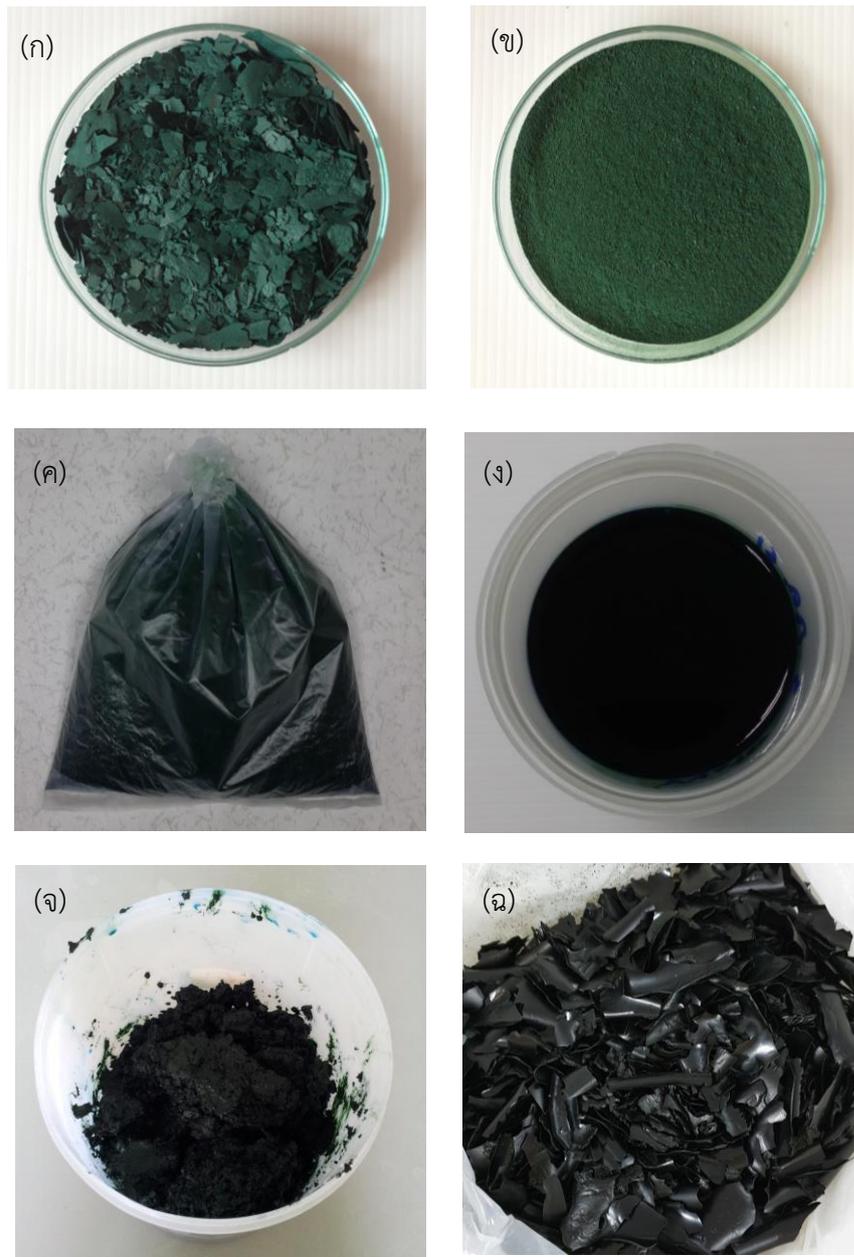


บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการสกัดซี-ไฟโคไซยานินและการวิเคราะห์คุณภาพกากชีวมวลเหลือทิ้งของสาหร่าย สไปรูลินาที่ได้จากการสกัดซี-ไฟโคไซยานิน

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหาร Zarrouk's medium ในบ่อเพาะเลี้ยงขนาด 250 ลิตร เป็นเวลา 14 วันแล้ว และเก็บเกี่ยวชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาด้วยผ้ากรองขนาด 50 ไมครอน แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบด (Retsch ZM1) แล้วนำไปสกัดซี-ไฟโคไซยานินด้วยวิธีแช่เยือกแข็งสลับกับการละลาย จำนวน 3 รอบ ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1 โดยตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้งและกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้ง (กากชีวมวลเหลือทิ้งของสาหร่ายสไปรูลินาที่ได้จากการสกัดซี-ไฟโคไซยานินอบแห้ง) ผลการทดลองพบว่าชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้งมีความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 7.38 54.64 1.46 11.95 10.25 และ 14.32 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาที่เคยมีรายงานไว้ก่อนหน้านี้ (Cohen, 1997; Belay, 2008, pp. 27–48; มณชัย เดชสังกรานนท์, อมรรัตน์ สีสุทอง และสาโรจน์ ศิริคันสนียกุล, 2559)

สาหร่ายสไปรูลินาประกอบด้วยรงควัตถุที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงคือ ซี-ไฟโคไซยานินและคลอโรฟิลล์ ในขณะที่แคโรทีนอยด์พบในปริมาณเล็กน้อย (Cohen, 1997) โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ และอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในขณะที่แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายน้ำมัน (Liposoluble pigments) และมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ส่วนซี-ไฟโคไซยานินเป็นสารประกอบโปรตีนที่ละลายน้ำได้มีคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณซี-ไฟโคไซยานินและคลอโรฟิลล์ของชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้งพบว่า มีปริมาณเท่ากับ 80.72 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 4.31 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่แคโรทีนอยด์มีปริมาณเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งปริมาณดังกล่าวแตกต่างจากรายงานของ Siam Algae Company (Shimamatsu, 2004) ซึ่งองค์ประกอบที่แตกต่างกันเหล่านี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากสายพันธุ์สาหร่าย สภาพที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง วิธีการเก็บเกี่ยวชีวมวล และวิธีการวิเคราะห์แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.1 (ก) ลักษณะปรากฏของชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง

(ข) ลักษณะปรากฏของชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งบดละเอียด

(ค) การเตรียมตัวอย่างสาหร่ายสำหรับการสกัดซี-ไฟโคไซยานินด้วยวิธีแช่เยือกแข็งสลับกับการละลาย

(ง) ลักษณะปรากฏของสารละลายซี-ไฟโคไซยานินที่สกัดได้

(จ) ลักษณะของกากชีวมวลเหลือทิ้งของสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ได้จากการสกัดซี-ไฟโคไซยานิน

(ฉ) ลักษณะปรากฏของกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งและกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง

| องค์ประกอบทางเคมี | ชีวมวล สาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง | กากชีวมวล สาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 7.38 ± 0.05 | 3.64 ± 0.20 |
| โปรตีน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 54.64 ± 0.27 | 69.16 ± 0.36 |
| ไขมัน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 1.46 ± 0.15 | 3.59 ± 0.07 |
| เส้นใยหยาบ (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 11.95 ± 0.13 | 4.26 ± 0.13 |
| เถ้า (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 10.25 ± 0.01 | 11.55 ± 0.03 |
| คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 14.32 ± 0.02 | 7.79 ± 0.01 |
| ซี-ไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัม) | 80.72 ± 0.00 | 7.35 ± 0.04 |
| คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัม) | 4.31 ± 0.05 | 11.99 ± 0.29 |
| แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัม) | 0.44 ± 0.03 | 0.82 ± 0.03 |

เมื่อพิจารณาปริมาณซี-ไฟโคไซยานินที่เหลืออยู่ในกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งเปรียบเทียบกับชีวมวลของสาหร่ายสไปรูลิน่า พบว่ากรรมวิธีการสกัดที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถสกัดซี-ไฟโคไซยานินได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของซี-ไฟโคไซยานินทั้งหมดที่มีอยู่ในชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง (ตารางที่ 4.1) ในขณะที่องค์ประกอบอื่น ๆ ที่เหลืออยู่ในกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งประกอบด้วยโปรตีน 69.16 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมากกว่าชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าก่อนการสกัดประมาณ 14.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไขมันของกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าก่อน โดยมีปริมาณเท่ากับ 3.59 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง สาเหตุที่กากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งมีปริมาณไขมันมากกว่าชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง เนื่องจากองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าได้ถูกสกัดออกไปพร้อมกับซี-ไฟโคไซยานิน ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบดังกล่าวแล้วเทียบต่อน้ำหนักแห้งจึงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณารังควัตถุที่เหลืออยู่ในกากชีวมวลของสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์สูงกว่าชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งประมาณ 2.8 และ 1.9 เท่า ตามลำดับ

จากผลการทดลองขั้นต้นแสดงให้เห็นว่า กากชีวมวลสไปรูลิน่าที่เหลือจากกระบวนการสกัดซี-ไฟโคไซยานินยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโปรตีนที่มีมากถึง 69.16 เปอร์เซ็นต์

โดยน้ำหนัก ซึ่งโปรตีนที่มีอยู่ในสาหร่ายสไปรูลินานี้จัดเป็นสารชีวโมเลกุลที่ดีสามารถช่วยเสริมสร้างพลังงานให้แก่ร่างกาย อีกทั้งยังเป็นแหล่งของกรดอะมิโนจำเป็นชนิดต่าง ๆ ที่ร่างกายต้องการด้วย และยังมีเส้นใยสูง (4.26 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง) ช่วยระบบขับถ่าย นอกจากนี้ยังมีคลอโรฟิลล์เหลืออยู่มาก (11.99 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) จึงทำให้กากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินามีศักยภาพสูงในการนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนและแหล่งของสีธรรมชาติสำหรับใช้แต่งสีในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งคลอโรฟิลล์จัดเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติต้านออกซิเดชัน ด้านการกลายพันธุ์ เร่งประสิทธิภาพการทำงานของเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ และที่สำคัญคือคลอโรฟิลล์มีโครงสร้างคล้ายกับฮีโมโกลบินจึงช่วยสร้างเลือดให้กับร่างกาย อีกทั้งยังประกอบด้วยวิตามินต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้ง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งและยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และอุดมด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชัน

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแท่งเสริมสาหร่ายสไปรูลินา

1. ผลปริมาณกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้งที่เหมาะสม

จากการศึกษาปริมาณกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้งที่เหมาะสม 4 ระดับ (0 2 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) ต่อการผลิตข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแท่ง โดยทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบแบบวิธี 9 Point Hedonic Scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน โดยนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องให้ผู้ทดสอบ ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.2 โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแท่งเสริมสาหร่ายสไปรูลินาทุกสูตรได้คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 5.9–6.8 คือชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นคุณลักษณะทางด้านสี โดยคะแนนความชอบที่ได้ในทุกคุณลักษณะใกล้เคียงกับรายงานของ Lobphu and Buakam (2016, pp. 1–16) ที่ผลิตบาร์พลังงานต่ำจากส่วนผสมของข้าวกล้อง สับปะรด และสารสกัดจากหญ้าหวาน (Stevioside) โดยสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือสูตรที่ใช้สารสกัดหญ้าหวาน 5 กรัม โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยจากผู้ทดสอบจำนวน 25 คนในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่น และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.12–6.60 อย่างไรก็ตาม พบว่าผลการทดลองที่ได้จากการศึกษานี้แตกต่างจากการศึกษาของ Wongklang (2015) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธัญพืชแท่งเสริมกลีบบัวหลวงที่มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นธัญพืช รสหวาน ความกรอบและความชอบโดยรวมในช่วง 7.10–7.82 และการศึกษาของ ทุตติยาภรณ์ จิตตะปาโล, วราภรณ์ วิทยาภรณ์ และวีระพงศ์ วิรุฬห์ธนภุชณ (2560, น. 47–68) ที่รายงานว่าธัญพืชแท่งจากข้าวกล้องอินทรีย์หัก ได้คะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น

รส รสหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ในช่วง 7.4–7.7 คะแนน ซึ่งหมายความถึงชอบปานกลาง ถึงชอบมาก ค่าคะแนนความชอบที่ต่างกันนั้นเป็นเพราะส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิต มีความแตกต่างกัน อีกทั้งผู้บริโภคยังคงรู้สึกไม่คุ้นชินกับสหารายสไปรูลิน่าที่มีลักษณะเฉพาะตัวในเรื่อง สีและลักษณะปรากฏ



ภาพที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิฟองอัดแท่งเสริมสหารายสไปรูลิน่าที่เสริมกากชีวมวลสหารายสไปรูลิน่าอบแห้งปริมาณต่างกัน (0 2 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จากข้าวไปขวา)

อย่างไรก็ตามพบว่าการเสริมกากชีวมวลสหารายสไปรูลิน่ามากขึ้นจะส่งผลให้คะแนนความชอบในด้านต่าง ๆ ลดลง โดยเฉพาะลักษณะปรากฏ และสี โดยพบว่าสูตรที่ 1 ถึง 3 ซึ่งเสริมกากชีวมวลสหารายสไปรูลิน่าอบแห้ง 0 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ได้คะแนนความชอบรวมเท่ากันและมีค่ามากที่สุดเท่ากับ คือ 6.7 เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่เสริมกากชีวมวลสหารายสไปรูลิน่าอบแห้งเท่ากับ 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่าทั้ง 2 สูตร ได้คะแนนด้านรสชาติมากที่สุดเท่ากับ 6.8 ในขณะที่สูตรที่เสริมกากชีวมวลสหารายสไปรูลิน่าอบแห้ง 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ได้คะแนนด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัสมากกว่าสูตรที่เสริมกากชีวมวลสหารายสไปรูลิน่าอบแห้ง 4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยมีค่าคะแนนเท่ากับ 6.3 และ 6.4 ตามลำดับ

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้คัดเลือกสูตรที่ 2 ซึ่งเสริมกากชีวมวลสหารายสไปรูลิน่าอบแห้ง 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายและนำไปศึกษาในการทดลองขั้นต่อไป โดยสูตรผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิฟองอัดแท่งเสริมสหารายสไปรูลิน่าสุดท้ายประกอบด้วย ข้าวกล้องหอมมะลิฟอง กล้วยตาก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เมล็ดฟักทองอบ งาขาวคั่ว น้ำตาลทรายแดง

น้ำผึ้ง ไฮพ็อกโทสไซรัป เนย และกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง เท่ากับ 26.47 14.71 10.78 4.90 4.90 6.86 14.71 5.98 8.73 และ 1.96 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิฟองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งปริมาณต่างกัน

| กากชีวมวลสาหร่าย สไปรูลิน่าอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก) | คุณลักษณะ | | | | | ความชอบ โดยรวม ^{ns} |
|--|-------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| | ลักษณะ ปรากฏ ^{ns} | สี | กลิ่น ^{ns} | รสชาติ ^{ns} | เนื้อสัมผัส ^{ns} | |
| 0 | 6.6±1.2 | 6.8 ^a ±1.4 | 5.9±1.9 | 6.4±1.9 | 6.6±1.6 | 6.7±1.3 |
| 2 | 6.4±1.6 | 6.4 ^{ab} ±1.7 | 6.3±1.7 | 6.8±1.3 | 6.4±1.5 | 6.7±1.3 |
| 4 | 6.4±1.5 | 6.4 ^{ab} ±1.8 | 6.0±1.7 | 6.8±1.6 | 6.3±1.7 | 6.7±1.3 |
| 6 | 6.1±1.5 | 6.0 ^b ±1.6 | 6.2±1.9 | 6.4±1.7 | 6.4±1.7 | 6.6±1.6 |

หมายเหตุ ^{ns} ในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$); ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิฟองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าสุดท้าย

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อมีการผลิตจริงทางการค้า ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิฟองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า (สูตรที่ 2 เสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) ในด้านต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

2.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.3 พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิฟองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า มีปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) เท่ากับ 0.22 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการศึกษาของ

ทุติยาภรณ์ จิตตะปาโล, วราภรณ์ วิทยาภรณ์ และวีระพงศ์ วิรุฬห์ธนภุชณ์ (2560, น. 47–68) ที่รายงานว่าผลิตภัณฑ์ธัญพืชแห้งจากข้าวกล้องอินทรีย์หักมีปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.334 ซึ่งทราบกันดีว่าปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเสื่อมเสียและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร (Iamkampang & Inget, 2015, pp. 55–71) โดยปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้ต้องมีค่ามากกว่า 0.6 ขึ้นไป แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าปลอดภัยในการบริโภค เนื่องจากแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคสามารถเจริญได้ในอาหารที่มีปริมาณน้ำอิสระสูงกว่า 0.85 (McSwane, Rue, & Linton, 2000) และอาหารที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.50 จะไม่มีการการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Rizvi, 1994)

2.2 คุณภาพทางเคมี

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางเคมีพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 5.53 3.02 10.48 2.07 1.59 และ 67.31 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพทางเคมีกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งที่ใช้ข้าวพองจากข้าวเจ้าพันธุ์ กข.47 : ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่พัฒนาโดย รัชนก กองประดิษฐ์ และแก้วตา กล้าเจริญ (2560) ซึ่งมีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 5.84 4.89 13.53 8.42 1.12 และ 66.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีคุณภาพทางด้านเคมีเหมาะสมสำหรับสุขภาพของผู้บริโภคมากกว่า เพราะมีโปรตีนที่เป็นแหล่งให้พลังงานและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอมากกว่า 8.13 เท่า ในขณะที่เดียวกันก็มีไขมันน้อยกว่าประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยโปรตีนที่พบในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าส่วนใหญ่มาจากกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งที่เสริมเข้าไป ซึ่งจากผลการทดลองขึ้นต้นพบว่ากากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งมีโปรตีนมากถึง 69.16 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4.1) สำหรับไขมันที่พบในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มาจากข้าวกล้องหอมมะลิพองทอดและเนยที่ใช้ในการผลิต ซึ่งหากต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับสุขภาพมากขึ้นและมีพลังงานต่ำก็สามารถทำได้โดยการปรับส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต เช่น อาจใช้ข้าวพองที่ผ่านการอบแทนการทอด เป็นต้น

2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า (ตารางที่ 4.3) พบว่าเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของข้าวพอง

(743/2559) (Thai Industrail Standards Institute, 2013) โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 1.5×10^2 โคโลนีต่อกรัม มีจำนวนยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *E. coli* เท่ากับ <10 โคโลนีต่อกรัม <3 MPN ต่อกรัม และ <3 MPN ต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิना

| คุณภาพ | ค่าที่วิเคราะห์ได้ |
|---------------------------------------|--------------------|
| คุณภาพทางกายภาพ | |
| ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, Aw) | 0.22±0.01 |
| ความแข็ง (นิวตัน) | 309.66±10.97 |
| คุณภาพทางเคมี | |
| ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 5.53±0.47 |
| โปรตีน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 13.02±0.24 |
| ไขมัน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 10.48±0.80 |
| เส้นใยหยาบ (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 2.07±0.29 |
| เถ้า (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 1.59±0.02 |
| คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 67.31±0.27 |
| คุณภาพทางจุลินทรีย์ | |
| จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | 1.5×10^2 |
| ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม) | <10 |
| โคลิฟอร์ม (MPN ต่อกรัม) | <3 |
| <i>E. coli</i> (MPN ต่อกรัม) | <3 |

3. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลินาในระหว่างการเก็บรักษา

จากการนำผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลินาไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 37 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน แล้วสุ่มตัวอย่างทุก 2 วัน เพื่อมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางจุลินทรีย์ (เฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส) ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5 ตามลำดับ

3.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.4 พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลินามีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นและมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าที่อุณหภูมิการเก็บรักษาดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ยังคงมีอยู่ในผลิตภัณฑ์จึงทำให้จุลินทรีย์มีกิจกรรมต่าง ๆ มากขึ้น ปริมาณน้ำอิสระจึงเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเริ่มการเก็บรักษาพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.22 ในขณะที่เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษานาน 14 วันพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.25 0.36 และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความแข็งพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าจะมีความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าความแข็งมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น และมีแนวโน้มว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำผลิตภัณฑ์จะมีค่าความแข็งน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงกว่า (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

| วันที่เก็บรักษา | ปริมาณน้ำอิสระ (Aw) | | | ความแข็ง (Hardness) (นิวตัน) | | |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| | 4 °C | 37 °C | 45 °C | 4 °C | 37 °C | 45 °C |
| 0 | 0.22 ^d ±0.01 | 0.22 ^s ±0.01 | 0.22 ^e ±0.01 | 309.6 ^s ±10 | 309.6 ^f ±10 | 309.6 ^e ±10 |
| 2 | 0.24 ^c ±0.00 | 0.25 ^f ±0.00 | 0.28 ^d ±0.01 | 354.5 ^f ±8.3 | 367.6 ^e ±13 | 363.5 ^d ±17 |
| 4 | 0.27 ^{ab} ±0.02 | 0.29 ^e ±0.01 | 0.35 ^a ±0.02 | 399.4 ^e ±17 | 425.5 ^d ±34 | 417.4 ^c ±26 |
| 6 | 0.28 ^a ±0.01 | 0.32 ^d ±0.01 | 0.32 ^b ±0.01 | 429.9 ^d ±15 | 549.5 ^c ±24 | 479.1 ^b ±28 |
| 8 | 0.29 ^a ±0.01 | 0.35 ^{ab} ±0.01 | 0.29 ^{cd} ±0.00 | 460.3 ^c ±28 | 673.6 ^a ±58 | 540.8 ^a ±39 |
| 10 | 0.28 ^a ±0.01 | 0.33 ^{bc} ±0.00 | 0.30 ^{bcd} ±0.00 | 480.2 ^{bc} ±16 | 616.9 ^b ±33 | - |
| 12 | 0.28 ^a ±0.01 | 0.32 ^{cd} ±0.00 | 0.31 ^{bc} ±0.00 | 500.0 ^b ±10 | 560.3 ^c ±18 | - |
| 14 | 0.25 ^{bc} ±0.00 | 0.36 ^a ±0.01 | 0.30 ^{bcd} ±0.00 | 553.5 ^a ±19 | 391.3 ^{de} ±10 | - |

หมายเหตุ - ไม่ได้วิเคราะห์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่คงรูปจึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้; ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.5) พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *E. coli* พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีจำนวนจุลินทรีย์ดังกล่าวเท่ากับ <10 โคโลนีต่อกรัม <3 MPN ต่อกรัม และ <3 MPN ต่อกรัม ตามลำดับ (Thai Industrail Standards Institute, 2013)

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

| วันที่เก็บรักษา | จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม) | โคลิฟอร์ม (MPN ต่อกรัม) | จำนวน <i>E. coli</i> (MPN ต่อกรัม) |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 1.50×10^2 | <10 | <3 | <3 |
| 2 | 3.18×10^2 | <10 | <3 | <3 |
| 4 | 4.85×10^2 | <10 | <3 | <3 |
| 6 | 2.10×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 8 | 3.72×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 10 | 4.58×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 12 | 5.55×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 14 | 5.85×10^3 | <10 | <3 | <3 |

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า

1. ผลปริมาณกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งที่เหมาะสม

จากการศึกษาปริมาณกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งที่เหมาะสม 4 ระดับ (0 0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) ต่อการผลิตไอศกรีม ได้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าโดยมีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 4.3 โดยผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจะมีสีเขียวเข้มขึ้นตามปริมาณกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งที่เพิ่มขึ้น โดยสีเขียวที่ปรากฏมาจากสารคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งที่เติมลงไป



ภาพที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งปริมาณต่างกัน ปริมาณต่างกัน (0 0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จากซ้ายไปขวา)

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบแบบวิธี 9 Point Hedonic Scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน โดยนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ -1 ถึง 2 องศาเซลเซียส ให้ผู้ทดสอบ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 โดยพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าด้าน สี กลิ่น และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบเฉลี่ยด้าน รสชาติ และเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 6.6–7.9 ซึ่งหมายถึงชอบปานกลางถึงชอบมาก สอดคล้องกับการศึกษาของ นันทวรรณ ฉวีวรรณ (2556) ที่พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดอกโสนในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ที่คะแนนความชอบในช่วง 6.0–7.8 ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า การเสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งในผลิตภัณฑ์ จะทำให้การยอมรับในคุณลักษณะต่าง ๆ ลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (สูตรที่ 1

เสริมกากชีวมวลสำหรับรายสไปรูลิน่าอบแห้ง 0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเฉพาะสูตรที่มีการเสริมกากชีวมวลสำหรับรายสไปรูลิน่าอบแห้ง (สูตรที่ 2 3 และ 4) พบว่าสูตรที่เสริมกากชีวมวลสำหรับรายสไปรูลิน่าอบแห้ง 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (สูตรที่ 4) ได้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 7.1 และ 7.5 ตามลำดับ ในขณะที่คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นและรสชาติก็ไม่แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ มากนัก

ตารางที่ 4.6 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสำหรับรายสไปรูลิน่าที่เสริมกากชีวมวลสำหรับรายสไปรูลิน่าอบแห้งปริมาณต่างกัน

| กากชีวมวลสำหรับ สไปรูลิน่าอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก) | คุณลักษณะ | | | | |
|---|------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|
| | สี | กลิ่น | รสชาติ ^{ns} | เนื้อสัมผัส ^{ns} | ความชอบ โดยรวม |
| 0 | 7.9 ^a ±1.0 | 7.6 ^a ±1.2 | 7.7±1.2 | 7.4±1.2 | 7.8 ^a ±0.9 |
| 0.5 | 7.4 ^{ab} ±1.2 | 6.7 ^b ±1.5 | 7.1±1.5 | 7.0±1.3 | 7.3 ^b ±1.2 |
| 1.0 | 7.2 ^b ±1.5 | 6.9 ^b ±1.4 | 7.2±1.5 | 7.0±1.4 | 7.2 ^b ±1.1 |
| 1.5 | 7.1 ^b ±1.4 | 6.6 ^b ±1.5 | 7.0±1.7 | 7.1±1.5 | 7.5 ^{ab} ±1.2 |

หมายเหตุ ^{ns} ในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$); ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

ดังนั้นเพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์กากชีวมวลสำหรับรายสไปรูลิน่า ในการทดลองขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจึงคัดเลือกสูตรที่ 4 ซึ่งเสริมกากชีวมวลสำหรับรายสไปรูลิน่าอบแห้งเท่ากับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยสูตรผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสำหรับรายสไปรูลิน่าสุดท้ายประกอบด้วย น้ำมัน นมผง น้ำ น้ำตาลทราย สารให้ความคงตัว (CMC) เกลือ และกากชีวมวลสำหรับรายสไปรูลิน่าอบแห้ง เท่ากับ 65.02 16.06 9.00 8.00 0.39 0.05 และ 1.48 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูulinaสุดท้าย

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินา (สูตรที่ 4 เสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้ง 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งสามารถอภิปรายได้ดังนี้

2.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์ค่าอัตราการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินาพบว่ามีความค่อนข้างต่ำ เท่ากับ 2.70 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.7) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมจะอยู่ขึ้นกับความหนืดและความหนาแน่นของส่วนผสมที่ใช้ผลิตไอศกรีม ซึ่งเป็นผลโดยตรงมาจากองค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม ถ้าไอศกรีมมีค่าอัตราการขึ้นฟูมากแสดงว่าไอศกรีมสามารถกักเก็บอากาศไว้ภายในมาก ซึ่งจะส่งผลให้ไอศกรีมมีอัตราการหลอมละลายที่เร็ว (หทัยชนก นพจรูญศร, 2554) เนื่องจากการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินาได้มีการนำกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้งและส่วนผสมอื่น ๆ ไปให้ความร้อน จึงช่วยป้องกันไม่ให้เกิดกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้งเกิดเป็นน้ำแข็ง ผลการวิเคราะห์อัตราการขึ้นฟูดังกล่าวสอดคล้องกับอัตราการหลอมละลายในตารางที่ 4.8 ที่พบว่าไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินาที่พัฒนาได้ละลายได้ช้า โดยเริ่มมีการละลายหลังจาก 30 นาที ที่เริ่มวิเคราะห์การหลอมละลาย โดยมีอัตราการหลอมละลายเท่ากับ 0.06 กรัมต่อนาที

ผลการทดลองที่ได้แตกต่างจาก นันทวรรณ ฉวีวรรณ (2556) ที่รายงานว่าไอศกรีมดอกโสนมีอัตราการขึ้นฟูเท่ากับ 51.51 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการหลอมละลายเท่ากับ 0.76 กรัมต่อนาที และการศึกษาของ สุภางค์ เรืองฉาย และสิรินาถ ตัณฑเกษม (2557, น. 281–284) ที่รายงานว่าไอศกรีมลูกพลับที่ใช้น้ำตาลโตนดเป็นสารให้ความหวานและเติมลูกพลับแห้งที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีอัตราการขึ้นฟูเท่ากับ 0.67 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการหลอมละลายเท่ากับ 0.62 กรัมต่อนาที และพบว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินามีอัตราการขึ้นฟูน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมไชยาที่ใช้ CMC 0.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นสารเพิ่มความคงตัว ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมีอัตราการขึ้นฟูเท่ากับ 4.45 เปอร์เซ็นต์ (กฤตภาส จินาภาค, 2560, น. 17–26)

ตารางที่ 4.7 คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสำหรับวัยรุ่น

| คุณภาพ | ค่าที่วิเคราะห์ได้ |
|---------------------------------------|----------------------|
| คุณภาพทางกายภาพ | |
| อัตราการขึ้นฟู (% Overrun) | 2.70±0.21 |
| อัตราการหลอมละลาย (กรัมต่อนาที) | 0.06±0.00 |
| คุณภาพทางเคมี | |
| ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) | 32.67±0.58 |
| ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 65.87±0.18 |
| โปรตีน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 9.87±0.13 |
| ไขมัน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 1.30±0.16 |
| เส้นใยหยาบ (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 0.94±0.04 |
| เถ้า (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 1.80±0.07 |
| คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 20.21±0.19 |
| คุณภาพทางจุลินทรีย์ | |
| จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | 1.15×10 ³ |
| ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม) | <10 |
| โคลิฟอร์ม (MPN ต่อกรัม) | <3 |
| <i>E. coli</i> (MPN ต่อกรัม) | <3 |

ตารางที่ 4.8 อัตราการหลอมละลายของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสำหรับวัยรุ่น

| เวลา (นาที) | น้ำหนักของไอศกรีมที่ละลาย (กรัม) |
|-------------|----------------------------------|
| 10 | 0.00 ± 0.00 |
| 20 | 0.00 ± 0.00 |
| 30 | 0.00 ± 0.00 |
| 40 | 0.20 ± 0.01 |
| 50 | 1.68 ± 0.46 |
| 60 | 3.63 ± 0.12 |

กากชีวมวลสำหรับรายสไปรูลิน่าอบแห้งประกอบด้วยโปรตีน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ในรูปของพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้สามารถจับกับน้ำได้ดี และเมื่อรวมตัวกับสารให้ความคงตัว (CMC) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารที่อุ้มน้ำไว้ได้สูงและละลายได้ง่ายในส่วนผสม จึงทำให้ไอศกรีมเกิด Overstabilization โดยไอศกรีมจะมีความหนืดสูงขึ้นจึงทำให้ไม่เกิดการไหลเยิ้มส่งผลให้อัตราการหลอมละลายช้าลง (Boonkong & Wongkaew, 2004, pp. 31–40) ซึ่งความหนืดของไอศกรีมจะมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณของแข็งที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างของไอศกรีม ซึ่งได้มาจากนม น้ำตาล ปริมาณเนื้อของวัตถุดิบ สารให้ความคงตัว และการบ่มไอศกรีม ถ้าส่วนผสมของไอศกรีมมีความหนืดน้อยจะส่งผลให้ไอศกรีมมีอัตราการขึ้นฟูมากขึ้น (นันทวรรณ ฉวีวรรณ, 2556) โดยไอศกรีมที่มีค่าอัตราการขึ้นฟูต่ำสุดและและม้อัตราการหลอมละลายช้าที่สุดจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเพื่อการค้า เพราะสามารถใช้เวลาในการรับประทานได้นานขึ้น โดยที่ไอศกรีมยังไม่ละลาย (สุภางค์ เรืองฉาย และสิรินาถ ตัณฑเกษม, 2557, น. 281–284)

2.2 คุณภาพทางเคมี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 32.67 องศาบริกซ์ และมีความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 65.87 9.87 1.30 0.94 1.80 และ 20.21 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมทั่วไปที่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4.00 8.5 และ 21.8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และไม่มีเถ้าและเยื่อใย (ปิยนุสรณ์ น้อยดวง และปวีณา มณีพล, 2557, น. 645–649) พบว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าจัดอยู่ในกลุ่มไอศกรีมไลท์ (Light ice cream) เนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำกว่าไอศกรีมปกติ 50 เปอร์เซ็นต์ (Charoenkul, 2015) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนและไขมันที่วิเคราะห์ได้กับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดอกโสน (นันทวรรณ ฉวีวรรณ, 2556) พบว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีปริมาณโปรตีนสูงกว่าประมาณ 82.3 เท่า และสูงกว่าไอศกรีมที่วางขายทั่วไปในท้องตลาด และยังพบว่ามีปริมาณไขมันน้อยกว่าไอศกรีมดอกโสน 2.9 เท่า แสดงให้เห็นเห็นว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าสามารถใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้ดีกว่าไอศกรีมดอกโสน อย่างไรก็ตามพบว่า ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีปริมาณเส้นใยหยาบน้อยกว่าไอศกรีมดอกโสนประมาณ 3.4 เท่า และพบว่าไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ายังมีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าไอศกรีมโยเกิร์ต ข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมไชยา (กฤตภาส จินาภาค, 2560, น. 17–26) โดยมีปริมาณโปรตีน และเส้นใยหยาบมากกว่าประมาณ 3.5 และ 0.94 เท่า ตามลำดับ และมีปริมาณไขมันน้อยกว่าประมาณ 28 เท่า

2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินามีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน (ตารางที่ 4.7) โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.15×10^3 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งไม่เกิน 6.0×10^5 โคโลนีต่อกรัม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 222 (พ.ศ. 2544) และมีจำนวนยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *E. coli* <10 โคโลนีต่อกรัม <3 MPN ต่อกรัม และ <3 MPN ต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

3. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินาในระหว่างการเก็บรักษา

จากการนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินาสู่สุดท้ายไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -17 ถึง -21 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน สุ่มตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน มาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 โดยพบว่าจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีประมาณ 10^3 โคโลนีต่อกรัม ในขณะที่จำนวนยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *E. coli* พบว่ามีจำนวน <10 โคโลนีต่อกรัม <3 MPN ต่อกรัม และ <3 MPN ต่อกรัม ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูลินา ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิอุณหภูมิต่ำ -17 ถึง -21 องศาเซลเซียส

| วันที่เก็บรักษา | จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม) | โคลิฟอร์ม (MPN ต่อกรัม) | จำนวน <i>E. coli</i> (MPN ต่อกรัม) |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 1.15×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 2 | 1.75×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 4 | 1.65×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 6 | 1.65×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 8 | 1.10×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 10 | 1.05×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 12 | 1.90×10^3 | <10 | <3 | <3 |
| 14 | 1.95×10^3 | <10 | <3 | <3 |

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า

1. ผลปริมาณกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งที่เหมาะสม

เนื่องจากกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งมีสีเขียวเข้มและมีกลิ่นเฉพาะ ดังนั้นหากมีการนำมาเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารในปริมาณมากก็จะส่งผลดีในด้านฤทธิ์ชีวภาพแต่ก็จะมีผลต่อลักษณะปรากฏด้านสีและกลิ่นรส ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการยอมรับของผู้บริโภค จากการนำกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งไปใช้เป็นส่วนผสมร่วมในการหมักโยเกิร์ตแบบ Set yogurt ในปริมาณที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0 0.25 0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และใช้ทางนมผงปรับให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 16 เปอร์เซ็นต์ และเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตรสออริจินัล 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 43–45 องศาเซลเซียส จนโยเกิร์ตมีค่าพีเอช 4.6–4.7 หรือมีความเข้มข้นของกรดแลคติกประมาณ 0.9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.10 ในระหว่างการหมักสุ่มตัวอย่างโยเกิร์ตมาติดตามการเปลี่ยนแปลง ค่าพีเอช ปริมาณกรดแลคติก และแบคทีเรียกรดแลคติก ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.5 ซึ่งสามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้



ภาพที่ 4.4 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งปริมาณต่างกัน (0 0.25 0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จากซ้ายไปขวา)

1.1 ลักษณะปรากฏ

จากการสังเกตลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าทั้ง 4 สูตรพบว่าให้ลักษณะปรากฏที่แตกต่างกัน โดยจะมีสีเขียวเข้มขึ้นตามปริมาณกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งที่เพิ่มขึ้น และสังเกตเห็นการแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ตได้อย่างชัดเจน ตลอดจนการไม่กระจายตัวของกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง โดยเฉพาะสูตรที่ 4 ที่มีการเสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งเท่ากับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 4.4) นอกจากนี้โยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร ยังให้ลักษณะเนื้อโยเกิร์ตและการเกิดเคิร์ดที่แตกต่างกันด้วย (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 ลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตที่เสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งปริมาณต่างกัน

| สูตร | กากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ |
|------|--|--|
| 1 | 0 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะเหลว เนื้อเนียนดี กลิ่นรสดี มีกลิ่นของนมหมักชัดเจน ไม่พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าหอมของข้าวโพด |
| 2 | 0.25 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะเหลวเล็กน้อย เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |
| 3 | 0.5 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะแน่น เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้ามากขึ้น |
| 4 | 1.0 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะแน่น เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี มีกลิ่นสาหร่ายเล็กน้อย พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าใกล้เคียงกับสูตรที่ 3 |
| 5 | 1.5 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะแน่น เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี มีกลิ่นสาหร่ายมากขึ้น พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าใกล้เคียงมากกว่าสูตรอื่น ๆ |

โดยทั่วไปแล้วการเกิดเคิร์ดในระหว่างการหมักโยเกิร์ตเป็นผลมาจากกิจกรรมของแบคทีเรีย *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ใช้น้ำตาลแลคโทสในน้ำนมเป็นแหล่งพลังงาน สร้างกรดแลคติก รวมทั้งสารที่ให้กลิ่นรสออกมา กรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพีเอชลดลง ใกล้กับ Isoelectric point (pI) ของน้ำนม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.6 (pI ของเคซีนในน้ำนม)

เป็นผลให้โปรตีนในน้ำนมสูญเสียสภาพธรรมชาติ จึงเกิดการรวมตัวกันและตกตะกอนลงบางส่วน นอกจากนี้อนุภาคเคซีนบางส่วนยังไปเกิดปฏิกิริยากับแอลฟา-แล็กทาลบูมิน (Alpha-lactalbumin) และบีตา-แล็กโทโกลบูลิน (Beta-lactoglobulin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในหางนมทำให้เกิดเจลซึ่งเป็นร่างแหองค์ประกอบที่มีความคงตัว แล้วตกตะกอนลงมารวมตัวกันกลายเป็นเคิร์ดในโยเกิร์ต (วารวุฒิศูรย์ และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532)

1.2 ค่าพีเอชและปริมาณกรดแลกติก

จากภาพที่ 4.5 (ก) และภาพที่ 4.5 (ข) พบว่าค่าพีเอชและปริมาณกรดแลกติกที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักโยเกิร์ตทุกสูตรมีค่าไม่ต่างกันมากนัก เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าพีเอชและปริมาณกรดแลกติก พบว่าในระหว่างการหมักโยเกิร์ตค่าพีเอชลดลง ในขณะที่ปริมาณกรดแลกติกจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการหมัก และพบว่าค่าพีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 4 ชั่วโมงแรกของการหมัก แสดงให้เห็นว่าหัวเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการหมักสามารถปรับตัวได้ดีกับส่วนผสมโยเกิร์ตที่ใช้ในการทดลอง หลังจากนั้นค่าพีเอชจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดระยะเวลาการหมักในชั่วโมงที่ 8 ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ อัมพรธน์ ชัยกุลเสรีวัฒน์, วิญญู ช่วยแก้ว และเนตรนภา สกุลซัง (2557, น. 273–276) และ นพพร สกุลยีนยงสุข (2558) ที่รายงานไว้ในระหว่างการหมักโยเกิร์ตข้าวกล้องพันธุ์หอมนิล และโยเกิร์ตไขมันต่ำเสริมแป้งแก่กันตะวัน ค่าพีเอชจะลดลงและปริมาณกรดแลกติกจะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเวลาที่เหมาะสมในการหมักโยเกิร์ตพบว่าใช้เวลาการหมักสั้นเพียง 6 ชั่วโมง ก็จะทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.4–4.70 และมีปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดแลกติกประมาณ 0.7–1.00 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก Tamine and Robinson (1985) กล่าวว่าโยเกิร์ตจะมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคควรมีค่าพีเอชสุดท้ายอยู่ในช่วง 3.8–4.6 และมีความเข้มข้นกรดแลกติก 0.9–1.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

1.3 จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก

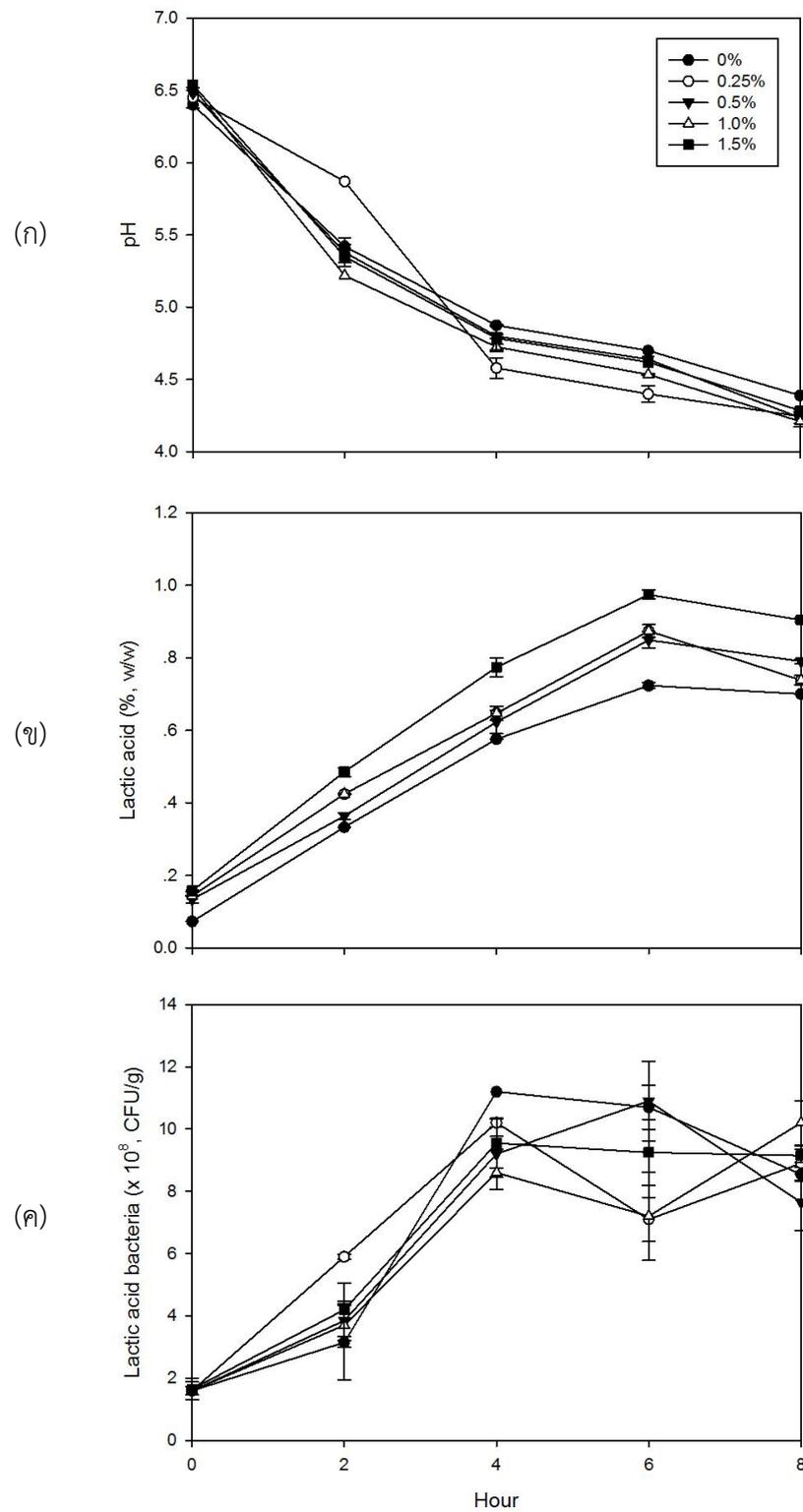
จากภาพที่ 4.5 (ค) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนของแบคทีเรียกรดแลกติกในระหว่างการหมักโยเกิร์ตของทุกสูตรเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีจำนวนใกล้เคียงกัน โดยจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกเมื่อเริ่มต้นมีประมาณ 1.60×10^8 โคโลนีต่อกรัม ในขณะที่เมื่อหมักโยเกิร์ตจนถึง 4 ชั่วโมง พบว่าจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง $9-11 \times 10^8$ โคโลนีต่อกรัม โดยเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2146–546 เรื่องนมเปรี้ยว ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดไว้ว่านมเปรี้ยวจะต้องมีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิด

กรดไม่น้อยกว่า 10^6-10^7 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งพบว่าโยเกิร์ตทุสูตรอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ Gilland (1990, pp. 175-188) กล่าวว่าจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกที่ใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตโยเกิร์ตภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต แบคทีเรียกรดแลคติกเหล่านี้จะช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์และส่งผลดีต่อผู้บริโภค อาทิ ช่วยย่อยสลายแลคโทส ลดอาการท้องร่วงรุนแรง ปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ต่อต้านมะเร็งบางชนิด เพิ่มภูมิคุ้มกัน และลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด

1.4 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

การศึกษาขั้นต่อมาได้คัดเลือกปริมาณกากชีวมวลสำหรับยีสไปรูลิน่าอบแห้งที่เหมาะสม โดยนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแต่ละสูตรไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ด้วยวิธี 9 Point Hedonic Scale ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11 โดยพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตสูตรที่เสริมกากชีวมวลสำหรับยีสไปรูลิน่าอบแห้งเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ได้รับการยอมรับมากที่สุด แม้ว่าจะได้คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัสน้อยกว่าสูตรที่เสริมกากชีวมวลสำหรับยีสไปรูลิน่าอบแห้ง 0.25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แต่โดยรวมแล้วสูตรที่เสริมกากชีวมวลสำหรับยีสไปรูลิน่าอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ได้คะแนนความชอบในด้านอื่น ๆ มากที่สุด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงคัดเลือกปริมาณกากชีวมวลสำหรับยีสไปรูลิน่าอบแห้งเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก สำหรับใช้ในการพัฒนาสูตรการผลิตโยเกิร์ตเสริมสำหรับยีสไปรูลิน่าในการทดลองขั้นต่อไป

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ ญัฎฐาลินคณ เศรษฐปราโมทย์, เกரியศักดิ์ เม่งอาพัน, บวรภัทร ไถ่เลิศ และดวงพร อมรเลิศพิศาล (2560, น. 55-65) ที่รายงานว่าปริมาณสาหร่ายเตามีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคเมื่อนำมาเสริมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยสูตรที่มีส่วนผสมของสาหร่ายเตาในระดับปานกลางได้รับการยอมรับมากกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของสาหร่ายเตามากกว่า ทั้งนี้เพราะด้วยธรรมชาติของสาหร่ายที่อาจส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคในด้านกลิ่น สี และลักษณะปรากฏ



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลง (ก) ค่าพีเอช (ข) ปริมาณกรดแลกติก และ (ค) จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกในระหว่างการหมักโยเกิร์ต เมื่อเสริมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิโนอาบแห้งปริมาณต่างกัน

ตารางที่ 4.11 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เสริมกากชีวมวล สาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งปริมาณต่างกัน

| กากชีวมวลสาหร่าย สไปรูลิน่าอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก) | คุณลักษณะ | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | สี | กลิ่น | เนื้อสัมผัส | ความ เปรี้ยว | ความ หวาน | ความชอบ โดยรวม |
| 0 | 6.5 ^c ±0.5 | 8.0 ^a ±0.8 | 7.0 ^d ±0.0 | 7.0 ^c ±0.0 | 5.7 ^b ±0.5 | 6.5 ^c ±0.5 |
| 0.25 | 8.0 ^b ±0.0 | 7.0 ^b ±0.0 | 8.0 ^a ±0.0 | 7.4 ^b ±0.5 | 6.0 ^a ±0.8 | 7.5 ^b ±0.5 |
| 0.5 | 9.0 ^a ±0.0 | 6.7 ^c ±0.5 | 7.7 ^b ±0.5 | 8.3 ^a ±0.6 | 6.0 ^a ±0.8 | 8.8 ^a ±0.4 |
| 1.0 | 8.0 ^b ±0.0 | 6.3 ^d ±0.5 | 7.0 ^d ±0.0 | 8.3 ^a ±0.6 | 5.7 ^b ±0.5 | 7.5 ^b ±0.5 |
| 1.5 | 6.5 ^c ±0.5 | 6.3 ^d ±0.5 | 7.3 ^c ±0.5 | 7.0 ^c ±0.0 | 5.7 ^b ±0.5 | 5.5 ^d ±0.5 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2. ปริมาณน้ำตาลทรายที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า

จากการทดลองในข้อ 4.4.1 พบว่าปริมาณกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้งที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ทดสอบได้ให้ข้อเสนอแนะว่าควรเพิ่มความหวานให้กับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเพื่อให้เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัสมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาในขั้นตอนนี้จึงผันแปรการเติมน้ำตาลทราย 4 ระดับ คือ 0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ลงในส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต มีรายงานว่า การเติมน้ำตาลทรายมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติก ซึ่งเป็นผลมาจากความดันออสโมติกย้อนกลับ (Adverse osmotic pressure) ของน้ำตาลที่เติมลงไปและปริมาณน้ำอิสระที่ลดลงในโยเกิร์ต (Shah & Ravula, 2001, pp. 28–30) อีกทั้งอาจไม่ส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคด้วย โดยผลการทดลองปริมาณน้ำตาลทรายที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าแสดงดัง ภาพที่ 4.6–4.7 และตารางที่ 4.12–4.13

2.1 ลักษณะปรากฏ

จากการสังเกตลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิनाที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิनाอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมน้ำตาลทรายปริมาณต่างกันทั้ง 4 สูตร พบว่าโยเกิร์ตทุกสูตรให้ลักษณะปรากฏที่คล้ายคลึงกัน โดยจะมีสีเขียวอ่อนซึ่งเกิดจากสารคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในกากชีวมวลของสาหร่ายสไปรูลิना และสังเกตเห็นการแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ต โดยเฉพาะสูตรที่ 2 3 และ 4 (ภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.12)



ภาพที่ 4.6 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิनाที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิनाอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมน้ำตาลทรายปริมาณต่างกัน (0 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จากซ้ายไปขวา)

2.2 ค่าพีเอชและปริมาณกรดแลกติก

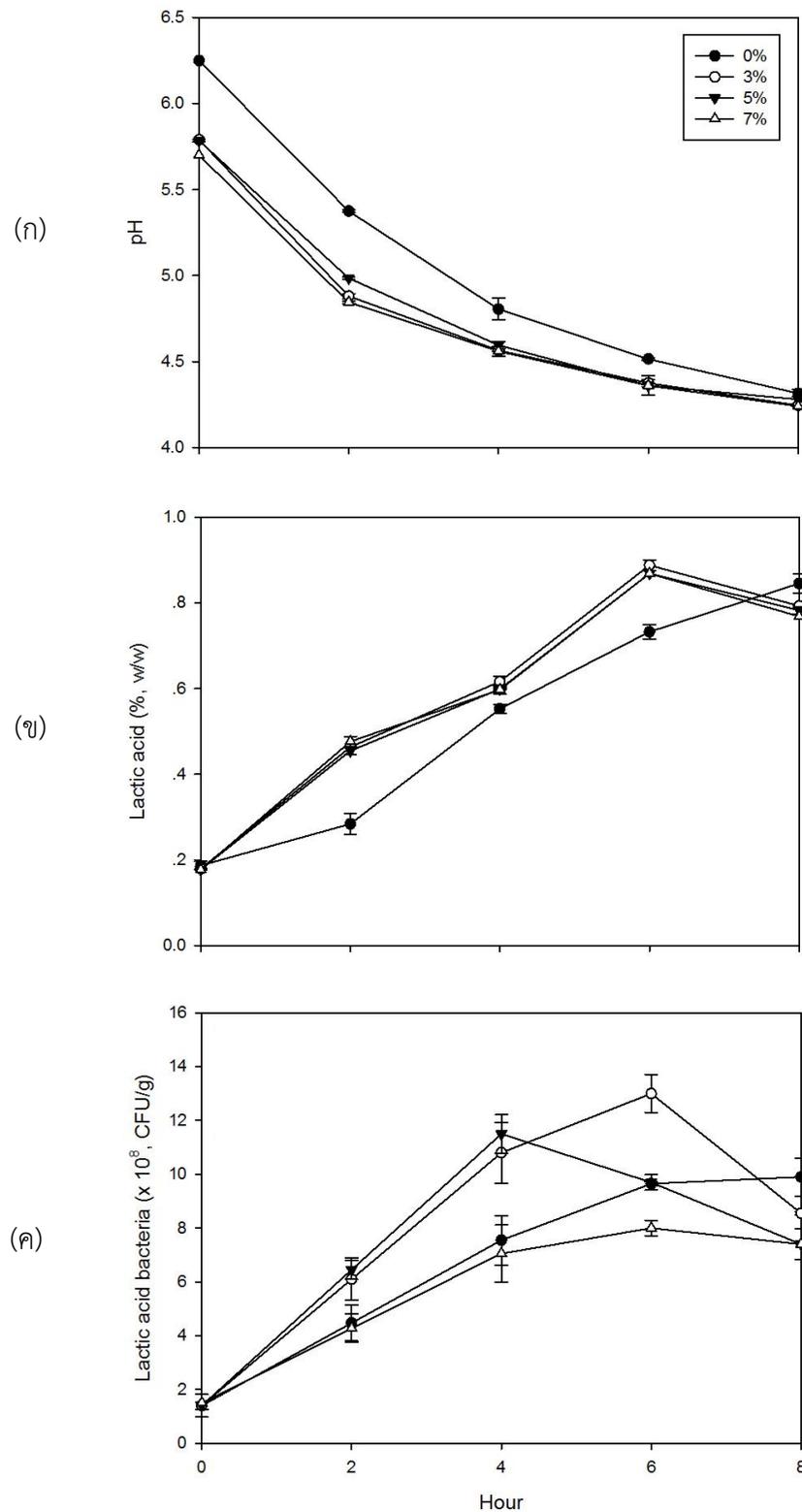
การเติมน้ำตาลทรายมีผลต่อค่าพีเอชและปริมาณกรดแลกติกที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักโยเกิร์ต เนื่องจากแบคทีเรียกรดแลกติกสามารถใช้น้ำตาลทรายหรือซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่ประกอบด้วยกลูโคสและฟรักโทสมาสร้างกรดแลกติกได้ จึงทำให้ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปของกรดแลกติกสูงกว่าการทดลองในข้อ 4.4.1 โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมักโยเกิร์ตในชั่วโมงที่ 8 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ได้จะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 4.24–4.32 (ภาพที่ 4.7 (ก)) และมีปริมาณกรดแลกติกประมาณ 0.8–0.9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 4.7 (ข))

ตารางที่ 4.12 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina ที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมน้ำตาลทรายปริมาณต่างกัน

| สูตร | น้ำตาลทราย (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ |
|------|--|---|
| 1 | 0 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะแน่นและเนียนดี มีความมันวาว เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |
| 2 | 3 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะแน่นและเนียนดี มีความมันวาว เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |
| 3 | 5 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะแน่นและเนียนดี มีความมันวาว เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |
| 4 | 7 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะแน่นและเนียนดี มีความมันวาว เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |

2.3 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.7 (ค) พบว่าการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างการหมักโยเกิร์ตของแต่ละสูตรมีลักษณะแตกต่างกัน โดยเมื่อเริ่มต้นหมักมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกอยู่ในช่วง $1.4-1.5 \times 10^8$ โคโลนีต่อกรัม และพบว่าสูตรที่เติมน้ำตาลทรายเท่ากับ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แบคทีเรียกรดแลคติกสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วในช่วง 4 ชั่วโมงแรกของการหมัก โดยในชั่วโมงที่ 4 ของการหมักมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 10.8×10^8 โคโลนีต่อกรัม และ 11.5×10^8 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลง (ก) ค่าพีเอช (ข) ปริมาณกรดแลกติก และ (ค) จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก ในระหว่างการหมักโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมน้ำตาลทรายปริมาณต่างกัน

2.4 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4.13 พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณลักษณะด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณลักษณะอื่น ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) โดยสูตรที่เติมน้ำตาลทราย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ได้คะแนนด้านความชอบเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัส ความเปรี้ยว ความหวาน และความชอบโดยรวมมากที่สุดเท่ากับ 8.2 8.4 8.4 และ 8.6 ตามลำดับ และมีคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นไม่แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนนี้จึงสรุปว่าปริมาณน้ำตาลทรายที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลินาคือ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เพราะนอกจากจะเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตแล้วยังเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคด้วย

ตารางที่ 4.13 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลินาที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมน้ำตาลทรายปริมาณต่างกัน

| น้ำตาลทราย (เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก) | คุณลักษณะ | | | | | |
|--|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | สี ^{ns} | กลิ่น | เนื้อสัมผัส | ความเปรี้ยว | ความหวาน | ความชอบโดยรวม |
| 0 | 8.8±0.4 | 8.4 ^b ±0.5 | 7.4 ^c ±0.5 | 7.0 ^d ±1.1 | 6.6 ^c ±0.8 | 7.4 ^c ±0.9 |
| 3 | 8.8±0.4 | 8.6 ^b ±0.5 | 7.8 ^b ±0.8 | 7.6 ^c ±1.0 | 7.4 ^b ±1.0 | 7.8 ^b ±0.9 |
| 5 | 8.8±0.4 | 8.4 ^a ±0.5 | 8.2 ^a ±0.8 | 8.4 ^a ±0.8 | 8.4 ^a ±0.8 | 8.6 ^a ±0.8 |
| 7 | 8.8±0.4 | 8.2 ^c ±0.4 | 7.8 ^b ±0.4 | 8.0 ^b ±0.6 | 7.2 ^b ±0.8 | 7.6 ^b ±1.0 |

หมายเหตุ ^{ns} ในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$); ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$)

3. ปริมาณเพกตินที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลินา

จากการทดลองในข้อ 2 พบว่าปริมาณน้ำตาลทรายที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลินาคือ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แต่จากการสังเกตลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตทุกสูตรพบว่ายังคงพบการแยกชั้นของน้ำออกจากโยเกิร์ต และผู้ทดสอบมีข้อเสนอแนะว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่พัฒนาขึ้นควรมีความหนืดมากกว่านี้ ดังนั้นการทดลองนี้ผู้วิจัยจึงปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส

ให้ดีขึ้นโดยผันแปรการเติมเพกติน 4 ระดับ (0 0.3 0.4 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) ในระหว่างการหมักติดตามการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการทดลองในขั้นต้น ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.8–4.9 และตารางที่ 4.14–4.15

3.1 ลักษณะปรากฏ

จากการสังเกตลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก น้ำตาลทราย 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมเพกตินปริมาณต่างกันทั้ง 4 สูตร พบว่าให้ลักษณะปรากฏที่คล้ายคลึงกัน โดยมีสีเขียวอ่อนซึ่งเกิดจากสารคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในกากชีวมวลของสาหร่ายสไปรูลิน่า เนื้อโยเกิร์ตแน่นขึ้น และมีความข้นหนืดดีขึ้น ไม่พบการแยกตัวของน้ำที่ผิวหน้า (ภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.14)



ภาพที่ 4.8 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เติมน้ำตาลทราย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมเพกตินปริมาณต่างกัน (0 0.3 0.4 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จากซ้ายไปขวา)

ตารางที่ 4.14 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลินาที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลินาอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เติมน้ำตาลทราย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมเพกตินปริมาณต่างกัน

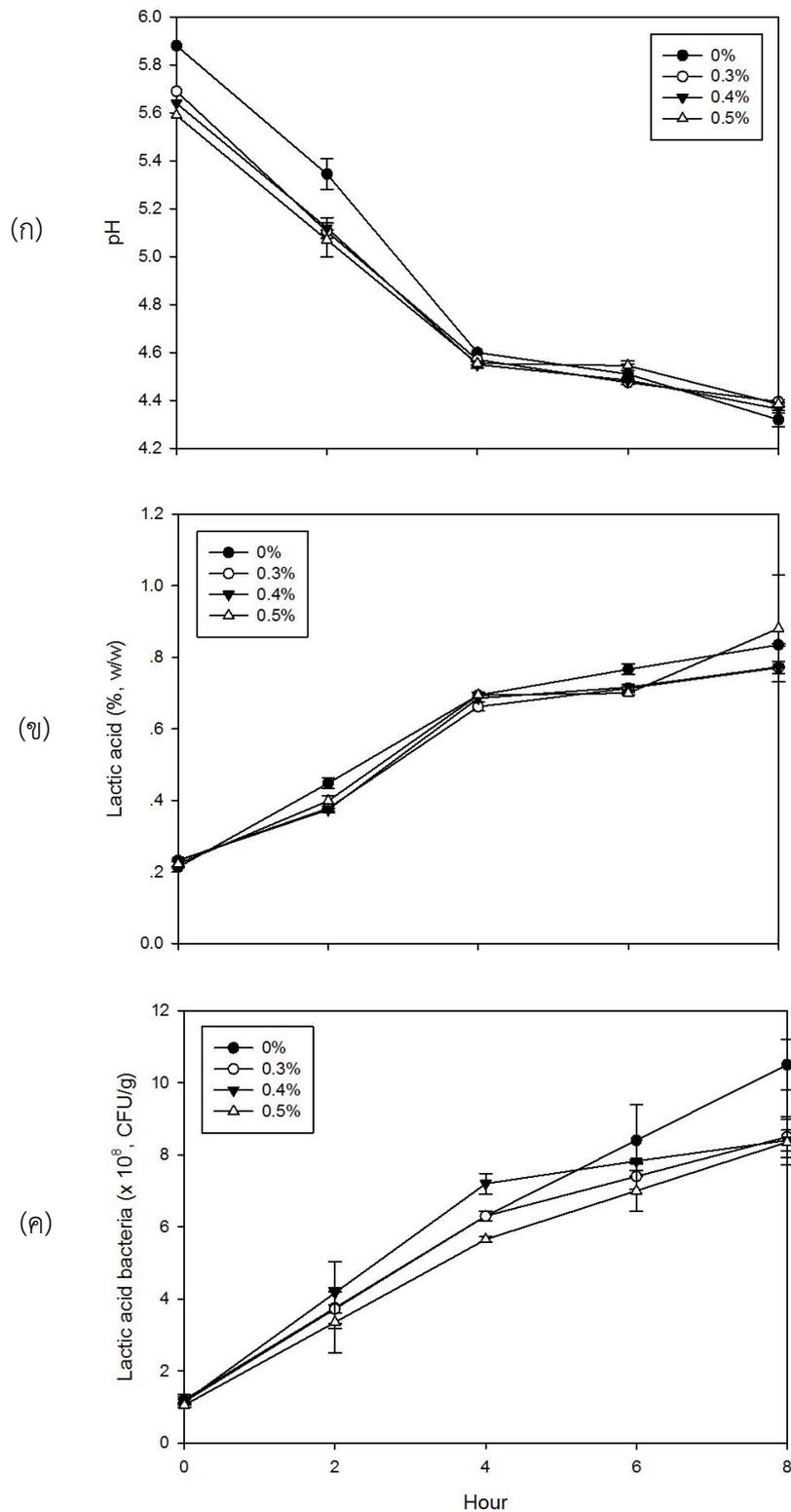
| สูตร | เพกติน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ |
|------|------------------------------------|--|
| 1 | 0 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะแน่นและเนียนดี มีความมันวาว เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |
| 2 | 0.3 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะข้นและเนียนดี มีความมันวาว เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี ไม่พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |
| 3 | 0.4 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะข้นกำลังดีและเนียนดี มีความมันวาว เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี ไม่พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |
| 4 | 0.5 | เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะข้นหนืดและเนียนดี มีความมันวาว เนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสดี ไม่พบชั้นของน้ำที่ผิวหน้าเล็กน้อย |

3.2 ค่าพีเอชและปริมาณกรดแลกติก

จากภาพที่ 4.9 (ก) และภาพที่ 4.9 (ข) พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมัก โยเกิร์ตมีค่าพีเอชระหว่าง 4.32–4.40 และมีปริมาณกรดแลกติกระหว่าง 0.77–0.88 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

3.3 จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก

ผลการวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก (ภาพที่ 4.9 (ค)) พบว่าการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียกรดแลกติกในระหว่างการหมักโยเกิร์ตของทุกสูตรมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกเริ่มต้นอยู่ในช่วง $1.05\text{--}1.20 \times 10^8$ โคโลนีต่อกรัม เมื่อสิ้นสุดการหมัก 8 ชั่วโมง พบว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง $8.35\text{--}10.5 \times 10^8$ โคโลนีต่อกรัม



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลง (ก) ค่าพีเอช (ข) ปริมาณกรดแลกติก และ (ค) จำนวนแบคทีเรีย กรดแลกติก ในระหว่างการหมักโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่เติมกากชีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่า อบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เติมน้ำตาลทราย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมเพกตินปริมาณต่างกัน

3.4 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4.15 พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านอื่น ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสูตรที่เติมเพกติน 0.4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ได้คะแนนการยอมรับมากที่สุด การเติมเพกตินในการผลิตโยเกิร์ตมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาลักษณะเฉพาะตัวที่ต้องการในโยเกิร์ตให้คงอยู่และเพิ่มขึ้น ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส (Body and Texture) ความหนืด (Viscosity / Consistency) ลักษณะปรากฏด้านโครงสร้างของเจล และช่วยลดปัญหาการแยกชั้นของหางนมผง (Whey) หรือการแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ต (Syneresis) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาให้กับผลิตภัณฑ์ด้วย (วารวุฒิ ครูสง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532)

ตารางที่ 4.15 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina ที่เติมกากชีวมวลสำหรับสไปรูลินาอบแห้ง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เติมน้ำตาลทราย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเติมเพกตินปริมาณต่างกัน

| เพกติน (เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก) | คุณลักษณะ | | | | | |
|--|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | สี ^{ns} | กลิ่น | เนื้อสัมผัส | ความ เปรี้ยว | ความ หวาน | ความชอบ โดยรวม |
| 0 | 7.2±1.0 | 7.8 ^b ±1.5 | 4.4 ^c ±2.5 | 5.2 ^b ±2.0 | 7.0 ^b ±0.8 | 5.4 ^d ±2.1 |
| 0.3 | 7.1±0.8 | 7.8 ^{ab} ±1.5 | 6.6 ^b ±1.5 | 6.6 ^a ±2.1 | 8.4 ^a ±1.0 | 7.2 ^b ±0.8 |
| 0.4 | 7.3±0.6 | 8.2 ^a ±0.8 | 7.8 ^a ±1.0 | 7.2 ^a ±1.2 | 8.4 ^a ±0.8 | 8.2 ^a ±0.8 |
| 0.5 | 7.1±0.8 | 7.2 ^{cb} ±2.7 | 6.6 ^b ±2.1 | 5.8 ^b ±2.0 | 7.2 ^b ±0.8 | 6.6 ^c ±1.4 |

หมายเหตุ ^{ns} ในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$); ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองขั้นต้นผู้วิจัยจึงคัดเลือกสูตรโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลินาที่เติมเพกติน 0.4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ดังนั้นสูตรโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลินาสุดท้ายจึงประกอบด้วย น้านม หางนม โยเกิร์ตรสออริจินัล Bio Duo Probiotic

ตราดซ์ซี่ กากซีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง น้ำตาลทราย และเพกติน เท่ากับ 77.65 8.63 8.63 0.43 4.31 และ 0.35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

4. ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าสุดท้าย

4.1 คุณภาพทางกายภาพ

จากการตรวจสอบลักษณะปรากฏ พบว่าโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีสี เขียวอ่อนซึ่งมาจากสารคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในกากซีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง เนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะ ข้น ผิวหน้าเรียบ เนื้อสัมผัสนุ่ม เคี้ยวมีความคงตัวสูง มีกลิ่นรสที่ดี โดยไม่มีกลิ่นของสาหร่าย จากตารางที่ 4.16 พบว่าโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีค่า L^* (ความสว่าง) น้อยที่สุดเท่ากับ 51.31 ค่า a^* (ค่าลบเพิ่มขึ้นหมายถึงสีเขียวเพิ่มขึ้น) มีค่าสูงสุดเท่ากับ -3.88 และค่า b^* (ค่าบวกเพิ่มขึ้น หมายถึง สีเหลืองเพิ่มขึ้น) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 13.34 ทั้งนี้เนื่องจากกากซีวมวลสาหร่ายสไปรูลิน่าอบแห้ง มีลักษณะสีเขียวคล้ำจึงส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่พัฒนาได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ ณีภูวลินคล เสรษฐปราโมทย์, เกรียงศักดิ์ เม่งอาพันธ์, บวรภัทร ไล่เลิศ และดวงพร อมรเลิศพิศาล (2560, น. 55–65) ที่รายงานว่าสูตรโยเกิร์ตผสมสาหร่ายเตาในน้ำเชื่อมความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 69.58 -1.75 และ 9.31 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าการ แยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ต พบว่าโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีความคงตัวค่อนข้างสูงโดยมีค่า การแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ต เท่ากับ 11.35 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปแล้วการแยกตัวของน้ำออก จากโยเกิร์ตขึ้นอยู่กับทำให้ความร้อนนํ้านก่อนการผลิต ชนิดของของแข็งที่มีในนํ้านม รวมถึง ค่าพีเอชด้วย (Lee, Buwalda, Euston, Foegeding, & McKenna, 2003, pp. 339–345) เมื่อ ปริมาณของแข็งในนํ้านมมากกว่า 11 เปอร์เซ็นต์ การเติมสารให้ความหวานในปริมาณมากจะทำให้ ค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ตสูงขึ้นได้ เนื่องจากโมเลกุลเข้าไปแทรกอยู่ในเคิร์ทน้อยการ แยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ตจึงเกิดได้น้อย (Aguilera & Kinsella, 1991, pp. 1224–1228) ซึ่ง โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีการใช้นํ้าตาลทราย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงทำให้การแยก ชั้นเกิดขึ้นได้น้อย

ตารางที่ 4.16 คุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าสุดท้าย

| คุณภาพ | ค่าที่วิเคราะห์ได้ |
|--|---------------------|
| คุณทางกายภาพ | |
| ค่าสี L* | 51.31 ± 0.05 |
| ค่าสี a* | -3.88 ± 0.04 |
| ค่าสี b* | 13.34 ± 0.54 |
| ค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ต (Syneresis) (เปอร์เซ็นต์) | 11.35 ± 0.70 |
| คุณทางเคมี | |
| ค่าพีเอช | 4.23 ± 0.00 |
| ปริมาณกรดกรดแลคติก (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 0.78 ± 0.00 |
| ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 73.69 ± 10.15 |
| โปรตีน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 2.71 ± 0.39 |
| ไขมัน (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 4.26 ± 0.11 |
| เส้นใยหยาบ (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 1.06 ± 0.04 |
| เถ้า (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 0.82 ± 0.11 |
| คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) | 17.46 ± 0.00 |
| คุณทางจุลินทรีย์ | |
| จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | 2.5×10 ³ |
| แบคทีเรียกรดแลคติก (โคโลนีต่อกรัม) | 1.8×10 ⁹ |
| ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม) | <10 |
| โคลิฟอร์ม (MPN ต่อกรัม) | <3 |
| <i>E. coli</i> (MPN ต่อกรัม) | <3 |

4.2 คุณภาพทางเคมี

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่า (ตารางที่ 4.16) พบว่าโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 4.37 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมของโยเกิร์ตโดยทั่วไป (วรารุณี ครุสง และรุ่งนภา พงษ์สวัสดิ์มานิต, 2532; นवलนภา อัครสินธวงกูร, 2546) มีปริมาณกรดแลคติกเท่ากับ 0.78 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับ Codex Alimentarius และมาตรฐานที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2548) กำหนดให้โยเกิร์ตสำหรับวาง

หน่วยต้องมีปริมาณกรดแลกติกไม่น้อยกว่า 0.6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (Temesgen & Yetneberg, 2015, pp. 90–102) นอกจากนี้มีปริมาณโปรตีนมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 99 ประมาณ 1.8 เท่า ซึ่งกำหนดให้โยเกิร์ตต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก

4.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ (ตารางที่ 4.16) พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและแบคทีเรียกรดแลกติกเท่ากับ 2.5×10^3 และ 1.8×10^9 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่จำนวนยีสต์และรา โคลิฟอร์ม และ *E. coli* พบว่ามีจำนวน <10 โคโลนีต่อกรัม <3 MPN ต่อกรัม และ <3 MPN ต่อกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่พัฒนาได้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและมีจุลินทรีย์พรไบโอติกที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคในปริมาณสูง ดังนั้นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่พัฒนาได้จึงมีคุณสมบัติเป็นทั้งพรไบโอติก เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคที่รักสุขภาพ และช่วยเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบเหลือทิ้งได้เป็นอย่างดี

5. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในระหว่างการเก็บรักษา

จากการนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าที่พัฒนาได้ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน และสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ และทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic scale ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.17–ตารางที่ 4.18

5.1 คุณภาพทางกายภาพ

ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของโยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาโยเกิร์ตนานขึ้นค่า L^* มีค่าลดลงแสดงให้เห็นว่าโยเกิร์ตมีความสว่างน้อยลง ในขณะที่ค่า a^* ซึ่งแสดงถึงค่าสีเขียว (ติดลบ) ก็ลดลงเช่นกัน สอดคล้องกับลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตที่เปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีเขียวอมเหลืองและค่า b^* ซึ่งแสดงถึงค่าสีเหลืองที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น (ตารางที่ 4.17) เมื่อพิจารณาค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ต พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ นพพร สกุลยีนยงสุข (2558) และ มธรา อุณหศิริกุล และคณะ (2561, น. 118–124)

ที่รายงานว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตไขมันต่ำเสริมแป้งแก่แทนตะวัน และโยเกิร์ตจากข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดจันทบุรีจะมีค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ตเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

5.2 คุณภาพทางเคมี

ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพทางเคมีของโยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 4.17) ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่า ค่าพีเอชลดลงและปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นมาจากกิจกรรมของแบคทีเรียกรดแลคติกที่ยังหลงเหลืออยู่ เมื่อกรดแลคติกเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โปรตีนเข้าใกล้จุด Isoelectric Point มากขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนในโยเกิร์ตจึงน้อยลง หลังจากนั้นค่าการแยกตัวของน้ำออกจากโยเกิร์ต และปริมาณกรดแลคติกจะมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากแบคทีเรียกรดแลคติกดังกล่าวมีเมแทบอลิซึมน้อยลง (La Torre, Tamine, & Muir, 2003, pp. 163–170) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ นพพร สกุลยีนยงสุข (2558) และ มจธรา อุณหศิริกุล และคณะ (2561, น. 118–124) ที่รายงานว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตไขมันต่ำเสริมแป้งแก่แทนตะวัน และโยเกิร์ตจากข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดจันทบุรีจะมีค่าพีเอชลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

5.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกมีจำนวนลดลงเรื่อย ๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น (ตารางที่ 4.18) ซึ่งเป็นผลมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานและค่าพีเอชที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในโยเกิร์ตไปยับยั้งการเจริญ (Kneifel, Jaros, & Erhard, 1993, pp. 179–189) อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา (วันที่ 14) พบว่าจำนวนแบคทีเรียที่เหลือรอดชีวิตมีจำนวนเท่ากับ 5.45×10^8 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งมีจำนวนมากเพียงพอที่จะช่วยส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยมาตรฐานขั้นต่ำของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตคือ $> 10^6$ เซลล์ต่อกรัมของโยเกิร์ตต่อวัน (Kurman & Rasic, 1991, pp. 561–594) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยนุสรณ์ น้อยดวง และปัทมา คล้ายจันทร์ (2547, น. 24–31) และ มจธรา อุณหศิริกุล และคณะ (2561, น. 118–124) ที่รายงานว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตกล้วยหอมและโยเกิร์ตจากข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดจันทบุรีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลดลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่าย
สไปรูลิน่าในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

| วันที่เก็บ รักษา | ค่าสี | | | Syneresis (%) | ค่าพีเอช | กรดแลกติก (%) |
|---------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | L* | a* | b* | | | |
| 0 | 51.3 ^a ±0.1 | -3.9 ^s ±0.0 | 11.3 ^e ±0.5 | 11.35 ^d ±0.70 | 4.23 ^{ab} ±0.00 | 0.78 ^d ±0.00 |
| 2 | 51.3 ^a ±0.6 | -3.2 ^e ±0.1 | 11.8 ^e ±0.1 | 11.90 ^d ±0.50 | 4.26 ^a ±0.04 | 0.78 ^{cd} ±0.02 |
| 4 | 51.3 ^a ±0.7 | -3.8 ^s ±0.0 | 14.5 ^c ±0.0 | 13.07 ^{cd} ±0.84 | 4.21 ^{bc} ±0.00 | 0.79 ^{bcd} ±0.01 |
| 6 | 49.8 ^b ±0.5 | -3.3 ^f ±0.0 | 13.6 ^d ±0.1 | 14.30 ^{bc} ±0.68 | 4.20 ^{bc} ±0.03 | 0.78 ^{bcd} ±0.02 |
| 8 | 49.4 ^{bc} ±0.7 | -2.1 ^d ±0.2 | 14.7 ^{bc} ±0.6 | 14.62 ^{abc} ±1.82 | 4.30 ^{ab} ±0.01 | 0.78 ^d ±0.02 |
| 10 | 49.1 ^{bc} ±0.7 | -1.9 ^c ±0.1 | 15.2 ^{ab} ±0.1 | 15.37 ^{ab} ±0.48 | 4.21 ^{bc} ±0.00 | 0.80 ^{bc} ±0.01 |
| 12 | 48.4 ^c ±1.4 | -1.7 ^b ±0.1 | 14.7 ^{bc} ±0.5 | 16.34 ^{ab} ±0.77 | 4.18 ^c ±0.00 | 0.82 ^a ±0.01 |
| 14 | 48.7 ^c ±0.4 | -1.1 ^a ±0.1 | 15.6 ^a ±0.1 | 16.63 ^a ±0.35 | 4.19 ^{bc} ±0.00 | 0.80 ^{bc} ±0.02 |

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

5.4 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของโยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ยกเว้นกลิ่นของโยเกิร์ต เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.19) พบว่าผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัส โดยมีค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาค่อนข้างคงที่เท่ากับ 8.0 และ 8.3 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับคะแนนชอบมาก ในขณะที่คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี ความหวาน และความชอบโดยรวม มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ในโยเกิร์ต โดยเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความชอบรวมเท่ากับ 6.7 ซึ่งอยู่ในระดับคะแนนชอบเล็กน้อย-ชอบปานกลาง

ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

| วันที่เก็บรักษา | จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) | แบคทีเรียกรดแลคติก (CFU/g) | ยีสต์และรา (CFU/g) | โคลิฟอร์ม (MPN ต่อกรัม) | จำนวน <i>E. coli</i> (MPN ต่อกรัม) |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 0 | 20.50×10^3 | 1.80×10^9 | <10 | <3 | <3 |
| 2 | 8.75×10^3 | 1.60×10^9 | <10 | <3 | <3 |
| 4 | 4.35×10^3 | 1.33×10^9 | <10 | <3 | <3 |
| 6 | 3.20×10^3 | 1.10×10^9 | <10 | <3 | <3 |
| 8 | 5.40×10^3 | 4.85×10^8 | <10 | <3 | <3 |
| 10 | 5.25×10^3 | 5.03×10^8 | <10 | <3 | <3 |
| 12 | 5.25×10^3 | 5.65×10^8 | <10 | <3 | <3 |
| 14 | 4.50×10^3 | 5.45×10^8 | <10 | <3 | <3 |

ตารางที่ 4.19 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

| วันที่เก็บรักษา | คุณลักษณะ | | | | | |
|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| | สี | กลิ่น ^{ns} | เนื้อสัมผัส | ความเปรี้ยว | ความหวาน | ความชอบโดยรวม |
| 0 | $7.7^a \pm 0.5$ | 8.0 ± 0.8 | $8.0^a \pm 0.0$ | $7.0^c \pm 0.8$ | $7.0^a \pm 0.0$ | $8.3^{ab} \pm 0.5$ |
| 2 | $7.7^a \pm 0.5$ | 8.0 ± 0.8 | $8.3^b \pm 0.5$ | $7.7^{ab} \pm 0.5$ | $6.3^c \pm 0.5$ | $8.3^{ab} \pm 0.5$ |
| 4 | $7.7^a \pm 0.5$ | 8.0 ± 0.8 | $8.3^b \pm 0.5$ | $8.0^a \pm 0.8$ | $6.3^c \pm 0.5$ | $8.7^a \pm 0.5$ |
| 6 | $7.7^a \pm 0.5$ | 8.0 ± 0.8 | $8.3^b \pm 0.5$ | $8.0^a \pm 0.8$ | $6.7^b \pm 0.5$ | $8.7^a \pm 0.5$ |
| 8 | $6.3^b \pm 1.5$ | 8.0 ± 0.8 | $8.3^b \pm 0.5$ | $8.0^a \pm 0.8$ | $6.0^d \pm 0.8$ | $8.0^b \pm 0.8$ |
| 10 | $5.7^c \pm 1.0$ | 8.0 ± 0.8 | $8.3^b \pm 0.5$ | $7.3^{bc} \pm 1.3$ | $6.0^d \pm 0.8$ | $8.0^b \pm 0.8$ |
| 12 | $5.4^c \pm 1.3$ | 8.0 ± 0.8 | $8.3^b \pm 0.5$ | $7.3^{bc} \pm 1.3$ | $6.0^d \pm 0.8$ | $7.3^c \pm 1.3$ |
| 14 | $5.0^d \pm 1.4$ | 8.0 ± 0.8 | $8.3^b \pm 0.5$ | $7.3^{bc} \pm 1.3$ | $6.0^d \pm 0.8$ | $6.7^d \pm 1.7$ |

หมายเหตุ ^{ns} ในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$); ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันที่พัฒนาได้ 3 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแท่งเสริมสาหร่ายสไปรูulina ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูulina และผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina กับกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป (Consumer) จำนวน 120 คน ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.20 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (57 เปอร์เซ็นต์) มีอายุระหว่าง 15–25 ปี (45 เปอร์เซ็นต์) ศึกษาในระดับปริญญาตรี (71 เปอร์เซ็นต์) มีอาชีพนิสิต/นักศึกษา (41 เปอร์เซ็นต์) รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 15,00–20,000 บาท (26 เปอร์เซ็นต์) มีการยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิพองอัดแท่งเสริมสาหร่ายสไปรูulina (98 เปอร์เซ็นต์) ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูulina (100 เปอร์เซ็นต์) และผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina (99 เปอร์เซ็นต์) โดยมีความเห็นว่าราคาที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ คือ 20 20 และ 15 บาท ตามลำดับ ขนาดที่เหมาะสมคือ 6×3 เซนติเมตร 50 กรัม และ 35 กรัม ตามลำดับ ส่วนใหญ่จะซื้อผลิตภัณฑ์ทั้งสามชนิดแน่นอนหากมีการวางจำหน่าย โดยผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีความเห็นว่าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 ชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกาย และจากตารางที่ 4.10– ตารางที่ 4.16 พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 100 คน ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องพองอัดแท่งเสริมสาหร่ายสไปรูulina ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูulina และผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina

| | ปัจจัย | ความถี่ (เปอร์เซ็นต์) |
|------|---------------|-----------------------|
| เพศ | ชาย | 43 |
| | หญิง | 57 |
| อายุ | ต่ำกว่า 15 ปี | 2 |
| | 15–25 ปี | 45 |
| | 26–35 ปี | 36 |
| | 36–50 ปี | 11 |
| | สูงกว่า 50 ปี | 6 |

ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

| ปัจจัย | ความถี่ (เปอร์เซ็นต์) |
|------------------------|-----------------------|
| ระดับการศึกษา | |
| ประถมศึกษา | 4 |
| มัธยมศึกษา | 7 |
| อนุปริญญาหรือเทียบเท่า | 11 |
| ปริญญาตรี | 71 |
| สูงกว่าปริญญาตรี | 7 |
| อาชีพ | |
| นักเรียน | 2 |
| นิสิต/นักศึกษา | 41 |
| ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว | 23 |
| แม่บ้าน | 2 |
| ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ | 11 |
| พนักงานบริษัทเอกชน | 17 |
| รับจ้าง | 4 |
| อื่น ๆ | 0 |
| รายได้เฉลี่ยต่อเดือน | |
| น้อยกว่า 1000 บาท | 5 |
| 1001-5000 บาท | 6 |
| 5001-10000 บาท | 16 |
| 10001-15000 บาท | 24 |
| 15001-20000 บาท | 26 |
| มากกว่า 20000 บาท | 23 |

ตารางที่ 4.21 ข้อมูลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิของอัดแห้ง
เสริมสาหร่ายสไปรูulina

| ปัจจัย | ความถี่ (เปอร์เซ็นต์) |
|--|-----------------------|
| ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิของอัดแห้ง เสริมสาหร่ายสไปรูulina | |
| ยอมรับ | 98 |
| ไม่ยอมรับ | 2 |
| ราคาที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิของอัดแห้ง เสริมสาหร่ายสไปรูulina ขนาด 12×3 เซนติเมตร ท่านคิดว่าควรมี ราคาเท่าใด | |
| 15 บาท | 36 |
| 20 บาท | 44 |
| 25 บาท | 14 |
| มากกว่า 25 บาท | 6 |
| ท่านคิดว่าขนาดที่เหมาะสมสำหรับการรับประทานผลิตภัณฑ์ข้าว กล้องหอมมะลิของอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูulina ควรจะเป็น เท่าใด | |
| 6×3 เซนติเมตร | 38 |
| 10×2 เซนติเมตร | 37 |
| 12×3 เซนติเมตร | 25 |
| อื่น ๆ | 0 |
| หากมีผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิของอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไป รูlina วางจำหน่าย ท่านคิดว่า จะซื้อหรือไม่ | |
| ซื้อแน่นอน | 54 |
| ซื้อบางโอกาส | 33 |
| ไม่ซื้อทันที อาจซื้อในโอกาสต่อไป | 13 |
| ไม่ซื้อแน่ ๆ | 0 |

ตารางที่ 4.22 ข้อมูลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูulina

| ปัจจัย | ความถี่ (เปอร์เซ็นต์) |
|---|-----------------------|
| ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูulina | |
| ยอมรับ | 100 |
| ไม่ยอมรับ | 0 |
| ราคาที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมเสริมสาหร่ายสไปรูulina | |
| ขนาด 50 กรัม ท่านคิดว่าควรมีราคาเท่าใด | |
| 20 บาท | 50 |
| 25 บาท | 39 |
| 30 บาท | 8 |
| มากกว่า 30 บาท | 3 |
| ท่านคิดว่าขนาดที่เหมาะสมสำหรับการรับประทานผลิตภัณฑ์ | |
| ไอศกรีมนมเสริมสาหร่ายสไปรูulina ควรจะเป็นเท่าใด | |
| 50 กรัม | 61 |
| 100 กรัม | 27 |
| 150 กรัม | 12 |
| อื่น ๆ | 0 |
| หากมีผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนมเสริมสาหร่ายสไปรูulinaวางจำหน่าย | |
| ท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่ | |
| ซื้อแน่นอน | 69 |
| ซื้อบางโอกาส | 25 |
| ไม่ซื้อทันที อาจซื้อในโอกาสต่อไป | 6 |
| ไม่ซื้อแน่ ๆ | 0 |

ตารางที่ 4.23 ข้อมูลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina

| ปัจจัย | ความถี่ (เปอร์เซ็นต์) |
|--|-----------------------|
| ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina | |
| ยอมรับ | 99 |
| ไม่ยอมรับ | 1 |
| ราคาที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina | |
| ขนาด 35 กรัม ท่านคิดว่าควรมีราคาเท่าใด | |
| 15 บาท | 42 |
| 20 บาท | 31 |
| 25 บาท | 26 |
| มากกว่า 25 บาท | 1 |
| ท่านคิดว่าขนาดที่เหมาะสมสำหรับการรับประทานผลิตภัณฑ์ | |
| โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina ควรจะเป็นเท่าใด | |
| 35 กรัม | 51 |
| 50 กรัม | 29 |
| 75 กรัม | 20 |
| อื่น ๆ | 0 |
| หากมีผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina วางจำหน่าย | |
| ท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่ | |
| ซื้อแน่นอน | 56 |
| ซื้อบางโอกาส | 32 |
| ไม่ซื้อทันที อาจซื้อในโอกาสต่อไป | 11 |
| ไม่ซื้อแน่ ๆ | 1 |

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมมะลิฟองอัดแห้งเสริมสาหร่ายสไปรูulina

| คุณลักษณะ | คะแนนความชอบเฉลี่ย |
|---------------|--------------------|
| ลักษณะปรากฏ | 7.25 ± 1.16 |
| สี | 7.17 ± 1.20 |
| กลิ่น | 7.28 ± 1.09 |
| รสชาติ | 7.48 ± 1.06 |
| เนื้อสัมผัส | 7.33 ± 1.08 |
| ความชอบโดยรวม | 7.44 ± 1.09 |

ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมสาหร่ายสไปรูulina

| คุณลักษณะ | คะแนนความชอบเฉลี่ย |
|---------------|--------------------|
| สี | 7.73 ± 0.96 |
| กลิ่น | 7.59 ± 0.94 |
| รสชาติ | 7.77 ± 1.00 |
| เนื้อสัมผัส | 7.68 ± 0.96 |
| ความหวาน | 7.52 ± 1.03 |
| ความชอบโดยรวม | 7.55 ± 0.99 |

ตารางที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมสาหร่ายสไปรูulina

| คุณลักษณะ | คะแนนความชอบเฉลี่ย |
|---------------|--------------------|
| สี | 7.32 ± 1.06 |
| กลิ่น | 7.33 ± 0.94 |
| เนื้อสัมผัส | 7.37 ± 1.02 |
| ความเปรี้ยว | 7.35 ± 1.03 |
| ความหวาน | 7.18 ± 1.07 |
| ความชอบโดยรวม | 7.22 ± 1.31 |