

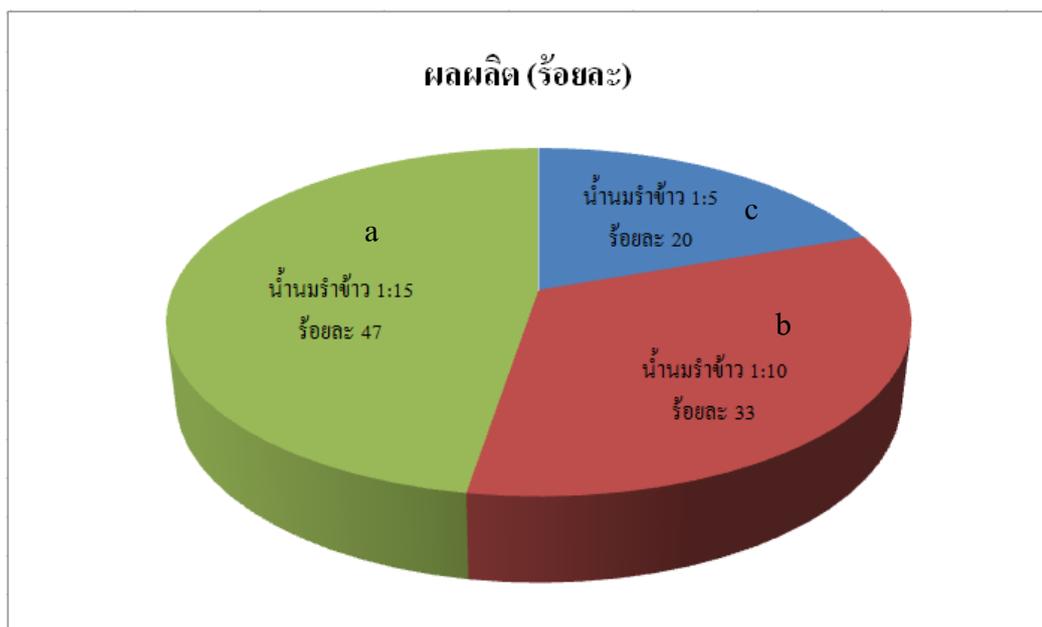
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษากระบวนการแปรรูปน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

4.1.1 ร้อยละผลผลิตน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ปริมาณร้อยละผลผลิตของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ความแตกต่างของอัตราส่วนของรำข้าวต่อน้ำในการผลิต (1:5, 1:10 และ 1:15) แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ร้อยละผลผลิตของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ในอัตราส่วนรำข้าว : น้ำ ที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของรำข้าวต่อน้ำเทียบต่อการผลิต 1 ลิตร ที่ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุดในการผลิตน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ คือ 1:15 (ร้อยละ 47) รองลงมาคือ 1:10 (ร้อยละ 33) และ 1:5 (ร้อยละ 20) ตามลำดับ ผลผลิตมากน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิต แต่ละอัตราส่วนจะส่งผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ และคุณภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์สุดท้ายใน

แต่ละด้านเช่นกัน อย่างไรก็ตามการเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตนั้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีอีกด้วย ดังนั้นสมบัติต่างๆ ของน้ำมันรำข้าวทั้ง 3 อัตราส่วน ได้แก่ ด้านเคมี ภายภาพฤทธิ์ทางชีวภาพ สมบัติด้านจุลินทรีย์ และลักษณะทางประสาทสัมผัสจึงนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกเพื่อศึกษาในลำดับต่อไป

4.1.2 องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวอินทรีย์เริ่มต้น น้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์แต่ละอัตราส่วน และน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้าจะแสดงดังตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าวประกอบด้วย ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 58.06-91.47 โปรตีน (ร้อยละ 0.19-1.78) ไขมัน (ร้อยละ 1.08-1.79) คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 6.20-34.04) เถ้า (ร้อยละ 0.44-1.41) และเส้นใย (ร้อยละ 0.62-2.92) จากผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์มีค่าต่ำกว่ารำข้าวอินทรีย์เริ่มต้นและน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นปริมาณความชื้น ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทั้งหมดในรำข้าวยังคงอยู่ในน้ำมันรำข้าวหลังจากผ่านกระบวนการทำคอลลอยด์ อย่างไรก็ตามพบว่าองค์ประกอบในรำข้าวอินทรีย์มีปริมาณที่แตกต่างเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่รายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบในรำข้าว เช่น Prakash (1996) ได้รายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบในรำข้าวชนิดไขมันเต็ม (Full-fat) และรำข้าวที่สกัดไขมัน (Defatted) ว่ามีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 43.5-54.3 โปรตีนร้อยละ 14.1-18.2 ไขมันร้อยละ 1.6-20.9 เถ้าร้อยละ 12.8-15.3 และเส้นใยร้อยละ 8.4-10.5 ในขณะที่ Gul, Yousuf, Singh, Singh, and Wani (2015) รายงานปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และเส้นใย คือ ร้อยละ 12.12, 12.32, 20.31, 17.92, 8.73 และ 28.60 ตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในรำข้าวของข้าวสีด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ NIR ของ Bagchi, Sharma, and Chattopadhyay (2016) พบปริมาณความชื้นของรำข้าวอยู่ในช่วงร้อยละ 6.39-12.38 โปรตีนร้อยละ 10.98-14.87 ไขมันร้อยละ 0.58-20.22 เถ้าร้อยละ 5.42-14.22 และเส้นใยร้อยละ 7.12-9.89 อย่างไรก็ตาม Da Silva, Sanches, and Amante (2006) ได้กล่าวถึงปริมาณความแตกต่างขององค์ประกอบในรำข้าวว่าอาจเนื่องมาจากแหล่งที่มา การเพาะปลูก และสายพันธุ์ของข้าวที่แตกต่างกัน นอกจากนี้เมื่ออัตราส่วนของรำข้าวและน้ำเพิ่มขึ้น องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ลดลง ซึ่งเป็นผลกระทบจากการเจือจางตลอดจนความสามารถของตัวทำละลายหรือตัวสกัดในการสกัดองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้ที่มีอยู่ในรำข้าวอีกด้วย

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้าพบว่า น้ำมันรำข้าวอัตราส่วน 1:15 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

($p < 0.05$) นอกเหนือจากนี้สารที่ใช้สกัดและสภาวะการสกัดมีบทบาทสำคัญในการสกัดโปรตีนและมีอิทธิพลต่อร้อยละการคืนกลับ (Recovery) ของโปรตีน (Fabian, Huynh, & Ju, 2010) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำนมร่ำข้าวกับเครื่องดื่มอื่นๆ เช่น น้ำนม สารสกัดจากถั่วเหลือง และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า พบว่าน้ำนมร่ำข้าวจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าตัวอย่างที่กล่าวมา ผลการทดลองนี้พบว่ามีผลคล้ายคลึงกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ซึ่งรายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบในเครื่องดื่มร่ำข้าวอินทรีย์ที่เติมแต่งกลิ่นรส (กลิ่นรสโกโก้และสตอเบอรี่) โดยเฉพาะปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่พบสูงถึงร้อยละ 43.2 และ 41.3 ตามลำดับ (Faccin et al., 2009)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวอินทรีย์ น้ำนมรำข้าว และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)					
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต*
รำข้าวอินทรีย์	4.21 ± 0.02 ^d	9.18 ± 0.02 ^a	12.75 ± 0.02 ^a	21.48 ± 0.02 ^a	8.14 ± 0.03 ^a	44.24 ± 0.44 ^a
น้ำนมรำข้าว 1:5	58.06 ± 0.88 ^c	1.41 ± 0.04 ^b	1.78 ± 0.03 ^c	1.79 ± 0.09 ^c	2.92 ± 0.13 ^b	34.04 ± 0.50 ^b
น้ำนมรำข้าว 1:10	89.02 ± 1.59 ^b	0.68 ± 0.15 ^c	0.57 ± 0.05 ^d	1.60 ± 0.37 ^c	0.95 ± 0.21 ^c	7.18 ± 0.54 ^c
น้ำนมรำข้าว 1:15	91.47 ± 2.11 ^b	0.44 ± 0.04 ^d	0.19 ± 0.06 ^c	1.08 ± 0.09 ^d	0.62 ± 0.14 ^d	6.20 ± 0.10 ^d
น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	94.49 ± 1.40 ^a	0.48 ± 0.10 ^d	2.15 ± 0.06 ^b	2.14 ± 0.07 ^b	0.58 ± 0.10 ^d	0.16 ± 0.08 ^c

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* หมายถึง ปริมาณที่หาจากการคำนวณร้อยละความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง

ค่าสีของผลิตภัณฑ์เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับอาหารซึ่งมีผลโดยตรงต่อการยอมรับและการตัดสินใจของผู้บริโภค ค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวและน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าแสดงดังตารางที่ 4.2 ค่าความขาว (Whiteness) และค่าความสว่าง (L^*) สูงสุดจะพบในผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าโดยมีค่าสูงถึงร้อยละ 70.59 และ 72.22 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า L^* (ความสว่าง) a^* (สีแดง) และ b^* (สีเหลือง) ที่น้อยลง ของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวเมื่ออัตราส่วนของปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) นอกจากนี้ค่าความขาวของน้ำนมรำข้าวยังมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามสมบัติเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์พื้นฐานและการพิจารณาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวต่อไป

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

ตัวอย่างน้ำนม รำข้าว	ค่าสี				ความขาว (ร้อยละ)
	L^*	a^*	b^*	ΔE	
1:5	62.54 ± 0.04^d	-0.31 ± 0.02^c	7.91 ± 0.04^d	9.93 ± 0.02^a	61.71 ± 0.04^d
1:10	68.08 ± 0.06^b	0.69 ± 0.04^b	11.41 ± 0.04^b	5.26 ± 0.07^c	66.10 ± 0.05^b
1:15	66.56 ± 0.03^c	1.55 ± 0.01^a	13.12 ± 0.03^a	7.58 ± 0.03^b	64.04 ± 0.02^c
น้ำนมถั่วเหลือง ทางการค้า	72.22 ± 0.01^a	-1.91 ± 0.02^d	9.44 ± 0.03^c	-	70.59 ± 0.00^a

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สมบัติทางเคมีของน้ำนมรำข้าวและน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าแสดงดังตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดเป็นตัวบ่งชี้อายุ (Shelf-life) ของผลิตภัณฑ์ ค่า pH ของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 6.77-6.97 ขณะที่ pH ของน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าพบที่ 6.99 ± 0.01 ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่คล้ายคลึงกับน้ำนมรำข้าวและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เครื่องดื่มน้ำจืดจากพืชของ อภิรดา กิตติชัยกุล (2554) และ Faccin et al. (2009) รายงานค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วง 6.30-6.59 และผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองของ Potter, Dougherty, Halteman, and Camire (2007) อยู่ในช่วง 3.64-3.97 การที่ค่า pH ของน้ำนมรำข้าวที่ได้มีค่าความเป็นกลางสูงนั้นรวมถึงประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ อาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่พบตามธรรมชาติ (Normal flora) ตลอดจนกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกสามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดีซึ่งส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (Salmeron, Thomas, and Pandiella, 2015) จุลินทรีย์ส่วนมากจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 6.5-7.5 และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคนั้นส่วนมากจะเจริญเติบโตที่ pH 4.5-5.0 ดังนั้นเครื่องดื่มน้ำจืดทั่วไป ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.0 จึงปลอดภัย อย่างไรก็ตาม มีจุลินทรีย์บางประเภทที่ชอบสภาพเป็นกรด ได้แก่ ยีสต์ รา แลคติก และอะซิติกแบคทีเรีย ซึ่งเชื้อเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดปัญหาแก่การเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำจืดได้เช่นกัน แต่ถ้าเครื่องดื่มน้ำจืด pH ลงได้ถึง 3.0 จะป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากแลคติกแบคทีเรียได้ที่จุดนี้ยีสต์ส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโต (อภิรดา กิตติชัยกุล, 2554)

อัตราส่วนน้ำนมรำข้าว 1:5 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงที่สุด (12.7 ± 0.58 °Brix) เมื่อเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (11.7 ± 0.58 °Brix) ตามด้วยน้ำนมรำข้าวอัตราส่วน 1:10 (6.00 ± 0.00 °Brix) และอัตราส่วน 1:15 (3.70 ± 0.58 °Brix) ยิ่งไปกว่านั้นผลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.61-0.38) อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำที่มีค่าสูงที่ตรวจวัดได้อาจเป็นผลมาจากอนุภาคของรำข้าวมากกว่าปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นในน้ำนมรำข้าว สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดถึงแม้ว่าน้ำนมรำข้าวจะไม่มี การเติมแต่งกลิ่นรสใดๆ (กลิ่นรสธรรมชาติ) แต่พบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ 0.38-0.61) เป็นไปได้ที่จะเกิดจากผลของปริมาณแป้งหรือสตาร์ช (ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 48.44) ในรำข้าวเริ่มต้น (Prakash, 1996) โดยทั่วไปรำข้าวทางการค้าเชิงพาณิชย์สามารถมีปริมาณของสตาร์ชในช่วงร้อยละ 10-55 ขึ้นอยู่กับชนิดของรำ การสี และปริมาณของเอนโดสเปิร์มของข้าวนั้นๆ ซึ่งกล่าวไว้โดย Saunders (1990) and Fabian et al. (2011)

ปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวแสดงอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.07 ถึง 0.19 และจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นในการผลิตน้ำนมรำข้าว อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดทั้งหมดอาจเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อน หรือเกิดจากการที่เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโต และผลิตกรดต่างๆ ออกมา ดังนั้นปริมาณกรดทั้งหมดสามารถบ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน

ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์แต่ละอัตราส่วนจากการทดลองขึ้นอยู่กับผลของการเจือจางโดยตรง ค่าความหนืดสูงสุดจะพบในน้ำนมรำข้าวอัตราส่วน 1:5 (141.97 ± 0.74 cP) ตามด้วย

อัตราส่วน 1:10 ($6.63 \pm 0.29\text{cP}$) และ 1:15 ($3.05 \pm 0.06\text{cP}$) ตามลำดับ โดยปกติความหนืดที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต่างๆ ควรอยู่ในช่วงไม่เกิน 130cP (Prieke et al., 1980) อย่างไรก็ตามความหนืดของเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์นมขึ้นอยู่กับปัจจัยของอุณหภูมิและปริมาณของแข็งในน้ำนมด้วยเช่นกัน

น้ำนมสำหรับน้ำนมรำข้าว (อัตราส่วน 1:15) แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (3.7 ± 0.58 °Brix) กับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ 0.38 ± 0.01) และค่าความหนืด ($3.05 \pm 0.06\text{cP}$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (11.7 ± 0.58 °Brix ร้อยละ 5.80 ± 0.08 และ $9.85 \pm 0.07\text{cP}$ ตามลำดับ) ($p < 0.05$) ดังนั้นสมบัติเหล่านี้สามารถนำมาใช้พัฒนาและส่งเสริมผลิตภัณฑ์นมชนิดใหม่ที่ได้จากการใช้พืช (ธัญพืช) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตอีกด้วย

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางเคมีของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

สมบัติทางเคมี	ตัวอย่างน้ำนมรำข้าว			น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า
	1:5	1:10	1:15	
pH	6.77 ± 0.01^c	6.89 ± 0.01^b	6.97 ± 0.02^a	6.99 ± 0.01^a
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)	12.7 ± 0.58^a	6.0 ± 0.00^b	3.7 ± 0.58^c	11.7 ± 0.58^a
ความหนืด (cP)	141.97 ± 0.74^a	6.63 ± 0.29^c	3.05 ± 0.06^d	9.85 ± 0.07^b
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	0.61 ± 0.02^b	0.54 ± 0.00^b	0.38 ± 0.01^c	5.80 ± 0.08^a
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	0.07 ± 0.02^c	0.11 ± 0.02^{bc}	0.19 ± 0.02^a	0.14 ± 0.02^{ab}

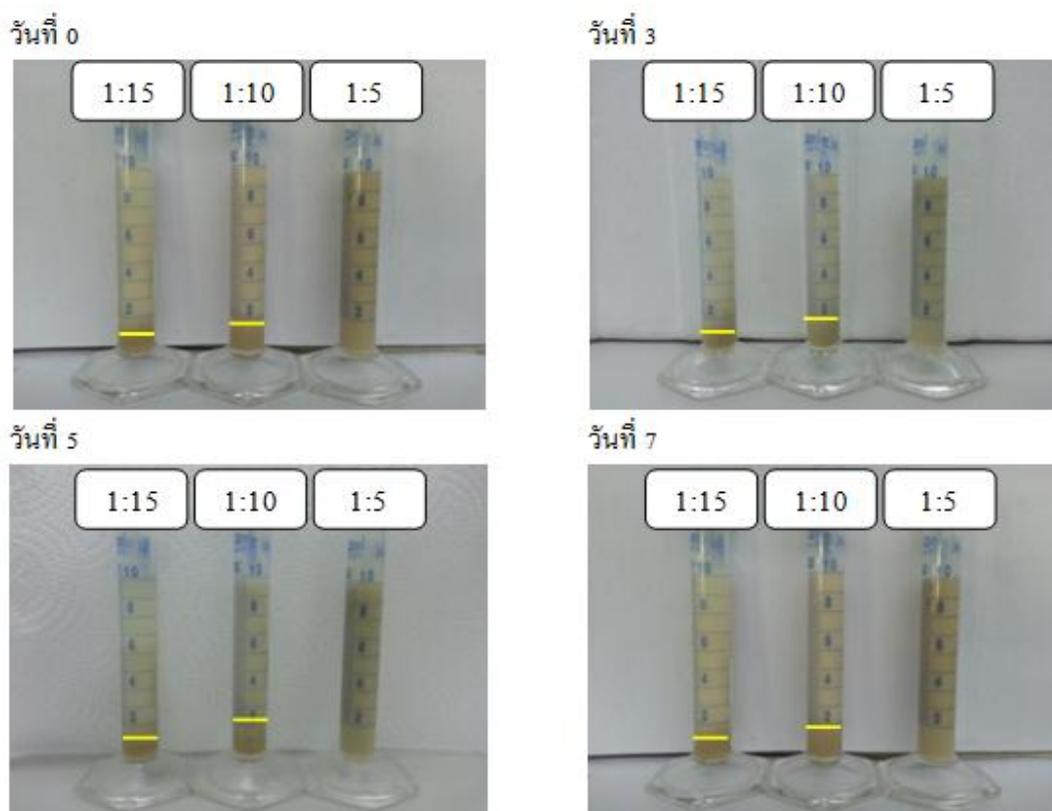
หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.1.3 สมบัติด้านความคงตัวของผลิตภัณฑ์ของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ความคงตัวของน้ำนมร่ำข้าวด้วยวิธีการตรวจสอบแบบเทคนิคการจัดเรียงตัวแล้วตกตะกอน (Coagulation technique) โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ได้แสดงดังภาพที่ 4.2 ความคงตัวสูงสุดของน้ำนมร่ำข้าวพบในตัวอย่างที่มีอัตราส่วนระหว่างร่ำข้าวต่อน้ำ 1:5 (ร้อยละ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เมื่อเวลาผ่านไปการเพิ่มขึ้นของตะกอนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่การเก็บรักษาในวันที่ 7 ของการทดลอง ถึงแม้ว่าร่ำข้าวจะผ่านกระบวนการลดขนาดอนุภาคด้วยการทำคอลลอยด์ อย่างไรก็ตามน้ำนมร่ำข้าวยังคงมีขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่แขวนลอยอยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังนั้นการแยกชั้นที่เกิดขึ้นจากการทดลองในน้ำนมร่ำข้าวระหว่างส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำที่แขวนลอยอยู่นั้นจึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนตั้งแต่วันแรกของการทดลองตามภาพที่ 4.2 โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของน้ำในการผลิตที่มีปริมาณมาก

เพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์นมหรือน้ำนมร่ำข้าวที่ได้จากการทดลอง โดยทั่วไปสารที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Emulsifier) และหรือ สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) ควรนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว อ้างอิงการศึกษาก่อนหน้าของ Yadav, Johnston, and Hicks (2009) และ Lal, O'Connor, and Eyres (2006) ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ / สารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์นม พวกเขารายงานว่าทั้งสารอิมัลซิไฟเออร์และสารเพิ่มความคงตัวประเภทไฮโดรคอลลอยด์ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประสิทธิภาพในการนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวได้เป็นอย่างดีในส่วนของสมบัติเชิงหน้าที่ นอกจากนี้สารเพิ่มความคงตัวอื่นๆ เช่น คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (CMC) ก็สามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่เป็นคอลลอยด์ได้อีกด้วยซึ่งรายงานไว้โดย Wu, Du, Li, and Zhang (2014) ต่อการเพิ่มความคงตัวของนมเปรี้ยว (Yogurt drink) การเติม CMC ลงในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวนั้นทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบในน้ำนมแขวนลอยและเกิดการตกตะกอนของโปรตีนในน้ำนมขาลง นอกจากนี้ Wu et al. (2014) ได้รายงานว่าการใช้ไฮโมจีไนซ์เพื่อทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ร่วมกับการใช้ CMC ในนมเปรี้ยวจะให้ประสิทธิภาพความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น แต่การใช้ไฮโมจีไนซ์ที่ความดันสูงๆ อาจส่งผลให้ CMC ที่เติมลงไปเสียหายซึ่งเป็นเหตุผลในการลดลงของความหนืด ที่นำไปสู่อัตราเร่งในการตกตะกอนของอนุภาคโปรตีนและความคงตัวของผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวลดลง ดังนั้นเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับปัจจัยความหนืดของตัวกลางนั้นๆ อย่างไรก็ตามน้ำนมร่ำข้าวที่ได้จากการผลิตและทดลองไม่ได้เป็นน้ำนมที่ได้จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ดังนั้นเทคนิคอื่นๆ ที่แตกต่างออกไปเพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำนมร่ำข้าวควรจะมีการศึกษาและตรวจวิเคราะห์ต่อไป



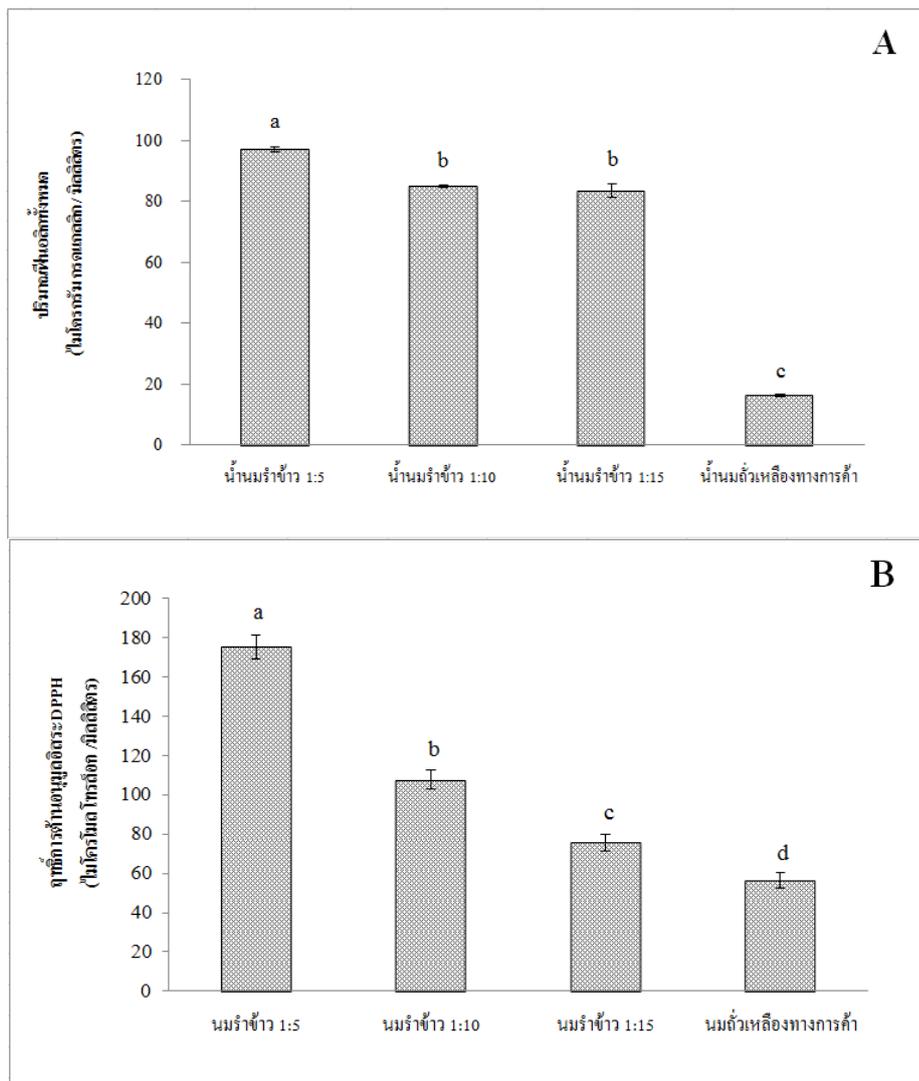
หมายเหตุ. 1:5 1:10 และ 1:15 หมายถึง อัตราส่วนรำข้าว : น้ำ ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์
 สัญลักษณ์บาร์ (—) คือ สิ่งที่ระบุระดับของการตกตะกอนที่เกิดขึ้น

ภาพที่ 4.2 ความคงตัวของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

4.1.4 สมบัติด้านชีวภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็นตัวบ่งชี้สำหรับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในน้ำนมรำข้าวเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าแสดงดังภาพที่ 4.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำนมรำข้าวแต่ละอัตราส่วน (1:5, 1:10 และ 1:15) มีปริมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 16.35 ± 0.25 ถึง 97.06 ± 0.82 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ในช่วง 56.33 ± 4.16 ถึง 175.33 ± 6.11 ไมโครโมลโทรลต่อมิลลิลิตร ซึ่งการวิเคราะห์สมบัติหรือฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งสองอย่างในตัวอย่งน้ำนมรำข้าวและน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดตลอดจนกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ขึ้นอยู่กับผลจาก

การทำเจ็องของนํ้านมรำข้าวโดยตรง ปริมาณนํ้าที่เพิ่มขึ้นในการใช้ผลิตนํ้านมรำข้าวส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงรวมถึงฤทธิ์ทางชีวภาพด้วย ความเข้มข้นของสารที่ถูกสกัดรวมถึงอัตราส่วนของสารละลายที่ใช้ในการสกัดจากของแข็งมีบทบาทสำคัญในการสกัดฟีนอลิกและมีอิทธิพลต่อร้อยละการกลับคืนของฟีนอลิกด้วยเช่นกัน (Meneses, Martins, Teixeira, and Mussatto, 2013) นอกจากนี้การลดลงอย่างมีนัยสำคัญของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในนํ้านมรำข้าวอาจเกิดจากผลกระทบในการเจ็องด้วยเช่นกัน ดังนั้นการลดสัดส่วนในการเจ็องให้ต่ำลงสามารถเป็นแหล่งของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพได้ และสามารถเพิ่มปริมาณฟีนอลิกให้สูงขึ้นในนํ้านมรำข้าวได้อีกด้วย โดยทั่วไปงานวิจัยส่วนใหญ่รายงานว่า อาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ ในร่างกายของมนุษย์ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนเลือด (CVD) เป็นต้น (Butsat and Siriamornpun, 2010) เป็นที่น่าสนใจสำหรับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของนํ้านมรำข้าวที่พบว่ามีปริมาณสูงกว่านํ้านมถั่วเหลืองทางการค้า (56.33 ± 4.16 ไมโครโมลโทรลต่อมิลลิลิตร) โดยทั่วไปในรำข้าวและถั่วเหลืองจะประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพค่อนข้างสูง ได้แก่ ไฟโตสเตอรอล (2,230-4,400 ppm.) แกมมาออโรซานอล (2,200-3,000 ppm.) วิตามินอี หรือ โทโคฟีรอล (210-440 ppm.) และ โพลีฟีนอล (305-309 ppm.) (Friedman, 2013) ซึ่งมีผลต่อการทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ (Watchararujji, Goto, Sasaki, and Shotipruk, 2008; Chotimarkorn, Benjakul, and Silalai, 2008; Iqbal, Bhangar, and Anwar, 2005) อย่างไรก็ตามสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญเหล่านี้จะสามารถถูกทำลายได้ง่ายเนื่องจากกระบวนการความร้อน โดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิที่สูงในระหว่างกระบวนการพาสเจอร์ไรส์และอื่นๆ ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคจากการใช้ความร้อนของนํ้านมรำข้าว (Kim, Kim, Oh, Yoo, Kim, and Oh, 2011; Thanonkaew, Wongyai, McClements, and Decker, 2012; Xu and Chang, 2011)



ภาพที่ 4.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (A) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (B) ของน้ำนมรำข้าว พาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

4.1.5 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

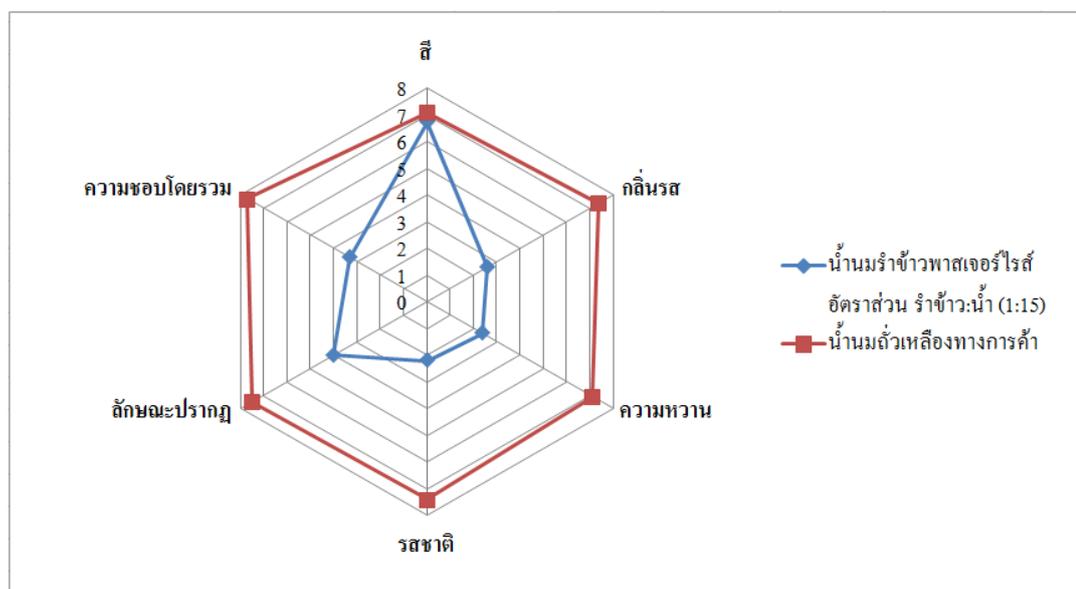
จากผลการทดลองสมบัติด้านต่างๆ (องค์ประกอบและสมบัติด้านเคมี กายภาพ ความคงตัว และฤทธิ์ทางชีวภาพ) ของน้ำนมรำข้าวข้างต้นที่กล่าวมานั้น พบว่า น้ำนมรำข้าวอัตราส่วน 1:15 เป็นตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการนำมาทดลองตรวจวิเคราะห์ในขั้นต่อไป และได้รับเลือกเพื่อนำมาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าอีกด้วย ลักษณะต่างๆ ในน้ำนมรำข้าวที่ถูกนำมาประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (สี กลิ่นรส ความหวาน รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม) แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 พบว่าสีของ

น้ำนมรำข้าวมีความใกล้เคียงกับสีของนมถั่วเหลืองทางการค้า ในขณะที่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนในลักษณะคุณภาพด้านอื่นๆ ที่เหลือ ได้แก่ กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะปรากฏ ความหวาน และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองเหล่านี้สอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านเคมีของตัวอย่างการทดลอง โดยเฉพาะปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตลอดจนความหนืดของน้ำนมรำข้าว (1:15) และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ($p < 0.05$) ลักษณะเหล่านี้ส่งผลให้คะแนนของความหวาน รสชาติ และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวลดลง นอกจากนี้การทดสอบครั้งนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Andres, Tenorio, and Villanueva (2015) ซึ่งศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผสมที่มีนม น้ำผลไม้ และถั่วเหลืองเป็นส่วนผสม โดยใช้ผู้ทดสอบ 40 คน ประเมินลักษณะของสี ความหวาน ความเป็นกรด กลิ่น ความคงตัว และการยอมรับผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาของ Andres et al. (2015) แสดงคะแนนค่าสีสูงที่สุด รองลงมาคือ ความหวาน กลิ่น และการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการทดลองของน้ำนมรำข้าวที่แสดงค่าสีสูงที่สุดเช่นเดียวกัน แม้ว่าลักษณะอื่นๆ จะมีคะแนนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้ทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นว่าในด้านลักษณะคุณภาพของกลิ่นรส และรสชาติควรมีการปรับปรุงสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวต่อไป

ตารางที่ 4.4 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (1:15) และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (ผู้ทดสอบ 50 คน)

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	ความหวาน	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
น้ำนมรำข้าว 1:15	6.66 ± 1.80 ^b	2.58 ± 0.09 ^b	2.42 ± 0.90 ^b	2.24 ± 0.08 ^b	3.96 ± 1.60 ^b	3.26 ± 1.30 ^b
น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	7.06 ± 1.30 ^a	7.38 ± 1.20 ^a	7.14 ± 1.20 ^a	7.38 ± 1.10 ^a	7.50 ± 1.00 ^a	7.68 ± 1.00 ^a

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4.4 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของนํ้านมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (1:15) และนํ้านมถั่วเหลืองทางการค้า

อ้างอิงผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นในการศึกษาสมบัติและลักษณะทางด้านต่างๆ ของนํ้านมรำข้าวตัวอย่างแต่ละอัตราส่วน (1:5, 1:10 และ 1:15) เปรียบเทียบกับนํ้านมถั่วเหลืองทางการค้าพบว่า อัตราส่วนของรำข้าวที่ใช้ต่อนํ้าที่เหมาะสมในการผลิตนํ้านมรำข้าวตั้งต้น และนำไปศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ในการทดลองขั้นต่อไปคืออัตราส่วน 1:15 เนื่องจากสมบัติด้านต่างๆ ของนํ้านมรำข้าวที่ศึกษามีความใกล้เคียงของสมบัติทั้งทางกายภาพ (โดยเฉพาะค่าสี) เคมี ตลอดจนเป็นแหล่งที่ดีของการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเปรียบเทียบกับนํ้านมถั่วเหลืองทางการค้า แม้ว่าอัตราส่วนอื่นๆ ของนํ้านมรำข้าวจะแสดงผลการทดลองที่ดีกว่าอัตราส่วน 1:15 เช่น ความคงตัวของนํ้านมรำข้าวอัตราส่วน 1:5 มีความคงตัวสูงสุด แต่เนื่องด้วยความหนืดของผลิตภัณฑ์สูงเกินไปจึงไม่ถูกนำมาพิจารณา นอกจากนี้ค่าความขาวและความสว่างของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างอีกด้วย อย่างไรก็ตามอัตราส่วน 1:10 ไม่ถูกพิจารณาเช่นกันเนื่องจากสมบัติต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 1:15 นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มการใช้รำข้าวเริ่มต้นที่ปริมาณเยอะกว่าสำหรับการผลิตนํ้านมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ในขณะที่ให้ร้อยละผลผลิตที่ต่ำกว่าด้วยเช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปได้ในเชิงอุตสาหกรรม การใช้ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตที่น้อยกว่าจึงเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณา ส่งผลให้อัตราส่วน 1:15 ได้รับพิจารณาเพื่อนำมาศึกษาพัฒนา/ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดีต่อไป ทั้งนี้นํ้านมรำข้าวที่ได้นี้สามารถเป็นเครื่องดื่มทางเลือกใหม่ที่ได้จากพืช (ธัญพืช) สำหรับผู้บริโภคที่ตระหนักในเรื่องสุขภาพ อย่างไรก็ตามนํ้านมรำข้าวที่ได้นี้ยังต้องทดลอง

เพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะต่างๆ ให้มีคุณภาพที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของกลิ่นรส และรสชาติ เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาต่อไป

4.2 การปรับปรุงลักษณะคุณภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

4.2.1 ผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลจากการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางด้านเคมี (ค่า pH และ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ) รวมถึงค่าความหนืดของน้ำนมรำข้าวแสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า กัวร์กัม แชนแทนกัม โลคัสบีนกัม และเพกทิน เป็นสารที่มีผลต่อการลดค่า pH ของน้ำนมรำข้าวที่ทุกความเข้มข้นที่เติมลงไป ในขณะที่คาร์ราจีแนนจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในน้ำนมรำข้าวตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์เหล่านี้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่แตกต่างกัน รวมถึงกระบวนการสกัดที่แตกต่างกันด้วย จึงส่งผลต่อสมบัติต่างๆ เหล่านี้ของไฮโดรคอลลอยด์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในน้ำนมรำข้าว (Dickinson, 2003) นอกจากนี้พอลิแซคคาไรด์บางตัว เช่น เพกทิน ส่วนใหญ่ได้มาจากการสกัดจากผลไม้ในกลุ่มพืชตระกูลส้ม (Citrus fruits) ที่ประกอบด้วยกรดกาแลกทูโลนิก ที่มีมากกว่าครึ่งหนึ่งในเพกทิน ดังนั้นสารดังกล่าวนี้จะรู้จักกันในส่วนของเมทิลเอสเทอร์รีไฟล์ และจะแสดงสถานะที่มีความเป็นกรดเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย หรือตัวกลางที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายหลัก (Alqahtani, Ashton, Katopo, Haque, Jones, and Kasapis, 2014) ขณะที่แชนแทนกัมผลิตจากกระบวนการธรรมชาติ ด้วยการหมักของน้ำตาล ชนิดซูโคส หรือกลูโคส กับแบคทีเรียชนิด *Xanthomonas campestris* จึงมีสถานะเริ่มต้นเป็นกรดส่งผลให้น้ำนมรำข้าวมีค่า pH ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นขึ้น น้ำนมรำข้าวมีค่า pH สูงกว่าผลการศึกษาของ Potter et al. (2007) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ประกอบด้วยข้าว ถั่วเหลือง และบลูเบอร์รี่ (pH อยู่ในช่วง 3.64-3.97) นอกจากนี้ค่า pH ของเครื่องดื่มรำข้าวอินทรีย์ทั่วไปที่มีการเติมแต่งกลิ่นรส (โกโก้และสตอเบอร์รี่) รายงานอยู่ที่ 6.30 ± 0.1 และ 6.30 ± 0.2 ตามลำดับ (Faccin et al., 2009) จากผลการศึกษาครั้งนี้ (ตารางที่ 4.5) ค่า pH ของน้ำนมรำข้าวที่เป็นชุดควบคุมมีค่า 6.66 ± 0.03 ขณะที่ค่า pH ของตัวอย่างที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.01 ± 0.05 ถึง 6.60 ± 0.01 โดยพบในน้ำนมรำข้าวที่เติมกัวร์กัมร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (6.60 ± 0.01) และ เพกทินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (6.01 ± 0.05) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากสมบัติทางเคมีของค่า pH กัวร์กัมดูเหมือนจะเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับตัวอย่างชุดควบคุม

(6.66 ± 0.03) ของน้ำนมรำข้าวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์เท็มไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามสมบัติด้านอื่นๆ ของการศึกษาการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในเชิงหน้าที่อื่นๆ ควรนำมาพิจารณาเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ค่า pH ที่ได้จากการวิเคราะห์ของน้ำนมรำข้าวค่อนข้างเป็นกลาง เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (Faccin et al., 2009) ถึงแม้ว่าน้ำนมรำข้าวจะผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์ เพื่อความปลอดภัยทางด้านอาหาร การตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์จึงจำเป็นต้องตรวจสอบในการศึกษาต่อไปสำหรับความปลอดภัยของผู้บริโภคด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางเคมีของน้ำนมวัวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้น

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ไฮโดรคอลลอยด์					
		ชุดควบคุม	กัวร์กัม	แซนแทนกัม	โลคัสบีนกัม	เพกทิน	คาร์ราจีแนน
pH	0*	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.66 ± 0.03 ^{aA}
	0.05	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.60 ± 0.01 ^{bb}	6.47 ± 0.01 ^{bd}	6.55 ± 0.01 ^{bc}	6.40 ± 0.00 ^{be}	6.49 ± 0.01 ^{cd}
	0.1	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.57 ± 0.02 ^{bb}	6.39 ± 0.02 ^{bde}	6.43 ± 0.05 ^{cd}	6.37 ± 0.01 ^{be}	6.50 ± 0.00 ^{cc}
	0.3	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.56 ± 0.00 ^{bb}	6.26 ± 0.02 ^{de}	6.35 ± 0.00 ^{dd}	6.16 ± 0.02 ^{cf}	6.52 ± 0.01 ^{bc}
	0.5	6.66 ± 0.03 ^{aA}	6.49 ± 0.03 ^{cb}	6.08 ± 0.01 ^{cd}	6.28 ± 0.02 ^{ec}	6.01 ± 0.05 ^{de}	6.54 ± 0.00 ^{bb}
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (^o Brix)	0*	2.00 ± 0.00 ^{aA}	2.00 ± 0.00 ^{cA}	2.00 ± 0.00 ^{dA}	2.00 ± 0.00 ^{cA}	2.00 ± 0.00 ^{bA}	2.00 ± 0.00 ^{dA}
	0.05	2.00 ± 0.00 ^{ab}	3.66 ± 0.57 ^{ba}	4.00 ± 1.00 ^{cA}	3.66 ± 0.57 ^{ba}	3.66 ± 0.57 ^{aA}	3.33 ± 0.57 ^{cA}
	0.1	2.00 ± 0.00 ^{ab}	3.66 ± 0.57 ^{ba}	3.66 ± 0.57 ^{cA}	3.66 ± 0.57 ^{ba}	3.66 ± 0.57 ^{aA}	3.66 ± 0.57 ^{bcA}
	0.3	2.00 ± 0.00 ^{ac}	5.33 ± 0.57 ^{ab}	6.33 ± 0.57 ^{ba}	4.33 ± 0.57 ^{bb}	4.33 ± 0.57 ^{ab}	4.33 ± 0.57 ^{bb}
	0.5	2.00 ± 0.00 ^{ac}	5.33 ± 0.57 ^{ab}	7.66 ± 0.57 ^{aA}	5.33 ± 0.57 ^{ab}	4.33 ± 0.57 ^{ab}	5.33 ± 0.57 ^{ab}

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง และตัวอักษร A, B, C,... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* หมายถึง ตัวอย่างน้ำนมวัวพาสเจอร์ไรส์ที่ปราศจากการเติมสิ่งต่างๆ (ตัวอย่างควบคุม)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS) ของน้ำนมรำข้าว (ตารางที่ 4.5) ที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นจะมีค่าอยู่ในช่วง $3.66 \pm 0.57^{\circ}\text{Brix}$ ถึง $7.66 \pm 0.57^{\circ}\text{Brix}$ กับค่าสูงสุด ($7.66 \pm 0.57^{\circ}\text{Brix}$) เมื่อเติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์นี้อาจได้มาจากอนุภาคของรำข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไปให้น้ำนมรำข้าวมากกว่าจะเป็นปริมาณของน้ำตาลในตัวอย่างน้ำนมรำข้าว เนื่องจากน้ำนมรำข้าวที่นำมาตรวจวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพเป็นกลิ่นรสธรรมชาติไม่มีการเติมน้ำตาลลงไป

สมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการบริโภค การยอมรับและเนื้อสัมผัสของของไหล เช่น เครื่องดื่ม (Yu, Ahmedna, and Goktepe, 2007) น้ำนมรำข้าวเป็นอิมัลชันที่มีลักษณะทางกายภาพและความหนืดที่น่าสนใจ ดังนั้นจึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อค่าความหนืดของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวพบว่ามีความเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชุดควบคุม ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวสูงสุด ($696.46 \pm 14.60\text{cP}$) เมื่อมีการเติมแซนแทนกัมที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน นอกจากนี้ค่าความหนืดของน้ำนมรำข้าวที่พบอยู่ในช่วง $3.66 \pm 0.03\text{cP}$ ถึง $696.46 \pm 14.60\text{cP}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างชุดควบคุม ($3.12 \pm 0.02\text{cP}$) การเพิ่มขึ้นของความหนืดในน้ำนมรำข้าวตัวอย่างขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไป อย่างไรก็ตามกั๊วรักัมและแซนแทนกัมให้ค่าความหนืดในน้ำนมรำข้าวที่สูงมากเมื่อมีการเติมลงไป ในน้ำนมรำข้าวที่ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไป Kolniak, Oszmianski, and Wojdylo (2013) กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของความหนืดในตัวอย่างการทดลองสามารถเกิดจากการมีปฏิสัมพันธ์ของอนุภาคขนาดใหญ่ของไฮโดรคอลลอยด์ต่ออนุภาคของสิ่งอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการศึกษาครั้งนี้เป็นไปได้ที่จะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไปกับอนุภาคของสตาร์ชในรำข้าว องค์ประกอบอื่นๆ และตัวอย่างรำข้าวเริ่มต้นเอง นอกจากนี้ข้อมูลสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในเครื่องดื่มเช่นเดียวกัน ซึ่งรายงานโดย Faccin et al. (2009) กับตัวอย่างเครื่องดื่มรำข้าวอินทรีย์ทั่วไป (อุณหภูมิค่า ความหนืดเพิ่มขึ้น) ขณะที่ผลการศึกษาของ Ahmadian, Varidi, Varidi, and Pourazarang (2014) กับตัวอย่างน้ำนมงา (Sesame milk) พบว่า การนำไปแช่ในน้ำที่ประกอบด้วยสารละลายเกลือ NaHCO_3 สามารถทำให้ค่าความหนืดของน้ำนมงามีค่าเพิ่มขึ้นและมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำด้วย เนื่องจากการละลายของโปรตีนในงาโดยสารละลายดังกล่าว อย่างไรก็ตามการกระจายของไฮโดรคอลลอยด์ที่มากกว่าร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไป ส่งผลให้มีความ

ชนิดที่ต่างกันอย่างชัดเจน และอาจส่งผลต่อความคงตัวที่ต่างกันในระบบอิมัลชันได้อีกด้วย (Huang et al., 2001) ดังนั้นการศึกษาในส่วนนี้จะให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการกระจายตัวของอนุภาคและความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมร่าข้าวที่มีการศึกษาในการวิเคราะห์ตรวจสอบต่อไป

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำนมวัวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ความหนืด (cP)					
		ไฮโดรคอลลอยด์					
		ชุดควบคุม	กัวร์กัม	แซนแทนกัม	โลคัสทีน	เพกทิน	คาร์ราจีแนน
0	0	3.12 ± 0.02 ^{aA}	3.12 ± 0.02 ^{aA}	3.12 ± 0.02 ^{dA}	3.12 ± 0.02 ^{aA}	3.12 ± 0.02 ^{dA}	3.12 ± 0.02 ^{aA}
	0.05	3.12 ± 0.02 ^{aF}	8.11 ± 0.04 ^{dA}	7.76 ± 0.10 ^{dB}	4.19 ± 0.02 ^{DD}	3.66 ± 0.03 ^{DE}	4.75 ± 0.04 ^{dC}
	0.1	3.12 ± 0.02 ^{aF}	14.60 ± 0.45 ^{CB}	26.36 ± 0.63 ^{aA}	5.71 ± 0.02 ^{cDE}	4.66 ± 0.03 ^{cE}	6.16 ± 0.06 ^{cC}
	0.3	3.12 ± 0.02 ^{aF}	44.90 ± 0.40 ^{BB}	438.43 ± 2.81 ^{bA}	18.16 ± 0.60 ^{bC}	8.27 ± 0.50 ^{bE}	14.80 ± 0.79 ^{bD}
	0.5	3.12 ± 0.02 ^{aF}	221.57 ± 2.63 ^{BB}	674.70 ± 6.50 ^{aA}	77.23 ± 0.96 ^{aC}	12.33 ± 0.47 ^{aE}	26.35 ± 0.49 ^{aD}
3	0	3.17 ± 0.08 ^{aA}	3.17 ± 0.08 ^{aA}	3.17 ± 0.08 ^{aA}	3.17 ± 0.08 ^{aA}	3.17 ± 0.08 ^{aA}	3.17 ± 0.08 ^{aA}
	0.05	3.17 ± 0.08 ^{aE}	8.21 ± 0.02 ^{dA}	8.15 ± 0.09 ^{dA}	4.29 ± 0.01 ^{dC}	3.93 ± 0.07 ^{DD}	5.00 ± 0.09 ^{dB}
	0.1	3.17 ± 0.08 ^{aF}	16.06 ± 0.14 ^{CB}	28.78 ± 0.24 ^{aA}	5.82 ± 0.01 ^{CD}	4.91 ± 0.08 ^{cE}	6.94 ± 0.08 ^{cC}
	0.3	3.17 ± 0.08 ^{aE}	47.55 ± 1.15 ^{BB}	447.45 ± 3.40 ^{bA}	19.27 ± 0.17 ^{bC}	9.69 ± 0.25 ^{bD}	17.10 ± 0.58 ^{bC}
	0.5	3.17 ± 0.08 ^{aF}	226.65 ± 1.70 ^{BB}	686.38 ± 2.56 ^{aA}	79.70 ± 0.34 ^{aC}	13.14 ± 0.06 ^{aE}	26.85 ± 0.19 ^{aD}

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

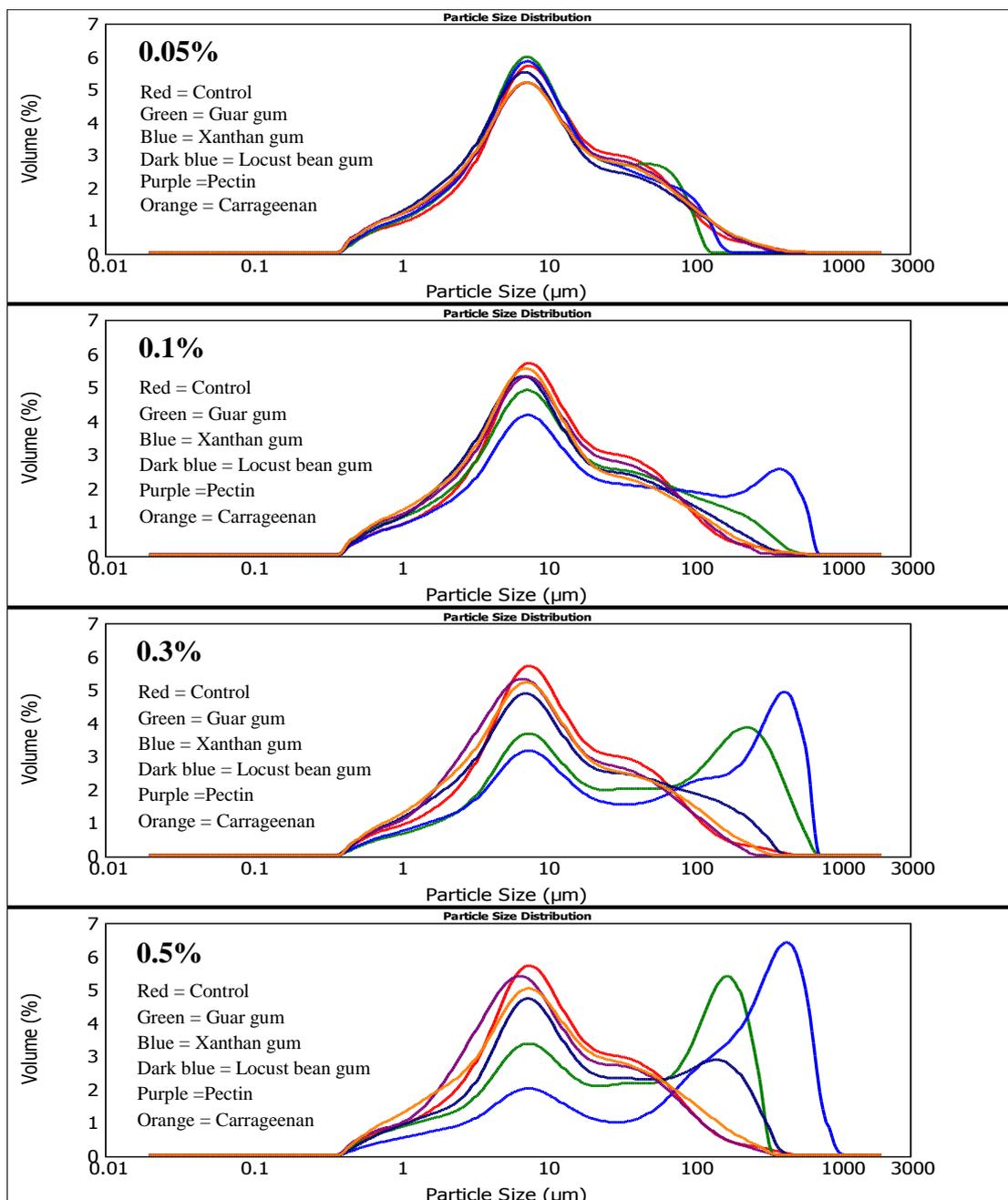
		ความหนืด (cP)					
วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ไฮโดรคอลลอยด์					
		ชุดควบคุม	กั้วร์กัม	แซนแทนกัม	โลคัสปีนกัม	เพกทิน	คาร์ราจีแนน
5	0	3.21 ± 0.03 ^{aA}	3.21 ± 0.03 ^{eA}	3.21 ± 0.03 ^{dA}	3.21 ± 0.03 ^{eA}	3.21 ± 0.03 ^{eA}	3.21 ± 0.03 ^{eA}
	0.05	3.21 ± 0.03 ^{aF}	8.31 ± 0.05 ^{dB}	8.77 ± 0.14 ^{dA}	4.41 ± 0.02 ^{dD}	4.13 ± 0.06 ^{dE}	5.23 ± 0.04 ^{dC}
	0.1	3.21 ± 0.03 ^{aF}	16.92 ± 0.04 ^{cB}	30.38 ± 0.24 ^{cA}	5.90 ± 0.00 ^{cD}	5.23 ± 0.05 ^{cE}	7.13 ± 0.05 ^{cC}
	0.3	3.21 ± 0.03 ^{aE}	49.28 ± 0.76 ^{bB}	463.42 ± 9.58 ^{bA}	21.05 ± 0.45 ^{bC}	10.73 ± 0.43 ^{bD}	18.00 ± 0.26 ^{bC}
	0.5	3.21 ± 0.03 ^{aF}	233.79 ± 2.33 ^{aB}	695.84 ± 1.64 ^{aA}	83.02 ± 1.37 ^{aC}	13.94 ± 0.10 ^{aE}	27.68 ± 0.15 ^{aD}
7	0	3.27 ± 0.96 ^{aA}	3.27 ± 0.96 ^{eA}	3.27 ± 0.96 ^{dA}	3.27 ± 0.96 ^{eA}	3.27 ± 0.96 ^{eA}	3.27 ± 0.96 ^{eA}
	0.05	3.27 ± 0.96 ^{aF}	8.39 ± 0.02 ^{dB}	9.22 ± 0.03 ^{dA}	4.50 ± 0.02 ^{dD}	4.23 ± 0.05 ^{dE}	5.30 ± 0.01 ^{dC}
	0.1	3.27 ± 0.96 ^{aF}	17.09 ± 0.02 ^{cB}	31.07 ± 0.26 ^{cA}	5.85 ± 0.20 ^{cD}	5.35 ± 0.03 ^{cE}	7.27 ± 0.04 ^{cC}
	0.3	3.27 ± 0.96 ^{aF}	50.20 ± 0.04 ^{bB}	472.87 ± 1.95 ^{bA}	21.74 ± 0.06 ^{bC}	11.45 ± 0.10 ^{bE}	18.27 ± 0.03 ^{bD}
	0.5	3.27 ± 0.96 ^{aF}	237.38 ± 1.34 ^{aB}	696.46 ± 14.60 ^{aA}	85.21 ± 0.27 ^{aC}	14.12 ± 0.03 ^{aE}	27.97 ± 0.04 ^{aD}

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละวัน และตัวอักษร A, B, C,... ที่แตกต่างกันในแนวนอนของแต่ละวัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.2 ผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

น้ำนมรำข้าวที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นถูกตรวจวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคโดยใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ Particle size analyzer และรายงานผลการกระจายตัวของอนุภาคโดยอ่านจากค่าเฉลี่ย $D_{(4,3)}$ ของการทดลอง ผลการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำนมรำข้าวแสดงดังภาพที่ 4.5 ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคและการกระจายตัวเมื่อมีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ลงไป ในน้ำนมรำข้าวพบว่า มีขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 0.1 ถึง 1,000 ไมโครเมตรกระจายตัวอยู่ ซึ่งขนาดอนุภาคเหล่านี้ อาจได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ และเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำของตัวอย่างรำข้าวเริ่มต้นและไฮโดรคอลลอยด์ (Keshtkaran, Mohammadifar, Asadi, Nejad, and Balaghi, 2013) การเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไป โดยเฉพาะกัวร์กัม และแซนแทนกัม จะมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำนมรำข้าวอย่างชัดเจน (ภาพที่ 4.5) Huang, Kakuda, and Cui (2001) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในระบบบัลติมัลชันของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกัมที่ต่างชนิดกัน (แซนแทนกัม เมทิลเซลลูโลส กัมอะราบิก เพกทิน กัวร์กัม คาร์ราจีแนน และ fenugreek) ส่งผลต่อค่าการกระจายตัวของอนุภาคเพิ่มขึ้นในตัวอย่างอาหาร โดยเฉพาะเครื่องดื่ม ดังนั้น การเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ในน้ำนมรำข้าวจึงส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคด้วยเช่นกัน ขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เป็นสาเหตุและปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดความคงตัวที่ลดลงของน้ำนมรำข้าว อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กสามารถช่วยอธิบายถึงความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวได้ อ้างถึงการรายงานของ Durand, Franks, and Hosken (2003) ศึกษาเกี่ยวกับขนาด การกระจายตัวของอนุภาคและความคงตัวของน้ำนมวัวยูเอชที และน้ำนมจากธัญพืช กล่าวว่า อนุภาคขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะเป็นอนุภาคของไขมันในระบบของเครื่องคีมัลชัน ในทางกลับกัน อนุภาคขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ สตาร์ช เส้นใย และสารประกอบเซลลูโลสอื่นๆ ถึงแม้ว่าตัวอย่างน้ำนมรำข้าวจะผ่านกระบวนการลดขนาดของอนุภาคและการทำคอลลอยด์ รวมถึงกระบวนการกรองแล้ว แต่ผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่ายังคงมีอนุภาคของรำข้าวหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวเนื่องจากการแยกชั้นระหว่างส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวหรือการเกิดตะกอนลงข้างล่างจากการศึกษาความคงตัวของน้ำนมรำข้าวก่อนหน้านี้



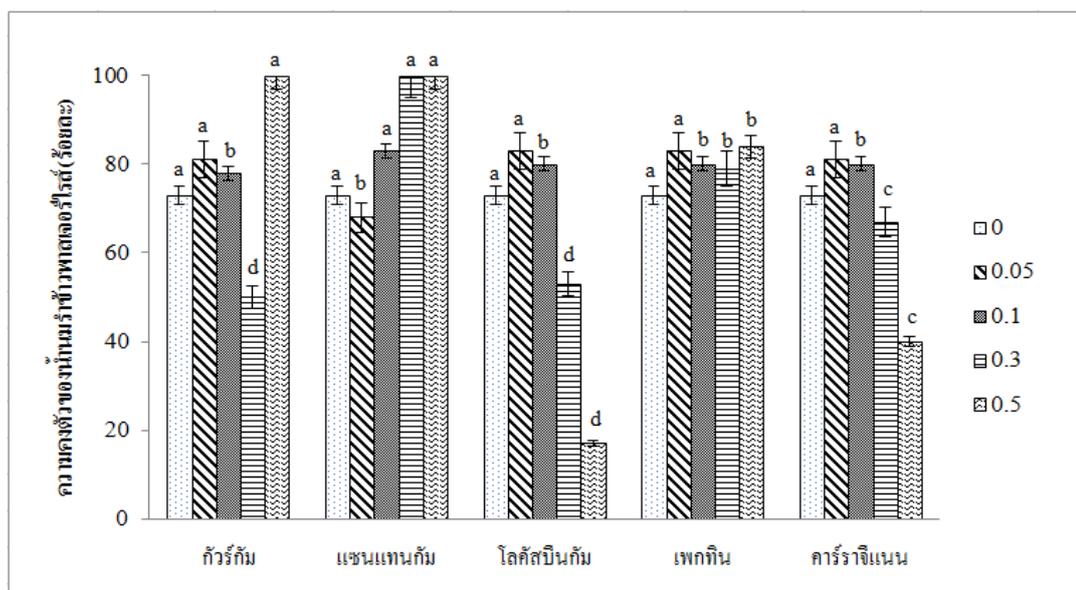
ภาพที่ 4.5 การกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้น

4.2.3 ผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของนํ้านมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต่างๆ โดยเฉพาะกลุ่มอิมัลชันจะมีองค์ประกอบในแต่ละส่วนที่แตกต่างกันภายในผลิตภัณฑ์นั้นๆ (McClements, 2005) นํ้านมร่าข้าวจัดว่าเป็นเครื่องดื่มที่มีลักษณะเป็นอิมัลชันที่มีลักษณะทางกายภาพและความหนืด ซึ่งส่งผลความคงตัวของผลิตภัณฑ์ Piorkowski and McClements (2014); Friberg, Larsson, and Sjoblom (2004); McClements (2005); and Dickinson (1992) กล่าวว่า แนวโน้มของการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต่อความคงตัวในระบบอาจถูกทำลายลงเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากมีความหลากหลายของกลไกทางเคมีกายภาพ รวมทั้งการแยกชั้น การตกตะกอน และการเกาะยึดติดกันขององค์ประกอบในเครื่องดื่ม กลไกทั้งหมดของความไม่คงตัวเหล่านี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของส่วนประกอบต่างๆ ภายในเครื่องดื่มอีกด้วย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบสามารถส่งผลไปสู่การเปลี่ยนแปลงในความคงตัวทางกายภาพได้เช่นกัน (Piorkowski and McClements, 2014) เนื่องจากร่าข้าวเริ่มต้นมีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างใหญ่จึงส่งผลกระทบต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ความคงตัวของนํ้านมร่าข้าวเมื่อวัดโดยเทคนิคการจัดเรียงตัวแล้วตกตะกอน (Coagulation technique) พบว่า ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างนํ้านมร่าข้าวที่มีการเติมแซนแทนกัม และกัวร์กัม ให้ความคงตัวของผลิตภัณฑ์สูงสุด (ไม่พบการแยกชั้น) เมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.6 การประยุกต์ใช้แซนแทนกัมตั้งแต่ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไปจะให้ความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่ดี ในขณะที่กัวร์กัมต้องใช้ถึงร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร การเพิ่มปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์มีอิทธิพลต่อความคงตัวของนํ้านมร่าข้าว เป็นที่น่าสนใจเนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดให้ค่าความหนืดที่สูง (ตารางที่ 4.6) กับผลิตภัณฑ์นํ้านมร่าข้าว ซึ่งทำให้องค์ประกอบต่างๆ ในนํ้านมร่าข้าวที่เป็นคอลลอยด์สามารถแขวนลอยอยู่ได้และไม่เกิดการแยกชั้นเมื่อเวลาผ่านไปของการเก็บรักษา Laurent and Boulengue (2003) รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเพกทินในกลุ่มของผลิตภัณฑ์นม จะนำไปสู่กลไกที่ช่วยป้องกันการเกิดตะกอนของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์นมที่มีค่า pH ระหว่าง 5.5-5.8 เนื่องจากเพกทินจะไปสร้างโครงสร้างและจับกับอนุภาคของ โปรตีนในนํ้านมให้เกิดการแขวนลอยในนํ้านม

แม้ว่าผลของความคงตัวจะแสดงสูงสุดที่การเติมกัวร์กัมร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และแซนแทนกัมตั้งแต่ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไป ในทางกลับกันสมบัติทางกายภาพ และเคมีของนํ้านมร่าข้าวที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ เช่น ความหนืด พบว่าไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากมีความหนืดที่สูงเกินกว่าจะนำไปเป็นเครื่องดื่มได้ (ตารางที่ 4.6) โดยค่า

ความหนืดของเครื่องดัดผมอยู่ในช่วงไม่เกิน 130cP ซึ่งรายงานไว้โดย Prieke et al. (1980) ดังนั้น การเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่ความเข้มข้นร้อยละที่ต่ำลงมา (ร้อยละ 0.1) จึงได้รับการพิจารณาคัดเลือก



ภาพที่ 4.6 ความคงตัว (ร้อยละ) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิด และต่างความเข้มข้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

จากภาพที่ 4.6 แซนแทนกั้มร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ผลความคงตัวมากกว่าร้อยละ 80 ในน้ำนมรำข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นและตัวอย่างชุดควบคุมที่ความเข้มข้นเดียวกัน นอกจากนี้แสดงช่วงของความหนืดไม่สูงเกินไป ($26.36 \pm 0.6\text{cP}$ ถึง $31.07 \pm 0.26\text{cP}$) หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน (4 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องดัดผมตัวอย่างทางการค้า น้ำนมรำข้าวที่เติมแซนแทนกั้มร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ยังคงมีค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ($9.85 \pm 0.07\text{cP}$) ถึงแม้ว่ากั้วร์กั้ม โลคัสบั้ม เพกทั้ม และคาร์ราจึเนนที่ความเข้มข้น 0.05 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะแสดงความคงตัวมากกว่าร้อยละ 80 ก็ตาม แต่การละลายของไฮโดรคอลลอยด์เหล่านี้ในน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ค่อนข้างละลายยากเมื่อเปรียบเทียบกับ การละลายของแซนแทนกั้มในตัวอย่างน้ำนมรำข้าว การศึกษาเบื้องต้นกับตัวอย่างเครื่องดัดผมที่มีความใกล้เคียงกับน้ำนมรำข้าวคือ เครื่องดัดผมที่ทำจากถั่วเหลืองโดยมีการปรับ / เติมแต่งในสูตรการผลิตของ Potter et al. (2007) รายงานค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 4.25 ± 0.31 ถึง 10.33 ± 0.75 ($\text{mm}^2/\text{s(cSt)}$) และ เครื่องดัดผมน้ำนมถั่วเหลืองผสมน้ำแครอทมีความหนืดอยู่ในช่วง $19.70 \pm 0.10\text{cP}$ ถึง $21.06 \pm 0.56\text{cP}$ (สุรีย์ แถวเที่ยง, 2552) อย่างไรก็ตามผล

การทดลองของการศึกษาในน้ำนมรำข้าวครั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองข้างต้นกับสมบัติด้านความหนืด การกระจายตัวของอนุภาค การเปรียบเทียบผลที่ได้พบว่าไม่เฉพาะแค่ความหนืดที่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม แต่ความหนืดสามารถทำให้การกระจายตัวของอนุภาคเป็นผลในด้านดีต่อความคงตัวของน้ำนมรำข้าวเพิ่มขึ้น (Faccin et al., 2009)

เพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวและปรับปรุงสมบัติด้านต่างๆ ให้ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบมากที่สุด การศึกษาโดยใช้การลดขนาดของอนุภาครำข้าวด้วยวิธีการอื่นๆ จึงนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยใช้สารทางชีวภาพเอนไซม์ในกลุ่มของอะไมเลสและเซลลูเลสช่วยย่อยและลดขนาดของอนุภาครำข้าวรวมถึงองค์ประกอบของสตาร์ชในรำข้าวต่อไป ผลการทดลองได้อธิบายไว้ในหัวข้อผลการทดลองของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติต่างๆ ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ของการศึกษาขั้นต่อไปแล้ว

4.3 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

4.3.1 ผลของเอนไซม์ผสมต่อสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติทางเคมีของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์แสดงดังตารางที่ 4.7 ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของเอนไซม์ที่ใช้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่า pH ของน้ำนมรำข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวอย่างควบคุม และที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ผสมต่างกัน ($p < 0.05$) ค่า pH ของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวอยู่ในช่วง 5.95 ± 0.03 ถึง 6.03 ± 0.01 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างชุดควบคุม (6.66 ± 0.03) ($p < 0.05$) ในขณะที่น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้ามีค่า pH เท่ากับ 6.99 ± 0.02

นอกจากนี้ผลการใช้เอนไซม์ผสมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS) ด้วยเช่นกัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำนมรำข้าวมีความแตกต่างกับตัวอย่างชุดควบคุม (2.00 ± 0.00) ($p < 0.05$) ตลอดจนน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (11.7 ± 0.58) แม้ว่าน้ำนมรำข้าวไม่มีการเติมน้ำตาล แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าที่ได้จากการทดลองอาจมาจากองค์ประกอบแซคคาไรค์ในน้ำนมรำข้าวที่ถูกย่อยโดยเอนไซม์จนมีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงเป็นสารจำพวกโมโนแซคคาไรค์มากกว่าการเติมน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ สตาร์ชเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดและเป็นแหล่งสำคัญสำรองชนิดพอลิแซคคาไรค์ในธัญพืช ในระดับโมเลกุลองค์ประกอบที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินคือน้ำตาลกลูโคส หลังจากการย่อยของเอนไซม์กับสตาร์ชในน้ำนมรำข้าวจะให้โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำคือ α -dextrins มากกว่าการย่อยที่

ตำแหน่งพันธะ α -(1,4) พอลิเมอร์สตาร์ช (Goesaert, Courtin, and Delcour, 2008) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช เช่น เส้นใย (เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ) ที่ยังประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสอยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างทางเคมีด้วย ดังนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในน้ำนมรำข้าวที่เพิ่มขึ้นเป็นไปได้จากการย่อยกลุ่มของโมโนแซคคาไรด์ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์

ความหนืดเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม (Yu et al., 2007) ซึ่งเป็นที่น่าสนใจต่อผู้บริโภค ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติด้านความหนืดของน้ำนมรำข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.7 จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดของน้ำนมรำข้าวที่มีการใช้เอนไซม์มีค่าอยู่ในช่วง 3.04 ± 1.01 cP (วันที่ 0) ถึง 3.12 ± 1.25 cP (วันที่ 7) ขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าในช่วง 3.12 ± 1.42 cP (วันที่ 0) และ 3.27 ± 1.84 cP (วันที่ 7) ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติทางเคมีของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ความเข้มข้นของ เอนไซม์ผสม (ยูนิต) [*]	pH	ปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำ (^o Brix)	ความหนืด (cP)	
			วันที่ 0	วันที่ 7
0 ^{**}	6.66 ± 0.03^a	2.00 ± 0.00^d	3.12 ± 1.42^a	3.27 ± 1.84^a
50	5.95 ± 0.03^c	3.66 ± 0.57^c	3.04 ± 1.01^c	3.10 ± 0.98^d
100	6.03 ± 0.01^b	4.00 ± 0.00^b	3.05 ± 1.43^d	3.11 ± 1.13^c
300	5.98 ± 0.00^d	4.00 ± 0.00^b	3.07 ± 1.60^c	3.11 ± 1.12^c
500	6.01 ± 0.02^c	4.33 ± 0.57^a	3.09 ± 1.67^b	3.12 ± 1.25^b

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{*} แอลฟา-อะไมเลส + เซลลูเลส (1:1, ยูนิต/ยูนิต)

^{**} ตัวอย่างควบคุม (ไม่มีการเติมเอนไซม์ผสมลงไป)

ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า น้ำมันรำข้าวที่มีการใช้ เอนไซม์จะให้ค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า (9.87 ± 1.05 cP) ผลการทดลอง สามารถบ่งชี้ได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความหนืดขึ้นอยู่กับเวลาและสถานะของการเก็บรักษา และสามารถส่งผลต่อความคงตัวของน้ำมันรำข้าวอีกด้วย เนื่องจากความหนืดที่สูงจะช่วยให้อนุภาค ขนาดใหญ่ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าวสามารถแขวนลอยอยู่ได้ (Faccin et al., 2009)

สมบัติทางด้านสีของน้ำมันรำข้าวหลังจากผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เป็นสิ่งบ่งชี้ที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์อาหารมีผลโดยตรงต่อการยอมรับของผู้บริโภค ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อคุณภาพสี แสดงดังตารางที่ 4.8 ลักษณะสีของน้ำมันรำข้าวพบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าความสว่าง (L^*) (57.20 ± 0.28 ถึง 72.22 ± 0.01) สีแดง (a^*) (-1.91 ± 0.02 ถึง 0.67 ± 0.04) และ สีเหลือง (b^*) (8.57 ± 0.12 ถึง 9.44 ± 0.03) เมื่อมีการทดลองกับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่แตกต่างกัน ในขณะที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างชุดควบคุมและน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อค่าสีของน้ำมันรำข้าว พาสเจอร์ไรส์เปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า

ความเข้มข้นของเอนไซม์ผสม (ยูนิต)		L^*	a^*	b^*
0 ^{**}		71.68 ± 0.20^b	-0.96 ± 0.03^b	8.20 ± 0.05^b
50		57.59 ± 0.17^c	0.62 ± 0.02^a	8.57 ± 0.12^b
100		57.40 ± 0.03^c	0.63 ± 0.05^a	8.72 ± 0.04^b

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ความเข้มข้นของเอนไซม์ผสม (ยูนิต)		L^*	a^*	b^*
300		57.20 ± 0.28^c	0.58 ± 0.03^a	8.63 ± 0.12^b
500		56.87 ± 0.32^c	0.67 ± 0.04^a	8.82 ± 0.24^b
น้ำนมถั่วเหลืองทาง การค้า		72.22 ± 0.01^a	-1.91 ± 0.02^c	9.44 ± 0.33^a

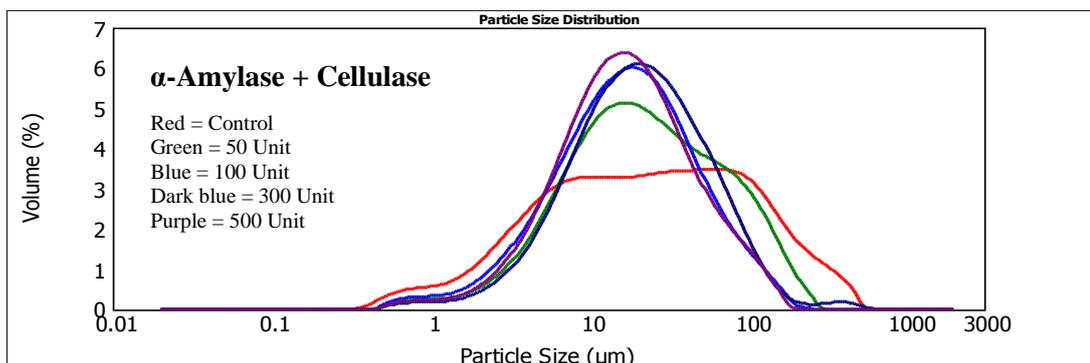
หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
** หมายถึง ตัวอย่างควบคุม (ไม่มีการเติมสิ่งใดๆลงไป)

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำนมรำข้าวจากการใช้เอนไซม์แสดงให้เห็น
ถึงการลดลงของค่าความสว่าง (L^*) ($p < 0.05$) ขณะที่น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าให้ค่าความสว่างของ
ผลิตภัณฑ์สูงที่สุด (72.22 ± 0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ความเข้มข้น
ของเอนไซม์ผสมที่เพิ่มขึ้นหลังเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา
2 ชั่วโมง ส่งผลให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ปรากฏการณ์นี้อาจ
สามารถอธิบายได้จากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Non enzymatic browning reaction) หรือ
ปฏิกิริยามอลดาร์ด ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) กับกรดอะมิโนโปรตีน หรือ
สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา (นิธิยา และ พิมพ์เพ็ญ, 2553; และ Perez
and Yaylayan, 2010) เนื่องจากองค์ประกอบจำพวกกลุ่มคาร์โบไฮเดรตในน้ำนมรำข้าวเมื่อถูก

เอนไซม์ย่อยจะให้ผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นสารโมเลกุลที่มีน้ำหนักเล็กลงจำพวกน้ำตาลโมเลกุลคู่หรือโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งหน่วยเล็กที่สุดคือน้ำตาลกลูโคสที่มีบทบาทเป็นน้ำตาลรีดิวส์ได้จากการเกิดปฏิกิริยาบวกกับกรดอะมิโนโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนมรำข้าว และมีการบ่มน้ำนมรำข้าวสำหรับเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของการทดลอง ดังนั้นค่าความสว่างที่ลดลงของผลิตภัณฑ์อาจเกิดจากปัจจัยดังกล่าว ขณะที่ค่า a^* เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสีแดงและสีเขียวของตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการใช้เอนไซม์ในน้ำนมรำข้าวแต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างชุดควบคุม (-0.96 ± 0.03) และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (-1.91 ± 0.02) ($p < 0.05$) ผลที่ได้บ่งชี้ว่าการใช้เอนไซม์มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าว ในขณะที่ค่า b^* เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสีเหลืองและสีฟ้า ตัวอย่างที่มีการใช้เอนไซม์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม (8.20 ± 0.05) ($p > 0.05$) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (9.44 ± 0.33) ($p < 0.05$)

4.3.2 ผลของเอนไซม์ผสมต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

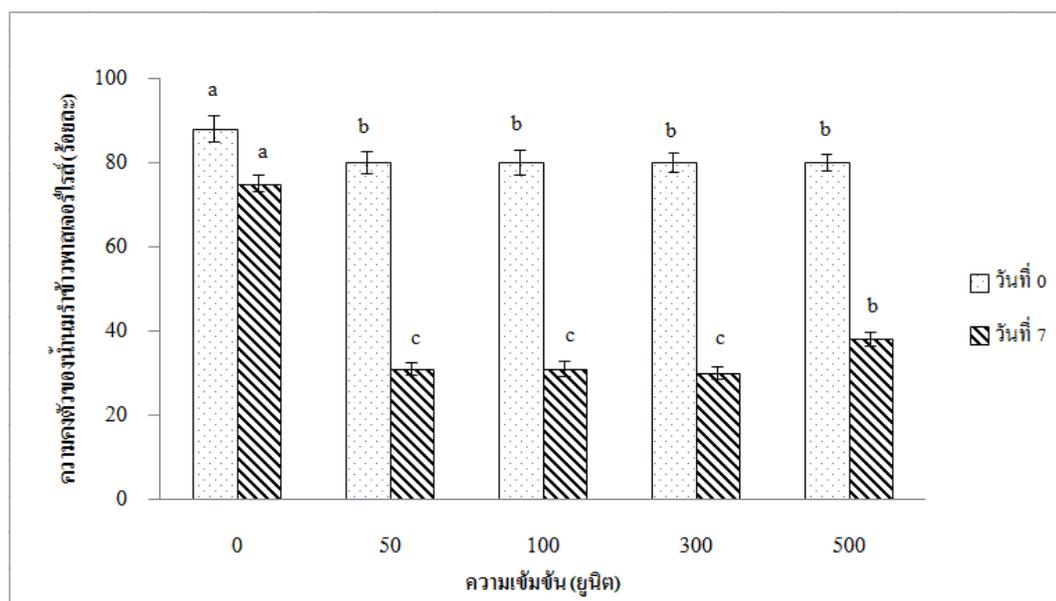
ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์สำหรับการใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 0, 50, 100, 300 และ 500 ยูนิตของเอนไซม์ผสม แสดงดังภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ที่ 25.64 ถึง 51.48 ไมโครเมตร ในขณะที่ตัวอย่างชุดควบคุมอยู่ที่ 0.1 ถึง 1,000 ไมโครเมตร เนื่องจากน้ำนมที่ได้มีลักษณะเป็นอิมัลชัน การกระจายตัวของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่ตรวจพบอาจเกิดจากการแขวนลอยของอนุภาคของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ ไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำนมรำข้าว ซึ่งเอนไซม์ในกลุ่มของอะไมเลสและเซลลูเลสไม่สามารถย่อยโมเลกุลของสารเหล่านี้ได้ ในขณะที่การใช้เอนไซม์ในน้ำนมรำข้าวสามารถช่วยลดขนาดของอนุภาคของรำข้าวและองค์ประกอบต่างๆ ในรำข้าวได้ เช่น พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ สตาร์ช และสารที่เป็นองค์ประกอบพวกเซลลูโลสอื่นๆ (Keshtkaran et al. 2013; and Durand et al. 2003) จึงส่งผลให้ตัวอย่างที่มีการใช้เอนไซม์แสดงการกระจายตัวของอนุภาคที่มีขนาดลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามแม้การศึกษาก่อนหน้านี้จะตระหนักถึงความคงตัวของน้ำนมรำข้าวที่ได้โดยการใช้สารเพิ่มความคงตัวเข้าช่วย แต่การใช้เอนไซม์เพื่อช่วยลดขนาดโมเลกุลและอนุภาคมีผลต่อความคงตัวของน้ำนมรำข้าวเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแยกชั้นของตะกอน ซึ่งควรมีการศึกษาเปรียบเทียบในขั้นต่อไป



ภาพที่ 4.7 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

4.3.3 ผลของเอนไซม์ผสมต่อความคงตัวของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างอะไมเลสกับเซลลูเลสต่อความคงตัว (ร้อยละ) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แสดงดังภาพที่ 4.8 จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างชุดควบคุมมีความคงตัวสูงสุด ปริมาณการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะวันที่ 7 ของการเก็บรักษา เป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่ตัวอย่างชุดควบคุมแสดงความคงตัวได้ดีกว่าน้ำนมรำข้าวที่มีการใช้เอนไซม์ ปรากฏการณ์นี้อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบต่างๆ ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงความคงตัวในทางกายภาพ (McClements, 2007) กล่าวคือ องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำนมรำข้าวหลังจากถูกย่อยด้วยเอนไซม์จะให้ขนาดอนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง (Fraction) และมีโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนไป ส่วนที่มีขนาดเล็กเหล่านี้ของสารพวกแซ็กคาไรด์ โปรตีน ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำนมรำข้าวจะไม่สามารถแขวนลอยอยู่ได้ในเครื่องตีระบบอิมัลชัน และนำไปสู่การแยกชั้นและตกตะกอน (McClements and Li, 2010) ขณะที่อนุภาคของไขมันสามารถนำไปสู่การแยกชั้นแบบ Sedimentation creaming ในน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ได้ (Piorkowski and McClements, 2014)

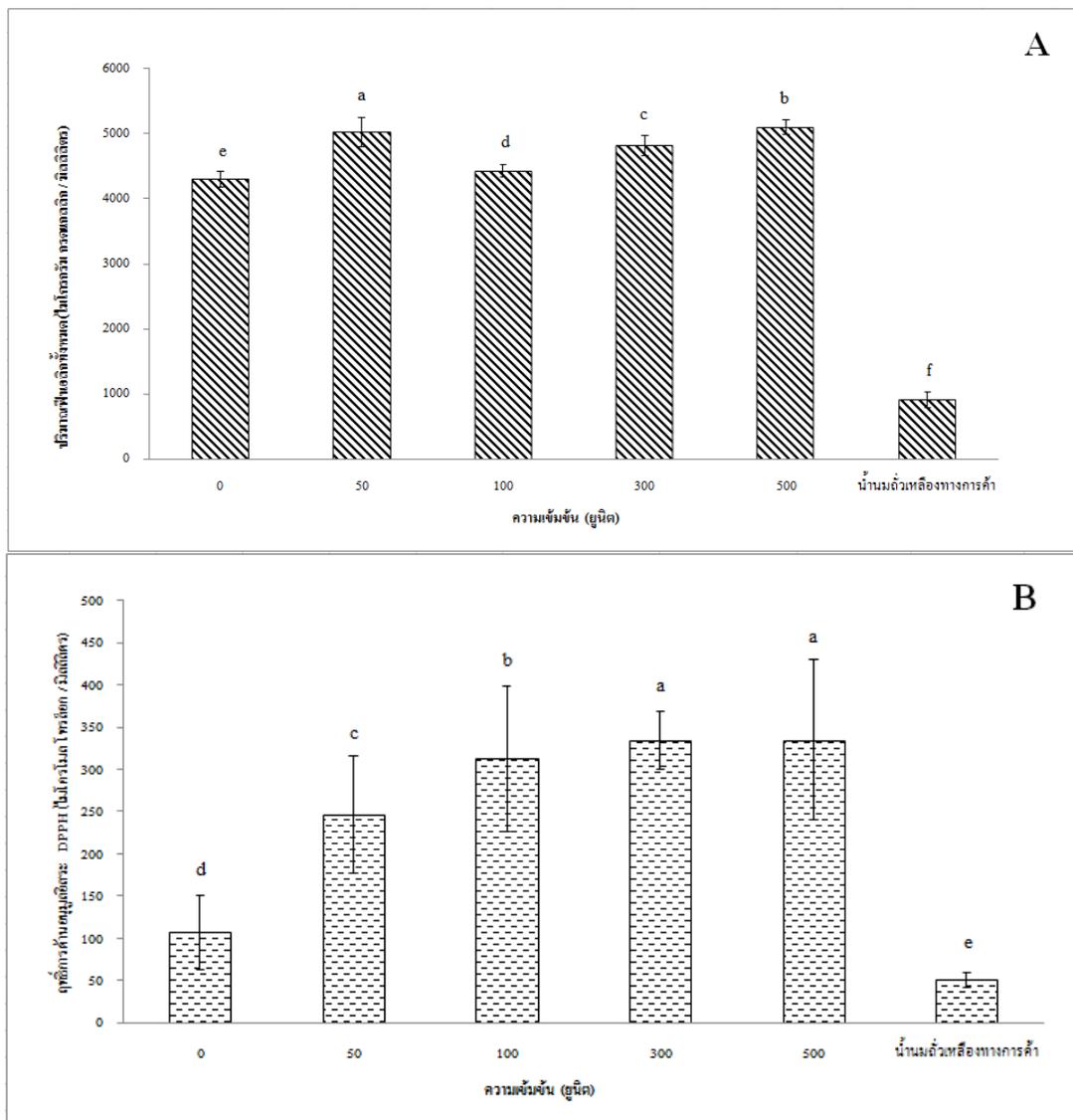


ภาพที่ 4.8 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อความคงตัว (ร้อยละ) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

4.3.4 ผลของเอนไซม์ต่อฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (A) และ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (B) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ตรวจวิเคราะห์และรายงานผลการทดลองดังภาพที่ 4.9 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ตลอดจนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าอยู่ในช่วง 908.60 ± 0.08 ถึง $5,133.33 \pm 0.01$ ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร และ 50.80 ± 0.10 ถึง 334.44 ± 0.01 ไมโครโมลโทรลีสต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่บางการศึกษาก่อนหน้านี้ได้รายงานเกี่ยวกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างจำพวกธัญพืชจะมีค่าอยู่ในช่วง 1,506 ถึง 1,853 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ซึ่งได้รายงานผลไว้โดย Ryan, Thondre, and Henry (2011) เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมรำข้าวหลังการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์พบว่ามีความสูงกว่าน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (50.80 ± 0.10 ไมโครโมลโทรลีสต่อมิลลิลิตร) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ($p < 0.05$) น้ำนมรำข้าวที่ได้จากการใช้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแสดงปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบ (น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า) ตลอดจนตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชุดควบคุม ปรากฏการณ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์มีอิทธิพลต่อกิจกรรมการต้าน

อนุมูลอิสระของน้ำนมร่ำข้าวที่ได้จากการใช้เอนไซม์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของฟีนอลิกทั้งหมดเป็นสาเหตุจากปฏิกิริยาการย่อยของเอนไซม์ที่สามารถสลายพันธะโควาเลนต์ของสารอนุพันธ์กลุ่มโพลีฟีนอลที่เปลี่ยนจากโมเลกุลที่ใหญ่เป็นโมเลกุลเล็ก นอกจากนี้ทำให้เกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ เมื่อพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย สารประกอบอินทรีย์มากมาย เช่น แกรมมาออริซานอล โทโรโคฟีรอลหรือวิตามินอี กรดแกลลิก แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Friedman, 2013) ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระภายในร่ำข้าวจะมีความสามารถที่ดีในการละลายในน้ำส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้จะแสดงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น การศึกษาครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค การเพิ่มขึ้นที่ค่อนข้างสูงของปริมาณฟีนอลิกในน้ำนมร่ำข้าวเกิดจากสาเหตุของการลดลงของขนาดอนุภาค Wanyo et al. (2014) และ Butsat and Siriamornpun (2010) รายงานว่าผลในเชิงบวกของการลดขนาดอนุภาคให้ผลลัพธ์ที่ดีมากสำหรับการสกัดกลุ่มสารฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี เป็นผลให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกในน้ำนมร่ำข้าวที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ อย่างไรก็ตามเพื่อต้องการทราบถึงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่แน่ชัด ดังนั้นการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในน้ำนมร่ำข้าวจึงนำมาตรวจวิเคราะห์เพิ่มเติม Wanyo, Meeso, and Siriamornpun (2014) รายงานถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในกลุ่มของแกลบและร่ำข้าวหลังจากผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ เป็นไปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำนมร่ำข้าวที่มีการใช้เอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์สามารถทำลายโครงสร้างผนังเซลล์ของอนุภาคร่ำข้าวจึงส่งผลให้การสกัดสารเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมา และแสดงสมบัติเชิงหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Shimoni, (2004) ที่ศึกษาเกี่ยวกับความคงตัวและอายุการเก็บรักษาของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพฟลาโวนอยด์ในแก้วเหลืองและกลุ่มธัญพืชระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษา นอกจากนี้เมื่อเซลล์ถูกทำลาย โปรตีนอาจได้รับการปลดปล่อยพร้อมกับสารฟีนอลิกซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้สามารถเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ ผลกระทบเหล่านี้นำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Li, Smith, and Hossain, 2006) ซึ่งควรมีการตรวจสอบและศึกษาต่อไป



ภาพที่ 4.9 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด (A) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (B) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

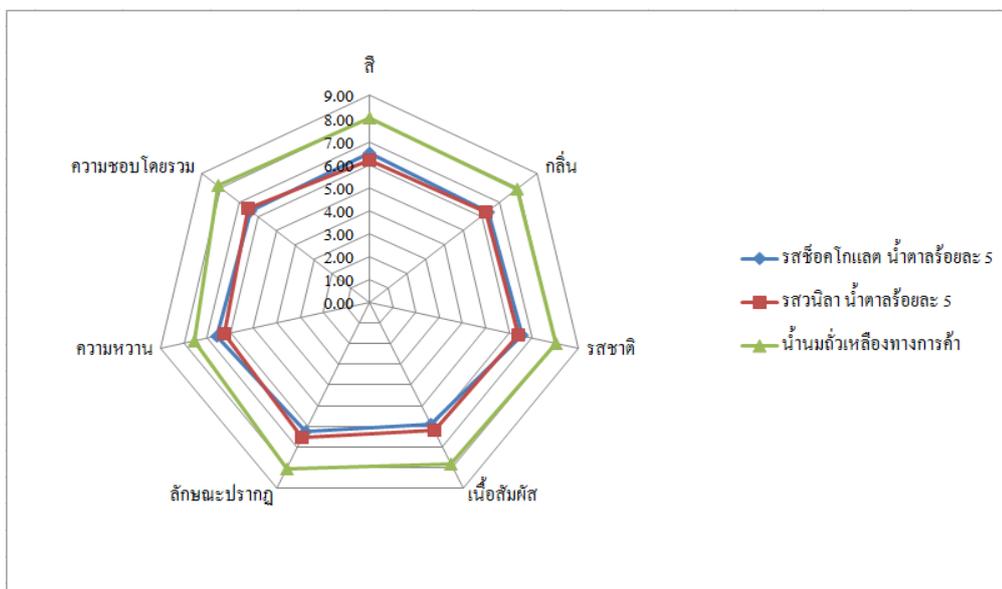
อ้างอิงผลการทดลองก่อนหน้า ตัวอย่างน้ำนมรำข้าวที่นำมาศึกษาเทียบกับตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าพบว่า การใช้สารเพิ่มความคงตัวและการใช้เอนไซม์ในการช่วยย่อยขนาดโมเลกุลและอนุภาคต่างๆ ของน้ำนมรำข้าวให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันออกไปในสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำนมรำข้าวโดยเฉพาะสมบัติทางเคมี กายภาพ และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าการใช้เอนไซม์ผสมจะมีบทบาทในการเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมรำข้าวก็ตาม แต่คุณภาพ

ด้านอื่นๆ แสดงลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ต่อผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะค่าความสว่างที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ผสม และยังพบว่ามีความคงตัวที่ต่ำเมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 7 วัน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นสามารถเป็นไปได้ในเชิงการค้า การผลิตที่มีประสิทธิภาพให้ลักษณะคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งสำคัญ ตลอดจนการลดต้นทุนในการผลิต แต่ในขณะที่การใช้เอนไซม์ผสมพบว่าเป็นการเพิ่มต้นทุนที่มากขึ้น และมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ไม่พึงประสงค์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเพิ่มความคงตัวไฮโดรคอลลอยด์ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้อิโพรคอลลอยด์กับเอนไซม์ผสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารเพิ่มความคงตัวมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เอนไซม์ผสม และปริมาณที่เหมาะสมของการทดลองครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำนมร่ำข้าว คือ การใช้สารเพิ่มความคงตัวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดแซนแทนกัมที่ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ดังนั้นสูตรเบื้องต้นของน้ำนมร่ำข้าวอัตราส่วน 1:15 ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เมื่อพิจารณาจากสมบัติด้านเคมี กายภาพ เคมีกายภาพ ความหนืด (ความหนืดไม่เกิน 130cP สำหรับการผลิตเครื่องดื่ม) (Priek, Wei, Nelson, and Steinberg, 1980) และความคงตัวของผลิตภัณฑ์สุดท้ายแล้ว ตัวอย่างดังกล่าวจึงได้รับพิจารณาและนำมาศึกษาในขั้นต่อไป สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่นรสต่างๆ รวมถึงระดับความหวานของน้ำตาลที่ต่างกัน เพื่อตอบสนองความต้องการและการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น โดยใช้เกณฑ์จากการให้คะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดจากการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นตัวเลือก สูตรน้ำนมร่ำข้าวที่ดีที่สุด เพื่อนำไปแปรรูปเป็นน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผงพร้อมชงต่อไป

4.4 การปรับปรุงกลิ่นรสของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์

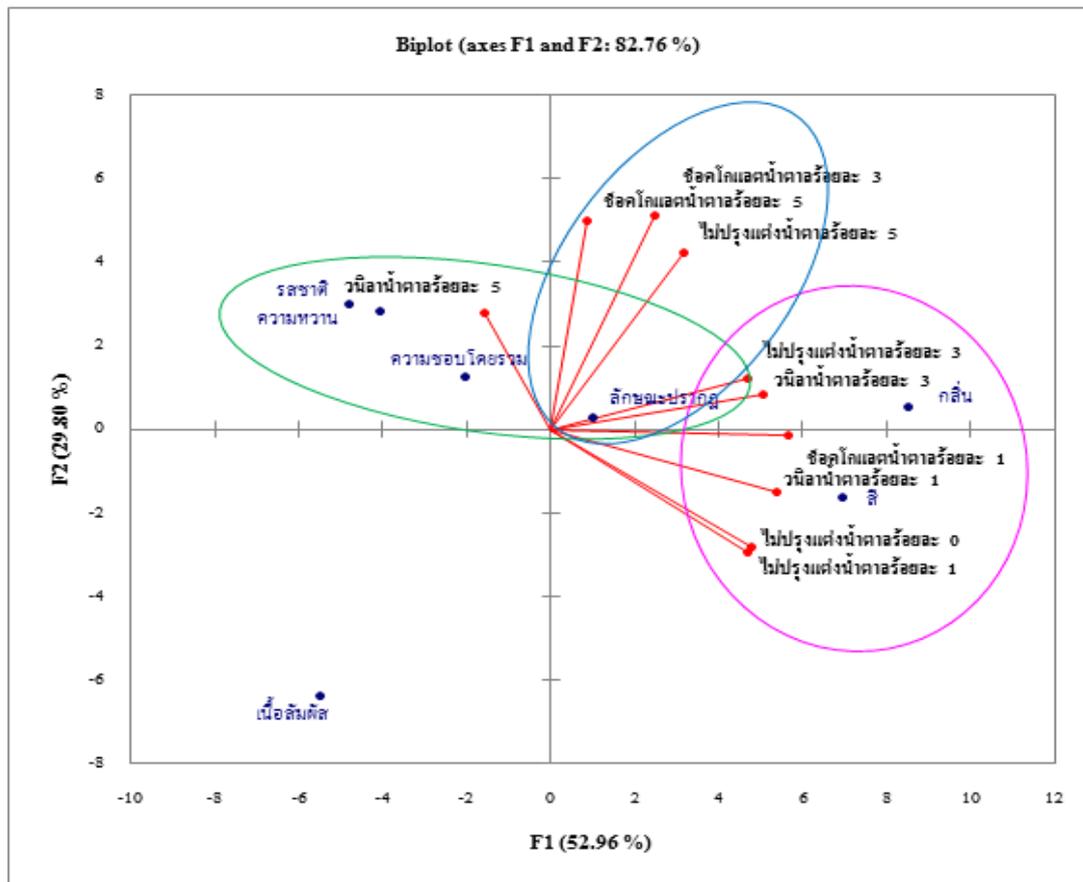
น้ำนมร่ำข้าวอัตราส่วน 1:15 ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ จากการเลือกขั้นต้น ได้รับเลือกมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ในการเติมแต่งกลิ่นรสและระดับความหวานของผลิตภัณฑ์ และประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ (สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ ความหวาน และความชอบโดยรวม) โดยผลของการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ปรุงแต่งกลิ่นรสที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะแสดงดังตารางที่ 4.9 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบน้ำนมร่ำข้าวกลิ่นรสธรรมชาติ ช็อคโกแลต และวนิลา มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ 4.22-6.52 คะแนน ตัวอย่างชุดควบคุมมีคะแนนจากผู้ประเมินน้อยที่สุด (3.52 คะแนน) นอกจากนี้ผลการทดสอบแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับทุกๆ ลักษณะของน้ำนมร่ำข้าว

แต่ละกลิ่นรส เมื่อพิจารณาจากระดับความหวานของน้ำตาลในน้ำนมรำข้าวทั้ง 3 กลิ่นรส พบว่า น้ำนมรำข้าวกลิ่นรสช็อคโกแลตและน้ำนมรำข้าวกลิ่นรสวนิลาที่ระดับความหวานร้อยละ 5 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร แสดงคะแนนการประเมินทางลักษณะในด้านต่างๆ ค่อนข้างสูงกว่าตัวอย่าง น้ำนมรำข้าวอื่น ตลอดจนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า แม้ว่าน้ำนมรำข้าวกลิ่นรส วานิลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีคะแนนการชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์สูงสุด แต่ลักษณะอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ควรพิจารณาด้วยเช่นกัน ภาพที่ 4.10 แสดง ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร และกลิ่นรสช็อคโกแลตหรือวนิลาที่ความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า จะเห็นได้ว่าบางลักษณะคุณภาพของ น้ำนมรำข้าวกลิ่นรสวนิลาจะมีคะแนนที่ต่ำกว่ากลิ่นรสช็อคโกแลต เช่น สี กลิ่น และรสชาติ เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบและอธิบายผลการทดลองสำหรับการคัดเลือกสูตรน้ำนมรำข้าวที่ดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวให้มีลักษณะเทียบเท่ากับน้ำนมถั่วเหลืองทาง การค้าที่นำมาเปรียบเทียบจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น ตัวอย่างน้ำนมรำข้าวที่มีคะแนนจากการประเมินสูงที่สุดหรือใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้ามากที่สุด จะได้รับการพิจารณาสำหรับการนำไปแปรรูปเป็นน้ำนมรำข้าวชนิดผงพร้อมชงต่อไป



ภาพที่ 4.10 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 และกลิ่นรสช็อคโกแลตหรือวนิลาที่ความหวานร้อยละ 5 เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

หนึ่งเทคนิคของการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สามารถนำมาช่วยอธิบายในการทดลองครั้งนี้ได้ดียิ่งขึ้น คือ เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม (Principal component analysis: PCA) (Lawless and Heymann, 1998) ภาพที่ 4.11 แสดงองค์ประกอบร่วมของลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่มีกลิ่นรสและระดับความหวานของน้ำตาลที่ต่างกัน ผลวิเคราะห์จากความแปรปรวนของการวิเคราะห์ Biplot อธิบายได้ร้อยละ 82.76 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของน้ำนมรำข้าวทุกตัวอย่างไม่มีผลต่อคุณภาพของน้ำนมรำข้าวที่พัฒนาขึ้น ขณะที่ตัวอย่างกลิ่นรสซ็อกโกแลตที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 3 และร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกลิ่นรสที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เด่นชัดที่สุด ขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ มีค่าสี และกลิ่นที่ค่อนข้างเด่น อย่างไรก็ตามน้ำนมรำข้าวกลิ่นรสวานิลลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นตัวอย่างการทดลองเดียวที่ให้ผลการทดลองที่ชัดเจนต่อคุณลักษณะของรสชาติ ระดับความหวาน และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ Ma, Li, Han, Yan, Wang, and Sun (2015) รายงานผลในลักษณะเดียวกันกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการจัดองค์ประกอบร่วมของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลือง ที่อธิบายเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ (กลิ่น เนื้อสัมผัสของวัตถุดิบที่นำมาใช้ ความหวาน สี ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์) มีผลต่อคุณภาพของนมถั่วเหลือง ผลการศึกษาพบว่ามีความคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูงที่สุด รองลงมาคือ ความมีเนื้อ สี และกลิ่น ตามลำดับ นอกจากนี้ น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้สามารถเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมจากกลุ่มประชากรประเทศจีนอีกด้วย อ้างถึงเกณฑ์การคัดเลือกสูตรผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวสำหรับการแปรรูปเป็นชนิดผง ตัวอย่างที่มีคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคสูงที่สุด จะได้รับการพิจารณาและคัดเลือกต่อไป ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าน้ำนมรำข้าวที่มีการปรุงแต่งรสวานิลลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นสูตรที่ดีและเหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นน้ำนมรำข้าวชนิดผงพร้อมชงต่อไป



ภาพที่ 4.11 องค์ประกอบร่วม (PCA) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 และกลิ่นรสหรือระดับความหวานที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.9 ผลของการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนแทนกัมร้อยละ 0.1

กลิ่นรส	ความหวาน (ร้อยละ น้ำตาล)	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ลักษณะปรากฏ	ความหวาน	ความชอบ โดยรวม
รสดั้งเดิม (ชุดควบคุม)	0	5.48 ± 1.43 ^h	4.74 ± 1.68 ^k	2.90 ± 1.58 ^k	4.00 ± 1.75 ^k	4.34 ± 1.72 ^k	2.78 ± 1.75 ^k	3.52 ± 1.81 ^k
รสดั้งเดิม	1	5.26 ± 1.52 ^j	4.90 ± 1.64 ^j	3.88 ± 1.49 ^j	4.54 ± 1.73 ^j	4.78 ± 1.54 ^j	3.86 ± 1.84 ^j	4.22 ± 1.61 ^j
รสดั้งเดิม	3	5.64 ± 1.50 ^g	5.38 ± 1.47 ⁱ	5.06 ± 1.91 ^g	4.90 ± 1.92 ^g	5.18 ± 1.55 ^g	5.28 ± 2.04 ^g	5.12 ± 1.81 ^g
รสดั้งเดิม	5	5.66 ± 1.66 ^f	5.94 ± 1.20 ^f	5.76 ± 1.74 ^c	5.44 ± 1.70 ^d	5.74 ± 1.71 ^f	5.74 ± 1.79 ^c	5.68 ± 1.83 ^f
ซ็อกโกแลต	1	5.64 ± 1.63 ^g	5.86 ± 1.68 ^g	4.70 ± 1.91 ^h	4.74 ± 1.77 ⁱ	5.14 ± 1.63 ^h	4.82 ± 1.77 ^h	5.04 ± 1.63 ^h
ซ็อกโกแลต	3	5.88 ± 1.71 ^d	6.00 ± 1.67 ^c	5.96 ± 1.70 ^d	5.24 ± 1.74 ^f	5.92 ± 1.50 ^d	5.94 ± 1.60 ^d	5.88 ± 1.56 ^d
ซ็อกโกแลต	5	6.48 ± 1.71 ^b	6.34 ± 1.42 ^c	6.54 ± 1.49 ^b	5.90 ± 1.53 ^c	6.26 ± 1.50 ^c	6.60 ± 1.51 ^b	6.38 ± 1.44 ^c
วนิลา	1	5.46 ± 2.22 ⁱ	5.80 ± 2.33 ^h	4.44 ± 2.21 ⁱ	4.78 ± 1.95 ^h	4.98 ± 1.99 ⁱ	4.36 ± 2.30 ⁱ	4.82 ± 2.10 ⁱ
วนิลา	3	5.80 ± 1.97 ^c	6.40 ± 1.81 ^b	5.46 ± 1.98 ^f	5.30 ± 1.82 ^c	5.86 ± 1.75 ^c	5.34 ± 1.99 ^f	5.72 ± 1.84 ^c
วนิลา	5	6.20 ± 1.65 ^c	6.26 ± 1.83 ^d	6.42 ± 1.70 ^c	6.22 ± 1.57 ^b	6.52 ± 1.54 ^b	6.28 ± 1.77 ^c	6.52 ± 1.61 ^b
น้ำนมถั่วเหลืองทาง การค้า	-	8.02 ± 1.02 ^a	7.94 ± 1.13 ^a	8.00 ± 1.28 ^a	7.80 ± 1.14 ^a	8.04 ± 1.24 ^a	7.56 ± 1.45 ^a	8.12 ± 0.94 ^a

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ (ผู้ทดสอบ 50 คน)

ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.5 การผลิตน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำนมรำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่จากการศึกษาของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างรำข้าวต่อน้ำ 1:15 เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ และปรุงแต่งกลิ่นรสวนิลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้รับความคัดเลือกเพื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวชนิดผงและทำการศึกษสมบัติด้านต่างๆ ผลผลิตที่ได้จากการผลิตต่อ 1 ลิตรของน้ำนมรำข้าวมีปริมาณร้อยละ 52.42 (ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	1.51 ± 0.06
เถ้า	3.55 ± 0.01
โปรตีน	4.84 ± 0.48
ไขมัน	1.05 ± 0.41
เส้นใย	2.62 ± 0.24
คาร์โบไฮเดรต*	86.43 ± 0.50
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม)**	50.30 ± 0.31

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

* หมายถึง ปริมาณที่หาจากการคำนวณร้อยละความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง

** วิเคราะห์ด้วยวิธีการ Compendium of method for food analysis (2003)

จะเห็นได้ว่าการนำน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์มาทำผงโดยวิธีการทำแห้งแบบผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตลดลงอย่างมาก Jinapong, Suphantharika, and Jamnong (2008) ศึกษาการทำน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงด้วยวิธีการเดียวกันรายงานร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดผงขึ้นอยู่กับปริมาณของของแข็งในตัวอย่างอาหารนั้นๆ (ปริมาณของของแข็งสูงส่งผลให้

ร้อยละการผลิตเพิ่มขึ้น) อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้ได้ผลผลิตปริมาณเพิ่มขึ้น ควรมีการศึกษาวิธีการทำแห้งแบบผงที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวเปรียบเทียบกับ

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง (หอมมะลิ 105) ที่ได้จากการแปรรูปจากสูตรที่เหมาะสมและมีคะแนนความชอบจากผู้บริโภคสูงที่สุดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (ร้อยละ 86.43) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ รองลงมาคือโปรตีน (ร้อยละ 4.84) ไขมัน (ร้อยละ 3.55) เส้นใย (ร้อยละ 2.62) ความชื้น (ร้อยละ 1.51) และไนโตรเจน (ร้อยละ 1.05) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่นำมาผลิตเป็นน้ำนมรำข้าวชนิดผงจะมีปริมาณที่ต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าวที่นำมาใช้ Moongngarm, Daomukda, and Khumpika (2012) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ได้จากข้าวต่างสายพันธุ์ ได้แก่ Khao dok mali 105 (Non-waxy rice) RD6 (Waxy rice and white in color) Black rice (Waxy and dark purple in color) และ Red rice (Non waxy and red-brown in color) โดยรำข้าวที่ได้จากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดเช่นเดียวกับตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ (ร้อยละ 40.63-45.06) รองลงมาคือ

ตารางที่ 4.11 สมบัติทางกายภาพและเคมีกายภาพของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ค่าเฉลี่ย
pH	6.31 ± 0.01
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)	8.67 ± 1.15
ความหนืด (cP)	5.33 ± 0.10
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	0.19 ± 0.02
ปริมาณน้ำอิสระ	0.27 ± 0.08
ความหนาแน่นรวม (กรัม/มิลลิลิตร)	0.57 ± 0.04
การพองตัวของผง (กรัม/กรัม)	36.90 ± 0.39
การละลาย (ร้อยละ)	56.54 ± 5.12
ร้อยละผลผลิต (ร้อยละ)	52.42

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ไขมัน (ร้อยละ 15.85-18.80) โปรีตีน (ร้อยละ 12.07-13.66) เกล็ด (ร้อยละ 9.72-11.41) และเส้นใย (ร้อยละ 11.77-12.68) อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบมากในน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างที่ตรวจพบ (ร้อยละ 50.30 กรัม/100 กรัมตัวอย่าง) ระหว่างกระบวนการผลิตน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ก่อนนำมาแปรรูปเป็นน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

4.5.2 สมบัติทางเคมี - กายภาพของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง เมื่อนำมาละลายน้ำพบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ที่ 6.31 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (8.67 °Brix) ความหนืด (5.33cP) ปริมาณน้ำอิสระ (0.27) และปริมาณกรดทั้งหมดเป็นร้อยละ 0.19 ดังแสดงในตารางที่ 4.11 กระบวนการแปรรูปจากน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์เป็นน้ำนมรำข้าวชนิดผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ส่งผลให้สมบัติทางเคมี และกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเปลี่ยนแปลงไปจากผลิตภัณฑ์ตั้งต้น โดยเฉพาะความหนืด อย่างไรก็ตามค่า pH ของน้ำนมรำข้าวชนิดผงหลังการละลายด้วยน้ำยังคงมีค่าค่อนข้างเป็นกลาง ผลของการเติมแซนแทนกัมและน้ำตาลลงในสูตรตั้งต้นทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชนิดผงมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.17) นอกจากนี้สมบัติด้านอื่นๆ เช่น การละลายของตัวอย่างพบว่า มีค่าร้อยละ 56.54 บ่งชี้ให้เห็นว่าความสามารถในการละลายของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชนิดผงละลายได้ยาก และไม่ใช่น้ำเนื้อเดียวกัน ในขณะที่ค่าความสว่าง (L^*) สีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์รายงานไว้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าสีของน้ำนมรำข้าวชนิดผง

ค่าสี	ค่าเฉลี่ย
L^*	69.51 ± 0.16
a^*	3.61 ± 0.01
b^*	24.65 ± 0.04



หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.5.3 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมรำข้าวชนิดผง ซึ่งให้เห็นว่าในผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังจากผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ ยังคงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเหลืออยู่ (220.56 ± 5.52 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) และแสดงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เมื่อเทียบกับสารละลาย Trolox เป็น 24.19 ± 2.64 ไมโครโมล Trolox ต่อกรัมตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ในขณะที่การศึกษาก่อนหน้าของ Adom and Liu (2002); Shahidi and Ambigaipalan (2015) ได้รายงานปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างธัญพืชที่เป็นพื้นฐานของการผลิตเครื่องดื่มนม โดยถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 15.55 ± 0.60 ไมโครโมลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ตามด้วยข้าวสาลี (7.99 ± 0.39 ไมโครโมลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) ข้าวโอ๊ต (6.53 ± 0.19 ไมโครโมลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) และ ข้าว (5.56 ± 0.17 ไมโครโมลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) อย่างไรก็ตามสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญเหล่านี้สามารถถูกทำลายได้ง่ายเนื่องจากกระบวนการความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปน้ำนมรำข้าวเป็นผงโดยใช้อุณหภูมิที่สูงในระหว่างกระบวนการผลิต (Kim et al., 2011; Thanonkaew et al., 2012; Xu and Chang, 2011) เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนสามารถทำลายโครงสร้างขององค์ประกอบในน้ำนมรำข้าว เช่น โปรตีน และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพกลุ่มของฟีนอลิก ซึ่งทั้งสองชนิดนี้สามารถรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและแสดงบทบาทเชิงหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์อาหาร อ้างถึงการรายงานของ Wang, Yu, and Chou (2006) กล่าวว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยของเครื่องดื่มนมที่ทำจากถั่วเหลือง มีการใช้อุณหภูมิที่สูงในกระบวนการทำแห้ง (มากกว่า 150 องศาเซลเซียส) ทำให้เกิดการลดลงของสมบัติต้านอนุมูลอิสระของอาหารจากถั่วเหลืองเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำนมรำข้าวที่ลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และกระบวนการแปรรูปโดยตรง อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบอื่น เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) ควรมีการพิจารณาเนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถช่วยลดการสูญเสียของคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Silvan, Amigo-Benavent, and Dolores del Castillo, 2014)

ตารางที่ 4.13 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง	ค่าเฉลี่ย
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมตัวอย่าง)	220.56 ± 5.52
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ไมโครโมล โทรล็อก/กรัมตัวอย่าง)	24.19 ± 2.64

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.5.4 คุณค่าทางโภชนาการน้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงที่ได้แสดงให้เห็นถึงคุณค่าทางโภชนาการในด้านสารอาหารหลัก (Macronutrients) และสารอาหารรอง (Micronutrients) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายต้องการ และกรดไขมันอิสระที่มีประโยชน์ เช่น โอเมกา 3 โอเมกา 6 และ โอเมกา 9 เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากไข่และโปรตีนจากถั่วเหลือง (Wang, Hettiarachchy, Qi, Burks, and Siebenmorgen, 1999) จากการทดลองพบว่าในน้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงจากตารางที่ 4.14 พบปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นชนิดไลซีนมีปริมาณสูงที่สุด (624.23) เมื่อเทียบกับชนิดอื่น รองลงมาคือกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (566.64) ลูซีน (552.79) ไทโรซีน (428.05) และกรดกลูตามิก (400.42) มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบปริมาณของกรดอะมิโนฮิสติดีน (252.23 มิลลิกรัม/100กรัมตัวอย่าง) ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของทารก และการทำงานของกล้ามเนื้อเป็นอย่างมาก เช่น ช่วยกระตุ้นการทำงานของสมอง เพิ่มความตื่นตัวเสริมความจำ เพิ่มพลังงานให้กล้ามเนื้อ และช่วยให้เซลล์ประสาทแข็งแรงขึ้น ช่วยจัดการกับแอมโมเนียส่วนเกิน และป้องกันโรคกระดูกพรุน เป็นต้น สำหรับกรดอะมิโนไลซีน และกรดอะมิโนฮิสติดีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายเมื่อเทียบกับโปรตีนจากไข่และโปรตีนจากถั่วเหลืองแล้วพบว่าปริมาณกรดอะมิโนไลซีนและกรดอะมิโนฮิสติดีนจากโปรตีนน้ำมันรำข้าวชนิดผงมีปริมาณมากกว่า และยังมีปริมาณกรดอะมิโนมากกว่าที่กำหนดในมาตรฐานกรดอะมิโนในอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่ามีความมากกว่าปริมาณกรดอะมิโนที่เด็กในวัย 2-5 ปี ควรได้รับซึ่งเพียงพอต่อความต้องการอีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Faccin et al. (2009) ได้รายงานผลของปริมาณกรดอะมิโนในรำข้าว และเครื่องคัมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ปรุงแต่งกลิ่นรสพบว่า ปริมาณกรดอะมิโนในรำข้าวอยู่ในช่วงระหว่าง

4359.3-22587.8 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเครื่องดื่มร่ำขาวอยู่ในช่วง 18.7-1487.7 (มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งกรดอะมิโนกลูตามิกมีปริมาณที่พบมากที่สุดในทั้งสองตัวอย่าง

ในขณะที่เดียวกันน้ำมันร่ำขาวอินทรีย์ชนิดผงประกอบด้วยกรดไขมันอิสระหลายชนิด แต่มีปริมาณไม่สูงมากนัก (ตารางที่ 4.15) อย่างไรก็ตามตรวจไม่พบไขมันชนิดทรานส์ (Trans-fatty acids) ซึ่งเป็นไขมันที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพหากได้รับเป็นปริมาณที่สูง กรดไขมันกลุ่มโอเมกา 3, 6 และ 9 จัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เนื่องจากร่างกายสร้างเองไม่ได้และมีความสำคัญต่อระบบประสาทของมนุษย์ น้ำมันร่ำขาวชนิดผงตรวจพบไขมันกลุ่มโอเมกาทั้ง 3 ชนิด ซึ่งมีปริมาณรายงานเป็น มิลลิกรัม/100กรัม คือ โอเมกา 3 (95.02), โอเมกา 6 (1,744.28) และ โอเมกา 9 (2,103.51) การศึกษาของ Faccin et al. (2009) ได้รายงานผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในเครื่องดื่มร่ำขาวพาสเจอร์ไรส์เช่นเดียวกันในหน่วยของร้อยละของไขมันทั้งหมด ซึ่งพบกรดไขมันโอเลอิก (ร้อยละ 43.7) ไลโนเลอิก (ร้อยละ 30.8) และปาล์มมิติก (ร้อยละ 20.3) ตามลำดับ นอกจากนี้พบปริมาณไขมันอิ่มตัว (Saturated fat) สูงถึงร้อยละ 23.8 กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ 1 อัน (Mono-unsaturated fat) ร้อยละ 43.9 และ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่หลายอัน (Polyunsaturated fat) ร้อยละ 32.3 อย่างไรก็ตามอ้างอิงมาตรฐานของสารอาหารที่ควรได้รับต่อวันในการบริโภคจากการรายงานของสำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่าตัวอย่างน้ำมันร่ำขาวมีปริมาณของไขมันอิ่มตัวที่มากกว่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งตามมาตรฐานควรมีปริมาณไขมันอิ่มตัวที่ได้รับร้อยละ 20 ต่อวัน (สำนักโภชนาการ, 2554)

นอกจากนี้ น้ำมันร่ำขาวอินทรีย์ชนิดผงที่ได้ยังมีปริมาณของสารอาหารหลัก ได้แก่วิตามิน โดยเฉพาะกลุ่มของวิตามินบีต่างๆ ที่สามารถพบได้ในร่ำขาวเริ่มต้น รวมถึงแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกายด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 4.16) โดยทั่วไปร่ำขาวประกอบไปด้วยวิตามินบางชนิดที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ (โทโคฟีรอล หรือ วิตามินอี) ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อนำร่ำขาวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันร่ำขาวอินทรีย์ชนิดผงด้วยกระบวนการต่างๆ พบว่ามีวิตามินอีอยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น 0.42 มิลลิกรัม/100กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับร่ำขาวทางการค้าของแต่ละสายพันธุ์จากการศึกษาของ Qbal, Bhangar and Anwar (2005) สารโทโคฟีรอลในน้ำมันร่ำขาวชนิดผงมีปริมาณที่ต่ำกว่ามาก สิ่งที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้จากสาเหตุของร่ำขาวต่างสายพันธุ์ จึงส่งผลถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในร่ำขาวและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากร่ำขาว ตารางที่ 4.16 ชี้ให้เห็นว่า น้ำมันร่ำขาวชนิดผงแสดงปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณวิตามินในผลิตภัณฑ์ โดยมีแร่ธาตุ 3 ตัวหลักที่พบในปริมาณมาก คือ ฟอสฟอรัส (7911.50) โพแทสเซียม (5687.50) และ แมกนีเซียม (3311.50) มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ แร่ธาตุที่กล่าวมานั้นมีปริมาณที่สูงมากกว่ามาตรฐานอาหารที่กำหนดไว้ใน การได้รับต่อวันด้วย

เช่นกัน โดยฟอสฟอรัสควรได้รับอย่างน้อยวันละ 800 มิลลิกรัม โพแทสเซียม (800 มิลลิกรัม) แมกนีเซียม (350 มิลลิกรัม) แคลเซียม (800 มิลลิกรัม) เหล็ก (15 มิลลิกรัม) สังกะสี (14 มิลลิกรัม) และ ไอโอดีน (150 ไมโครกรัม) (สำนักโภชนาการ, 2554)

ตารางที่ 4.14 ปริมาณกรดอะมิโนของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

กรดอะมิโน	น้ำนมร่ำข้าวชนิดผง**	มาตรฐานในอาหาร**	ไข่**	ถั่วเหลือง**
ฮิสติดีน*	252.23 ± 0.62	-	3.01	0.83
ไอโซลิวซีน*	221.80 ± 11.46	0.80	0.77	1.62
ลูซีน*	552.79 ± 72.10	0.32	1.09	2.81
ไลซีน*	624.23 ± 28.93	0.70	0.86	2.03
เมไทโอนีน*	59.20 ± 4.67	-	0.41	0.45
ฟีนิลอะลานีน*	566.64 ± 31.11	-	0.70	2.06
ทรีโอนีน*	37.89 ± 1.31	0.35	0.63	0.59
ทริพโตเฟน*	20.48 ± 0.99	-	-	-
วาเลีน*	224.95 ± 4.16	0.48	0.84	2.16
อะลานีน	143.84 ± 2.05	-	0.73	1.55
อาร์จินีน	< 5.00	-	0.75	0.22
กรดแอสพาร์ติก	161.79 ± 4.35	-	1.19	5.20
ซีสตีลีน	70.91 ± 5.01	0.61	0.30	0.69
กรดกลูตามิก	400.42 ± 1.94	-	1.57	8.88
ไกลซีน	89.92 ± 5.01	-	0.41	2.04
ไฮดรอกซีไลซีน	< 5.00	-	-	-
ไฮดรอกซีโพรลีน	< 5.00	-	-	-
โพรลีน	106.74 ± 1.79	-	0.51	1.77
เซรีน	47.61 ± 0.35	-	0.94	0.23
ไทโรซีน	428.05 ± 40.21	0.68	0.51	1.51

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ วิเคราะห์ ด้วยวิธีการของ AOAC 994.12, 988.15 (2000)

* หมายถึง กรดอะมิโนจำเป็น

** หมายถึง รายงานเป็นหน่วย มิลลิกรัม/100กรัมตัวอย่าง

ตารางที่ 4.15 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

กรดไขมันอิสระ	ปริมาณ (กรัม/100กรัม)	กรดไขมันอิสระ	ปริมาณ (กรัม/100กรัม)
กรดบิวทีริก (C4:0)	ND	กรดปาล์มโทเลอิก (C16:1n7)	ND
กรดคาโปรอิก (C6:0)	ND	ซีส-9-กรดโอเลอิก (C18:1n9t)	2.11 ± 0.01
กรดคาไพโรอิก (C8:0)	ND	ซีส-9, 12-กรดไลโนเลอิก (C18:2n9)	1.74 ± 0.00
กรดคาพริก (C10:0)	ND	กรดแอลฟาไลโนเลนิก (C18:3n3)	0.10 ± 0.01
กรดลอริก (C12:0)	ND	กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะ คู่ 1 อัน	2.11 ± 0.01
กรดไตรดیکاโนอิก (C13:0)	0.12 ± 0.01	กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะ คู่หลายอัน	1.84 ± 0.01
กรดไมริสติก (C14:0)	0.03 ± 0.00	ไขมันอิ่มตัว	1.63 ± 0.01
กรดปาล์มิติก (C16:0)	124.00 ± 1.41	ไขมันไม่อิ่มตัว	3.94 ± 0.00
กรดเฮปตาดีคาโนอิก (C17:0)	0.01 ± 0.00	ไขมันชนิดทรานส์	ND
กรดสเตียริก (C16:0)	0.13 ± 0.00	กรดไขมันโอเมกา 3*	95.02 ± 0.28
กรดอะราคิติก (C20:0)	0.04 ± 0.00	กรดไขมันโอเมกา 6*	1744.28 ± 2.21
กรดบีฮีนิก (C22:0)	0.02 ± 0.00	กรดไขมันโอเมกา 9*	2103.51 ± 10.12
กรดลิกโนซีริก (C24:0)	0.04 ± 0.00		

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

วิเคราะห์ ด้วยวิธีการของ AOAC 996.06 (2012)

* หมายถึง รายงานต่อหน่วยเป็น มิลลิกรัม/100กรัม

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 4.16 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

คุณค่าทางโภชนาการ (ไมโครนิวเทรียนท์)	ชนิด	ปริมาณ
วิตามิน (มิลลิกรัม/100กรัม)	บี 1	0.218 ± 0.00
	บี 2	0.230 ± 0.00
	บี 3 (ไนอะซิน)	0.10 ± 0.00
	อี	0.42 ± 0.00
แร่ธาตุ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	แคลเซียม (Ca)	442 ± 4.24
	เหล็ก (Fe)	15.25 ± 0.07
	แมกนีเซียม (Mg)	3311.50 ± 34.65
	ฟอสฟอรัส (P)	7911.50 ± 71.42
	โพแทสเซียม (K)	5687.50 ± 102.53
	สังกะสี (Zn)	25.62 ± 1.64

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ
วิเคราะห์ด้วยวิธีการของ AOAC (2012) 942.23 สำหรับวิตามินต่างๆ และ AOAC (2005)
984.27, 999.10 สำหรับแร่ธาตุต่างๆ

4.5.5 สมบัติด้านเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดพาสเจอร์ไรส์และชนิดผง

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Aerobic count plate) *E.coli* / Coliform, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ Yeast / Mold ของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์และชนิดผงที่เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำนมทั้งสองชนิดไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (*E.coli* / Coliform, *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus cereus*) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอาหารที่กำหนดไว้ น้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 4.3×10^3 (วันที่ 0) ถึง 7.3×10^3 CFU/ml (วันที่ 7) สำหรับน้ำนมร่ำข้าวชนิดผงพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.1×10^2 ถึง 1.2×10^2 CFU/ml และต้องไม่พบเชื้อ *E.coli* / Coliform ในขณะที่พบปริมาณ Yeast / Mold เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 5 วัน ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับตัวอย่างพาสเจอร์ไรส์ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอาหารของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (Thai Community Product Standard) มพช.๕๒๘/๒๕๕๘ ของน้ำนมถั่วเหลือง หรือน้ำนมที่ทำจากธัญพืช พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร) และปริมาณ yeast และ mold ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร สำหรับตัวอย่างชนิดผง จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และ Yeast / Mold ที่ตรวจพบของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ทั้งสองชนิด เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำคัญของการเจริญเติบโตเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวได้เป็นอย่างดี อ้างอิงการศึกษาของ Puerari, Magalhães-Guedes, and Schwan (2015) ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของเครื่องดื่มน้ำนมที่มีข้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ พบว่าในผลิตภัณฑ์พบเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มแลคติก และกลุ่มของ *Bacillus spp.* (*Bacillus subtilis* และ *Bacillus cereus*) เกิดขึ้นในเครื่องดื่มน้ำนม และพบปริมาณ Yeast เช่นกัน ผู้วิจัยได้อธิบายว่า ในผลิตภัณฑ์พวกธัญพืชมักจะประกอบไปด้วยปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูง ซึ่งเชื้อในกลุ่มแลคติกที่พบมีความสามารถในการเผาผลาญ หรือนำสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม (Ramos, de Almeida, Pereira, Cardoso, Dias, and Schwan, 2010; Ramos, De-Almeida, Freire, and Schwan, 2011) เพื่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ในสถานะเครื่องดื่มน้ำนมที่มีค่า pH ก่อนข้างเป็นกลาง หรืออยู่ในช่วง 5.5-6.5 จะเป็นสถานะที่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถเจริญได้ด้วย จะเห็นได้ว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวจากตารางที่ 4.17 ของน้ำนมรำข้าวชนิดผงพบปริมาณน้อยกว่าน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ แม้ว่าปริมาณน้ำอิสระของน้ำนมรำข้าวชนิดผงก่อนหน้ามีค่า 0.27 (ตารางที่ 4.11) ซึ่งมีค่าที่ต่ำและเป็นสถานะที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ยาก ในขณะที่พบปริมาณยีสต์ที่เกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษาเพียง 5 วัน อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนจากสถานะแวดล้อมของกระบวนการผลิต การเก็บรักษา ตลอดจนภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ของน้ำนมรำข้าวชนิดผง (สุนันทา วงศ์ปิยชน และ วัชรวิ สุขวิวัฒน์, 2556)

ตารางที่ 4.17 สมบัติด้านจุลินทรีย์ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ ชนิดผงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

ตัวอย่าง*	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ml)					
	ระยะ	ปริมาณ	<i>E.coli</i> /	<i>Staphylococcus</i>	<i>Bacillus</i>	Yeast
	เวลา	จุลินทรีย์	Coliform	<i>aureus</i>	<i>cereus</i>	และ
(วัน)	ทั้งหมด				Mold	
น้ำนมรำข้าว	0	4.3×10^3	ND	ND	ND	ND
พาสเจอร์ไรส์ที่	3	7.0×10^3	ND	ND	ND	ND
เติมแซนแทนกัม	5	7.1×10^3	ND	ND	ND	24
ร้อยละ 0.1	7	7.3×10^3	ND	ND	ND	49
ปรุงแต่งกลิ่นรส						
วนิลา และน้ำตาล						
ร้อยละ 5						
นมรำข้าวอินทรีย์	0	1.1×10^2	ND	ND	ND	ND
ชนิดผง	3	1.1×10^2	ND	ND	ND	ND
	5	1.2×10^2	ND	ND	ND	9
	7	1.2×10^2	ND	ND	ND	17

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ด้วยวิธีการตรวจวิเคราะห์แบบรวดเร็ว Petrifilm

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

* สภาวะการเก็บรักษาของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ 4 องศาเซลเซียส และนมรำข้าวชนิดผงที่ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส)

4.5.6 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

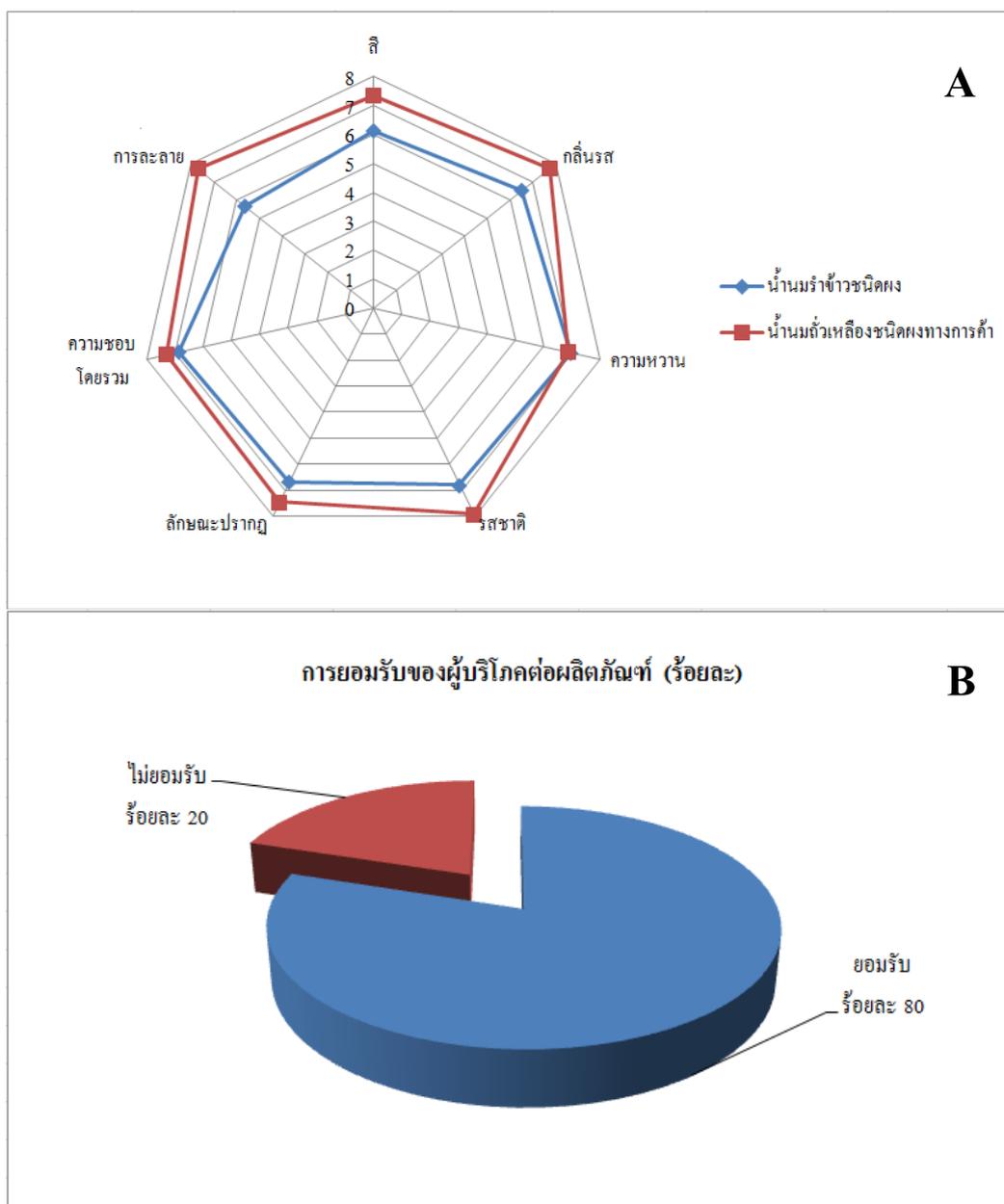
หลังจาก ได้สูตรที่เหมาะสมที่สุดของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ปรับปรุงกลิ่นรสและระดับความหวานของน้ำตาลให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคแล้ว น้ำนมรำข้าวดังกล่าว ได้รับเลือกมาแปรรูปเป็นน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง และประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเป็นที่ยอมรับและมีลักษณะคุณภาพที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้า ที่พบในท้องตลาด การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงจะ ทดสอบชิมเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้าที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และประเมิน ลักษณะคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่นรส ความหวาน รสชาติ ลักษณะปรากฏ ความชอบโดยรวม และการละลายของผลิตภัณฑ์ รวมถึงร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าว อินทรีย์ชนิดผง จากผู้ทดสอบ 50 คน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.12 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้าพบว่า มีความแตกต่างกันของลักษณะทางประสาท สัมผัส ยกเว้นระดับความหวานของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีคะแนนจากการประเมินของผู้บริโภคใกล้เคียง กันมากที่สุด อย่างไรก็ตามน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงมีคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสใน ทุกๆ ด้านลักษณะค่อนข้างสูง (มากกว่า 6 คะแนน) ยกเว้นการละลายของน้ำนมรำข้าวต้องปรับปรุง อย่างมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างชนิดผงทางการค้า ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับร้อยละการละลาย ของผลิตภัณฑ์ข้างต้น (ตารางที่ 4.11) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงมีค่าการ ยอมรับของผู้บริโภคมากถึงร้อยละ 80 อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้สามารถเป็นพื้นฐานสำหรับการ ปรับปรุงพัฒนาน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงเพื่อต่อ ยอดสู่การผลิตในภาคอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เพื่อสุขภาพทางเลือกใหม่ต่อไป

ตารางที่ 4.18 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวชนิดผงเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้า (ผู้ทดสอบ 50 คน)

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	ความหวาน	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	การละลาย	ความชอบโดยรวม
น้ำนมรำข้าวชนิดผง	6.14 ± 1.16 ^b	6.52 ± 1.07 ^b	6.96 ± 1.37 ^a	6.80 ± 1.31 ^b	6.68 ± 1.35 ^b	5.66 ± 0.98 ^b	6.88 ± 1.22 ^b
น้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้า	7.34 ± 1.04 ^a	7.76 ± 0.98 ^a	6.84 ± 1.30 ^a	7.92 ± 0.99 ^a	7.46 ± 1.18 ^a	7.72 ± 0.83 ^a	7.28 ± 1.26 ^a

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง

ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4.12 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวชนิดผงเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้า (A) และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวชนิดผง (B) (คน 50 ผู้ทดสอบ)