

การพัฒนาน้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวเจ้า

Development of Low-Fat Salad Dressing Supplemented with Purple Rice Flour

บุศราภา ลิละวัฒน์* และไตรรัตน์ แก้วสะอาด

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Bootsrapa Leelawat* and Trairat Kaewsaad

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาน้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวเจ้า โดยใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับแซนแทนกัม เป็นสารให้ความข้นหนืด โดยวางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) เพื่อศึกษาผลของตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ ปริมาณน้ำมันรำข้าวร้อยละ 10-30 แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 1.0-7.0 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.1-0.6 โดยน้ำหนักต่อสมบัติทางวิทยากระแสและค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของน้ำสลัด จากนั้นนำน้ำสลัดไขมันต่ำที่มีสมบัติทางวิทยากระแสที่ใกล้เคียงกับน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้าจำนวน 3 สูตร มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่าอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัมที่ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุดด้านสีและกลิ่นรส คือ 25.95:5.78:0.50 โดยน้ำหนัก ส่วนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความข้นหนืด รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อนำน้ำสลัดไปผ่านการพาสเจอร์ไรซ์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าน้ำสลัดมีพฤติกรรมการณ์ไหลเปลี่ยนจาก shear thinning ไปเป็น Herschel-Bulkley โดยค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลง ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงขึ้น ส่วนค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (EC_{50}) ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

คำสำคัญ : น้ำสลัด; แอนโรโซยานิน; ข้าวเจ้า; สารต้านอนุมูลอิสระ; วิทยากระแส

Abstract

The objective of this research was to develop low fat salad dressing supplemented with purple rice flour. The central composite design (CCD) was used to study the effect of three

independent variables including rice bran oil (10-30 %), purple rice flour (1.0-7.0 %), and xanthan gum (0.1-0.6 %) on rheological properties and color (L^* , a^* , b^*) of salad dressing. The three formulas of salad showing the similar rheological properties to the commercial low-fat salad dressing were selected for sensory evaluation using 9-point hedonic scale. It was found that the ratio of rice bran oil: purple rice flour: xanthan gum equaled to 25.95:5.78:0.50 by weight gave the highest score of color and flavor but the sensory acceptance in consistency, taste and overall liking was not significant different ($p \geq 0.05$). The flow behavior of salad dressing changed from shear thinning to Herschel-Bulkley after pasteurizing. The consistency coefficient and the yellowness value (b^*) of salad dressing increased but the redness value (a^*) decreased with storage time at 25 °C for 28 days. The antioxidant activity (EC_{50}) was not significantly changed along the storage time.

Keywords: salad dressing; anthocyanin; purple rice; antioxidant; rheology

1. บทนำ

ยุคปัจจุบันผู้บริโภคหันมาเลือกสรรอาหารและเครื่องดื่มที่ให้คุณค่าทางโภชนาการและให้พลังงานต่ำ เพราะผู้บริโภคใส่ใจกับสุขภาพกันมากขึ้น น้ำสลัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมรับประทานกับผัก ผลไม้ หรือธัญพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ผักกาดคอส ผักกาดแก้ว ผักชีโครี กะหล่ำปลีม่วง พักทองต้ม ลูกเดือย แครอท มะเขือเทศ เป็นต้น การที่เมนูสลัดจะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของผัก ผลไม้ หรือธัญพืชที่ใช้ และขึ้นกับชนิดของน้ำสลัดซึ่งมีส่วนผสมที่ต่างกัน การเลือกชนิดของน้ำสลัดมารับประทานร่วมกับผักสลัดจึงเป็นจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้สลัดมีรสชาติ คุณประโยชน์ และให้พลังงานที่แตกต่างกัน [1]

น้ำสลัดครีมเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่มีส่วนผสมของน้ำและน้ำมัน โดยมีไข่แดงเป็นตัวประสานให้เป็นเนื้อเดียวกัน หรือเรียกว่าอิมัลซิฟายเออร์ ไข่แดงมีลิโปโปรตีน (lipoprotein) ที่ถูกดูดซับและจัดเรียงตัวใหม่อย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเกิดอิมัลชันที่บริเวณผิวของหยดน้ำมัน ทำให้เกิดการลดแรงตึงผิว และทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น [2] โดยทั่วไปน้ำสลัดครีมทำมาจากน้ำส้มสายชู น้ำมันพืช หรือน้ำมันสลัด

มายองเนส มัสตาร์ด และน้ำตาล มีปริมาณไขมันอยู่ในสูตรไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และไม่เกินร้อยละ 60 มีปริมาณไข่แดงที่คิดเปรียบเทียบเป็นปริมาณของแข็งแล้วไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 ของปริมาณไข่แดงทั้งหมดที่ใช้ในสูตร [3] ดังนั้นสลัดครีมจึงมีรสชาติหวานและมันเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม ปริมาณไขมันที่สูงมากส่งผลให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้ ถ้ารับประทานบ่อยหรือปริมาณมาก ได้แก่ โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคอ้วน ภาวะคอเลสเตอรอลสูง เป็นต้น

การเตรียมน้ำสลัดไขมันต่ำโดยการลดปริมาณน้ำมันที่เป็นส่วนผสมของน้ำสลัดลง ส่งผลให้น้ำสลัดมีความข้นหนืดลดลงและเกิดการแยกชั้นได้ ซึ่งได้มีงานวิจัยหลายงานด้วยกันที่ใช้สารที่เพิ่มความหนืด เช่น แป้ง ไฮโดรคอลลอยด์ หรือสารแขวนลอยอื่น ๆ เพื่อไปสร้างลักษณะเนื้อสัมผัส ความคงตัว และความเสถียรให้เพิ่มขึ้นได้ [4] เช่น งานวิจัยที่พบว่าการใช้สตาร์ช แป้งมันฝรั่งเจล (pregelatinized potato starch) ร้อยละ 5 สามารถช่วยเพิ่มความคงตัวในน้ำสลัดไขมันต่ำ [5] นอกจากนี้มีผลงานวิจัยที่พบว่าแซนแทนกัมมักใช้ร่วมกับสารให้ความข้นหนืดชนิดอื่น เนื่องจากจะทำ

ให้ได้สมบัติทางวิทยากระแสเป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ซอสและน้ำสลัด [6] อีกทั้งมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้แซนแทนกัมร่วมกับสตาร์ชข้าวสาลี พบว่าแซนแทนกัมช่วยลดอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาติไนซ์ ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มมากขึ้น และยังช่วยลดอัตราการเกิดทรินทรกราเดชันอีกด้วย [7]

งานวิจัยนี้สนใจการใช้แป้งจากข้าวดำ (purple rice) เพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืดในน้ำสลัดครีมและช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชัน เนื่องจากแป้งข้าวดำมีสตาร์ชที่มีสัดส่วนของอะไมโลเพกตินสูงมากประมาณร้อยละ 93-97 ซึ่งแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงส่งผลให้แป้งข้าวดำมีสมบัติในการให้ความหนืดได้ดี หลังจากผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชันด้วยความร้อน นอกจากนี้ข้าวดำเป็นข้าวพื้นเมืองของเอเชียมีสีออกม่วงแดง ประกอบด้วยคุณค่าทางสารอาหารที่หลากหลาย ได้แก่ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ไฟเบอร์ วิตามิน แคลเซียม เหล็ก และโปรตีน รวมทั้งยังมีสารแอนโทไซยานิน ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของโรคเมอเร็ง ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย [8]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาน้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวดำ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งข้าวดำ แซนแทนกัม และน้ำมันรำข้าว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดครีมไขมันต่ำเสริมสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติจากธัญพืชของข้าวดำ มีสมบัติทางวิทยากระแสที่ใกล้เคียงกับน้ำสลัดที่จำหน่ายทางการค้า และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

เกล็ดตราปรุงทิพย์ น้ำมันรำข้าวตราคิงส์ น้ำตาลทรายขาวตรามิตรผล น้ำส้มสายชูกลั่น 5 %

ตราภูเขาทอง มีสตาร์ดตราแม็กกาแรต แซนแทนกัมจาก Deosen Biochemical Ltd. (ประเทศจีน) น้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้า ข้าวดำ และไข่ไก่

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องผสมอาหาร ยี่ห้อ Bosch รุ่น MSM 67160 ประเทศเยอรมัน เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น LE2202S ประเทศเยอรมัน เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิทัล ยี่ห้อ ebro รุ่น TDC-150 ประเทศเยอรมัน เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Brookfield รุ่น RV DV-II+ Viscometer ประเทศสหรัฐอเมริกา ติดตั้งกับอุปกรณ์ small sample adapter รุ่น SC4-13R เข็มวัดเบอร์ SC4-21, SC4-27 และ SC4-28 พิเอซมิเตอร์ ยี่ห้อ Schott รุ่น Lab850 ประเทศเยอรมัน เครื่องวัดสี ยี่ห้อ HunterLab รุ่น ColorFlex 45/0 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมแป้งข้าวดำ

นำข้าวดำที่ผ่านการโม่แล้วมาผ่านตะแกรงให้ได้อนุภาคขนาด 60 เมช เก็บรักษาโดยการบรรจุในถุงพลาสติกชนิดไนลอน ที่สภาวะสุญญากาศภายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2 กระบวนการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ

เตรียมน้ำสลัดไขมันต่ำ โดยนำแซนแทนกัมร้อยละ 0.1-0.6 และน้ำร้อยละ 25.65-45.65 ผสมรวมกัน ให้ความร้อนที่ 85-100 องศาเซลเซียส จนเกิดเป็นเจลโดยสมบูรณ์ ปรับน้ำที่ระเหยออกไปให้เท่าเดิมทิ้งไว้ให้เย็น นำน้ำส่วนที่เหลือมาละลายแป้งข้าวดำร้อยละ 1-7 น้ำตาลร้อยละ 18.4 และเกลือร้อยละ 1 จากนั้นเติมแซนแทนกัมที่เกิดเป็นเจลแล้ว ให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ปรับน้ำที่ระเหยออกไปให้เท่าเดิม ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำส้มสายชูร้อยละ 14 ผงมีสตาร์ดร้อยละ 0.1 และไข่แดงร้อยละ 6.5 ปั่น

ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และค่อย ๆ เติมน้ำมันรำข้าว ร้อยละ 10-30 จนหมด [9]

3.3 ศึกษาสมบัติของน้ำสลัดไขมันต่ำจากการใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับแซนแทนกัมเป็นสารให้ความข้นหนืด

เตรียมน้ำสลัดไขมันต่ำโดยแปรอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม วางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) จำนวน 17 สูตร และทดลอง 2 ซ้ำ โดยมี code level สำหรับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 1 และปริมาณของแต่ละปัจจัยที่ใช้ดังตารางที่ 2 จากนั้นศึกษาสมบัติทางวิทยาการระสของน้ำสลัดไขมันต่ำและน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้า 3 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์สมบัติทางวิทยาการระส โดยนำค่า shear stress (σ) และ shear rate ($\dot{\gamma}$) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Brookfield Viscometer ที่ติดอุปกรณ์ small sample adapter ใช้เข็มวัดเบอร์ SC4-21 หรือ SC4-27 หรือ SC4-28 (ตามช่วงความหนืดที่เหมาะสม) ที่แปรความเร็วรอบต่าง ๆ มาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (consistency coefficient, k) และค่าดัชนีการไหล (flow behavior index, n) เพื่อใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการณ์ไหลของน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้าสูตรต่าง ๆ โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ power law model ดังสมการที่ 1

$$\sigma = k(\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

เมื่อ σ คือ shear stress (Pa); k คือ consistency coefficient ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$); $\dot{\gamma}$ คือ shear rate (1/s); n คือ flow behavior index

จากนั้นวัดค่าสีในระบบ CIE L*, a*, b* ด้วยเครื่องวัดสี (HunterLab รุ่น ColorFlex 45/0, USA) ซึ่งวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design, CRD) และทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA, analysis of variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's new multiple range test จากนั้นนำค่าคงที่ทางวิทยาการระส k และ n มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ และเลือกสมการถดถอยที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามดีที่สุด แล้วใช้ response surface methodology (RSM) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ [น้ำมันรำข้าว (A), แป้งข้าวเจ้า (B) และแซนแทนกัม (C)] และตัวแปรตาม (k และ n)

3.4 ศึกษาสูตรน้ำสลัดที่เหมาะสมจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

ผลิตน้ำสลัดตามกระบวนการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำตามการทดลองที่ 3.2 และใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ได้รับการคัดเลือกแล้ว 3 สูตร ตามการทดลองข้อ 3.3 โดยการคัดเลือกจะพิจารณาจากค่า k และค่า n ที่ใกล้เคียงกับน้ำสลัดทางการค้ามากที่สุด ใช้ผู้

Table 1 Code levels for experimental factors

Factors	Levels				
	$-\alpha$	-1	0	1	α
Rice bran oil (%)	10	14.05	20	25.95	30
Purple rice flour (%)	1	2.22	4	5.78	7
Xanthan gum (%)	0.1	0.2	0.35	0.5	0.6

Table 2 Treatments of low-fat salad dressing by Central composite design (CCD)

Treatments	Egg yolk	Salt	Sugar	Vinegar	Mustard	Rice bran oil	Purple rice flour	Xanthan gum	Water
1	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	14.05	2.22	0.20	43.53
2	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	25.95	2.22	0.20	31.64
3	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	14.05	5.78	0.20	39.96
4	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	25.95	5.78	0.20	28.07
5	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	14.05	2.22	0.50	43.23
6	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	25.95	2.22	0.50	31.34
7	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	14.05	5.78	0.50	39.66
8	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	25.95	5.78	0.50	27.77
9	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	10.00	4.00	0.35	45.65
10	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	30.00	4.00	0.35	25.65
11	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	20.00	1.00	0.35	38.65
12	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	20.00	7.00	0.35	32.65
13	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	20.00	4.00	0.10	35.90
14	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	20.00	4.00	0.60	35.40
15	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	20.00	4.00	0.35	35.65
16	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	20.00	4.00	0.35	35.65
17	6.50	1.00	18.40	14.00	0.10	20.00	4.00	0.35	35.65

ทดสอบทั่วไป 60 คน การนำเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างโดยตักชิมตามวิธีการบริโภคปกติของผู้ทดสอบเอง จากนั้นให้คะแนนความชอบด้านสี ความข้นหนืด กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมที่มีต่อตัวอย่างน้ำสลัดไขมันต่ำ ด้วย 9-point hedonic scale ซึ่ง 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด นำเสนอทีละตัวอย่างตามลำดับแบบสุ่มจนครบทุกตัวอย่าง ซึ่งวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's new multiple range test

3.5 ศึกษาสมบัติของน้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในระหว่างการเก็บรักษา

ผลิตน้ำสลัดตามกระบวนการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำในการทดลองที่ 3.2 และใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ได้รับการคัดเลือกตามการทดลองข้อ 3.4 จากนั้นนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที [10] เก็บรักษาน้ำสลัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28 วัน นำตัวอย่างมาวัดค่าในวันที่ 0, 2, 7, 14, 21 และ 28 ซึ่งวิเคราะห์สมบัติทางวิทยากระแสของน้ำสลัด โดยนำค่า shear stress (σ) และ shear rate ($\dot{\gamma}$) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย

Brookfield Viscometer ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ มาหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (consistency coefficient, k) และค่าดัชนีการไหล (flow behavior index, n) เพื่อใช้ในการบอกพฤติกรรมการไหลของน้ำสลัด โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Herschel Bulkley ดังสมการที่ 2

$$\sigma = \sigma_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

เมื่อ σ_0 คือ yield stress (Pa); σ คือ shear stress (Pa); k คือ consistency coefficient ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$); $\dot{\gamma}$ คือ shear rate (1/s); n คือ flow behavior index

วัดค่าสีในระบบ CIE L^* , a^* , b^* ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab รุ่น ColorFlex 45/0, USA) วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำ

สลัดไขมันต่ำเสริมสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วย DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) [11] โดยคำนวณ % inhibition ดังสมการที่ 3

$$\% \text{ inhibition} = \{1 - (A_S - A_{SB})\} \div A_C \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ A_S , A_{SB} และ A_C คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ตัวอย่างที่ไม่มี DPPH และตัวอย่างควบคุมที่เวลาที่เริ่มคงที่ ตามลำดับ

รายงานค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในรูปของ EC_{50} ในหน่วย mg/mL วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ ANOVA (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

Table 3 Consistency coefficient and flow behavior index of low-fat salad dressing from different ratios of rice bran oil, purple rice flour and xanthan gum

Rice bran oil : purple rice flour : xanthan gum (%)	k ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)	n
14.05 : 2.22 : 0.20	1.358±0.175 ^k	0.501±0.006 ^c
25.95 : 2.22 : 0.20	4.200±0.717 ^j	0.437±0.009 ^{cd}
14.05 : 5.78 : 0.20	3.118±0.353 ^j	0.579±0.021 ^a
25.95 : 5.78 : 0.20	10.698±2.382 ^g	0.408±0.005 ^f
14.05 : 2.22 : 0.50	7.864±0.935 ⁱ	0.361±0.021 ^h
25.95 : 2.22 : 0.50	18.681±0.552 ^e	0.298±0.004 ⁱ
14.05 : 5.78 : 0.50	7.511±0.523 ⁱ	0.454±0.011 ^d
25.95 : 5.78 : 0.50	26.311±0.504 ^{jk}	0.304±0.007 ⁱ
10.00 : 4.00 : 0.35	2.717±0.188 ^d	0.514±0.009 ^c
30.00 : 4.00 : 0.35	20.614±0.304 ^j	0.293±0.014 ⁱ
20.00 : 1.00 : 0.35	4.041±1.546 ^c	0.384±0.015 ^g
20.00 : 7.00 : 0.35	9.740±1.238 ^{gh}	0.453±0.008 ^d
20.00 : 4.00 : 0.10	2.667±0.136 ^{jk}	0.555±0.011 ^b
20.00 : 4.00 : 0.60	16.428±1.062 ^f	0.357±0.009 ^h
20.00 : 4.00 : 0.35	8.678±0.781 ^{hi}	0.421±0.015 ^{ef}
20.00 : 4.00 : 0.35	8.390±0.383 ^{hi}	0.417±0.013 ^{ef}
20.00 : 4.00 : 0.35	8.635±0.938 ^{hi}	0.422±0.018 ^{ef}
Commercial 1	47.122±0.289 ^b	0.236±0.001 ^j
Commercial 2	52.525±0.311 ^a	0.243±0.002 ^j
Commercial 3	51.693±0.674 ^a	0.23±0.016 ^j

^{a, b, c} Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 4 Regression equation of consistency coefficient (k) and flow behavior index (n) of low-fat salad dressing with different ratios of rice bran oil, purple rice flour and xanthan gum

Rheological Properties	R ²	Model	Regression Equation
Consistency coefficient (k)	0.9921	Quadratic	$8.53 + 5.14A + 5.14B + 4.70C + 1.59AB + 2.40AC - 0.12BC + 1.22A^2 - 0.47B^2 + 0.47C^2$
Flow behavior index (n)	0.9940	Quadratic	$0.42 - 0.060A + 0.019B - 0.062C - 0.024AB + 2.775 \times 10^{-3}AC + 6.454 \times 10^{-3}BC - 7.702 \times 10^{-3}A^2 - 2.508 \times 10^{-3}B^2 + 0.011C^2$

A = rice bran oil; B = purple rice flour; C = xanthan gum

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาสมบัติของน้ำสลัดไขมันต่ำจากการใช้แป้งข้าวเจ้าร่วมกับแซนแทนกัมเป็นสารให้ความหนืด

4.1.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม ต่อสมบัติทางวิทยากระแสของน้ำสลัดไขมันต่ำ

การศึกษาผลของอัตราส่วนของปริมาณน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัมต่าง ๆ ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) และดัชนีการไหล (n) เพื่อใช้อธิบายสมบัติทางวิทยากระแสของน้ำสลัดสูตรต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 โดยพบว่าโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของน้ำสลัดทางการค้า และสูตรที่ได้จากการผสมน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัมในอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นไปตาม power law model (สมการที่ 1) โดยมีค่าเฉลี่ย consistency coefficient $1.358\text{--}52.523 \text{ Pa.s}^n$ และมีค่าดัชนีการไหล $0.236\text{--}0.579$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงพฤติกรรมกรการไหลแบบ shear thinning หรือเมื่อเพิ่มความเร็วในการกวนผสมจะทำให้ค่าความหนืดลดลง

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางวิทยากระแสของน้ำสลัดไขมันต่ำทั้ง 17 สูตร

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับสมบัติทางวิทยากระแสดังกล่าว เมื่อนำค่า k และ n มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันรำข้าว (A) แป้งข้าวเจ้า (B) และแซนแทนกัม (C) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ พบว่าสมการถดถอย quadratic model อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า k และ n กับอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัมได้ดีที่สุด ผลดังแสดงดังตารางที่ 4

เมื่อนำสมการถดถอยของค่าคงที่ทางวิทยากระแสจากตารางที่ 4 มาสร้างกราฟคอนทัวร์ (contour plot) ระหว่าง k และ n กับอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัม ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ผลการทดลองในตารางที่ 3 และรูปที่ 1 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) ของน้ำสลัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแป้งข้าวเจ้าและน้ำมันรำข้าว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวและแป้งข้าวเจ้า โดยอิทธิพลของน้ำมันรำข้าวมีมากกว่าแป้งข้าวเจ้า โดยจะเห็นจากอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์ความหนืดเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันรำข้าวมีค่าสูงกว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง

ข้าวเก่า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแซนแทนกัมกับน้ำมันรำข้าว พบว่าอิทธิพลของทั้งสองส่วนผสมมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์ความหนืดใกล้เคียงกันสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแป้งข้าวเก่าและแซนแทนกัม พบว่าอิทธิพลของแซนแทนกัมส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์ความหนืดมากกว่าแป้งข้าวเก่า โดยพิจารณาจากอัตราการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์ความหนืดเมื่อเพิ่มปริมาณแซนแทนกัมมีค่าสูงกว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเก่า ทั้งนี้เนื่องจากแซนแทนกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถละลายน้ำได้ดีและทำหน้าที่เป็นสารช่วยเพิ่มความหนืดได้ดีกว่าแป้งข้าวเก่า

ผลการทดลองในตารางที่ 4 และรูปที่ 2 พบว่าค่าดัชนีการไหล (n) ของน้ำสลัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแป้งข้าวเก่าและน้ำมันรำข้าว พบว่าค่าดัชนีการไหลมีค่าน้อยหรือน้ำสลัดมีความเป็น shear thinning สูงเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวสูง โดยอัตราส่วนของแป้งข้าวเก่าไม่ผลมากนัก แต่เมื่ออัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวน้อยพบว่าค่าดัชนีการไหลมีค่ามาก หรือน้ำสลัดมีความเป็น shear thinning น้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเก่ามากขึ้นพบว่าค่าดัชนีการไหลมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนของแป้งข้าวเก่าที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแซนแทนกัมและน้ำมันรำข้าวพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำสลัดมีความเป็น shear thinning เพิ่มขึ้นในทุก ๆ อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว และการเพิ่มน้ำมันรำข้าวส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลมีแนวโน้มลดลงในทุก ๆ อัตราส่วนของแซนแทนกัม สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแซนแทนกัมและแป้งข้าวเก่าพบว่าแซนแทนกัมมีผลต่อการลดลงของดัชนีการไหลมากกว่าแป้งข้าวเก่า ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายแซนแทนกัมมีความหนืดสูงมาก ยกเว้นที่ความเข้มข้นต่ำมีลักษณะการไหลเป็น pseudoplastic ที่ดีมาก แซน

แทนกัมมีโครงสร้างเป็น rigid และ rod-like สามารถคลายตัวได้เมื่อมีความเข้มข้นต่ำ แซนแทนกัมมีความหนืดสูงที่แรงเฉือนต่ำ ๆ และให้ลักษณะการไหลแบบ pseudoplastic เมื่อเพิ่มความเข้มข้น เมื่อให้แรงเฉือนมากขึ้นแซนแทนกัมจะมีความหนืดลดลง เนื่องจากโครงสร้างของแซนแทนกัมที่เป็น semi-rigid จึงเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมได้ง่ายกว่าโครงสร้างที่เป็น random-coil [12]

4.1.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเก่า และแซนแทนกัมต่อค่าสีของน้ำสลัดไขมันต่ำ

การศึกษาผลของอัตราส่วนของปริมาณน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเก่า และแซนแทนกัมต่อค่าสีของน้ำสลัดไขมันต่ำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5 พบว่าทั้งค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีความแตกต่างกันตามอัตราส่วนขององค์ประกอบ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของน้ำมันรำข้าวต่อค่าสีจากสูตรที่ใช้อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเก่า และแซนแทนกัมร้อยละ 10.00 : 4.00 : 0.35, 20.00 : 4.00 : 0.35 และ 30.00 : 4.00 : 0.35 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) สูงขึ้น ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลง ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ไม่มีทิศทางที่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีสีเหลืองใส เมื่อเติมลงในน้ำสลัดในอัตราส่วนที่มากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการเจือจางของน้ำสลัดทำให้มีค่าความสว่างมากขึ้น และค่าความเป็นสีแดงลดลง และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของแป้งข้าวเก่าต่อค่าสีจากสูตรที่ใช้อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเก่า และแซนแทนกัมร้อยละ 20.00 : 1.00 : 0.35, 20.00 : 7.00 : 0.35 และ 20.00 : 4.00 : 0.35 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวเก่าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงขึ้น ทั้งนี้

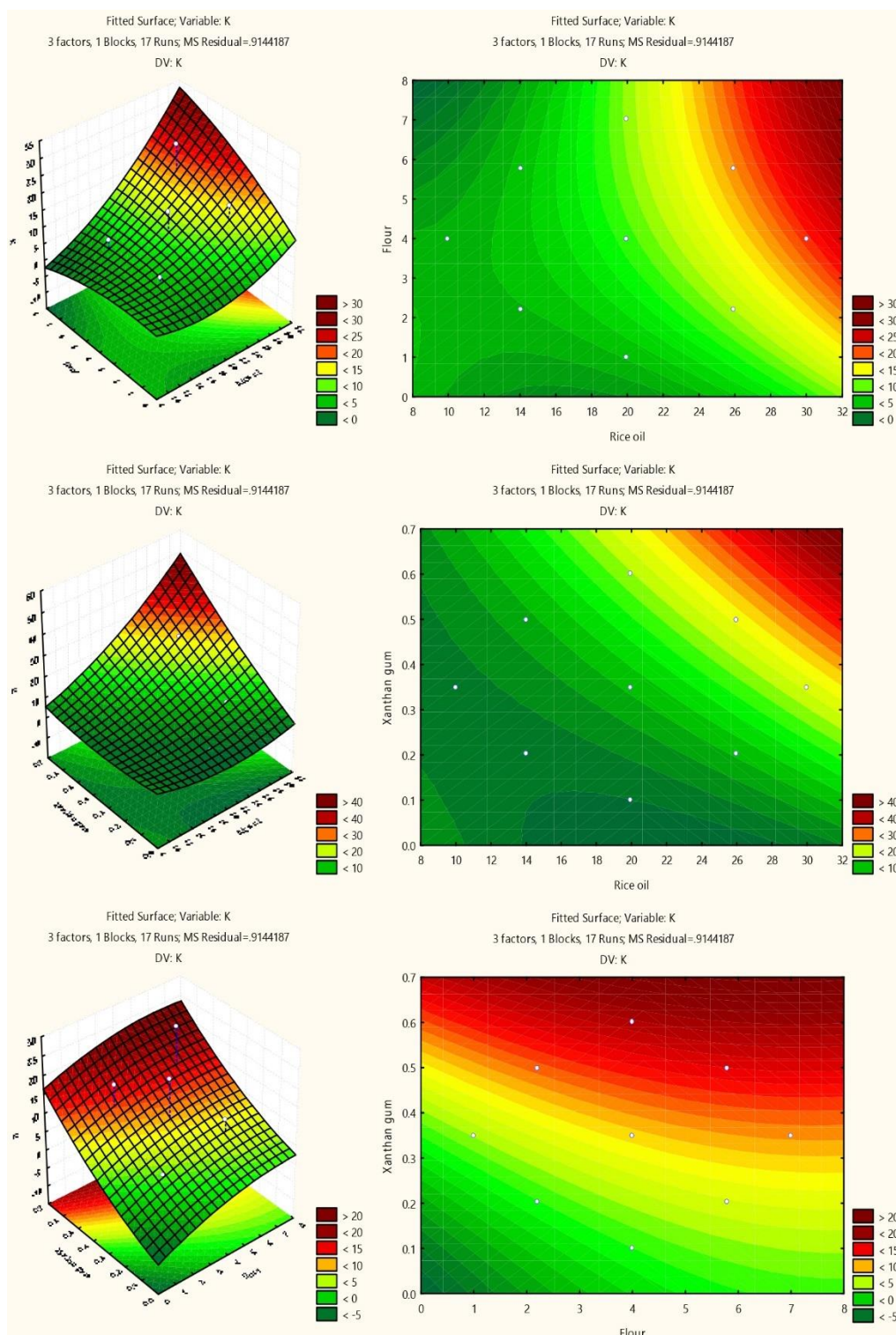


Figure 1 Contour plot of the relationship between ratios of rice bran oil, purple rice flour, xanthan gum and consistency coefficient (k) of low-fat salad dressing

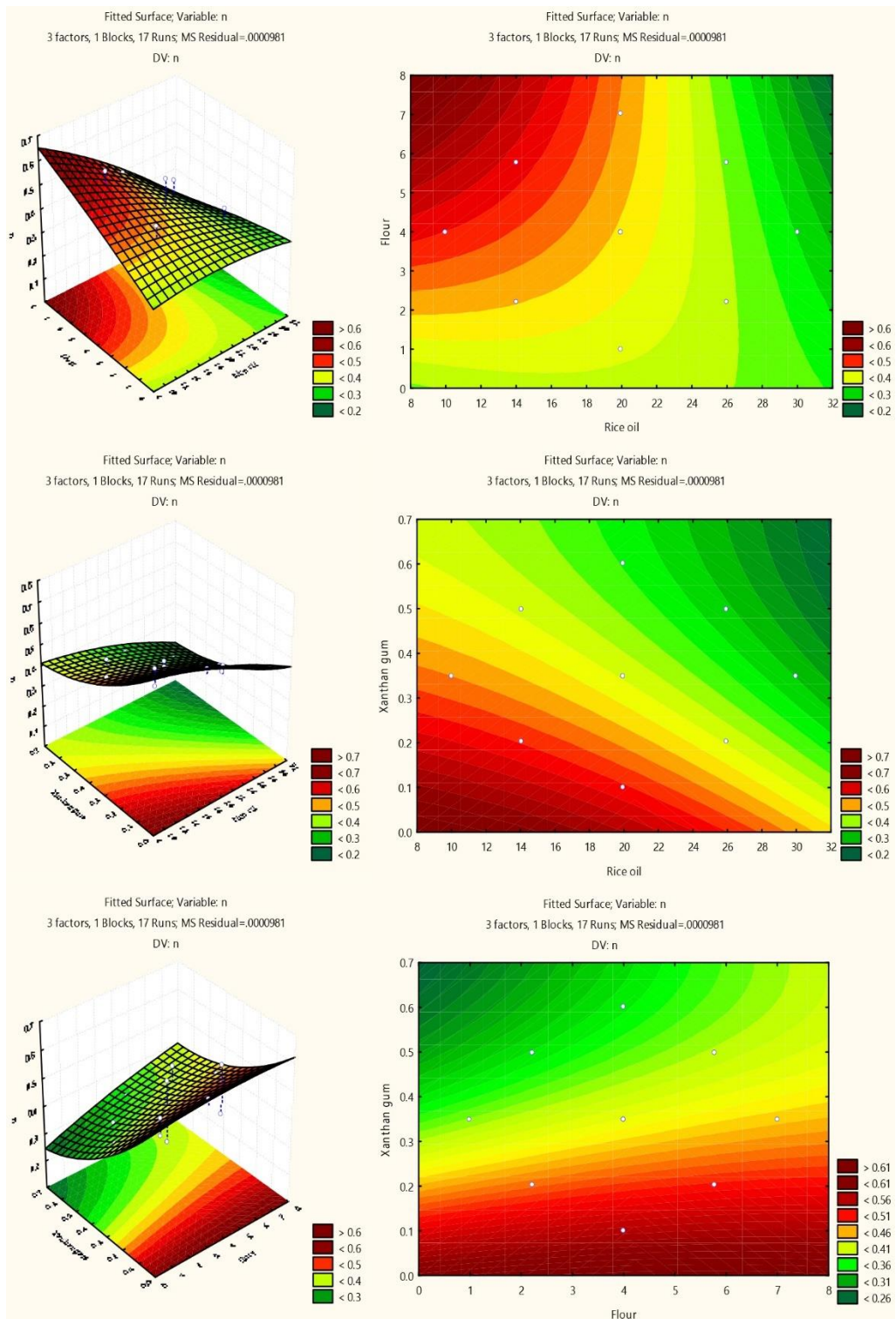


Figure 2 Contour plot of the relationship between ratios of rice bran oil, purple rice flour, xanthan gum and flow behavior index (n) of low-fat salad dressing

Table 5 Color parameter of low-fat salad dressing from different ratios of rice bran oil, purple rice flour and xanthan gum

Rice bran oil : purple rice flour : xanthan gum (%)	L*	a*	b*
14.05 : 2.22 : 0.20	53.88±0.10 ^{ef}	17.10±0.03 ^d	7.68±1.58b
25.95 : 2.22 : 0.20	59.43±0.13 ^c	16.03±0.06 ^f	7.14±0.71 ^{bc}
14.05 : 5.78 : 0.20	45.43±0.81 ⁱ	18.46±0.37 ^{abc}	3.34±0.68 ^{hi}
25.95 : 5.78 : 0.20	49.42±0.09 ^h	18.29±0.18 ^{bc}	2.93±0.69 ⁱ
14.05 : 2.22 : 0.50	55.91±0.05 ^d	16.49±0.24 ^{ef}	6.84±0.74 ^{bcde}
25.95 : 2.22 : 0.50	61.39±0.57 ^b	15.28±0.57 ^g	7.02±0.22 ^{bcd}
14.05 : 5.78 : 0.50	44.30±0.59 ⁱ	18.91±0.18 ^a	3.69±0.90 ^{ghi}
25.95 : 5.78 : 0.50	49.95±0.36 ^h	18.10±0.04 ^c	2.99±0.70 ⁱ
10.00 : 4.00 : 0.35	44.43±0.40 ⁱ	18.84±0.28 ^{ab}	4.94±1.17 ^{efghi}
30.00 : 4.00 : 0.35	54.72±0.25 ^e	17.34±0.10 ^d	4.75±0.50 ^{fghi}
20.00 : 1.00 : 0.35	64.44±0.32 ^a	13.95±0.24 ^h	14.67±1.77 ^a
20.00 : 7.00 : 0.35	45.27±0.78 ⁱ	18.33±0.21 ^{abc}	4.04±0.86 ^{fghi}
20.00 : 4.00 : 0.10	52.82±0.19 ^{fg}	17.00±0.23 ^{ed}	5.39±0.35 ^{cdefgh}
20.00 : 4.00 : 0.60	52.37±1.20 ^g	17.46±0.42 ^d	4.97±0.08 ^{defghi}
20.00 : 4.00 : 0.35	52.37±0.06 ^g	17.51±0.31 ^d	5.61±0.18 ^{cdefg}
20.00 : 4.00 : 0.35	52.61±0.05 ^g	17.52±0.11 ^d	5.31±0.25 ^{cdefgh}
20.00 : 4.00 : 0.35	51.77±0.89 ^g	17.45±0.06 ^d	6.09±1.05 ^{bcdef}

a, b, c Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$)

เนื่องจากในข้าวกล้องมีรงควัตถุสีม่วงแดงของเปลือกหุ้มเมล็ด คือ แอนโทไซยานิน โดยแอนโทไซยานินและโปรแอนโทไซยานินในข้าวพันธุ์นี้มีสูงกว่าข้าวขาว 8-16 เท่า [13] เมื่อนำข้าวมาโม่เพื่อทำเป็นแป้งจะได้แป้งสีม่วงเข้ม ดังนั้นเมื่อมีการเติมอัตราส่วนของแป้งข้าวกล้องเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้น้ำสลัดไขมันต่ำมีสีม่วงที่เข้มขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) จึงมีค่าลดลง ส่วนค่า b^* ซึ่งเป็นค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าลดลง เนื่องจากรงควัตถุของแอนโทไซยานินมีสีม่วงแดงจึงส่งผลให้น้ำสลัดมีเฉดไปทางสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าความเป็นสี

เหลือง และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของส่วนผสมกับต่อค่าสีจากสูตรที่ใช้อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวกล้อง และส่วนผสมอื่น ๆ 20.00 : 4.00 : 0.1, 20.00 : 4.00 : 0.35 และ 20.00 : 4.00 : 0.6 พบว่าส่วนผสมไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*)

4.2 ศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อน้ำสลัดไขมันต่ำ

การคัดเลือกสูตรน้ำสลัดไขมันต่ำที่มีสมบัติทางวิทยากระแสน้ำที่ใกล้เคียงกับน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้ามากที่สุด การทดลองที่ 4.1 จำนวน 3 สูตร

ได้แก่ สูตรที่มีอัตราส่วนร้อยละของน้ำมันข้าว: แป้งข้าว
 ก่ำ: แขนแทนกัม 25.95: 2.22: 0.50, 25.95: 5.78:
 0.50 และ 30.00: 4.00: 0.35 เมื่อศึกษาการยอมรับ

ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยการประเมิน
 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic
 scale ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6

Table 6 Sensory score of low-fat salad dressing from different ratios of rice bran oil, purple rice flour and xanthan gum

Rice bran oil : purple rice flour : xanthan gum (%)	Color	consistency ^{ns}	flavor	taste ^{ns}	Overall liking ^{ns}
25.95: 2.22: 0.50	6.15±1.69 ^b	6.22±1.75	6.17±1.86 ^b	6.33±1.79	6.47±1.56
25.95: 5.78: 0.50	7.18±1.49 ^a	6.42±1.63	6.57±1.62 ^{ab}	6.90±1.63	6.90±1.45
30.00: 4.00: 0.35	7.00±1.53 ^a	6.70±1.60	6.75±1.78 ^a	6.87±1.86	6.98±1.72

^{a, b, c} Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); ^{ns} Means not significantly different ($p > 0.05$)

Table 7 Rheological properties of low-fat salad dressing at different storage time at 25 °C

Storage time (days)	σ_0 (Pa) ^{ns}	k (Pa s ⁿ)	n
0	176.19±28.41	269.41±42.2 ^{ab}	0.59±0.00 ^{ab}
2	185.00±38.77	254.22±5.17 ^a	0.61±0.02 ^a
7	180.18±13.02	286.97±70.08 ^{ab}	0.58±0.05 ^{ab}
14	179.8±12.46	386.85±13.58 ^c	0.50±0.02 ^b
21	148.77±29.95	391.34±96.59 ^c	0.49±0.07 ^b
28	181.90±19.60	352.95±32.89 ^{bc}	0.52±0.00 ^{ab}

^{a, b, c} Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); ^{ns} Means not significantly different ($p > 0.05$)

ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว: แป้งข้าวก่ำ: แขนแทนกัมมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นรส โดยสูตรที่ใช้อัตราส่วนระหว่างร้อยละของน้ำมันรำข้าว: แป้งข้าวก่ำ: แขนแทนกัม 25.95: 5.78: 0.50 และ 30.00: 4.00: 0.35 ได้คะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นรสมากที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณา

ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) และค่าดัชนีการไหลของน้ำสลัดที่ได้จากการแปรอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวก่ำ และแขนแทนกัมเปรียบเทียบกับน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้า พบว่าสูตร 25.95: 5.78: 0.50 มีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) ใกล้เคียงกับสูตรทางการค้ามากกว่าสูตร 30.00: 4.00: 0.35 ส่วนค่าดัชนีการไหล (n) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3 ศึกษาสมบัติของน้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในระหว่างการเก็บรักษา

4.3.1 สมบัติทางวิทยากระแสของน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่าง ๆ

การนำน้ำสลัดไขมันต่ำไปผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าพฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดเปลี่ยนจาก pseudoplastic หรือ shear thinning เป็น Herschel Bulkley ดังสมการที่ 2 ผลการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ต่อสมบัติทางวิทยากระแสของน้ำสลัดไขมันต่ำแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อค่า yield stress (σ_0) แต่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) และดัชนีการไหล (n) โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) เพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนสำหรับค่าดัชนีการไหล (n) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) เนื่องจากระบบของน้ำสลัดมีเม็ดสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบในแป้งข้าวเจ้าซึ่งเป็นสารให้ความข้นหนืดร่วมกับแกนแทนกัมเพื่อช่วยความคงตัวของอิมัลชัน ซึ่งหลังจากการพาสเจอร์ไรซ์ เม็ดแป้งเกิดเจลาตินในเซชันพองตัวและแตกออก อะไมโลสจะถูกปล่อยออกมาข้างนอกโมเลกุล อะไมโลเพคตินที่อยู่ข้างในจะขยายตัวไฮโดรคอลลอยด์ที่เดิมลงไปจะทำปฏิกิริยากับอะไมโลสที่อยู่ข้างนอกสตาร์ช เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงรอบ ๆ โมเลกุลของสตาร์ช [14] ทำให้พฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดเปลี่ยนจาก shear thinning ซึ่งไม่มีค่า yield stress เป็นของไหลที่ต้องการค่าแรงค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดการไหลได้ และเมื่อไหลได้แล้วมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบ power law fluid เรียกว่า Herschel Bulkley ซึ่งเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็น สตาร์ชจะเกิดรีโทรเกร

เดชันโดยโมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กัน และจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น crystallite [15] จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น

4.3.2 ค่าสีของน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์เมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่าง ๆ

การเก็บรักษาน้ำสลัดไขมันต่ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ที่เวลา 0, 2, 7, 14, 21 และ 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 8 พบว่าค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น ซึ่งการที่น้ำสลัดมีความเป็นสีแดงน้อยลงนั้นอาจเนื่องจากแอนโธไซยานินที่เป็นรงควัตถุที่พบในแป้งข้าวเจ้าซึ่งให้สีแดงในสภาวะที่เป็นกรด เกิดการสลายตัวเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุที่ไม่คงตัว โดยเกิดการสลายตัวได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด [16] เช่น ในน้ำสลัดไขมันต่ำมีพีเอชเฉลี่ย 3.5 ทำให้ค่าความเป็นสีแดงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จากการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำสลัดเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้นนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Sui และคณะ [17] ที่ศึกษาความการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโธไซยานินที่อุณหภูมิ 4, 25, 45 และ 65 องศาเซลเซียส และพบว่าสีของแอนโธไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงมากโดยมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ค่าสีมีความคงตัวมากที่สุด

Table 8 Color parameters of low-fat salad dressing at different storage time at 25 °C

Storage time (days)	L ^{*ns}	a [*]	b [*]
0	34.34±0.07	19.08±0.04 ^a	5.81±0.06 ^b
2	34.42±0.07	18.78±0.07 ^a	5.97±0.05 ^b
7	34.72±0.04	18.57±0.04 ^{ab}	5.95±0.04 ^b
14	34.86±0.05	18.41±0.05 ^{ab}	6.41±0.07 ^{ab}
21	34.75±0.04	17.98±0.05 ^{bc}	6.72±0.06 ^a
28	34.82±0.04	17.56±0.04 ^c	6.86±0.04 ^a

a, b, c Mean values with different letters in each column are significantly different ($p \leq 0.05$); ^{ns} Means not significantly different ($p > 0.05$)

การวิเคราะห์ค่า EC₅₀ (ปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดจากน้ำสลัดไขมันต่ำจากข้าวเก่าที่ทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าลดลงร้อยละ 50) ของน้ำสลัดไขมันต่ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0, 2, 7, 14, 21 และ 28 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 9 พบว่าค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำสลัดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ 28 วัน อย่างไรก็ตาม เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษา ค่า EC₅₀ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารฟีนอลิกมีความไวต่อการสลายตัวจากการที่โครงสร้างไม่เสถียร ซึ่งการสลายตัวจะเกิดขึ้นได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง [18] โดยสารประกอบฟีนอลจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vegara และคณะ [19] ที่ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำทับทิมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศา

เซลเซียส พบว่าการสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ 5 องศาเซลเซียส ช้ากว่าการเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส

Table 9 Antioxidant activity of low-fat salad dressing at different storage time at 25 °C

Storage time (days)	EC ₅₀ ^{ns} (mg/mL)
0	9.38±0.17
2	9.24±0.03
7	9.88±1.03
14	10.93±1.26
21	10.63±1.07
28	10.38±0.42

^{ns} Means not significantly different ($p > 0.05$)

5. สรุป

น้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวเก่าที่มีสมบัติทางวิทยากระแสที่ใกล้เคียงกับน้ำสลัดทางการค้ามากที่สุด และได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด

สามารถเตรียมได้จากอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าว แป้งข้าวเจ้า และแซนแทนกัมร้อยละ 25.95 : 5.78 : 0.50 โดยน้ำหนัก น้ำสลัดมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning มีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) สูงสุด 26.31 Pa.sⁿ และมีค่าดัชนีการไหล 0.579 มีค่าความสว่าง (L^*) 49.95±0.36 ค่าความเป็นสีแดง (a^*) 18.10±0.04 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) 2.99±0.70 โดยได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี ความข้นหนืด กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เมื่อนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าพฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดเปลี่ยนจาก shear thinning เป็น Herschel Bulkley และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) เพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลง ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา ส่วนค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย เรื่อง การพัฒนาน้ำสลัดไขมันต่ำเสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากข้าวเจ้า ประจำปีงบประมาณ 2559

7. References

[1] Anonymous, Know Salad Dressing and Choose the Right One, Available source: <http://www.lovefit.com>, November 21, 2018. (in Thai)

[2] Drakos, A. and Kiosseoglou, V. , 2008, Depletion flocculation effects in egg-

based model salad dressing emulsions, Food Hydrocoll. 22: 218-224.

[3] Featherstone, S. , 2016, Mayonnaise and Salad Dressing Products, a Complete Course in Canning and Related Processes, pp. 369- 384, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 14th Ed., Woodhead Publishing, Sawston.

[4] Hayati, I.N., Man, Y.B.C., Tan, C.P. and Aini, I.N. , 2009 , Droplet characterization and stability of soybean oil/palm kernel olein o/ w emulsions with the presence of selected polysaccharides, Food Hydrocoll. 23: 233-243.

[5] Bortnowska, G. , Balejko, J. , Schube, V. , Tokarczyk, G. , Krzemińska, N. and Mojka, K. , 2014, Stability and physicochemical properties of model salad dressings prepared with pregelatinized potato starch, Carbohydr. Polym. 111: 624-632.

[6] Wendin, K. and Hall, G. , 2001, Influence of fat, thickener and emulsifier contents on salad dressing: Static and dynamic sensory and rheological analyses, Lebensm. Wiss. Technol. 34: 222-233.

[7] Chirstianson, D. , Hodge, J.E. , Osborne, D. and Detroy, R.W. , 1981, Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum guar gum and cellulose gum, Cereal Chem. 58: 513-520.

[8] Somto, S. , 2004, Physical and Chemical Characteristics and Stability of Thai

- Pigmented Rice, Master Thesis, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 153 p.
- [9] Leelawat, B., Phairot, S. and Samphanprida, S., 2017, Rheological properties of low-fat salad dressing thickened by rice flour-xanthan gum combinations, J. Sci. Technol. UBU 19(2): 98-107. (in Thai)
- [10] Banjong, W., 2007, Development of Low Cholesterol Salad Dressing, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok, 132 p.
- [11] Hsu, C.Y., Chan, Y.P. and Chang, J., 2007, Antioxidant activity of extract from *Polygonum cuspidatum*, Biol. Res. 40: 13-21.
- [12] Imeson, A., 1997, Thickening and Gelling Agents for Food, 2nd Ed., Blackie Academic & Professional, London, 577 p.
- [13] Manojai, G., Purple Rice: Important Nutritious Plant Species that is Worthy of Conservation, Available source: <http://www.information.co.th/techno/techno>, October 10, 2010. (in Thai)
- [14] Bahnassey, Y.A. and Breene, W.M., 1994, Rapid visco analyzer (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starch in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust bean gums, Starch/Stärke 46: 134-141.
- [15] Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q. and Wang, S., 2015, Starch retrogradation: A comprehensive review, Compr. Rev. Food Sci. Food Safety 14: 568-585.
- [16] Fennema, O.R., 1996, Food Chemistry, 3rd Ed., Marcel Dekker, Inc., New York.
- [17] Sui, X., Bary, S. and Zhou, W., 2016, Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage, Food Chem. 192: 516-524.
- [18] Kim, A.N., Kim, H.J., Chun, J., Heo, H.J., Kerr, W.L. and Choi, S.G., 2018, Degradation kinetics of phenolic content and antioxidant activity of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) puree at different storage temperatures, Lebensm. Wiss. Technol. 89: 535-541.
- [19] Vegara, S., Mena, P., Martí, N., Saura, D. and Valero, M., 2013, Approaches to understanding the contribution of anthocyanins to the antioxidant capacity of pasteurized pomegranate juices, Food Chem. 141: 1630-1636.