

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิเบียน และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด

Chemical and Physical Properties of Cold-pressed Sangyod Rice Bran Oil and Its Application in Sangyod Rice Cookies

อมรรัตน์ ถนนแก้ว *

Amonrat Thanonkaew *

Received: 3 May 2020, Revised: 9 July 2020, Accepted: 22 September 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิเบียน และการประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิเบียนในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ผลการศึกษาพบว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดด้วยเฮกเซนมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงกว่าการสกัดโดยวิธีบิบบิเบียน แต่น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิเบียนมีค่ากรดค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระ ต่ำกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่สกัดด้วยเฮกเซน ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิเบียนมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว วิตามิน และพฤษเคมี ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน ($p < 0.05$) เมื่อศึกษาการประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิเบียนในผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยการทดแทนปริมาณเนยเทียมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ในระดับร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ พบว่าการใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิเบียนทดแทนเนยเทียม ไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน และปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด แต่ส่งผลให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดมีความชื้นสูงกว่าตัวอย่างชุดควบคุมที่ใช้เนยเทียมล้วน ($p < 0.05$) ปริมาณน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 10 ขึ้นไป ส่งผลให้คุกกี้มีสีเข้มขึ้น การเพิ่มปริมาณน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิเบียนส่งผลให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดมีความแข็ง ความเปราะ อัตราการแผ่ และความหนาแน่น เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับการทดแทนร้อยละ 5 ไม่มีผลต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ($p \geq 0.05$) เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าที่ระดับการทดแทนร้อยละ 10 ขึ้นไปส่งผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลดในทุกด้าน แต่อย่างไรก็ตามการทดแทนที่ระดับร้อยละ 5 มีคะแนนความชอบของคุกกี้ ข้าวสังข์หยดในทุกด้านมีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($p \geq 0.05$)

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro and Bio-industry, Thaksin University, Phatthalung Campus, Banpraow, Paphayom, Phatthalung 93210, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): apsara.2555@gmail.com Tel: 0 7460 9618

คำสำคัญ: ลูกเกี๋ย, น้ำมันรำข้าว, การบีบเย็น, ข้าวสังข์หยด, พฤษเคมี

ABSTRACT

The objectives of this research were to examine the quality of cold-pressed Sangyod rice bran oil (CSRBO) and the application of CSRBO in Sangyod rice cookies. The data showed that hexane extraction had higher extraction yield and chemical properties than that of cold pressing method. CSRBO had lower values in acid, peroxide and free fatty acid than that of hexane extracted Sangyod rice bran oil (SRBO) ($p < 0.05$). Furthermore, CSRBO had higher monounsaturated fatty acid, vitamin and phytochemical contents and element contents than that of hexane extracted SRBO ($p < 0.05$). The effect of CSRBO replacing margarine on the qualities of Sangyod rice cookies was studied. CSRBO were substituted for 0% 5% 10% 15% and 20% of margarine in Sangyod rice cookies. CSRBO had no impact on fat and ash contents of cookies, but cookies containing CSRBO had higher moisture content than that of the control sample ($p < 0.05$). Increasing CSRBO up to 10% caused a growth in product color, hardness, fracturability, spread ratio and bulk density ($p < 0.05$). However, substitution with 5% CSRBO did not affect the hardness of cookies ($p \geq 0.05$). The results showed that the sensory acceptance of cookies with a rise of CSRBO up to 10% reduced the sensory score of cookies. However, substitution with 5% CSRBO was not significantly different from the control unit ($p \geq 0.05$).

Key words: cookies, rice bran oil, cold-pressed, Sangyod rice, phytochemical

บทนำ

น้ำมันรำข้าวนอกจากเป็นแหล่งของไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายแล้วยังประกอบด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์มากมาย เช่น วิตามิน และพฤษเคมี ชนิดต่างๆ ได้แก่ ในกลุ่มไฟโตสเตอรอล กลุ่มพอลิฟีนอล และวิตามินอี ทั้งชนิด โทโคเฟอรอล และโทโคไตรอินอล รวมทั้ง แกมมา-โอริซานอล ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณค่าต่อสุขภาพเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันที่มีในน้ำมันรำข้าวช่วยลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายได้ จึงสามารถช่วยลดภาวะเครียด เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stress) ที่เป็นสาเหตุของโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น จากการศึกษาเพื่อการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมัน

รำข้าวสังข์หยดบีบเย็น พบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็น ประกอบด้วย วิตามินอี สารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูง (Thanonkaew *et al.*, 2012) การวิเคราะห์ปริมาณแกมมา-โอริซานอล โดยใช้เทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC) ของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็น พบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระชนิดแกมมา-โอริซานอล สูงถึงร้อยละ 1.64 (Thanonkaew and Wongyai, 2011) ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในการนำน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพชนิดต่าง ๆ เนื่องจากในปัจจุบันคนไทยได้รับอารยธรรมตะวันตกมากขึ้น ส่งผลให้ในปัจจุบันคนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคอาหาร

ว่าง หรืออาหารที่ใช้รับประทานในระหว่างมือ ซึ่งสะดวกสามารถบริโภคได้ทุกที่ ประหยัดเวลา และง่ายต่อการใช้ชีวิตประจำวันที่มีความเร่งรีบ หรือนิยมบริโภคเนื่องในโอกาสพิเศษต่างๆ ผลิตภัณฑ์ขนมอบกำลังได้รับความนิยมอย่างมากในหลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทยเพราะมีรสชาติที่ถูกปาก และมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ขนมอบมีแนวโน้มตลาดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพมากขึ้น เพื่อตอบสนองกับกระแสสุขภาพ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ก็เพื่อสุขภาพ โดยใช้ น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบียน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าแก่รำข้าวสังข์หยด และเพิ่มทางเลือกสำหรับผู้บริโภคในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยด

ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบรำข้าวโดยนำรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการขัดสีใหม่ๆ จากโรงสีข้าวสังข์หยด ชุมชนบ้านเขากลาง หมู่ 13 ตำบลบันเต อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง นำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 30 เมช แล้วนำไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิระหว่าง 130-150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และจุลินทรีย์ (Juliano, 1985) นำรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการอบไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ศึกษาในขั้นถัดไป

1.1 การสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยวิธีบิเบียน (Cold pressing)

นำรำข้าวที่ผ่านการเตรียมไปทำการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยวิธีบิเบียน ณ บริษัทบ้านไทยเฮิร์บ หมู่ที่ 1 ตำบลโคกนาค อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง โดยเครื่องแบบสกรูเพรสขนาดเล็ก (มอเตอร์ 2 แรงม้า กระแส ไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์) ที่ความเร็วในการหมุนของสกรูเป็น 60 รอบต่อนาที นำ

น้ำมันที่สกัดได้ไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 คำนวณปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ แล้วนำน้ำมันไปเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ตามสูตรดังนี้

ปริมาณน้ำมัน (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักของรำข้าวสังข์หยดก่อนการสกัด}} \times 100$

1.2 วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยตัวทำละลายอินทรีย์ (เฮกเซน)

นำรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการเตรียมข้างต้น ปริมาณ 20 กรัม ไปผสมกับเฮกเซน 120 มิลลิลิตร แล้วนำไปสกัดที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 60 นาที นำน้ำมันที่สกัดได้ไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำไปแยกเฮกเซนออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Rotavapor® R-210/R-215, Buchi, Switzerland) ที่อุณหภูมิ ห้อง แล้วนำน้ำมันที่สกัดได้ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ตามสูตรดังที่กล่าวในข้อ 1.1

1.3 วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยด

นำน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ได้จากการสกัดข้างต้นไปวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

1) ค่ากรด (Acid value) โดยวิธี AOAC (1999)

2) ค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) โดยวิธี AOAC (1999)

3) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) โดยวิธี AOAC (1999)

4) การวิเคราะห์กรดไขมัน โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC) ตามวิธี AOAC (1999)

5) การวิเคราะห์ปริมาณแกมมา-โอริซานอล (Gamma-Oryzanol) โดยวิธี Spectrophotometrically (UV-VIS 1700, Shimadzu, Japan) (Mezouari and Eichner, 2007)

6) การตรวจสอบ Total phenolic content
โดยวิธี Spectrophotometrically (UV-VIS 1700,
Shimadzu, Japan) (Lai *et al.*, 2009)

7) การตรวจสอบ Total flavonoid content
โดยวิธี Spectrophotometrically (UV-VIS 1700,
Shimadzu, Japan) (Jia *et al.*, 1998)

8) การวิเคราะห์ปริมาณ Vitamin A,
Vitamin B1, Vitamin B2, Vitamin B3, Vitamin B6,
Vitamin E, biotin และ cholesterol โดยวิธี AOAC
(2000)

9) การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ Inductively
coupled plasma optical emission spectrophotometer,
ICP-OES (Perkin Elmer, Model 4300 DV, USA)
ตามวิธี AOAC (1999)

10) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี
ระบบ CIE (L*, a*, b*) วัดด้วยเครื่องวัดสี Hunter
Lab

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely
Randomized Design) แต่ละสิ่งทดลองทำการ
วิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล
โดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และ
วิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ (DMRT) Duncan's
Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
(Steel and Torrie, 1980) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป
SPSS version 11

2. การประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบ้นใน ผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งข้าวสังข์หยด

ศึกษาผลของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบ้น
ต่อคุณภาพของลูกกึ่งข้าวสังข์หยด โดยการทดแทน
น้ำมันรำข้าวสังข์หยดในส่วนของเนยเทียม
(Margarine) ที่ระดับร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ดัง
แสดงในตารางที่ 1 เมื่อชั่งส่วนผสมต่างๆ แล้วนำไป
ผลิตลูกกึ่งข้าวสังข์หยด ดังวิธีการผลิตลูกกึ่งข้าวสังข์
หยดที่อธิบายข้างล่าง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งข้าวสังข์หยดที่มีการทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบ้นใน
ระดับต่างๆ

ส่วนผสม (กรัม)	การทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบ้น(ร้อยละ)				
	0	5	10	15	20
1. แป้งสาลีอเนกประสงค์	400	400	400	400	400
2. แป้งข้าวสังข์หยด	100	100	100	100	100
3. เนยเทียม	250	237.5	225	212.5	200
4. ไข่	100	100	100	100	100
5. น้ำตาล	250	250	250	250	250
6. ผงฟู	15	15	15	15	15
7. เกลือ	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
8. ข้าวดอก	50	50	50	50	50
9. งาม	10	10	10	10	10
10. น้ำมันรำข้าว	0	12.5	25	37.5	50

กรรมวิธีการผลิตลูกก๊ี้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิ้น
มีดังนี้

- 1) เปิดเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ใช้ไฟบน-ล่าง เตรียมไว้
- 2) ร่อนแป้งสาลีอเนกประสงค์ แป้งข้าวสังข์หยด และผงฟูเข้าด้วยกันพักไว้
- 3) นำเนยเทียมใส่ในเครื่องผสม แล้วปั่นผสมเนยเทียมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำตาลแล้วผสมให้เข้ากันจนเกิดการขึ้นฟู แล้วค่อยๆ ใส่น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิ้นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ตามสูตร
- 4) ค่อยๆ ใส่ไข่ลงไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วใส่แป้งที่ร่อนไว้และส่วนผสมที่เหลือ ผสมให้เข้ากันดีใช้เวลาประมาณ 10 นาที
- 6) ตักโดลูกก๊ี้นจากเครื่องผสม แล้วนำไปขึ้นรูปตามที่ต้องการ
- 7) นำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 12-15 นาที
- 8) นำออกจากเตาอบ แล้วตัดออกจากถาดไปวางในตะแกรง ตั้งทิ้งไว้จนลูกก๊ี้นเย็นตัวลง
- 9) นำลูกก๊ี้นไปบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน (Polypropylene: PP)
- 10) เก็บรักษาในกล่องเก็บอาหารที่ปิดสนิท แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้นข้าวสังข์หยด

- 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของลูกก๊ี้นข้าวสังข์หยด โดยวิเคราะห์ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า โดยวิธี AOAC (2000)
- 2) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (aw) ของลูกก๊ี้นด้วยเครื่อง Aqualab CX2 (Decagon Devices, Inc., USA)
- 3) การวัดค่าสีระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab

4) การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Microsystems, UK.) โดยการวัดค่าความแข็ง (Hardness) ใช้หัววัดชนิด Knife Edge Blade (HDP/BS) และอ่านค่าแรงสูงสุดที่ใช้ (Cutting force) ส่วนค่าความเปราะ (Fracturability) ใช้หัววัดชนิด Ball probe (P/0.25S) และวัดค่าแรงกดแตก (Breaking force) โดยอ่านจากค่าแรงสูงสุดของพีคแรก ใช้ลูกก๊ี้น 10 ชิ้น

5) วัดอัตราการแผ่ขยายตัว (Spread ratio) โดยการวัดความกว้าง (Width) และความหนา (Thickness) โดยวัดความกว้างของลูกก๊ี้นที่วางเรียงชิดกัน 6 ชิ้น และวัดความหนา โดยวางลูกก๊ี้นซ้อนทับกัน 6 ชิ้น คำนวณค่าอัตราการแผ่กระจาย เท่ากับอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของลูกก๊ี้น (AACC, 2000)

6) วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของลูกก๊ี้นโดยการแทนที่เมล็ดงา

7) การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยทดสอบความชอบ ตามวิธี 9 points hedonic scale โดยประเมินความชอบต่อคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) กลิ่นรส (Flavor) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) และความชอบรวม (Overall liking) ให้คะแนนระดับ 1-9 โดยใช้ผู้ประเมินเป็นผู้บริโภคทั่วไปที่ชอบรับประทานขนมลูกก๊ี้น ผู้ทดสอบทั้งหมดเป็นนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณวิทยาเขต พัทลุง ทั้งเพศชายและหญิง ที่มีอายุระหว่าง 19-25 ปี จำนวน 50 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ศึกษาการทดแทนเนยเทียมในสูตรลูกก๊ี้นด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิ้น โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส มีการวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized

Complete Block Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Steel and Torrie, 1980) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยใช้วิธีบีบเย็นและการสกัดด้วยเฮกเซน พบว่าการสกัดโดยวิธีบีบเย็นให้ปริมาณน้ำมันรำข้าวได้น้อยกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน ร้อยละ 10.24 และการบีบเย็น ร้อยละ 7.32 (ตารางที่ 2) ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้น้อยกว่าผลงานวิจัยของทีมนักวิจัยอื่นๆ Zigoneanu *et al.* (2008) ศึกษาการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยไอโซโพรพานอลได้น้ำมันประมาณร้อยละ 12 ส่วนการสกัดด้วยเฮกเซนได้น้ำมันรำข้าวประมาณร้อยละ 14 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Proctor and Bowen (1996) ได้สกัดน้ำมันรำข้าว ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เฮกเซนได้น้ำมันร้อยละ 14.95 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยวิธีการสกัดด้วยเฮกเซนมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งสามารถเกิดได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของข้าว การเก็บรักษา การสีข้าว การเตรียมรำข้าว และสถานะในการสกัด เป็นต้น (Zigoneanu *et al.*, 2008) โดยทั่วไปแล้วการสกัดน้ำมันโดยใช้เฮกเซน สามารถสกัดได้น้ำมันในปริมาณที่สูง และต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่มีปัญหาสำคัญในด้านสุขภาพ ได้แก่ ความปลอดภัยของผู้บริโภคและผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งปัญหาความเป็นพิษ

ต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้มีการศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้สารละลายอินทรีย์ และวิธีการสกัดอื่นๆ ที่มีความปลอดภัยและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเฮกเซน การสกัดน้ำมันรำข้าวโดยวิธีการบีบเย็นจึงเป็นวิธีการสกัดที่นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันรำข้าวในปัจจุบันเนื่องจากมีความปลอดภัยและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งๆ ที่ให้ปริมาณน้ำมันที่น้อยและต้นทุนการผลิตสูงกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน (Godber, 2008) วัดสีของน้ำมันรำข้าวโดยใช้ระบบ CIE ค่า L^* คือ "ความสว่าง" ของตัวอย่างจาก 0 ถึง 100 ค่าที่ 100 เป็นสีขาวบริสุทธิ์ ค่า a^* หมายถึง สีแดง (+) สีเขียว (-) ค่า b^* หมายถึงสีเหลือง (+) สีน้ำเงิน (-) ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่สกัดโดยวิธีบีบเย็นมีสีเข้มกว่าน้ำมันที่สกัดโดยใช้เฮกเซน ซึ่งเห็นได้จากค่า L^* และ a^* ของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นมีค่าสูงกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากการบีบเย็นทำให้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในรำข้าวออกมาในปริมาณมาก และมีหลายชนิด ส่วนสารสีที่สามารถสกัดออกมาได้ในน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซนเป็นสารไม่มีสี ซึ่งมีไม่มากทำให้น้ำมันมีความใสและมีสีเหลืองสูงกว่าน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนและการบีบเย็นแสดงในตารางที่ 3 จากการทดลองพบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดมี ค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน และค่ากรดไขมันอิสระ ดังนี้ 8.32- 10.24 mg KOH/ g oil, 9.64-12 meq/kg oil, 95.48-102.28 และ ร้อยละ 4.18-5.14 ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกันกับการศึกษาของ Mezouari *et al.* (2006) ได้รายงานว่าน้ำมันรำข้าวของไทย มีค่าของกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่าไอโอดีน เป็น 12 mg KOH/ g oil, 9.80 meq/kg oil และ 90 ตามลำดับ จากการทดลอง

พบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดโดยวิธีบีบเย็นมี ค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่ากรดไขมันอิสระ ต่ำกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่สกัดด้วยเฮกเซน จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยใช้วิธีการบีบเย็นได้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่มีสมบัติทางเคมีดีกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์

หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน อาจเนื่องมาจากน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้น้อยกว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยใช้เฮกเซน

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ และค่าสีของที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนและการบีบเย็น

สมบัติทางเคมี	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (ร้อยละ)	10.24 ± 0.73 ^{Aa}	7.32 ± 0.91 ^b
ค่าสี		
L*	95.48 ± 5.05 ^b	102.28 ± 8.11 ^a
a*	28.42 ± 1.21 ^b	36.63 ± 6.11 ^a
b*	5.14 ± 0.01 ^a	3.88 ± 0.05 ^b

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนและการบีบเย็น

สมบัติทางเคมี	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
ค่าของกรด (mg KOH/ g oil)	10.24 ± 0.03 ^{Aa}	8.32 ± 0.01 ^b
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg oil)	12.19 ± 0.04 ^a	9.64 ± 0.07 ^b
ค่าไอโอดีน	95.48 ± 0.05 ^b	102.28 ± 0.11 ^a
ค่ากรดไขมันอิสระ (%)	5.14 ± 0.01 ^a	4.18 ± 0.05 ^b

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และการบีบเย็นแสดงในตารางที่ 4 น้ำมันรำข้าวสังข์หยดมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนี้ Palmitic acid (21.93-20.10%), Oleic acid (41.01-44.20%) และ Linoleic acid (30.32-30.00%) น้ำมันรำข้าวสังข์

หยดบีบเย็นประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน Godber (2008) กล่าวว่า น้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบของกรดไขมันคล้ายคลึงกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม น้ำมันรำข้าวมีปริมาณ Oleic acid สูง แต่มี Linoleic acid ต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ซึ่ง

เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับน้ำมันถั่วลิสง Ramezanzadeh *et al.* (2000) รายงานชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันรำข้าว คือ Palmitic acid (12-18%), oleic acid (40-50%), และ Linoleic acid (30-35%) ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 90 ของกรดไขมันทั้งหมดในน้ำมันรำข้าว จากข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก (WHO) ที่แนะนำให้บริโภคน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันในอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว: กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว: กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน เท่ากับ 1 : 1.5 : 1 ซึ่งหมายความว่าให้บริโภคกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนน้อย ให้บริโภคกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวน้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ชนิดบีบเย็นพบว่ามีการกรดไขมันดังกล่าวในอัตราส่วน เท่ากับ 23.4 : 45.5: 31.3 หรือประมาณ 0.75: 1.45: 1 ซึ่งใกล้เคียงกับข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ชนิดบีบเย็นไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณวิตามินและพฤษเคมี ในน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และการบีบเย็น จากการทดลองพบว่าน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ชนิดบีบเย็นประกอบด้วย วิตามินบี 3 วิตามินอี ไบโอดีน แกมมา-โอริซานอล และสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในปริมาณที่สูงกว่าในน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และไม่พบคอเลสเตอรอล วิตามินเอ บี 1 และ บี 2 ในน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดโดยทั้งสองวิธี ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ Moreau and Kamal-Elldin (2008) รายงานว่าน้ำมันที่ผ่านการสกัด โดยวิธีบีบเย็น ประกอบด้วย วิตามิน สารประกอบฟีนอล และคลอโรฟิลล์ ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน เนื่องจากวิตามินและสารพฤษเคมี มีโครงสร้างทางเคมีที่มีความมีขั้ว

และไม่มีขั้ว (Amphiphilic structure) อาจส่งผลให้ไม่สามารถละลายได้ดีในเฮกเซน ในระหว่างการสกัดที่อุณหภูมิห้อง แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปน้ำมันรำข้าวที่ยังไม่ผ่านการทำบริสุทธิ์ ประกอบด้วย แกมมา-โอริซานอล ร้อยละ 1.5-2.9 Lai *et al.* (2009) รายงานว่าปริมาณน้ำมันรำข้าวประกอบด้วย สารประกอบฟีนอล แกมมา-โอริซานอล และ โทโคฟีรอลทั้งหมด ในปริมาณดังต่อไปนี้ 1.97-1.47 g/100 g, 0.98-1.31 g/100 g และ 21.3-100.7 mg/100 g ตามลำดับ Mezouari *et al.* (2006) รายงานปริมาณพฤษเคมีในน้ำมันรำข้าวของไทยประกอบด้วย โทโคฟีรอล 50.8 mg/100 g และ แกมมา โอริซานอล 1.60 g/100 g oil Narayana *et al.* (2002) รายงานปริมาณพฤษเคมีในน้ำมันรำข้าวของอินเดีย ประกอบด้วย แกมมา โอริซานอล 1.3-1.68 g/100 g จากการทดลองยังพบว่าน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ชนิดบีบเย็นประกอบด้วย วิตามินบี 3 และไบโอดีน และเป็นน้ำมันที่ปราศจากคอเลสเตอรอล ไม่ส่งผลต่อการเกิดการสะสมปริมาณคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด นอกจากนี้ น้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดทั้งสองวิธีประกอบด้วย วิตามินอี แกมมา โอริซานอล สารประกอบ ฟีนอลทั้งหมด และสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ในปริมาณที่สูง ดังนี้ 0.80-0.93 mg/g oil, 17.4-19.0 mg/g oil, 11.39-14.70 mg FAE/g oil and 6.90-7.54 mg CE/g oil ตามลำดับ ข้าวสังเคราะห์เป็นข้าวที่เชื่อมเมล็ดมีสีแดง ซึ่งส่งผลให้ข้าวสังเคราะห์มีวิตามินและพฤษเคมีชนิดต่างๆ สูง ปริมาณแร่ธาตุในน้ำมันรำข้าวส่งผลโดยตรง ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวและผลิตภัณฑ์จากน้ำมันรำข้าว จากการทดลองพบปริมาณแร่ธาตุในน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และการสกัดด้วยวิธีบีบเย็น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) น้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดโดยวิธีบีบเย็นมีปริมาณแร่ธาตุหลาย

ชนิด ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน ฟอสฟอรัส (P) เป็นแร่ธาตุที่พบในปริมาณสูงที่สุด (65.05-125.51 mg/kg) และปริมาณฟอสฟอรัส ที่พบในน้ำมันรำข้าวสังข์หยด ที่ผ่านการสกัดโดยวิธีบีบเย็นสูงกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน ประมาณ 2 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันรำข้าวที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำมันรำข้าวที่ยังไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ทำให้มีเหล็ก (Fe) และ ทองแดง (Cu) ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา ซึ่งอาจจะส่งผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาของน้ำมัน และผลิตภัณฑ์จากน้ำมัน น้ำมันรำข้าวสังข์หยดประกอบด้วยเหล็กเท่ากับ 1.42-2.08 mg/kg oil และ ทองแดงเท่ากับ 0.34-0.46 mg/kg oil ผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทางเดียวกันกับการศึกษาของ Mezouari *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าน้ำมันรำข้าวของไทยที่ไม่ผ่านการทำบริสุทธิ์มีเหล็กเท่ากับ 2.6 mg/kg oil และ ทองแดงเท่ากับ 0.17 mg/kg oil ในการทดลองนี้พบแคดเมียม (Cd) ในน้ำมันที่ผ่านการสกัดโดยสองวิธี แต่ไม่พบ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) ในน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน แต่อย่างไรก็ตามพบ

แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) และ Pb ในปริมาณเล็กน้อยซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของน้ำมันบริโภคของไทย ปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดที่พบในน้ำมันรำข้าวอาจแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารตามธรรมชาติที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าว การปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม และกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน เป็นต้น การสกัดน้ำมันโดยวิธีสกัดด้วยเฮกเซน มีปริมาณแร่ธาตุต่ำกว่าการสกัดโดยวิธีบีบเย็น เนื่องจากเฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งไม่มีขั้ว ส่วนแร่ธาตุเป็นสารที่มีขั้วทำให้ไม่สามารถละลายในน้ำมันได้ดี จึงส่งผลให้มีแร่ธาตุละลายมากับน้ำมันได้น้อย

จากการศึกษาข้างต้นเห็นได้ว่า การสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยวิธีบีบเย็น ได้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่มีคุณภาพสูงกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว วิตามิน และพฤษเคมี ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านวิธีการบีบเย็นไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งข้าวสังข์หยดเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และการบีบเย็น

กรดไขมัน (g/100 oil)	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
Lauric acid (C12:0)	0.05 ± 0.002 ^{Aa}	ND
Myristic acid (C14:0)	0.37 ± 0.005 ^a	0.30 ± 0.003 ^a
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.03 ± 0.003 ^a	ND
Palmitic acid (C16:0)	21.93 ± 0.240 ^a	20.10 ± 0.250 ^b
Palmitoleic acid (C10:1 n-7)	0.21 ± 0.006 ^a	0.10 ± 0.003 ^a
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.05 ± 0.003 ^a	ND
Stearic acid (C18:0)	2.26 ± 0.030 ^a	2.00 ± 0.040 ^a
Cis-9-Octadecenoic acid (C18:1 n-9)	41.02 ± 0.075 ^b	44.20 ± 0.067 ^a

ตารางที่ 4 (ต่อ)

กรดไขมัน (g/100 oil)	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
Cis-9,12-Octadecenoic acid (C18:2 n-6)	30.32 ± 0.095 ^a	30.00 ± 0.106 ^a
Cis-9,12,15-Octadecenoic acid (C18:3 n-3)	1.56 ± 0.080 ^a	1.30 ± 0.030 ^a
Arachidic acid (C20:0)	0.84 ± 0.050 ^a	0.40 ± 0.003 ^b
Cis-11-Eicosenoic acid (C20:1 n-9)	0.52 ± 0.080 ^a	0.20 ± 0.008 ^b
Behenic acid (C22:0)	0.27 ± 0.026 ^a	0.20 ± 0.003 ^a
Lignoceric acid (C24:0)	0.39 ± 0.003 ^a	0.40 ± 0.005 ^a
Total monounsaturated fatty acid	41.75	44.50
Total polyunsaturated fatty acid	31.88	31.30
Total unsaturated fatty acid	73.63	75.80
Total saturated fatty acid	26.19	23.40

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ND= ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (Not detectable)

ตารางที่ 5 ปริมาณวิตามินและสารพฤกษเคมีในน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนและการบีบเย็น

ปริมาณ	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
Vitamin A (mg/g oil)	ND	ND
Vitamin B1 (mg/g oil)	ND	ND
Vitamin B2 (mg/g oil)	ND	ND
Vitamin B3 (mg/g oil)	0.02 ± 0.003 ^{Aa}	0.03 ± 0.004 ^a
Vitamin B6 (mg/g oil)	ND	ND
Vitamin E (mg/g oil)	0.80 ± 0.003 ^b	0.93 ± 0.005 ^a
Biotin (μg/g oil)	0.10 ± 0.021 ^b	0.30 ± 0.006 ^a
Cholesterol (mg/g oil)	ND	ND
Gamma oryzanol (mg/g oil)	17.4 ± 0.02 ^b	19.0 ± 0.01 ^a
Total phenolic content (mgFAE/g oil) ^B	11.39 ± 0.36 ^b	14.70 ± 0.37 ^a
Total flavonoid content (mgCE/g oil) ^C	6.90 ± 0.33 ^a	7.54 ± 0.31 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^B FAE = Ferulic acid equivalent ^C CE = Catechin equivalent ND= ตรวจไม่พบ (Not detectable)

ตารางที่ 6 ปริมาณแร่ธาตุ (Element contents) ในน้ำมันรำข้าวสังข์หยด ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์และการสกัดด้วยวิธีบีบเย็น

ปริมาณแร่ธาตุ (mg/kg)	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
Calcium (Ca)	19.20 ± 0.040 ^{Ab}	33.89 ± 0.217 ^a
Phosphorus (P)	65.05 ± 0.083 ^b	125.51 ± 0.127 ^a
Magnesium (Mg)	10.55 ± 0.090 ^a	8.64 ± 0.110 ^b
Potassium (K)	6.72 ± 0.115 ^a	5.93 ± 0.105 ^a
Iron (Fe)	1.42 ± 0.003 ^b	2.08 ± 0.002 ^a
Copper (Cu)	0.46 ± 0.003 ^a	0.34 ± 0.002 ^a
Cadmium (Cd)	0.01 ± 0.000 ^a	0.01 ± 0.001 ^a
Arsenic (As)	ND	0.03 ± 0.002 ^a
Lead (Pb)	ND	0.49 ± 0.003 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ND= ตรวจไม่พบ (Not detectable)

2. การประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งข้าวสังข์หยด

ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งข้าวสังข์หยด ทำการทดแทนเนยเทียมในสูตรลูกกึ่งข้าวสังข์หยด โดยใช้ไขมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นในระดับต่างๆ โดยมีระดับการทดแทนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 แล้วนำลูกกึ่งที่ได้จากการทดแทนเนยเทียมดังกล่าว ไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ได้แก่คุณภาพทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 7-11

จากการทดลองพบว่าการใช้ไขมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็น ทดแทนเนยเทียมที่ระดับร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน และปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งข้าวสังข์หยด แต่ส่งผลให้ลูกกึ่ง

มีปริมาณความชื้นสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ใช้เนยเทียมล้วน ($p < 0.05$) ในทางกลับกันมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าชุดควบคุม (ร้อยละ 0) (ตารางที่ 7) แต่อย่างไรก็ตามลูกกึ่งที่ใช้ไขมันรำข้าวสังข์หยดทดแทนเนยเทียม ในระดับร้อยละ 5 และ 10 ลูกกึ่งมีปริมาณความชื้นและโปรตีนไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($p \geq 0.05$) ลูกกึ่งทุกตัวอย่างยังคงมีปริมาณความชื้นที่ต่ำมาก คือไม่เกินร้อยละ 4 และค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ไม่เกิน 0.4 ดังนั้นจึงไม่น่าจะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (Fennema, 1996) ถึงแม้ว่าลูกกึ่งข้าวสังข์หยดจะมีไขมันสูง แต่เป็นแหล่งของไขมันคุณภาพดีจากน้ำมันรำข้าว ซึ่งมีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวสูงและยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เช่น วิตามินอี และแกมมา โอริซานอล (Thanonkaew *et al.*, 2012)

ตารางที่ 7 สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยดที่มีการทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการทดแทน (ร้อยละ)	สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด				
	โปรตีน (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี
0	6.01±0.02 ^A	21.48±0.23 ^a	2.47±0.2 ^b	1.67±0.09 ^a	0.29±0.01 ^a
5	6.01±0.11 ^a	21.51±0.25 ^a	2.53±0.14 ^b	1.70±0.03 ^a	0.32±0.02 ^a
10	5.85±0.08 ^b	21.32±0.57 ^a	3.74±0.08 ^a	1.67±0.08 ^a	0.34±0.01 ^a
15	5.90±0.13 ^b	21.38±0.48 ^a	3.82±0.11 ^a	1.67±0.09 ^a	0.31±0.01 ^a
20	5.74±0.05 ^b	21.44±0.26 ^a	3.74±0.26 ^a	1.61±0.05 ^a	0.29±0.02 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสดมภ์แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษาผลของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด พบว่าการทดแทนเนยเทียมโดยใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ทำให้คุกกี้มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในตารางที่ 8 ปริมาณน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คุกกี้มีสีเข้มขึ้น การเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ส่งผลให้คุกกี้มีค่าความสว่าง (L^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง และค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเฉพาะในการทดแทนที่อยู่ในระดับสูง ร้อยละ 15 และ 20 ส่วนการทดแทนเนยเทียมโดยใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดในระดับร้อยละ 5 ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ($p\geq 0.05$) เมื่อศึกษาผลของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ในด้านความแข็ง ความเปราะ อัตราการแผ่ และความหนาแน่น พบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นมีผลให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดมีความแข็ง ความเปราะ อัตราการแผ่ และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 9 และ 10) เนื้อคุกกี้ที่มีน้ำมันรำข้าวสังข์หยด

เป็นส่วนผสม มีลักษณะแบนบาง มีความหนาแน่น ความแข็ง และความเปราะสูงกว่าคุกกี้ชุดควบคุม นอกจากนี้จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ดังกล่าวข้างต้นจะเกิดมากขึ้น ตามระดับการทดแทน โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพบางด้านจะเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ก็ต่อเมื่อใช้ทดแทนที่ระดับสูง เช่น ค่าอัตราการแผ่ และความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อทดแทนเนยเทียมร้อยละ 5 แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับการทดแทนดังกล่าวไม่มีผลต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ($p\geq 0.05$) ความหนาแน่นของคุกกี้มากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งและอัดตัวกันแน่น และมีรูพรุนของฟองอากาศน้อย (Pareyt *et al.*, 2008) เนยเทียมเป็นไขมันจากพืชที่นิยมใช้ในการผลิตคุกกี้เนย เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเนย (Butter) แต่ยังสามารถทำให้คุกกี้เนยยังมีเนื้อสัมผัสที่ดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในปริมาณสูงทำให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดมีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นมีคุณสมบัติการเกิดคริมที่น้อยกว่าเนยเทียม ทำให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดที่มีการทดแทน

เนยเทียมที่สูงขึ้น มีค่าความแข็งและความหนาแน่น สูงกว่าลูกเกี๊ยวที่สูตรควบคุมที่ใช้เนยเทียมร้อยละ 100

ตารางที่ 8 ค่าสีของของผลิตภัณฑ์ลูกเกี๊ยวสังขยัดที่มีการทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังขยัดบิบนเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการ ทดแทน (ร้อยละ)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
0	91.88±6.39 ^{A a}	11.65±0.20 ^b	41.94±1.41 ^a
5	90.04±5.81 ^a	11.22±0.09 ^b	38.18±1.30 ^b
10	86.40±2.32 ^b	11.32±0.63 ^b	35.94±3.75 ^c
15	78.08±1.70 ^c	14.16±1.02 ^a	34.51±3.02 ^d
20	75.39±4.89 ^d	14.28±0.45 ^a	33.86±1.71 ^d

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 9 ลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแข็ง (Hardness) และความเปราะ (Fracturability) ของผลิตภัณฑ์ลูกเกี๊ยวสังขยัดที่ทดแทนเนยเทียม ด้วยน้ำมันรำข้าวสังขยัดบิบนเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการทดแทน (ร้อยละ)	ความแข็ง (กรัม)	ความเปราะ (กรัม)
0	2968.38±751.26 ^c	2958.75±253.95 ^c
5	3137.59±654.14 ^b	3478.39±448.67 ^d
10	3476.03±656.95 ^a	4007.36±517.84 ^c
15	4354.95±765.70 ^a	4399.40±702.76 ^b
20	4478.95±915.79 ^a	4521.44±519.70 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 10 อัตราการแผ่ (Spread ratio) และความหนาแน่น (Bulk density) ของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยดที่ทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการทดแทน (ร้อยละ)	อัตราการแผ่	ความหนาแน่น (g/ml)
0	5.26±0.15 ^c	0.34±0.02 ^c
5	5.79±0.22 ^b	0.37±0.01 ^b
10	5.82±0.23 ^{ab}	0.38±0.01 ^b
15	5.93±0.02 ^a	0.37±0.02 ^b
20	5.99±0.38 ^a	0.41±0.02 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสมมติฐานแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ข้าวสังข์หยดที่ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นทดแทนเนยเทียมโดยใช้ 9-point hedonic scale ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่วัดความรู้สึกส่วนตัวของผู้ทดสอบชิม ที่ตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กำลังทดสอบ การทดสอบนี้ใช้ผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 50 คน เนื่องจากเป็นกลุ่มคนที่ให้ข้อมูลในแง่ปฏิกิริยาตอบสนองต่อความชอบ ในผลิตภัณฑ์ที่กำลังทดสอบได้เป็นอย่างดี คุณลักษณะที่ทดสอบประกอบด้วยลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม ผลการทดสอบดังตารางที่ 11 พบว่าคุกกี้ข้าวสังข์หยดที่ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นทดแทนเนยเทียมส่งผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลดลงในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะคุณลักษณะในด้าน

กลิ่นและรสชาติ ซึ่งแสดงความแตกต่างให้เห็นอย่างเด่นชัดเมื่อระดับการทดแทนตั้งแต่ร้อยละ 10 ส่วนการทดแทนที่ระดับร้อยละ 5 คะแนนทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ข้าวสังข์หยดมีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($p \geq 0.05$) ส่วนที่ระดับการทดแทนร้อยละ 15 และ 20 ส่งผลต่อความชอบในด้านสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่ากลิ่นและรสชาติของคุกกี้ข้าวสังข์หยดเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่แสดงให้เห็นได้ชัดเนื่องจากการใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในด้านกลิ่นและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการใช้น้ำมันรำข้าวบิบเย็น

ตารางที่ 11 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยดที่ทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการทดแทน (ร้อยละ)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส (9 point hedonic scale)					
	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ รวม
0	8.12±0.77 ^a	8.10±0.74 ^a	8.16±0.66 ^a	8.22±0.82 ^a	8.22±0.79 ^a	8.58±0.54 ^a
5	8.04±0.86 ^a	8.00±0.78 ^a	7.94±0.77 ^a	7.96±0.86 ^b	8.16±0.82 ^a	8.28±0.83 ^a
10	8.12±0.82 ^a	7.96±0.72 ^a	5.36±1.0 ^c	5.26±1.03 ^c	7.88±0.80 ^b	5.34±0.98 ^b
15	7.70±0.81 ^b	7.38±0.60 ^{ab}	2.70±1.30 ^d	2.62±1.12 ^d	7.64±0.81 ^b	2.36±1.08 ^c
20	7.74±0.80 ^b	7.10±0.68 ^b	1.86±1.03 ^c	1.68±0.74 ^c	7.66±0.86 ^b	1.96±0.95 ^d

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสมมติฐานแสดงให้ถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุป

การสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยวิธีบิบเย็นเป็นวิธีที่ได้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้น้อยกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน แต่ได้น้ำมันที่มีคุณภาพและให้คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นมีค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่ากรดไขมันอิสระ ต่ำกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่สกัดด้วยเฮกเซน แต่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว วิตามิน และพฤกษเคมี ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน การทดแทนเนยเทียมในลูกก๊ี้ด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในปริมาณร้อยละ 5 ทำให้ลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยดมีคุณภาพใกล้เคียงกับลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยดชุดควบคุมที่ไม่มีการทดแทนเนยเทียมมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดทดแทนเนยเทียมตั้งแต่ร้อยละ 10 ขึ้นไปจะส่งผลในเชิงลบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากงบประมาณเงินแผ่นดิน สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปี 2558 ขอขอบคุณนิสิตและบุคลากร จากคณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ และคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ช่วยดำเนินการให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AACC. 2000. **Approved Method of the American Association of Cereal Chemists.** 8th ed. The American Association of Chemists, Minnesota.
- AOAC. 1999. **Official Method of Analysis.** 16th ed. Association of Official Analytical Chemists., Washington DC.
- AOAC. 2000. **Official methods of analysis.** 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.

- Fennema, O.R. 1996. **Food chemistry**. 3rd ed. Marcel Dekker, New York.
- Godber, J.S. 2008. Rice bran oil, pp. 377-408. *In* Moreau, R.A. and Kamal-Elddin, A., eds. **Gourmet and health-promoting specialty oils**. AOCS Press, Illinois.
- Jia, Z., Tang, M. and Wu, J. 1998. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxides radicals. **Food Chemistry** 64: 555-559.
- Juliano, B.O. 1985. **Rice Chemistry and technology**. The American Association of Cereal Chemist, St. Palu.
- Lai, P., Li, K.Y., Lu, S. and Chen, H.H. 2009. Phytochemicals and antioxidant properties of solvent extracts from Japonica rice bran. **Food Chemistry** 117: 538-544.
- Mezouari, S., Eichner, K., Kochharb, S.P. and Schwarz, K. 2006. Effect of the full refining process on rice bran oil composition and its heat stability. **European Journal of Lipid Science and Technology** 108: 193-199.
- Mezouari, M. and Eichner, K. 2007. Comparative study on the stability of crude and refined rice bran oil during long-term storage at room temperature. **European Journal of Lipid Science and Technology** 109: 198-205.
- Moreau, R.A. and Kamal-Elddin, A. 2008. Introduction, pp. 1-32. *In* Moreau, R.A. and Kamal-Elddin, A., eds. **Gourmet and health-promoting specialty oils**. AOCS Press, Illinois.
- Narayana, N., Kaimai, B., Vali, S.R., Surya, B.V., Rao, K., Chakrabarti, P.P., Vijayalakshmi, P., Kale, V., Narayana, K., Rani, P., Rajamma, O., Bhaska, P.S. and Roa, T.C. 2002. Origin of problems encountered in rice bran oil processing. **European Journal of Lipid Science and Technology** 104: 203-211.
- Pareyt, B., Wilderjans, E., Goesaert, H., Brijs, K. and Delcour, J.A. 2008. The role of gluten in a sugar-snap cookie system: a model approach based on gluten-starch blends. **Journal of Cereal Science** 48(3): 863-869.
- Proctor, A. and Bowen, D.J. 1996. Ambient-temperature extraction of rice bran oil with hexane and isopropanol. **Journal of the American Oil Chemists Society** 73: 811-813.
- Ramezanzadeh, F.M., Rao, R.M., Prinyawiwatukul, W., Marshall, W.E. and Windhauser, M. 2000. Effects of microwave heat, packaging, and storage temperature on fatty acid and proximate compositions in rice bran. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 48: 464-467.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. **Principles and procedures of statistics: A biometrical approach**. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- Thanonkaew, A. and Wongyai, S. 2011. Process development for quality improvement of cold-pressed rice bran oil. **Area Based**

Development Research Journal 3(5): 97-

113. (in Thai)

Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements, D.J. and Decker, E.A. 2012. Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (*Oryza sativa* L.).

LWT - Food Science and Technology 48:

231-236.

Zigoneanu, I.G., Williams, L., Xu, Z. and Sabliov, C.M. 2008. Determination of antioxidant components in rice bran oil extracted by microwave-assisted method. **Bioresource Technology** 99: 4910-4918.