บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์

4.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ของข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด

จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด พบว่าข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดที่ใช้ในการทดลองนี้มีอัตราการงอกเท่ากับร้อยละ 96.0±1.0 (ตาราง 4.1) มีองค์ประกอบเคมีพื้นฐาน คือ ปริมาณความชื้นร้อยละ 16.72±0.02 โปรตีนร้อยละ 8.90±0.12 ไขมันร้อยละ 2.32±0.04 เถ้าร้อยละ 1.41±0.03 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 70.65±0.05 นอกจากนั้นพบว่ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 0.24±0.02 และตรวจพบกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (0.02±0.01 ยูนิตต่อกรัม) สอดคล้องกับการศึกษาของชนินันท์ (2542) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทยและการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน พบว่าองค์ประกอบเคมีของข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.01- 10.10 และไขมันร้อยละ 0.89 - 1.07 เหมาะแก่การนำไปผลิตมอลโทเดรกซ์ทริน

ปริมาณสาร GABA (gamma-aminobutyric acid) แกมมา-โอรีซานอล (gamma-oryzanol) และไซยานิดินไตรกลูโคไซด์ (cyanidin 3-glucoside) ในข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 0.29±0.02 75.74±0.18 และ 5.48±0.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของพันทิพา และคณะ (2549) ที่ทำการศึกษาปริมาณแกมมา-โอรีซานอลในผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดต่างๆ พบว่าข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดมีปริมาณสารแอนโทไซยานิน และแกมมา-โอรีซานอลเท่ากับ 1.18 - 16.83 และ 39.83-72.95 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนั้นเบญจวรรณ (2553) ยังได้รายงานถึงปริมาณของไซยานิดินไตรกลูโคไซด์ที่พบในข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดเท่ากับ 192.81 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น GABA แกมมา-โอรีซานอล และไซยานิดินไตรกลูโคไซด์ ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายด้าน เหมาะสมในการที่จะนำไปผลิตเป็นเครื่องดื่มจากน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของข้าวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด

ลักษณะคุณภาพ	ปริมาณ
คุณภาพทางกายภาพ	
อัตราการงอก (ร้อยละ)	96.0±1.00
คุณภาพทางเคมี	
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	16.72±0.02
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	8.90±0.12
ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	2.32±0.04
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	1.41±0.03
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	70.65±0.05
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	0.24±0.02
กิจกรรมแอลฟาแอมิเลส (ยูนิตต่อกรัม)	0.02±0.01
ปริมาณ GABA (มก./100 กรัม)	0.29±0.02
ปริมาณแกมมา -โอรีซานอล (มก./100 กรัม)	75.74±0.18
ปริมาณไซยานิดินไตรกลูโคไซด์ (มก./100 กรัม)	5.48±0.20

หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

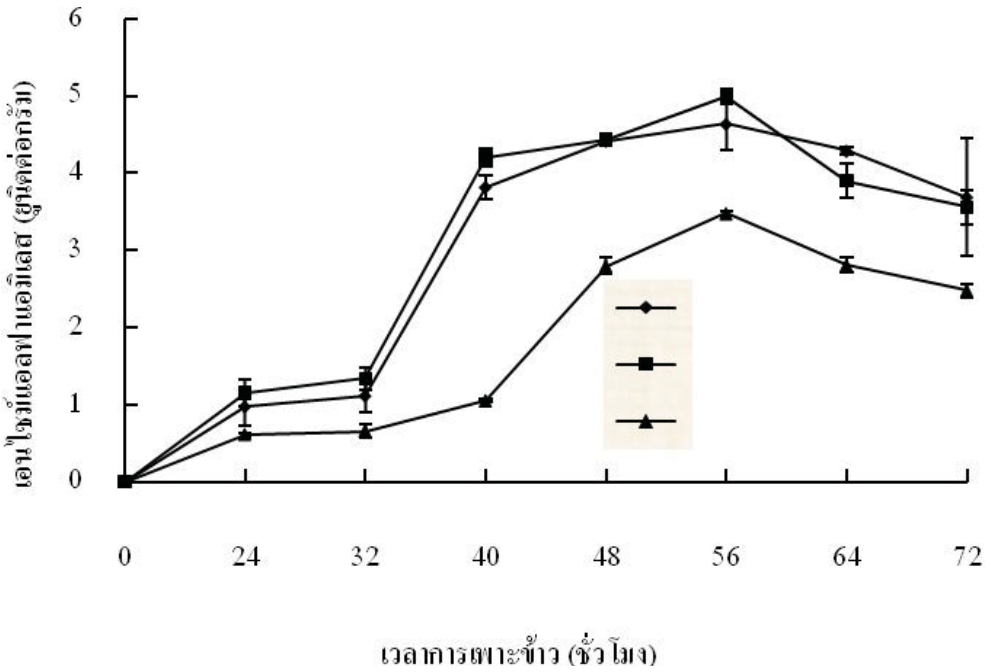
4.2 สภาวะที่เหมาะสมของการเพาะข้าวก่ำกล้อง

จากการนำข้าวไปเพาะให้งอกที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสที่อุณหภูมิห้อง (21-25 องศาเซลเซียส) 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเพาะและมีค่าสูงสุดเมื่อเพาะเป็นระยะเวลา 56 ชั่วโมง(รูป 4.1) หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ โดยเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสจะมีกิจกรรมสูงสุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและระยะเวลาในการเพาะ 56 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 4.99±0.10 ยูนิตต่อกรัม

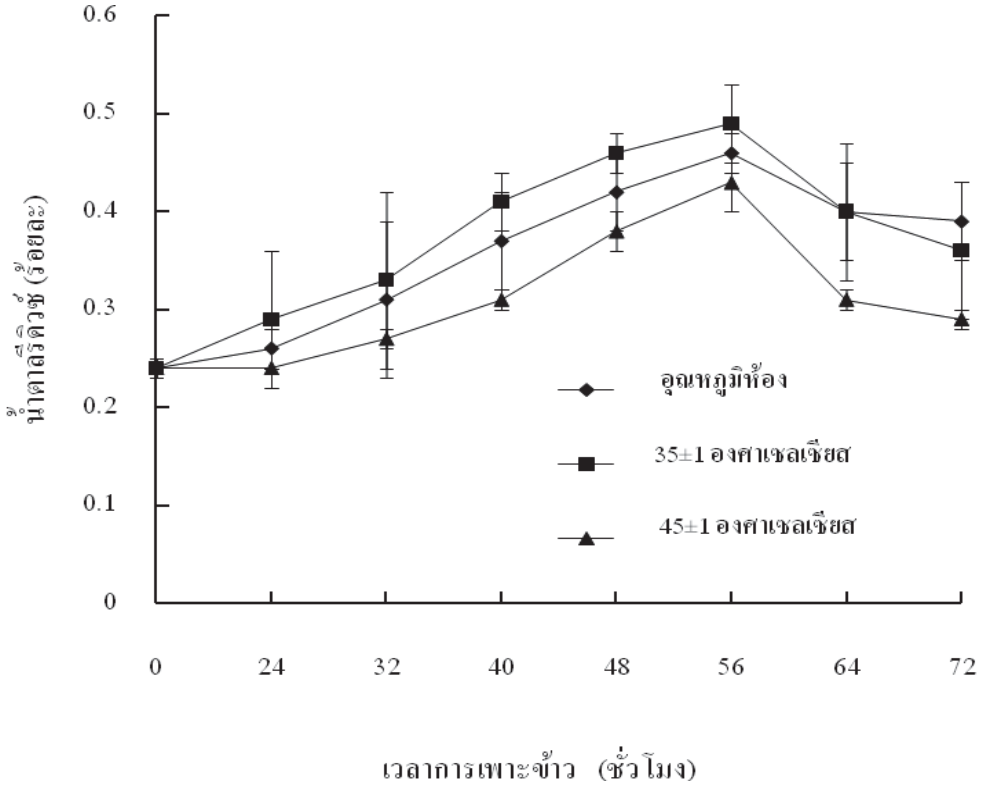
ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเพาะ 56 ชั่วโมง (รูป4.2) แสดงให้เห็นว่ามีอุณหภูมิที่เหมาะสม (Optimum temperature) ในการทำงานของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส คือ 35 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 0.49±0.04 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Behal *et al*. (2006) และ Mehrabadi and Bandani (2009) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส คือ 40^{o}C และช่วงระหว่าง 25-40^{o}C ตามลำดับ และสามารถทำงานเปลี่ยนสารตั้งต้นที่เป็นคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้สูงสุดที่ระยะเวลา 56 ชั่วโมง ส่วนการศึกษาของ Capanzana *et al.* (1989) พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสเพิ่มขึ้น

เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก โดยเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่เมล็ดงอกจะมีการสังเคราะห์เอนไซม์แอลฟาแอมิเลสเพิ่มขึ้น เพื่อย่อยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ในเมล็ดให้โมเลกุลเล็กลง และส่งไปเลี้ยงบริเวณคัพภะของเมล็ด เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตระหว่างกระบวนการงอก

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพาะข้าวก่ำกล้องที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 ชั่วโมง มีกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด ดังนั้นจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองต่อไป



รูป 4.1 กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสในข้าวก่ำกล้องงอกเพาะที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูป 4.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวก่ำกล้องงอกเพาะที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยข้าวก่ำกล้องงอก

4.3.1 การย่อยข้าวก่ำกล้องงอกด้วยเอนไซม์ในข้าวงอก

นำข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการเพาะที่เหมาะสมที่คัดเลือกจากตอนที่ 3.4.2 ไปย่อยโดยใช้เอนไซม์ในข้าวงอกตามวิธีการวิจัยในขั้นตอนที่ 3.4.3.1 ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลของปัจจัยเดี่ยวด้านอัตราส่วนของข้าวก่ำกล้องงอกต่อน้ำต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกที่ได้ พบว่าเมื่ออัตราส่วนของข้าวก่ำกล้องงอกเพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 20:80 25:75 และ 30:70 จะมีปริมาณของเหลวที่สกัดได้ลดลง (ตาราง 4.2) เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการเปลี่ยนข้าวก่ำกล้องงอกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 20:80 มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.24±0.28 และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ค่าความหนืดของของน้ำข้าวก่ำกล้องงอกพบว่าปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 20:80 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 14.02±0.57 เซนติพอยส์ รองลงมาคือปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 25:75 มีค่าความหนืดเท่ากับ 13.60±1.17 เซนติพอยส์ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 30:70 มีค่าความหนืดน้อยที่สุดเท่ากับ 11.16±0.96 เซนติพอยส์

นอกจากนั้นพบว่าเมื่ออัตราส่วนของข้าวก่ำกล้องงอกเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยมีปริมาณร้อยละ 3.33±0.17 3.87±0.17 และ 3.89±0.10 ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด มีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ กล่าวคือ เมื่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยการใช้ปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกอัตราส่วน 30:70 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงสุด 16.26±1.89 องศาบริกซ์ รองลงมาคืออัตราส่วน 25:75 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 14.37±0.53 องศาบริกซ์ และอัตราส่วน 20:80 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่ำสุด 11.48±0.27 องศาบริกซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของชุลีพร (2548) ที่กล่าวไว้ว่าการเพิ่มปริมาณของข้าวเหนียวที่เป็นสารตั้งต้นจะทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วนต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) พบว่าข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 25:75 ค่าสูงสุดคือ 5.24±0.30 รองลงมาคือข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 20:80 มีค่าเท่ากับ 5.22±0.19 และข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 30:70 มีค่าค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยที่สุดเท่ากับ 5.04±0.05 ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะของปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 30:70 มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 1.04±0.01 รองลงมาคือ ข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 25:75 และ 20:80 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.02±0.02 และ1.00±0.01 ตามลำดับ ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

ตาราง 4.2 ผลของปัจจัยเดี่ยวด้านอัตราส่วนของข้าวก่ำกล้องงอกต่อน้ำต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก	อัตราส่วนของข้าวก่ำกล้องงอกต่อน้ำ		
	20:80	25:75	30:70
ผลการสกัด			
ปริมาณของเหลวที่สกัดได้ (กรัม/100 กรัม)	37.55±1.11	29.19±2.36	23.93±1.18
ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนข้าวก่ำกล้องงอกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	6.24±0.28[a]	4.51±0.31[b]	3.11±0.23[c]
คุณภาพของน้ำข้าวก่ำกล้องงอก			
ความหนืด (เซนติพอยส์)	14.02±0.57[a]	13.60±1.17[a]	11.16±0.96[b]
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	3.33±0.17[b]	3.87±0.17[a]	3.89±0.10[a]
ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	11.48±0.27[c]	14.37±0.53[b]	16.26±1.89[a]
ความเป็นกรด-ด่าง	5.22±0.19[a]	5.24±0.30[a]	5.04±0.05[b]
ความถ่วงจำเพาะ	1.00±0.01[c]	1.02±0.02[b]	1.04±0.01[a]

หมายเหตุ - ตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ผลของปัจจัยเดี่ยวด้านระยะเวลาในการย่อยต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกที่ได้ พบว่าของเหลวที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการย่อยได้เท่ากับ 28.90±6.83-30.23±6.12 กรัมต่อ100 กรัม (ตาราง 4.3) เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการเปลี่ยนข้าวก่ำกล้องงอกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าระยะเวลาในการย่อย 3 ชั่วโมง มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 4.93±1.42 รองลงมาคือระยะเวลาในการย่อย 2 และ 1 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับ 4.56±1.30 และ 4.38±1.38 ตามลำดับ ค่าความหนืดพบว่าระยะเวลาในการย่อย 1 ชั่วโมง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 13.60±1.23 เซนติพอยส์ รองลงมาคือระยะเวลาในการย่อย 2 และ 3 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับ 12.96±1.77 และ 12.22±0.80 เซนติพอยส์ ตามลำดับ นอกจากนั้นระยะเวลาในการย่อยไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 3.65±0.25-3.74±0.26 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่ระยะเวลาในการย่อย 3 ชั่วโมงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 15.11±3.14 องศาบริกซ์ และแตกต่างจากระยะเวลาในการย่อยที่ 2 และ 1 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 13.63±1.55 และ 13.36±1.65 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าระยะเวลาในการย่อย 1 ชั่วโมง มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุดเท่ากับ 5.38±0.27 และแตกต่างจากระยะเวลาในการย่อยที่ 2 และ 3 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะที่ระยะเวลาในการย่อย 3 ชั่วโมง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) มีค่าเท่ากับ 1.03±0.02 รองลงมาคือระยะเวลาในการย่อย 2 และ 1 ชั่วโมง มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.02±0.02 และ 1.01±0.01 ตามลำดับ

ตาราง 4.3 ผลของปัจจัยเดี่ยวด้านระยะเวลาในการย่อยต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก	ระยะเวลาในการย่อย (ชั่วโมง)		
	1	2	3
ผลการสกัด			
ปริมาณของเหลวที่สกัดได้ (กรัม/100 กรัม)	28.90±6.83	29.96±7.26	30.23±6.12
ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนข้าวก่ำกล้องงอกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	4.38±1.38^{c}	4.56±1.30^{b}	4.93±1.42^{a}
คุณภาพของน้ำข้าวก่ำกล้องงอก			
ความหนืด (เซนติพอยส์)	13.60±1.23^{a}	12.96±1.77^{b}	12.22±1.51^{c}
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)^{ns}	3.65±0.25	3.71±0.40	3.74±0.26
ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	13.36±1.65^{c}	13.63±1.55^{b}	15.11±3.14^{a}
ความเป็น กรด-ด่าง	5.38±0.27^{a}	5.09±0.09^{b}	5.04±0.05^{b}
ความถ่วงจำเพาะ	1.01±0.01^{c}	1.02±0.02^{b}	1.03±0.02^{a}

หมายเหตุ - ตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอัตราส่วนข้าวก่ำกล้องงอกและระยะเวลาในการย่อยต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก พบว่าปริมาณของเหลวที่สกัดได้ที่อัตราส่วนส่วน 20:80 ระยะเวลาในการย่อย 3 ชั่วโมงมีค่าสูงสุด (ตาราง 4.4) เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการเปลี่ยนข้าวก่ำกล้องงอกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ในแต่ละสิ่งทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วนส่วน 20:80 ระยะเวลาในการย่อย 3 ชั่วโมง มีค่าสูงสุดร้อยละ 6.60±0.09

ค่าความหนืดของปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 20:80 ระยะเวลาในการย่อย 1 2 และ 3 ชั่วโมง และ ปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 25:75 ระยะเวลาในการย่อย 1 และ 2 ชั่วโมง มีค่าความหนืดแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 14.40±0.53 เซนติพอยส์ ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า ปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 25:75 ระยะเวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดร้อยละ 4.04±0.18 และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 30 :70 ระยะเวลาในการย่อย 3 ชั่วโมง มีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 18.77±0.25 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่างของปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 25:75 ระยะเวลาในการย่อย 1 ชั่วโมง มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุดเท่ากับ 5.63±0.15 และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความถ่วงจำเพาะของปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกที่อัตราส่วน 30:70 ระยะเวลาในการย่อย 3 ชั่วโมง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.05±0.00 ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสิ่งทดลองอื่น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกอัตราส่วน 30:70 และระยะเวลาในการย่อยเท่ากับ 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากสภาวะดังกล่าวให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูง เพื่อให้ยีสต์ใช้เป็นแหล่งพลังงานและมีโอกาสในการหมักมากขึ้น ทำให้สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูง ส่งผลให้อายุการเก็บรักษานานขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงยังสามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างกรดได้นั่นเอง การที่เลือกปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกอัตราส่วน 30:70 นั้นจะส่งผลให้ค่าคุณภาพด้านต่างๆ สูงขึ้นตามไปด้วย

ตาราง 4.4 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอัตราส่วนข้าวก่ำกล้องงอกและระยะเวลาในการย่อยต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ปัจจัยที่ศึกษา		ผลการสกัด		คุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก				
อัตราส่วนข้าวก่ำกล้องงอกต่อน้ำ (กรัม:กรัม)	ระยะเวลาในการย่อย (ชั่วโมง)	ปริมาณของเหลวที่สกัดได้ (กรัม/100 กรัม)	ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนข้าวก่ำกล้องงอกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	ความหนืด (เซนติพอยส์)	น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ความเป็นกรด-ด่าง	ความถ่วงจำเพาะ
20:80	1	36.30±0.40	6.06±0.08^{b}	14.20±0.92^{a}	3.34±0.18^{cd}	11.23±0.25^{e}	5.43±0.12^{b}	1.00±0.00^{f}
	2	37.96±0.17	6.07±0.10^{b}	14.00±0.53^{a}	3.20±0.12^{d}	11.67±0.21^{d}	5.17±0.12^{c}	1.00±0.00^{f}
	3	38.40±0.10	6.60±0.09^{a}	13.87±0.31^{a}	3.44±0.15^{c}	11.53±0.21^{de}	5.07±0.06^{c}	1.01±0.00^{e}
25:75	1	27.52±0.06	4.16±0.09^{e}	14.40±0.53^{a}	3.77±0.07^{b}	13.97±0.25^{c}	5.63±0.15^{a}	1.00±0.00^{f}
	2	28.12±0.06	4.54±0.06^{d}	14.13±0.83^{a}	4.04±0.18^{a}	14.10±0.10^{c}	5.07±0.06^{c}	1.03±0.01^{c}
	3	31.90±0.10	4.85±0.10^{c}	12.27±0.64^{b}	3.80±0.06^{b}	15.03±0.15^{b}	5.03±0.06^{c}	1.04±0.00^{b}
30:70	1	22.86±0.09	2.91±0.21^{g}	12.20±0.72^{b}	3.83±0.06^{ab}	14.87±0.12^{b}	5.07±0.06^{c}	1.02±0.01^{d}
	2	23.80±0.13	3.08±0.10^{g}	10.73±0.64^{c}	3.88±0.02^{ab}	15.13±0.15^{b}	5.03±0.06^{c}	1.04±0.00^{b}
	3	25.17±0.80	3.33±0.17^{f}	10.53±0.50^{c}	3.97±0.15^{ab}	18.77±0.25^{a}	5.03±0.06^{c}	1.05±0.00^{a}

หมายเหตุ - ตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2 การย่อยข้าวก่ำกล้องงอกด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้า

จากการคัดเลือกปริมาณของข้าวก่ำกล้องงอกต่อน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 3.4.3.1 นำไปต้มจนมีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส (Termamyl SC) และเอนไซม์กลูโคแอมิเลส (SAN Super 360 L) ปล่อยให้ย่อยเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการย่อยแล้วมีปริมาณของเหลวที่สกัดได้เท่ากับ 33.50±0.10 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 4.5) และประสิทธิภาพในการเปลี่ยนข้าวก่ำกล้องงอกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับร้อยละ 23.00±0.25 ค่าความหนืดมีค่าเท่ากับ 16.82±0.01 เซนติพอยส์ และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 20.59±0.28 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าการย่อยด้วยเอนไซม์ภายในข้าวก่ำกล้องงอกเพียงอย่างเดียว (3.97±0.15) สอดคล้องกับการศึกษาของชุลีพร (2548) พบว่าเมื่อนำข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส (Termamyl SC) และกลูโคแอมิเลส (SAN Super 360 L) ซึ่งเป็นการใช้เอนไซม์ทางการค้าร่วมกับเอนไซม์ในข้าวเหนียวจะทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวที่แยกได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการใช้อัตราส่วนของข้าวเหนียวต่อน้ำที่ 30:70 ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังผ่านกระบวนการย่อยเท่ากับ 20.59± 0.28 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยข้าวก่ำกล้องงอกที่ปริมาณข้าวก่ำกล้องงอกต่อน้ำในอัตราส่วนเดียวกัน นอกจากนั้นมาลัยและคณะ (2544) ยังพบว่าการย่อยปลายแป้งข้าวเหนียวอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยใช้เอนไซม์แอลฟาแอมิเลส (BAN 120 L) และกลูโคแอมิเลส (SAN 150 L) จะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 19.15 ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยก่อนนำเข้าสู่กระบวนการต่อไป

ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเท่ากับ 30.11±0.10 องศาบริกซ์ และค่าความถ่วงจำเพาะร้อยละ 1.21±0.01 ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.02±0.01 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการย่อยข้าวก่ำกล้องงอกที่ใช้เฉพาะเอนไซม์ภายในข้าวงอกเพียงอย่างเดียว (5.03±0.06) แสดงให้เห็นว่าการเติมเอนไซม์ทางการค้าทั้งสองชนิดเพื่อช่วยในการย่อยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง สอดคล้องกับการศึกษาของของชุลีพร (2548) ที่พบว่าของเหลวที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการย่อยมีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงระหว่าง 5.6 - 5.7 ซึ่งต้องทำการปรับกรดให้อยู่ในช่วง 4.5 - 5.5 ก่อนนำไปหมักเพื่อให้เกิดแอลกอฮอล์ เนื่องจากเป็นช่วงที่ยีสต์สามารถเจริญได้ดีและสามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองการย่อยข้าวก่ำกล้องงอกด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้า แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำข้าวก่ำกล้องงอกที่ได้อยู่ในช่วงที่ยีสต์เจริญเติบโตได้ดี ดังนั้นจึงไม่ต้องมีการปรับกรดก่อนนำไปทดลองในกระบวนการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ นอกจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างยังใกล้เคียงกับการศึกษาของมาลัยและคณะ (2544) ที่พบว่าของเหลวที่ได้หลังผ่านกระบวนการย่อยมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0

ตาราง 4.5 ปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้า

ปริมาณและคุณภาพของน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก	ปริมาณ
ผลการสกัด	
ปริมาณของเหลวที่สกัดได้ (กรัม/100 กรัม)	33.50±0.10
ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนข้าวก่ำกล้องงอกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	23.00±0.25
คุณภาพของน้ำข้าวก่ำกล้องงอก	
ความหนืด (เซนติพอยส์)	16.82±0.01
น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	20.59±0.28
ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	30.11±0.10
ความเป็นกรด-ด่าง	5.02±0.01
ความถ่วงจำเพาะ	1.21±0.01

หมายเหตุ - ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

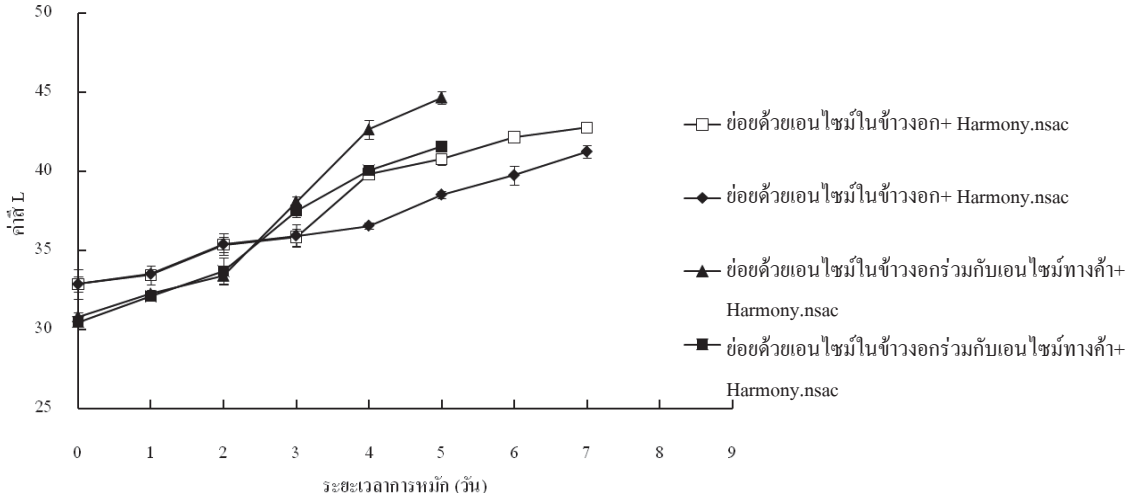
4.4 ชนิดของน้ำหมักและยีสต์ที่เหมาะสมในการหมัก

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการหมัก

นำน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกในสภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกแล้ว และน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้า มาเติมเชื้อยีสต์ผง *Saccharomyces cerevisiae* ทางการค้า ได้แก่ Hamony.nsac และ Fermiblanc หมักในถังหมัก โดยแบ่งสิ่งทดลองเป็น 4 แบบ ดังนี้

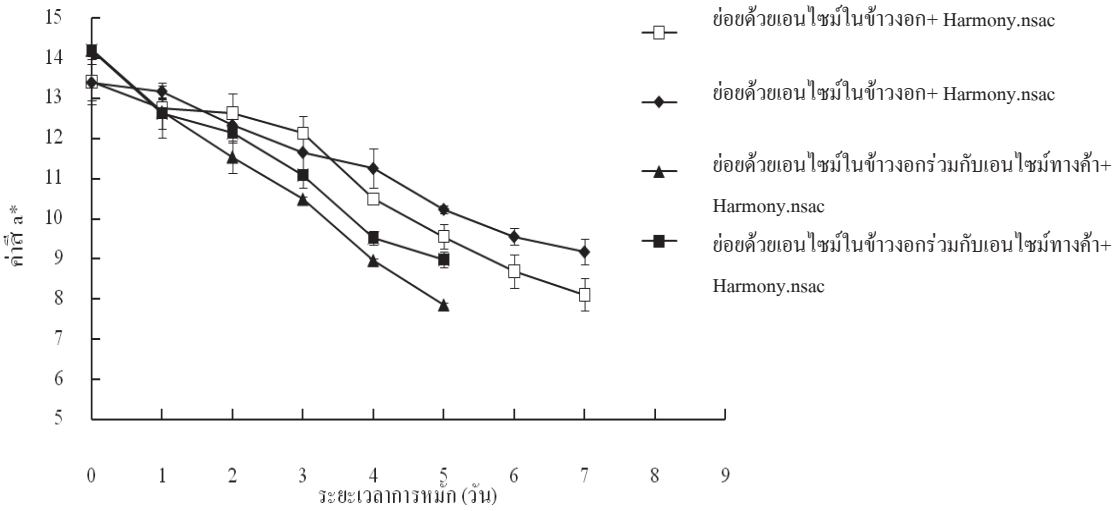
1. น้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ Hamony.nsac
2. น้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ Fermiblanc
3. น้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ Hamony.nsac
4. น้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ Fermiblanc

จากการทดลอง พบว่าค่าสี L ของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักนานขึ้น (รูป 4.3) แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการหมักนานขึ้น น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกมีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้นจากการที่ยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลในน้ำหมักให้เป็นแอลกอฮอล์ (Ogunjobi and Ogunwolu, 2010) น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วย Hamony.nsac (ย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและเอนไซม์+Harmony.nsac) และน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วย Fermiblanc (ย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและเอนไซม์+Fermiblanc) มีค่าความสว่างสูงสุด จากการที่ยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์ไปเป็นแอลกอฮอล์ในปริมาณที่สูง จึงทำให้น้ำหมักมีลักษณะใสขึ้น ส่วนน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วย Hamony.nsac (ย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอก+Harmony.nsac) และน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วย Fermiblanc (ย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอก+Fermiblanc) มีค่าความสว่างต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่ายีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์ไปเป็นแอลกอฮอล์ได้ต่ำ ทำให้น้ำหมักยังมีน้ำตาลเหลืออยู่ในปริมาณสูง ส่งผลให้มีสีทึบหรือคล้ำกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc



รูป 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ในระหว่างการหมักน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

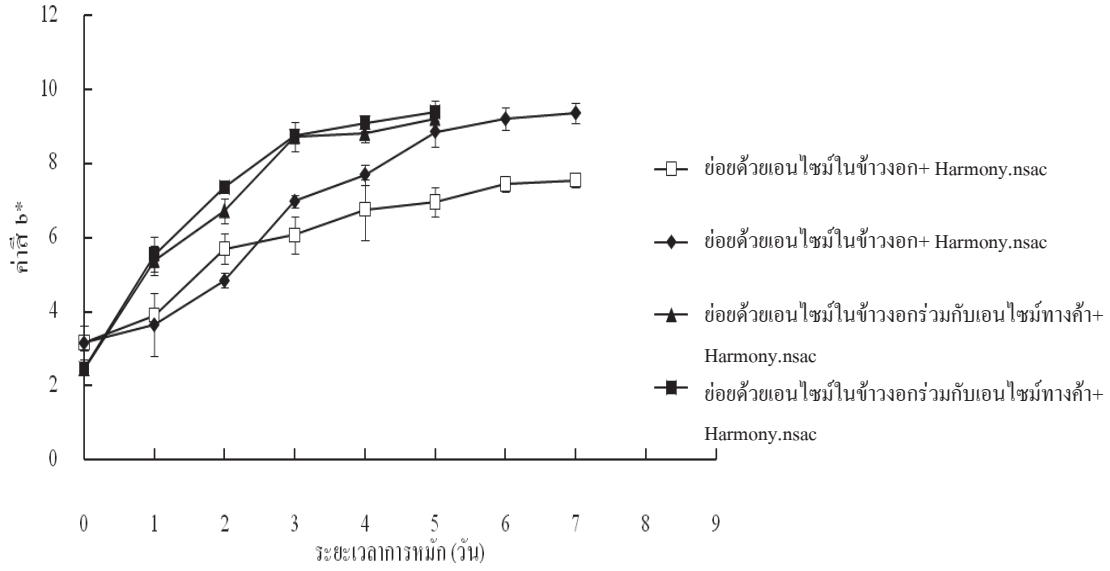
ค่าสี a* (แดง-เขียว) ในสิ่งทดลองทั้ง 4 แบบจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น (รูป 4.4) อาจเนื่องจากการที่สารในกลุ่มแอนโทไซยานิน ถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในระหว่างกระบวนการหมัก โดยพบว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีค่า a* ลดลงน้อยกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc



รูป 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a*ในระหว่างการหมักน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ค่าสี b* (เหลือง-น้ำเงิน) พบว่าค่าสี b* ของสิ่งทดลองทั้ง 4 แบบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก หลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่หลังจากการหมักเป็นระยะเวลา 3 วัน (รูป 4.5)

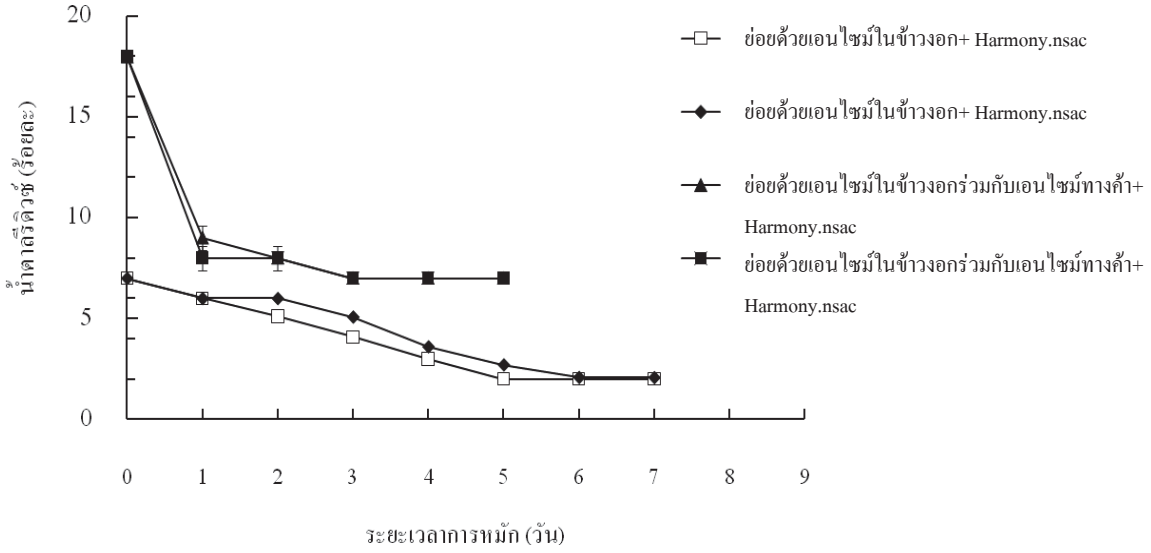
จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกทั้ง 4 แบบ มีความสว่าง (L) เพิ่มมากขึ้น มีความเป็นสีแดง (a*) ลดลง และมีความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น เนื่องมาจากการที่น้ำตาลถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์และสารสีแดงถูกออกซิไดซ์ในระหว่างกระบวนการหมัก



รูป 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b*ในระหว่างการหมักน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้นของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้นสูงกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc (รูป 4.6) พบว่าน้ำหมักของข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จนถึงวันที่ 4 และคงที่ไปจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก ซึ่งการลดลงจะสอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (รูป 4.7) และแปรผกผันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการหมัก (รูป 4.8) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ocloo and Ayernor (2008) ที่พบว่าการลดลงของน้ำตาลรีดิวซ์จะสอดคล้องกับปริมาณการเพิ่มขึ้นของแอลกอฮอล์ในน้ำหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอก

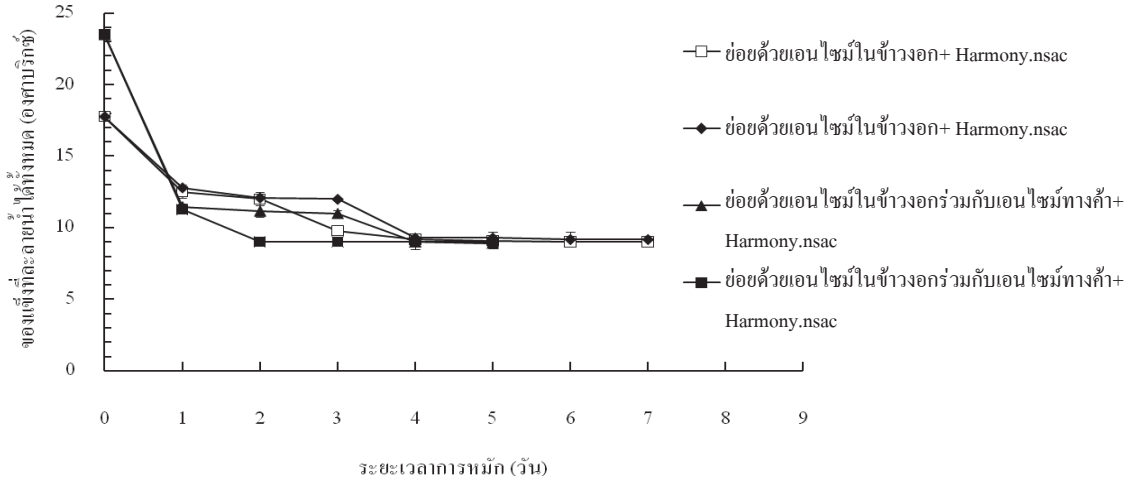
ร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ Harmony.nsac และ Fermiblanc มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ไม่ถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ร้อยละ 7.00±0.00 ส่วนน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ Harmony.nsac และ Fermiblanc ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มลดลงช้ากว่าน้ำหมักที่ผ่านการย่อยด้วยข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้า เนื่องจากสารตั้งต้นที่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณต่ำกว่า ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงน้อยกว่าในน้ำหมักของข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้า ทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำไปด้วยเช่นกัน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ไม่ถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ร้อยละ 2.00±0.00 และ 2.07±0.00 ตามลำดับ



รูป 4.6 การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการหมักน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ส่วนด้านปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ พบว่าในวันแรกของการหมักน้ำข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 23.50±0.14 องศาบริกซ์ (รูป 4.7) ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำหมักที่ย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc ซึ่งมีค่าร้อยละ 17.76±0.20 โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในสิ่งทดลองทั้ง 4 แบบ มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นจะลดลงเล็กน้อยจนค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาของการหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เหลืออยู่ 9.00±0.20 และ 8.90±0.05 องศาบริกซ์ สำหรับน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc ตามลำดับ ส่วนน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเหลืออยู่ 9.00±0.30 และ

9.20±0.20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Ocloo and Ayernor (2008) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรกของกระบวนการหมัก หลังจากนั้นจะคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาในการหมัก แสดงให้เห็นว่ายีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ในน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าเนื่องจากมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เริ่มต้นอยู่สูงนั่นเอง

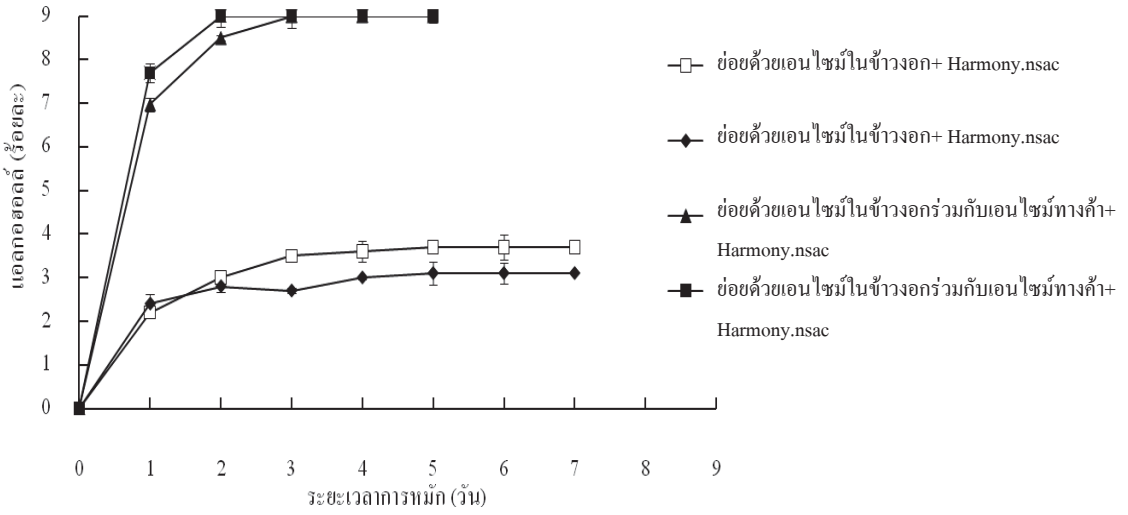


รูป 4.7 การเปลี่ยนแปลงของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ปริมาณแอลกอฮอล์ของสิ่งทดลองทั้ง 4 แบบ มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักนานขึ้น (รูป 4.8) โดยน้ำหมักของข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc จะมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักโดยใช้เวลาหมักแค่ 5 วัน มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 9.00±0.10 และ 9.00±0.18 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ocloo and Ayernor (2008) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะมีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 8.30 แต่จะมีปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำกว่าการศึกษาของชุลีพร (2548) ที่พบว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงถึงร้อยละ 12.30 - 13.73 อาจเนื่องมาจากการใช้ยีสต์ที่แตกต่างกัน ส่วนน้ำหมักที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และน้ำหมักที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Fermiblanc ปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้ากว่าน้ำหมักของข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้า ซึ่งจะเห็นว่าต้องใช้เวลาในการหมักนานกว่าและใช้เวลา

หมักทั้งหมด 7 วัน จึงจะมีปริมาณแอลกอฮอล์คงที่ และมีปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีปริมาณแอลกอฮอล์เพียงร้อยละ 3.70±0.14 และ 3.10 ±0.18 ตามลำดับ

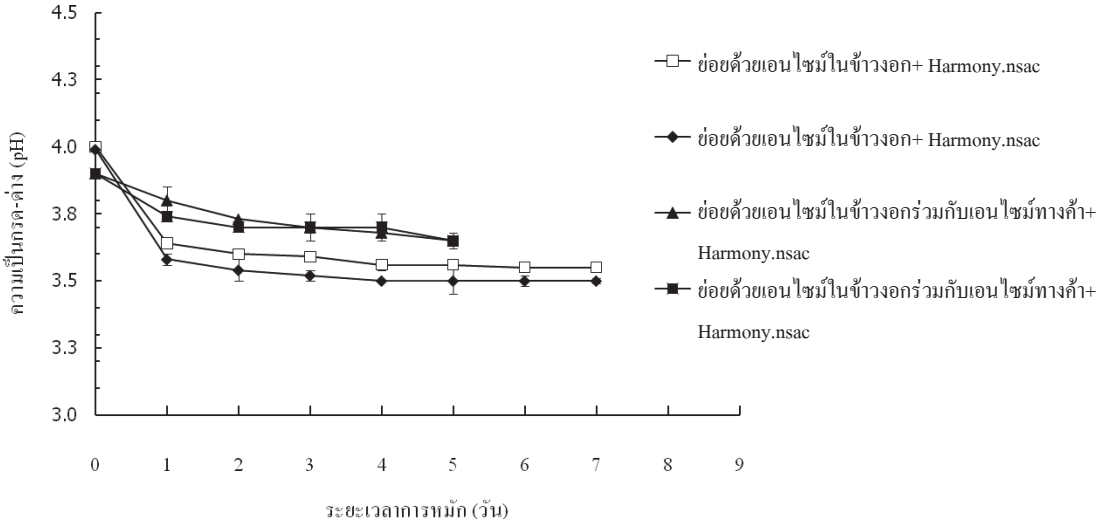
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำหมักที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้า และหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่แตกต่างกัน และมีปริมาณแอลกอฮล์สูง เนื่องมาจากน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเริ่มต้นสูงกว่าน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของน้ำหมักที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอก



รูป 4.8 การเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าในวันแรกของกระบวนการหมัก น้ำข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรกของการหมัก (รูป 4.9) หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดกระบวนการหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.55 ±0.00 และ 3.50±0.00 ส่วนน้ำข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.65±0.00

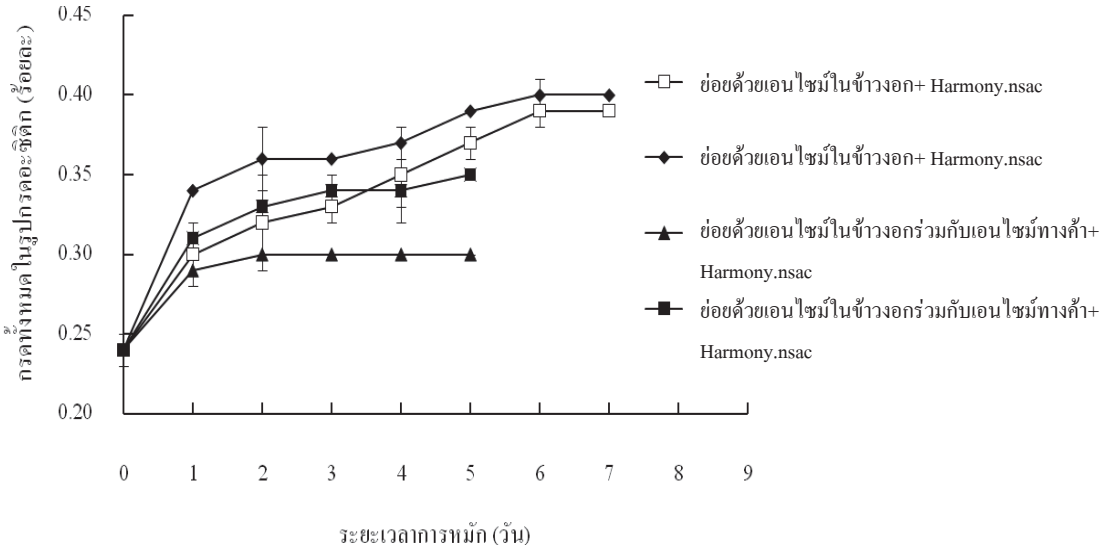
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักของสิ่งทดลองทั้ง 4 แบบ มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงระหว่าง 3.50 - 3.65 การมีค่าความกรด-ด่างที่ค่อนข้างต่ำจะช่วยยับยั้งการเจริญการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในน้ำหมักอย่างมีประสิทธิภาพ (Mark *et al*., 1963)



รูป 4.9 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมักน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแอซีติกทั้ง 4 สิ่งทดลอง ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรกของกระบวนการหมัก (รูป 4.10) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการหมักและเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc มีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.39±0.00 และ 0.40±0.00 ตามลำดับ ส่วนน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ทางการค้า Harmony.nsac และ Fermiblanc เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก น้ำหมักมีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.30±0.00 และ 0.35±0.00 ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักในลักษณะแปรผกผันกัน

จากการที่หาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแอซีติกนั้น เนื่องมาจากในน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกจะมีปริมาณกรดแอซีติกอยู่สูง ดังนั้นเราจึงหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแอซีติกนั่นเอง



รูป 4.10 การเปลี่ยนแปลงกรดทั้งหมดในรูปกรดแอซีติกในระหว่างการหมักน้ำเชื่อมข้าวก่ำกล้องงอก

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำหมักที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกร่วมกับเอนไซม์ทางการค้าและหมักด้วยยีสต์ Harmony.nsac และ Fermiblanc ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ไม่แตกต่างกันและให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูง ดังนั้นจะเลือกใช้น้ำหมักที่หมักด้วยยีสต์ Harmony.nsac หรือ Fermiblanc ก็ได้ เพื่อที่จะนำไปเตรียมเป็นน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง

ส่วนน้ำหมักที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอกและหมักด้วยยีสต์ Harmony.nsac และ Fermiblanc ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ใกล้เคียงกัน และให้ปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำ จึงนำไปเตรียมเป็นน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ ซึ่งจะต้องมีการปรับให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยผสมกับน้ำข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอก จากขั้นตอนที่ 3.4.3.1 ดังนั้นจึงเลือกน้ำหมักที่หมักด้วยยีสต์ Fermiblanc เพราะมีแนวโน้มที่ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ต่ำกว่า

4.5 รูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอก

4.5.1 ระดับความหวานที่เหมาะสมของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ

นำน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่คัดเลือกไว้จากขั้นตอนที่แล้วมาเตรียมเป็นน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ ตามวิธีการในขั้นตอนที่ 3.4.5.1 แล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน พบว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำที่ระดับความหวาน ร้อยละ 12 14 และ 16 มีลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ และสี ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตาราง 4.6) โดยมีคะแนนความชอบของลักษณะปรากฏ อยู่ในช่วง 7.54 ± 0.65 - 7.72 ± 0.61 และ 8.28 ± 0.45 - 8.64 ± 0.48 ตามลำดับ ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นพบว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำที่ระดับความหวานร้อยละ 14 และ 16 มีคะแนนความชอบสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.34 ± 0.56 และ 7.26 ± 0.53 ตามลำดับ ส่วนน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำที่ระดับความหวานร้อยละ 12 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นต่ำสุด โดยมีคะแนนเท่ากับ 6.58 ± 0.97 นอกจากนั้นจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ (ความกลมกล่อม) และความชอบรวม พบว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำที่ระดับความหวานร้อยละ 14 ได้คะแนนความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.24 ± 0.48 และ 7.50 ± 0.65 ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกับตัวอย่างที่ระดับความหวานร้อยละ 12 และ 16 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำที่ระดับความหวานร้อยละ 14 เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสชาติ (ความกลมกล่อม) และความชอบรวมสูงที่สุด

ตาราง 4.6 ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ

ลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัส	ระดับความหวานของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอก (ร้อยละ)		
	12	14	16
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.54 ± 0.65	7.72 ± 0.61	7.62 ± 0.83
สี ^{ns}	8.28 ± 0.45	8.46 ± 0.50	8.64 ± 0.48
กลิ่น	6.58 ± 0.97^{b}	7.34 ± 0.56^{a}	7.26 ± 0.53^{a}
รสชาติ (ความกลมกล่อม)	6.80 ± 0.53^{c}	7.24 ± 0.48^{a}	7.02 ± 0.14^{b}
ความชอบรวม	6.70 ± 1.04^{b}	7.50 ± 0.65^{a}	7.00 ± 0.88^{b}

หมายเหตุ - ตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.5.2 เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำและน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง

นำน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่คัดเลือกไว้จากขั้นตอนที่แล้วมาเตรียมเป็นน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง ตามวิธีการในขั้นตอนที่ 3.4.5.2 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส กับน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำที่คัดเลือกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิมจากขั้นตอน 4.5.1

4.5.2.1 เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ และเคมี

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำและน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง พบว่าค่าสีของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำจะมีค่าความสว่าง (L) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ต่ำกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 4.7) แต่มีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงกว่า ซึ่งแสดงว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำจะมีความขุ่นมากกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง ส่วนปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำมีปริมาณสูงกว่าในน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณร้อยละ 20.00 ± 0.00 และ 7.00 ± 0.00 ตามลำดับ ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 14.00 ± 0.00 และ 5.00 ± 0.00 ตามลำดับ เนื่องจากในน้ำหมักที่มีแอลกอฮอล์ต่ำยังมีการปรับลดปริมาณแอลกอฮอล์ให้เป็นร้อยละ 0.5 โดยการผสมกับน้ำข้าวก่ำกล้องงอกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้าวงอก ทำให้มีน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำและน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูงมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าร้อยละ 4.00 ± 0.00 และ 0.30 ± 0.00 ตามลำดับ ปริมาณแอลกอฮอล์ของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูงมีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับร้อยละ 9.00 ± 0.00 สูงกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์ เท่ากับร้อยละ 0.50 ± 0.00

ด้านปริมาณสาร GABA แกมมา-โอรีซานอล และไซยานิดินไตรกลูโคไซด์ ในน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอก พบว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำมีปริมาณ GABA และไซยานิดินไตรกลูโคไซด์เท่ากับ 0.30±0.01 และ 0.37±0.05 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ สูงกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูงโดยมีปริมาณ GABA และไซยานิดินไตรกลูโคไซด์ เท่ากับ 0.07±0.00 และ 0.14±0.01 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนั้นยังไม่พบสารแกมมา-โอรีซานอลทั้งน้ำหมักทั้ง 2 รูปแบบ

ตาราง 4.7 ลักษณะคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอก

คุณภาพของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอก	น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ	น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง
คุณภาพทางกายภาพ		
ค่าสี L (ความสว่าง)	34.36±0.05[b]	44.63±0.09[a]
ค่าสี a* (สีแดง-เขียว)	14.63±0.02[a]	4.87±0.02[b]
ค่าสี b* (สีเหลือง-น้ำเงิน)	4.65±0.02[b]	92.67±0.03[a]
คุณภาพทางเคมี		
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	20.00±0.00[a]	7.00±0.00[b]
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	14.00±0.00[a]	5.00±0.00[b]
ค่าความเป็นกรด-ด่าง[ns]	4.00±0.00	4.00±0.00
ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแอซีติก (ร้อยละ)[ns]	0.30±0.00	0.30±0.00
ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)	0.50±0.00[b]	9.00±0.00[a]
ปริมาณ GABA (มก./100 กรัม)	0.30±0.01[a]	0.07±0.00[b]
ปริมาณแกมมา-โอรีซานอล (มก./100 กรัม)	nd	nd
ปริมาณไซยานิดินไตรกลูโคไซด์ (มก./100 กรัม)	0.37±0.05[a]	0.14±0.01[b]

หมายเหตุ - ตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- nd หมายถึง ตรวจวิเคราะห์ไม่พบ (not detected)

4.5.2.2 เปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำกับน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง พบว่าผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสชอบผลิตภัณฑ์น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำมากกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูง (ร้อยละ 100) เมื่อแบ่งลักษณะความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ พบว่าผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสชอบผลิตภัณฑ์น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำด้านกลิ่นร้อยละ 66 (ตาราง 4.8) มีรสชาติที่กลมกล่อมร้อยละ 42 มีสีแดงสวย ร้อยละ 16 และเหตุผลอื่นๆ เช่น ดื่มง่าย ไม่มีกลิ่นฉุน เท่ากับร้อยละ 6

จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสชอบผลิตภัณฑ์น้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำมากกว่าน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์สูงเนื่องจากมีกลิ่นหอมของข้าวก่ำกล้องงอก มีสีแดงสวย และรสชาติที่กลมกล่อม

ตาราง 4.8 เหตุผลของผู้ทดสอบชิมต่อลักษณะคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักข้าวก่ำกล้องงอกที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ

เหตุผลที่ชอบ	จำนวนคน	ร้อยละของผู้ทดสอบชิมทั้งหมด
กลิ่นหอมของข้าว	33	66
รสชาติ (ความกลมกล่อม)	21	42
สี (สีแดง)	8	16
อื่นๆ (เช่น ดื่มง่าย ไม่มีกลิ่นฉุน เป็นต้น)	3	6

หมายเหตุ - ผู้ทดสอบชิมสามารถระบุเหตุผลได้มากกว่า 1 เหตุผล