งของอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีเช่นเดียวกัน [24] ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้มีการนำเส้นใยอาหารไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยนำเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดเติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทขนมปังจืดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใส่เส้นใยอาหาร

4. การประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารจากรำข้าวชนิดหยาบในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

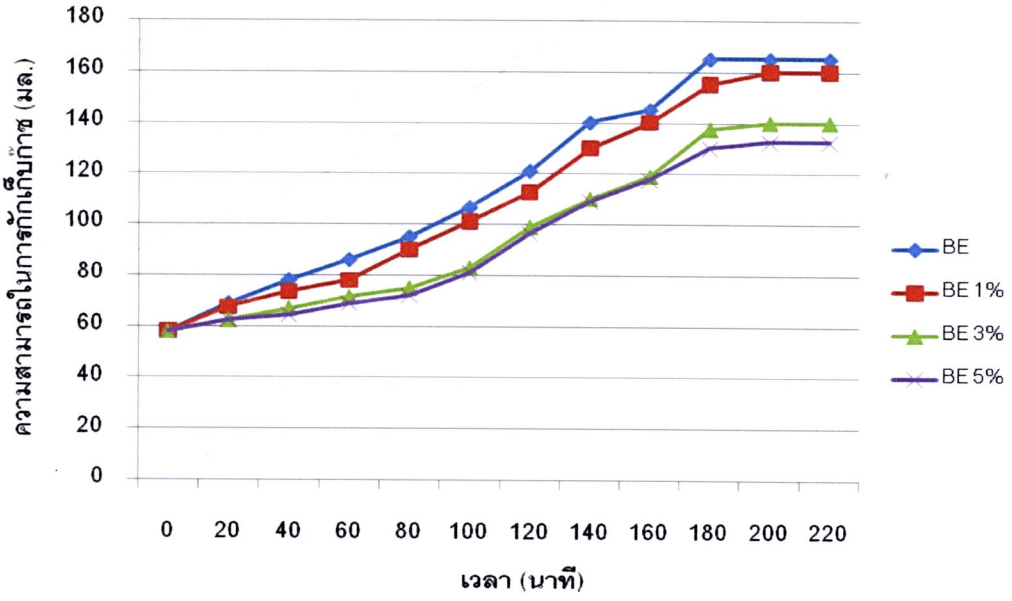
ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของเส้นใยอาหารที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ1, 3 และ 5 ของน้ำหนักแป้งขนมปัง ในขั้นตอนแรกทำการเตรียมโดแป้งขนมปัง เมื่อได้โดขนมปัง จะทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ คือ วัดลักษณะการกักเก็บก๊าซของ batter โดยชั่งน้ำหนัก batter 50 กรัม ใส่ในกระบอกตวง (cylinder) 1000 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวางในตู้บ่มโดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกปริมาตรของ batter ที่ระยะเวลาเริ่มต้น (0 นาที) และทุกๆ 20 นาที จนกระทั่งปริมาตรความจุของก๊าซสูงสุด สำหรับการอบขนมปัง นำตัวอย่างโดแป้งขนมปังมาบ่มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งน้ำหนักโดใส่ในแม่พิมพ์และนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 35 นาที ด้วยตู้อบไฟฟ้า ทิ้งให้เย็นเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง เมื่อตัวอย่างขนมปังเย็นทำการวัดปริมาตรก้อนขนมปัง น้ำหนักก้อนขนมปัง ปริมาตรจำเพาะ ความชื้นของขนมปัง สีเปลือก และเนื้อขนมปัง ความนุ่มของขนมปัง และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของตัวอย่างผลิตภัณฑ์สุดท้าย ตามลำดับ

4.1 ผลของเส้นใยอาหารต่อความสามารถในการกักเก็บก๊าซของโดขนมปัง

ทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยอาหารจากรำข้าวที่เติมลงไปต่อความจุในการกักเก็บก๊าซของโดขนมปัง โดยเติมลงไปในโดขนมปังที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, 5 และตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) แสดงดังภาพที่ 6 พบว่า ตัวอย่างโดขนมปังทั้ง 4 สูตรจะมีความสามารถในการกักเก็บก๊าซสูงสุดที่ระยะเวลาการบ่มโดเป็นเวลา 180 นาที โดยในช่วงการบ่มตัวอย่างโดขนมปัง 0-20 นาที ความสามารถในการกักเก็บก๊าซของตัวอย่างโดขนมปังทั้ง 4 ตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ในทางตรงข้ามหลังจากบ่มโดขนมปังเป็นเวลามากกว่า 20 นาที จะเห็นได้ว่าตัวอย่างโดขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) มีอัตราการกักเก็บก๊าซเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนตลอดระยะเวลาการบ่ม 180 นาที ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเติมเส้นใยอาหารในโดขนมปังที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 3 และ 5 ส่งผลทำให้

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ความสามารถในการกักเก็บก๊าซของโดขนมปังทั้ง 2 สูตร มีแนวโน้มที่ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การเกิดกลูเตน (Gluten) มีปริมาณลดลงเพราะคุณสมบัติเส้นใยอาหารมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ทำให้ขัดขวางการเกิดกลูเตนและส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวขนมปัง (crumb) โดยทำให้การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) ลดลง [39] ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันมีผลต่อความคงตัวของโดขนมปังในระหว่างการบ่มโดอย่างเห็นได้ชัดเจน



ภาพที่ 6 ผลของปริมาณเส้นใยอาหารจากรำข้าวต่อความจุในการกักเก็บก๊าซของโดขนมปัง
หมายเหตุ: BE คือ ตัวอย่างขนมปังควบคุม
BE 1% คือ ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัด 1%
BE 3% คือ ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัด 3%
BE 5% คือ ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ผ่านการสกัด 5%

4.2 ผลของเส้นใยอาหารต่อสมบัติทางกายภาพของขนมปัง

สำหรับสมบัติทางกายภาพของขนมปัง แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า การเติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5 ไม่มีผลต่อน้ำหนักของก้อนขนมปัง (loaf weight) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) ($P>0.05$) ในทางตรงข้ามการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 3 และ 5 มีผลทำให้ปริมาตรก้อนขนมปัง (loaf volume) มีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือ 526.67 และ 483.33 มล. ตามลำดับ แต่ตัวอย่างโดขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 593.33 และ 600 มล. ตามลำดับ ซึ่งปริมาตรของก้อนขนมปังที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้ส่งผลทำให้ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามด้วย โดยตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 3 และ 5 ปริมาตรจำเพาะมีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือ 12.58 และ 11.17 มล./ก. ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างโดขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1 และตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 12.58 และ 11.17 มล./ก. ตามลำดับ ทั้งนี้น่าจะอธิบายได้จากการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ขัดขวางการเกิดกลูเตนและทำให้โดขนมปังมีความคงตัวของโครงสร้างร่างแหระหว่าง gluten-starch น้อยลงในระหว่างกระบวนการอบ [24], [35], [39]

ตารางที่ 4 ผลของระดับความเข้มข้นเส้นใยอาหารต่อคุณสมบัติทางกายภาพของขนมปัง

เส้นใยอาหาร (%)	Loaf weight (g)	Loaf volume (ml)	Specific volume (ml/g)
0	42.04±1.14[a]	600.00±0.00[a]	14.28±0.49[a]
1	41.06±3.55[a]	593.33±11.54[a]	14.51±1.02[a]
3	41.84±2.12[a]	526.67±10.00[b]	12.58±0.15[b]
5	43.28±0.92[a]	483.33±5.77[c]	11.17±0.37[c]

หมายเหตุ: [a, b, c, d] ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4.3 ผลของเส้นใยอาหารต่อลักษณะสีเนื้อ (Crumb) และสีเปลือก (Crust) ของขนมปัง

จากการศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของเส้นใยอาหารต่อลักษณะสีของเปลือก (Crust) และเนื้อ (Crumb) ของขนมปัง แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า เมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3 และ 5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสีเปลือกขนมปังที่มีค่าความสว่างหรือความขาว (L*) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ 65.25 และ 61.78 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) และตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ในทางตรงข้ามตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 จะมีค่าความสว่างหรือความขาว (L*) ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือสีเปลือกของขนมปังมีลักษณะสีเปลือกที่อ่อนไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ซึ่งลักษณะสีเปลือกที่เข้มขึ้นหรืออ่อนลงนี้เป็นผลเนื่องมาจากสีเริ่มต้นของเส้นใยอาหารที่เติมลงไปที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันนั่นเอง ส่วนค่าสีแดง (a*) เป็นสีที่ไม่มีความสำคัญสำหรับเปลือกขนมปัง [35] สำหรับค่าสีเหลือง (b*) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน (ที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5) ไม่มีผลต่อสีเปลือกของตัวอย่างขนมปังที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมีผลโดยตรงต่อค่าความสว่างหรือความขาว (L*) เท่านั้น โดยส่งผลทำให้สีเปลือกของตัวอย่างขนมปังมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นหรือคล้ำเพิ่มขึ้นซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความขาว (L*) ที่มีค่าลดลงตามระดับความเข้มข้นเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วเมื่อสังเกตค่าความสว่างหรือความขาว (L*) และอัตราส่วนระหว่างค่าความขาวต่อค่าสีเหลือง (L*/b*) ของเนื้อขนมปังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่า เมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3 และ 5 เนื้อขนมปังทั้ง 3 สูตร มีค่าความสว่างหรือความขาว (L*) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ 74.64, 72.25 และ 67.89 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างขนมปังควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) (78.93) ทั้งนี้เนื่องจากสีของเส้นใยอาหารที่เติมลงไปในขนมปังที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ในทางตรงข้างการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (ที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5) ส่งผลต่อค่าสีเหลือง (b*) ที่เพิ่มขึ้น คือ 11.52, 14.14 และ 15.85 ตามลำดับ สำหรับอัตราส่วนของสีขาวต่อสีเหลือง (L*/b*) มีค่าลดลง คือ 6.48, 5.11 และ 4.28 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (b*= 10.11, L*/b*= 7.81) แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่ำส่งผลทำให้สีของเนื้อขนมปังมีลักษณะสีขาวออกเหลืองนวลซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีของขนมปังแต่เมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้เนื้อขนมปังมีลักษณะสีขาวออกคล้ำเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสีเริ่มต้นของเส้นใยอาหารที่เติมลงไปนั่นเอง ดังนั้นลักษณะสีผลิตภัณฑ์ของขนมอบถือได้ว่ามีความสำคัญในการช่วยเสริมลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น รส ที่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคซึ่งสีของขนมอบขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมี-กายภาพของโด ได้แก่ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลรีดิวซ์ และกรดอะมิโน รวมถึงวิธีการทำ ขั้นตอนการอบ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การส่งผ่านความร้อน เป็นต้น [40]

ตารางที่ 5 ผลของเส้นใยอาหารต่อลักษณะสีเนื้อ (crumb) และ สีเปลือก (crust) ของขนมปัง

เส้นใยอาหาร	Crust color			Crumb color		
(%)	L*	a*	b*	L*	b*	L*/b*
0	72.84±2.04[a]	4.15±0.56[c]	27.93±1.61[a]	78.93±1.22[a]	10.11±0.12[d]	7.81±0.07[a]
1	70.31±2.74[a]	3.17±0.66[d]	26.73±1.25[a]	74.64±1.47[b]	11.52±0.10[c]	6.48±0.03[b]
3	65.25±3.60[b]	5.60±0.82[b]	27.67±1.58[a]	72.25±0.83[c]	14.14±0.05[b]	5.11±0.14[c]
5	61.78±3.74[c]	6.64±0.78[a]	29.38±1.63[a]	67.89±0.16[d]	15.85±1.37[a]	4.28±0.18[d]

หมายเหตุ: [a, b, c, d] ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.4 ผลของเส้นใยอาหารต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง

จากการศึกษาผลของระดับของเส้นใยอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง ที่วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) แสดงดังตารางที่ 6 พบว่า ตัวอย่างขนมปังมีค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้นตามปริมาณระดับของเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) มีค่า Hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 2.57 และ 2.76 N ตามลำดับ ในทางตรงข้ามเมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 และ 5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าตัวอย่างขนมปังทั้ง 2 สูตร มีค่า Hardness ที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือ 3.87 และ 4.21 N ตามลำดับ ซึ่งค่า Hardness ที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณเส้นใยอาหารที่เติมลงไปในปริมาณระดับความเข้มข้นที่มากมีผลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและกักเก็บน้ำไว้สูงทำให้ขัดขวางการเกิดกลูเตนและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวขนมปัง โดยทำให้การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาตรของก้อนขนมปังที่ลดลงตามไปด้วย อีกทั้งฟองอากาศหรือจำนวนของช่องว่างอากาศ (air bubbles) ภายในโครงสร้างของเนื้อขนมปังมีลักษณะฟองอากาศที่เล็กลงกระจายอัดแน่นทั่วทั้งก้อนขนมปังทำให้เนื้อขนมปังเนียนและแน่นขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากงานวิจัยอื่นพบว่า ความแน่นเนื้อของตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยเฮมิเซลลูโลส เส้นใยอาหารจากรำข้าว เส้นใยอาหารทางการค้า และเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความแน่นยิ่งเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน [24], [39] ส่วนค่า Cohesiveness (การเกาะตัวกันของผลิตภัณฑ์) พบว่า ตัวอย่างขนมปังทั้ง 4 สูตร มีค่า Cohesiveness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารในขนมปังไม่มีผลต่อค่า Cohesiveness ของเนื้อขนมปัง ในทางตรงข้ามการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า springiness (ความยืดหยุ่นหรือการคืนตัวของผลิตภัณฑ์) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่า Springiness สูงสุด คือ 6.77 mm รองลงมา คือ ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 1 และ 3 คือ 6.58 และ 6.57 mm ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) มีค่า Springiness ต่ำสุด คือ 6.48 mm ซึ่งค่า Springiness ของตัวอย่างขนมปังที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้แสดงถึงการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ของขนมปัง โดยค่า Springiness ที่มีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างขนมปังมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและแน่นขึ้นตาม ปริมาณเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การคืนตัวของผลิตภัณฑ์คืนตัวได้น้อยลงตามด้วย สำหรับค่า Chewiness (เนื้อสัมผัสเมื่อเคี้ยว) พบว่า เมื่อเติมเส้นใยอาหารในตัวอย่างขนมปังเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่า Chewiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามด้วย โดยตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) และตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 1.18 และ 1.26 kgf.mm ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 1.77 และ 1.93 kgf.mm ตามลำดับ ซึ่งค่า Chewiness นี้แสดงถึงลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อเคี้ยวซึ่งค่า Chewiness ที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างขนมปังมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและแน่นขึ้นตามปริมาณเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้นตามด้วยนั่นเอง ทำให้ใช้แรงในการเคี้ยวมากขึ้น

ตารางที่ 6 ผลของเส้นใยอาหารต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง

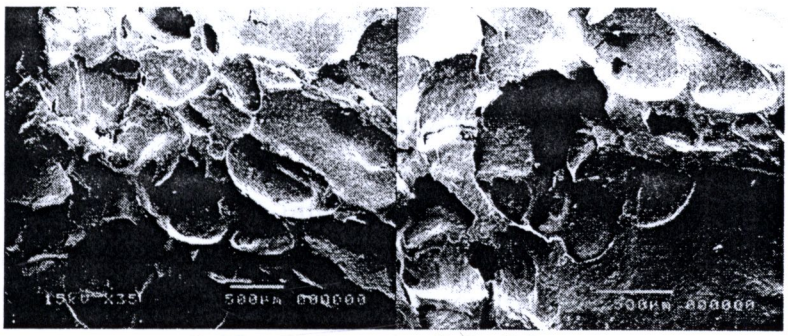
เส้นใยอาหาร (%)	Hardness (N)	Cohesiveness (mm)	Springiness (mm)	Chewiness (kgf.mm)
0	2.57 ± 0.09^{c}	0.69 ± 0.02^{a}	6.48 ± 0.03^{c}	1.18 ± 0.09^{b}
1	2.76 ± 0.11^{c}	0.67 ± 0.04^{a}	6.58 ± 0.09^{b}	1.26 ± 0.42^{b}
3	3.87 ± 0.44^{b}	0.69 ± 0.02^{a}	6.57 ± 0.16^{b}	1.77 ± 0.16^{a}
5	4.21 ± 0.05^{a}	0.68 ± 0.05^{a}	6.77 ± 0.15^{a}	1.93 ± 0.07^{a}

หมายเหตุ: สำหรับการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสวัดในรูป Texture Profile Analysis (TPA) ใช้ Load cell 500 N หัวทดสอบแบบ Compression plate (ขนาด 50x50 mm) Test Speed 60 mm/min และ Trigger 0.01 N

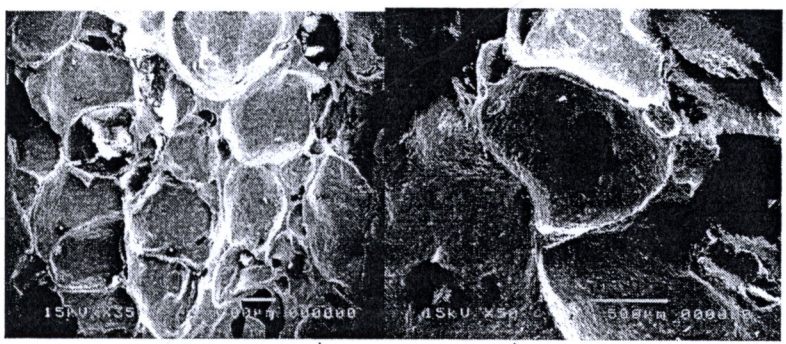
$^{a, b, c, d}$ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.5 ผลของเส้นใยอาหารต่อการกระจายตัวของเซลก๊าซในขนมปัง

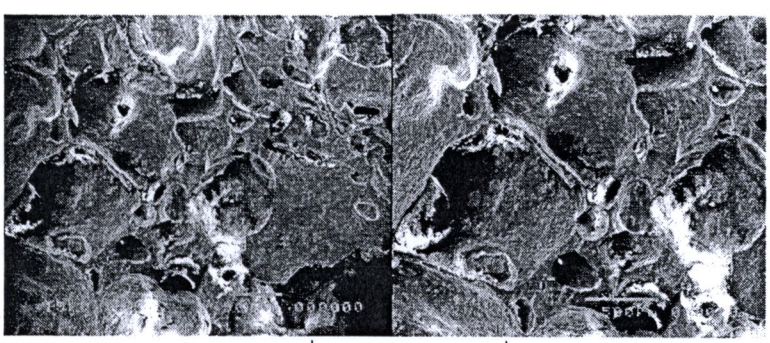
จากการศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของเส้นใยอาหารต่อการกระจายตัวของเซลก๊าซในขนมปัง โดยวิธี Scanning Electron Microscopy (SEM) สำหรับโครงสร้างของเนื้อขนมปัง แสดงดังภาพที่ 7 พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความเป็นรูพรุน (porosity) ภายในโครงสร้างของเนื้อขนมปัง (Crumb) แตกต่างกัน โดยที่ระดับความเข้มข้นของเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างของเนื้อขนมปังมีขนาดเล็กอัดแน่นและกระจายตัวเพิ่มขึ้น การเติมเส้นใยอาหารในขนมปังที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าขนาดและจำนวนช่องว่างอากาศ (air bubbles) ภายในโครงสร้างของเนื้อขนมปังที่มีขนาดเล็ก (small cells) จะเพิ่มขึ้น แต่ขนาดและจำนวนช่องว่างอากาศ (air bubbles) ภายในโครงสร้างของเนื้อขนมปังที่มีขนาดใหญ่ (large cells) จะลดลงแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) และตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ในทางตรงข้ามเมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 พบว่า ขนาดและจำนวนช่องว่างอากาศ (air bubbles) ภายในโครงสร้างของเนื้อขนมปังที่มีขนาดเล็ก (small cells) จะลดลง ส่วนขนาดและจำนวนช่องว่างอากาศ (air bubbles) ที่มีขนาดใหญ่ (large cells) จะเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากตัวอย่างขนมปังควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) ขนาดและจำนวนช่องว่างอากาศ (air bubbles) ภายในโครงสร้างของเนื้อขนมปังที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้ เนื่องจากระดับความเข้มข้นของเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น โดยการเติมเส้นใยอาหารที่มากเกินไปส่งผลทำให้การเกิดกลูเตนของโดขนมปังลดลง เพราะเส้นใยอาหารมีความสามารถในการอุ้มและกักเก็บน้ำไว้ทำให้ขัดขวางการเกิดกลูเตนในโดขนมปัง อีกทั้งส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวขนมปังทำให้การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามด้วย [24], [39] การเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลอากาศที่มีขนาดใหญ่ในขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) จะมีผลทำให้ปริมาตรก้อนขนมปัง ปริมาตรจำเพาะ มีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลต่อความนุ่มของขนมปังอีกด้วย



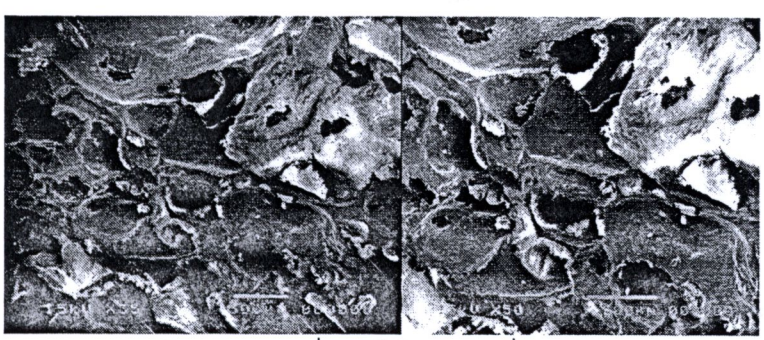
ก.ตัวอย่างขนมปังควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร)



ข. ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหาร ที่ระดับร้อยละ 1



ค. ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหาร ที่ระดับร้อยละ 3



ง. ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหาร ที่ระดับร้อยละ 5

ภาพที่ 7 ผลของปริมาณเส้นใยอาหารจากรำข้าวต่อลักษณะโครงสร้างของเนื้อขนมปัง

4.6 ผลของเส้นใยอาหารต่อองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของขนมปัง

เมื่อนำขนมปังสูตรควบคุมและตัวอย่างสูตรขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับแตกต่างกัน (เส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5) มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น (Moisture) โปรตีน (Crud protein) ไขมัน (Fat) เส้นใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber) เถ้า (Ash) และคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) แสดงดังตารางที่ 7 พบว่า ความชื้นของตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5 มีความชื้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีค่าแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เนื่องจากความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของเส้นใยอาหาร และความสามารถในการกักเก็บน้ำ (water retention capacity) ที่สูง ส่งผลให้ความชื้นของก้อนขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารมีความชื้นสูงกว่าตัวอย่างขนมปังควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) สำหรับโปรตีน จะเห็นได้ว่าทั้งตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารและตัวอย่างควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนปริมาณไขมัน พบว่า ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ไขมันในตัวอย่างขนมปังมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) ปริมาณไขมันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือร้อยละ 1.00 และ 1.10 ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 และ 5 พบว่ามีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ ร้อยละ 1.24 และ 1.30 ตามลำดับ สำหรับปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่าตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 1, 3 และ 5) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามปริมาณการเติมเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณเถ้า พบว่า ปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามปริมาณเส้นใยอาหารที่เติมในขนมปัง อีกทั้งปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงตามอัตราส่วนของปริมาณองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 7 ผลของเส้นใยอาหารต่อองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของขนมปัง

องค์ประกอบ	ระดับความเข้มข้นของเส้นใยอาหารที่เติม (%)			
	0	1	3	5
ความชื้น	33.37± 2.07[b]	35.14 ± 0.28[a]	35.28 ± 0.01[a]	35.80 ± 0.77[a]
โปรตีน	14.65 ± 0.19[a]	14.34 ± 0.21[a]	14.48 ± 0.19[a]	13.99 ± 0.03[a]
ไขมัน	1.00 ± 0.07[b]	1.10 ± 0.05[b]	1.24 ± 0.02[a]	1.30 ± 0.12[a]
เส้นใยอาหารทั้งหมด	0.97± 0.01[d]	1.50. ± 0.05[c]	3.11 ± 0.01[b]	4.50 ± 0.32[a]
เถ้า	0.85 ± 0.01[d]	0.92 ± 0.00[c]	1.06 ± 0.01[b]	1.21 ± 0.01[a]
คาร์โบไฮเดรต*	50.16[a]	46.94[b]	44.83[c]	42.71[d]

หมายเหตุ: [a, b, c, d] ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

*ค่าที่ได้จากคำนวณ คาร์โบไฮเดรต (%) = 100 – % (โปรตีน + ไขมัน + เยื่อใย + เถ้า + ความชื้น)

4.6 ผลของเส้นใยอาหารต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

สำหรับการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 ต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) กลิ่น (Odor) รสชาติ (Taste) ความนุ่ม (Softness) และความชอบโดยรวม (Overall preference) โดยใช้แบบทดสอบชิม 9-point hedonic scale (9 คือ ชอบมากที่สุด 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด) พบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับต่อขนมปังทั้ง 4 สูตรที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 8 โดยในลักษณะปรากฏ พบว่าผู้ทดสอบชิมจะให้คะแนนความชอบที่สูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ที่การเติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 0, 1 และ 3 ยกเว้นการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 5 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่ำที่สุด ส่วนคุณลักษณะด้านสีของขนมปัง พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสตัวอย่างขนมปังควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) สูงที่สุด รองลงมา คือ ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1 และ 3 ซึ่งมีคะแนนที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 5 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่ำสุด เนื่องจากการเติมเส้นใยอาหารในขนมปังที่ระดับร้อยละ 5 มีผลทำให้ขนมปังมีสีที่คล้ำมากเกินไปเพราะสีเริ่มต้นของตัวอย่างเส้นใยอาหารที่เติมลงไปนั่งเอง ส่งผลทำให้สีของขนมปังมีคุณลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการนั่นเอง อีกทั้งความชอบในคุณลักษณะกลิ่น พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 0, 1 และ 3 ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทางตรงข้ามการเติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 5 ได้รับคะแนนน้อยการยอมรับด้านกลิ่นต่ำสุดและแตกต่างจากตัวอย่างขนมปังควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) และตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(P≤0.05) เนื่องจากเส้นใยอาหารมีกลิ่นที่เฉพาะตัว ดังนั้นเมื่อปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้มีกลิ่นของเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วยส่งผลทำให้ผู้บริโภคมีความชอบที่ลดลง สำหรับรสชาติ ของขนมปัง พบว่า การเติมเส้นใยอาหารในขนมปังที่ระดับร้อยละ 0 , 1 และ 3 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ (P>0.05) แต่เมื่อเติมเส้นใยอาหารในขนมปังที่ระดับเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 5 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติต่ำสุด ส่วนลักษณะความนุ่ม พบว่าการเติมเส้นใยอาหารในขนมปังที่ระดับร้อยละ 1 และตัวอย่างขนมปังควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Hardness ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทางตรงข้ามตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 3 และ 5 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบต่อลักษณะความนุ่มของตัวอย่างขนมปังแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) และตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างขนมปังมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและแน่นขึ้นตามปริมาณเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้นด้วยนั่นเอง นอกจากนั้นความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบตัวอย่างขนมปังควบคุม (ไม่ใส่เส้นใยอาหาร) ตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 1 และ 3 สูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่แตกต่างจากตัวอย่างขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารที่ระดับร้อยละ 5 ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับต่ำสุด ดังนั้นแสดงให้เห็นว่ายิ่งเพิ่มระดับความเข้มข้นของเส้นใยอาหารมากยิ่งขึ้นส่งผลทำให้คุณภาพของขนมปังมีคุณภาพทางกายภาพลดลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย

ตารางที่ 8 ผลของเส้นใยอาหารต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

เส้นใยอาหาร (%)	Appearance	Color	Odor	Taste	Softness	Overall preference
0	7.28±1.58^{a}	7.28±1.33^{a}	6.90±1.35^{a}	6.70±1.68^{a}	7.03±1.84^{a}	6.93±1.77^{a}
1	7.05±1.29^{a}	6.55±1.35^{b}	6.63±1.64^{ab}	6.20±1.52^{ab}	6.53±1.46^{a}	6.65±1.46^{ab}
3	6.78±1.38^{a}	6.55±1.51^{b}	6.30±1.65^{ab}	6.13±1.60^{ab}	5.68±1.96^{b}	6.60±1.70^{ab}
5	5.98±1.52^{b}	5.90±1.51^{c}	6.03±1.65^{b}	5.48±1.66^{b}	4.88±1.77^{c}	5.95±1.29^{b}

หมายเหตุ: $^{a, b, c}$ ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 8 ผลิตภัณฑ์ขนมปังที่เติมเส้นใยอาหารจากรำข้าวที่ระดับต่างๆ