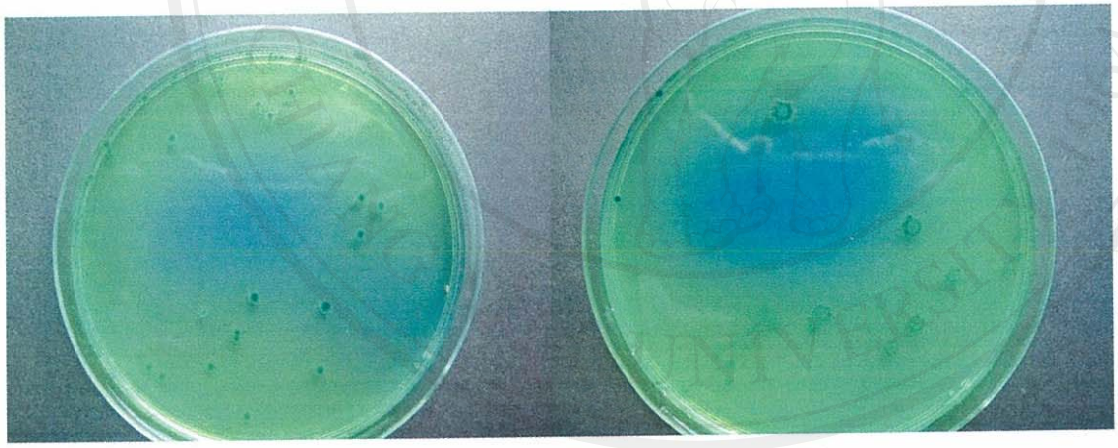
บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติของเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น

เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นที่ใช้เป็น intermediate starter ของโยเกิร์ต ได้แก่ *S. thermophilus* และ *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* ส่วนเชื้อโพรไบโอติค ได้แก่ *B. longum* Bb-46 เมื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเชื้อทั้งหมดดังกล่าว โดยการเพาะเลี้ยงบนอาหาร HHD agar ซึ่งบ่มในสภาวะไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำไปย้อมสีแกรมดูลักษณะเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเชื้อที่ใช้มีความบริสุทธิ์ โดยโคโลนีของเชื้อมีลักษณะเฉพาะ (ภาพที่ 1-2 และตารางที่ 5)

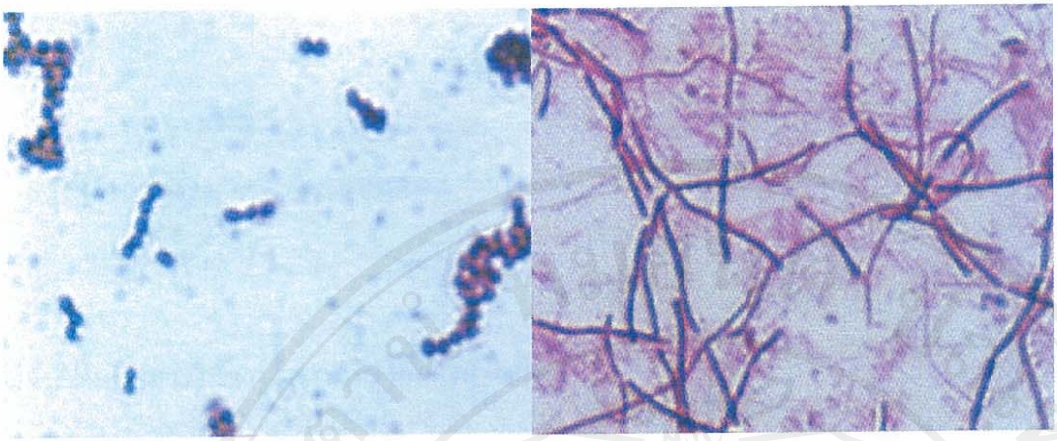


(1) (2)

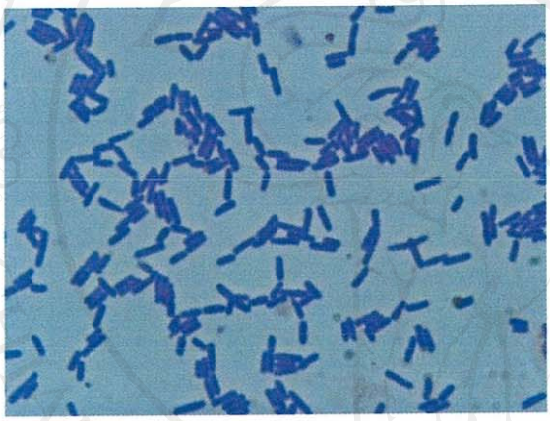
(3)

ภาพที่ 1 ลักษณะโคโลนีที่เพาะบนอาหาร HHD agar ในสภาวะไร้อากาศที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง
(1) *S. thermophilus* (2) *L. bulgaricus*
(3) *B. longum*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(1) (2)



(3)

ภาพที่ 2 ลักษณะรูปร่างเซลล์ ที่เจริญในนม ที่เตรียมสำหรับใช้ผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* (1) *S. thermophilus* (2) *L. bulgaricus* (3) *B. longum*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 ลักษณะโคโลนี ลักษณะเซลล์ และการติดสีแกรมของเชื้อเริ่มต้น ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum*

จุลินทรีย์	ลักษณะโคโลนี	ลักษณะเซลล์ และการติดสีแกรม
B. longum	สีขาวขุ่น ขนาดเล็ก	ติดสีแกรมบวก เซลล์มีลักษณะผอม หรือมีปลายเรียวแหลม
S. thermophilus	สีเขียวเข้มอมฟ้า ผิวเป็นมัน เนื้อละเอียด ตรงกลางนูนคล้ายไข่ดาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 – 2 มิลลิเมตร	ติดสีแกรมบวก เซลล์มีลักษณะกลม ต่อกันเป็นสายสั้น
L. bulgaricus	สีเขียวอมฟ้า ผิวหยาบขรุขระ ขอบโคโลนีไม่เรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 3 มิลลิเมตร	ติดสีแกรมบวก เซลล์ลักษณะเป็นท่อน ต่อกันเป็นสายสั้น

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum*

ผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง และไอศกรีม โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ได้นำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ แสดงผลดังตารางที่ 6-11

4.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

เมื่อนำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ที่เก็บที่ 4 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ พบว่าโยเกิร์ตข้าวกล้องมีความข้นหนืด 748.80 $\pm$ 27.83 เซนติพอยส์ มีค่าสี ความสว่าง (L*) 54.64 $\pm$ 0.02 แดง-เขียว (a*) 0.33 $\pm$ 0.00 และเหลือง-น้ำเงิน (b*) 0.34 $\pm$ 0.00 (ตารางที่ 6) กล่าวคือผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล-เหลืองอ่อน เนื่องจากมีข้าวกล้อง และน้ำผึ้งร้อยละ 10 เป็นส่วนผสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 6 คุณภาพทางด้านกายภาพของโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum*

คุณภาพทางด้านกายภาพ	ผลการวิเคราะห์
1. ค่าความข้นหนืด (เซนติพอยส์)	748.80 ± 27.83
2. ค่าสี	
ค่าสี L*	54.64 ± 0.02
ค่าสี a*	0.33 ± 0.00
ค่าสี b*	0.34 ± 0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

เมื่อนำโยเกิร์ตข้าวกล้องมาผลิตเป็นโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล และสูตรน้ำผึ้ง แล้วทำการวิเคราะห์ค่าสี หลังจากเก็บที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มทั้งสองสูตร มีค่าสี L* น้อยกว่าโยเกิร์ตข้าวกล้อง (ตารางที่ 7) และโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง มีสีน้ำตาล-เหลืองที่เข้มกว่าโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล โดยมีค่าสี L* หรือความสว่างที่น้อยกว่า เนื่องจาก โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง มีส่วนผสมของน้ำผึ้งร้อยละ 50 ในขณะที่ โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาลมีส่วนผสมของน้ำเชื่อม จากน้ำตาลทราย หรือซูโครสร้อยละ 50 ส่วนค่าสี a* และ b* ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 7 คุณภาพทางด้านกายภาพของโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม เติมเชื้อ *B. longum*

คุณภาพทางด้านกายภาพ	สูตรโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม	
	น้ำตาล	น้ำผึ้ง
ค่าสี		
ค่าสี L*	46.43 ± 4.46	39.19 ± 8.13
ค่าสี a*	0.32 ± 0.00	0.32 ± 0.00
ค่าสี b*	0.33 ± 0.00	0.33 ± 0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

เมื่อนำโยเกิร์ตข้าวกล้องหลังจากเก็บที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาผลิตเป็นไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง แล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ หลังจากเก็บที่ -12 ± 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องมีค่าสี L* เท่ากับ 61.81 ± 2.54 ค่า a* เท่ากับ 0.32 ± 0.00 และ b* 0.33 ± 0.00 (ตารางที่ 9) การที่ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องถูกปั่นอากาศเข้าไป ทำให้เนื้อไอศกรีมพองฟูขึ้นเนื่องจากมีฟองอากาศ อาจส่งผลให้ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องมีสีที่อ่อน หรือสว่างกว่าโยเกิร์ตข้าวกล้อง ซึ่งทำให้ค่าสี L* ของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องที่วิเคราะห์ได้มีค่ามากกว่าของโยเกิร์ตข้าวกล้อง โดยในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด พบว่าโยเกิร์ตพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้งจะมีค่าสี L* น้อยที่สุด และค่าสี a* และ b* ของทุกผลิตภัณฑ์จะมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 8 ค่าสีของผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 1 วัน

ผลิตภัณฑ์	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*
โยเกิร์ตข้าวกล้อง	54.64 ± 0.02^{ab}	0.33 ± 0.00^{a}	0.34 ± 0.00^{a}
โยเกิร์ตพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล	46.63 ± 4.46^{bc}	0.32 ± 0.00^{c}	0.33 ± 0.00^{b}
โยเกิร์ตพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง	39.19 ± 8.13^{c}	0.32 ± 0.00^{b}	0.33 ± 0.00^{b}
ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง	61.81 ± 2.54^{a}	0.32 ± 0.00^{b}	0.33 ± 0.00^{b}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

- ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 9 คุณภาพทางด้านกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum*

คุณภาพทางด้านกายภาพ	ผลการวิเคราะห์
1. ค่าความแน่นเนื้อ (นิวตันต่อวินาที)	5.38 ± 0.57
2. ค่าสี	
ค่าสี L*	61.81 ± 2.54
ค่าสี a*	0.32 ± 0.00
ค่าสี b*	0.33 ± 0.00
3. ค่าการตีฟู (ร้อยละ)	48.75 ± 2.63
4. ค่าการละลาย (ร้อยละ)	1.80 ± 0.03

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตทั้ง 4 ชนิด คือ โยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง (ตารางที่ 10) พบว่า ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของโยเกิร์ตข้าวกล้อง และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง อยู่ในช่วงร้อยละ 0.64-0.67 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่ามากกว่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ของโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มทั้งสองสูตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในโยเกิร์ตข้าวกล้อง และไอศกรีมโยเกิร์ต มีปริมาณสูงกว่าโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มทั้งสองสูตร เนื่องจาก โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเตรียมมาจาก การนำโยเกิร์ตข้าวกล้องที่ได้มาในปริมาณร้อยละ 50 แล้วผสมกับน้ำเชื่อม หรือน้ำผึ้งอีกร้อยละ 50 จึงทำให้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มทั้งสองสูตรมีปริมาณลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของโยเกิร์ตข้าวกล้อง ส่วนไอศกรีมโยเกิร์ตเตรียมได้จากการนำโยเกิร์ตข้าวกล้องไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม จึงทำให้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ใกล้เคียงกัน ขณะที่ ค่า pH ของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 3.84 - 4.06

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมีน้ำผึ้งเป็นส่วนผสมถึงร้อยละ 50 ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของโยเกิร์ตข้าวกล้อง และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องมีค่าไม่แตกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมีน้ำตาล หรือซูโครสเป็นส่วนผสมถึงร้อยละ 50

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids) ของโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มทั้งสูตรน้ำตาล และน้ำผึ้ง มีค่าสูงกว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของโยเกิร์ตข้าวกล้อง และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง เนื่องจากในโยเกิร์ตพร้อมดื่มมีส่วนผสมของน้ำเชื่อม และน้ำผึ้งในปริมาณถึงร้อยละ 50

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 10 คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum*

ผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง	คุณภาพทางเคมี			
	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (ร้อยละ)	ค่าpH	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)
โยเกิร์ตข้าวกล้อง	0.64 ± 0.10^{a}	4.06 ± 0.12^{a}	11.38 ± 0.66^{b}	16.2 ± 0.29^{c}
โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม สูตรน้ำตาล	0.31 ± 0.07^{b}	3.84 ± 0.09^{b}	5.02 ± 1.10^{c}	24.2 ± 0.29^{b}
โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม สูตรน้ำผึ้ง	0.34 ± 0.07^{b}	3.88 ± 0.05^{b}	25.11 ± 2.26^{a}	26.0 ± 0.29^{a}
ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง	0.67 ± 0.10^{a}	3.92 ± 0.02^{b}	10.95 ± 0.22^{b}	16.3 ± 0.29^{c}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

- ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์

เชื้อ *B. longum* ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวกล้องทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม สูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม สูตรน้ำผึ้ง และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง มีปริมาณเริ่มต้นก่อนเติมในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 11.41 log CFU/g. เมื่อผลิตผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวแล้วได้นำโยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล และโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง เก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ส่วนไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง เก็บที่อุณหภูมิ -12 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *B. longum* พบว่า ปริมาณเชื้อดังกล่าวในโยเกิร์ตข้าวกล้องมีค่า 10.37 ± 0.50 log CFU/g ซึ่งเชื้อดังกล่าวลดปริมาณลงจากเริ่มต้นประมาณ 1 log cycle และเมื่อนำมาผลิตเป็นโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง ปริมาณเชื้อจะลดปริมาณลงเหลือ 9.23 ± 0.71, 8.29 ± 0.76 และ 9.22 ± 0.80 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณที่พบในโยเกิร์ตข้าวกล้อง เนื่องจากกระบวนการผลิตโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง มีขั้นตอนการนำโยเกิร์ตข้าวกล้องไปปั่น ซึ่งเป็นการเพิ่มอากาศเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้เชื้อ *B. longum* ซึ่งเป็นเชื้อประเภท anaerobe ไม่เจริญในสภาวะที่มีอากาศ มีปริมาณลดลง แต่ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 11)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 11 ปริมาณเชื้อ *B. longum* ของผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum*

ผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง	ปริมาณเชื้อ *B. longum* (log CFU/g)
โยเกิร์ตข้าวกล้อง	10.37 ± 0.50^{a}
โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม สูตรน้ำตาล	9.23 ± 0.71^{a}
โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม สูตรน้ำผึ้ง	8.29 ± 0.76^{a}
ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง	9.22 ± 0.80^{a}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

- ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ตลอดระยะเวลาการเก็บ

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพ

ทำการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง และไอศกรีมโยเกิร์ต และทำการวิเคราะห์ค่าความข้นหนืด ค่าการตีฟู ค่าการละลาย และค่าความแน่นเนื้อของไอศกรีมโยเกิร์ต

4.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี

เมื่อนำผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องทั้ง 4 ชนิด คือ โยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง ที่เก็บที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง ที่เก็บที่ -12 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 35 วัน มาทำการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า ค่าสีของทุกผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยการเปลี่ยนแปลงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 12 และภาพที่ 3 - 6) ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับณัติพร (2548) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ค่าสีของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องสูตรใช้น้ำผึ้งลำไย และน้ำผึ้งขี้ไก่ย่าน ที่เก็บที่ -12 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 90 วัน การที่สีของผลิตภัณฑ์ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในผลิตภัณฑ์น้อย เนื่องจากเอ็นไซม์ในผลิตภัณฑ์มีกิจกรรมได้น้อยมาก ที่อุณหภูมิแช่แข็ง (Nicole et al., 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 12 ค่าสีของผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ตลอดระยะเวลาการเก็บ

ผลิตภัณฑ์	ค่าสี L* ns.	
	1 วัน	35 วัน
โยเกิร์ต	54.64±0.02	52.67±1.38
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม สูตรน้ำตาล	46.43±4.46	35.30±4.89
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม สูตรน้ำผึ้ง	39.19±8.13	38.96±0.56
ไอศกรีม	61.81±2.54	60.15±2.15

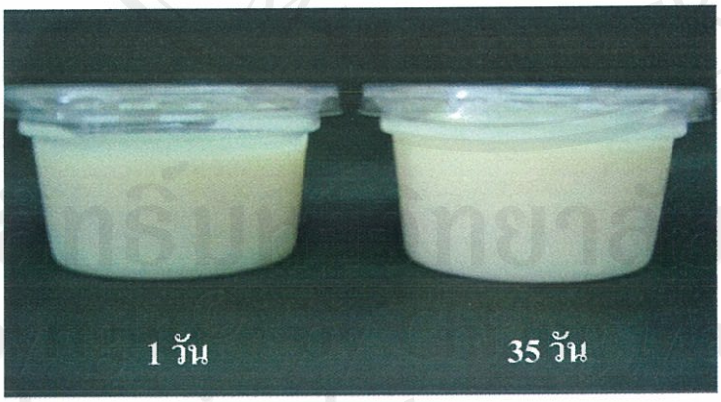
ผลิตภัณฑ์	ค่าสี a* ns.	
	1 วัน	35 วัน
โยเกิร์ต	0.33±0.00	0.33±0.00
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม สูตรน้ำตาล	0.32±0.00	0.31±0.00
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม สูตรน้ำผึ้ง	0.32±0.00	0.33±0.00
ไอศกรีม	0.32±0.00	0.32±0.00

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 12 (ต่อ) ค่าสีของผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ตลอดระยะเวลาการเก็บ

ผลิตภัณฑ์	ค่าสี b* ns.	
	1 วัน	35 วัน
โยเกิร์ต	0.34±0.00	0.34±0.00
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม สูตรน้ำตาล	0.33±0.00	0.33±0.00
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม สูตรน้ำผึ้ง	0.33±0.00	0.33±0.00
ไอศกรีม	0.33±0.00	0.33±0.00

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มาจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
- ns หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 35 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 35 วัน

ภาพที่ 5 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 35 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง เก็บที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 35 วัน

4.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความข้นหนืด

เมื่อวิเคราะห์ค่าความข้นหนืดของโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่เก็บที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 35 วัน (ตารางที่ จ-1) พบว่า ค่าความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 748.80 ± 27.83 เซนติพอยส์ เป็น $1,232.50 \pm 210.897$ เซนติพอยส์ ความข้นหนืดเกิดจากการยึดจับกันของพันธะ electrostatic และ hydrophobic interaction ซึ่งก่อให้เกิดโครงสร้างของเจล โดยการเพิ่มขึ้นของค่าความข้นหนืด อาจเกิดจากการจัดเรียงตัวของโปรตีนอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความแข็งแรงของเจล (ณรงค์, 2538) ผลิตภัณฑ์อาหารในอุตสาหกรรม มักจะมีองค์ประกอบต่างๆ เช่น โปรตีน คาราจีแนน และโพลีแซคคาไรด์ องค์ประกอบดังกล่าวสามารถมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยคาราจีแนนเป็นสารประเภทซัลเฟตโพลีแซคคาไรด์ที่มีประจุลบ สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง มีคุณสมบัติให้ความข้นหนืด การเกิดเจล และเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ โดยสามารถเกิดการ interact กับองค์ประกอบอื่นๆในอาหาร เช่น ไขมัน และโปรตีน ซึ่งก่อให้เกิดโครงสร้างของเจลได้ (Samant et al., 1993) ประจุลบของกลุ่มซัลเฟตในคาราจีแนน สามารถเกิดพันธะกับประจุบวกของเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนในนม ส่งผลให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ และในผลิตภัณฑ์อาจมีเจลที่เกิดจากการ interact ระหว่าง starch กับ คาราจีแนน จึงส่งผลให้ค่าความข้นหนืดเพิ่มขึ้นได้ (Verbeken et al., 2006)

ค่าความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บนาน 35 วัน เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากโปรตีนในผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจเป็นโปรตีนจากนม หรือโปรตีนจากข้าวกล้อง เกิดการเรียงตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อเนื่อง และเกิดการ interact กับคาราจีแนน อีกทั้งเกิดจากการ interact ระหว่าง starch ในข้าวกล้องกับคาราจีแนน ทำให้เจลแข็งแรงมากขึ้น

4.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าการตีฟู (overrun)

จากการวิเคราะห์ค่าการตีฟูของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ที่เก็บที่ -12 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 และ 35 วัน พบว่า ค่าการตีฟูของผลิตภัณฑ์ ที่ 1 และ 35 วัน มีค่าเป็น ร้อยละ 48.75 $\pm$ 2.63 และ 11.80 $\pm$ 1.26 ตามลำดับ โดยค่าการตีฟูที่ 35 วันมีค่าลดลงจากวันที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ง-1) ซึ่งค่าการตีฟูวันที่ 1 และ35 วันของผลิตภัณฑ์ได้มาจาก การนำโยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บที่ 1 และ 35 วัน มาปั่นเป็นไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง ทั้งนี้โยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 35 วัน มีค่าความข้นหนืดมากกว่า โยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 วัน (ตารางที่ ง-1) เมื่อนำมาปั่นเป็นไอศกรีม อากาศจึงเข้าแทรกในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ยาก และน้อยกว่า จึงส่งผลให้ค่าการตีฟูที่ได้น้อยกว่า โดยค่าที่ได้ลดลงจากค่าการตีฟูที่ 1 วันถึงร้อยละ 75.80 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Abdullah et al.(2003) ที่ได้รายงานไว้ว่า เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ที่ทำจากการผสมระหว่างนมผงขาดมันเนย และน้ำนมถั่วเหลือง เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วันมาตีฟู จะพบว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ 30 วัน จะทำให้ค่าการตีฟูของผลิตภัณฑ์ลดต่ำลงร้อยละ 80 (ณัติพร, 2548)

4.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าการละลาย

ค่าการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่เก็บที่ -12 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน และ 35 วัน มีค่าเป็น 1.80 $\pm$ 0.03 และ 1.37 $\pm$ 0.17 ร้อยละต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งค่าการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่เก็บที่ -12 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 35 วัน มีค่าลดลงจากค่าการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง ที่เก็บเป็นระยะเวลา 1 วัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ง-1) ซึ่งทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ระยะเวลาการเก็บไอศกรีมโยเกิร์ตที่นานขึ้น จะส่งผลให้ช่องอากาศ (air cell) เกิดการเคลื่อนย้าย ทำให้ช่องอากาศเหล่านั้นแตกออกเป็นช่องอากาศที่มีขนาดเล็กลง และมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่ง Rosalina and Richard (2004) ได้รายงานไว้ว่า ไอศกรีมที่มีค่า overrun ร้อยละ 80 ที่เก็บที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4, 8 และ 9 สัปดาห์ จะมีขนาดของช่องอากาศที่เล็กลงตามลำดับ ดังนั้นไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง ที่เก็บที่ -12 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส นาน 35 วัน จึงมีขนาดของช่องอากาศที่เล็กกว่า และมีปริมาณที่มากกว่า ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บที่ -12 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส นาน 1 วัน โดยช่องอากาศในเนื้อไอศกรีม จะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนของการถ่ายเทความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อน เมื่อช่องอากาศในไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง ที่เก็บนาน 35 วัน มีขนาดที่เล็กลง และมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น จึงทำหน้าที่เป็นฉนวนในการถ่ายเทความร้อนในก้อนไอศกรีมได้ดีกว่า ส่งผลให้การละลายของผลิตภัณฑ์ช้าลง นั่นคือ มีค่าการละลายที่ลดลง

4.3.1.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อ

เมื่อเก็บไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่ -12 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานานขึ้น ค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้น โดยค่าความแน่นเนื้อของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บนาน 35 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเป็น 12.45 ± 1.14 นิวตันต่อวินาที ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บนาน 1 วัน มีค่าเป็น 5.38 ± 0.57 นิวตันต่อวินาที (ตารางที่ ง-1) จะเห็นได้ว่าไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บนาน 35 วัน มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง ที่เก็บนาน 1 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การที่ไอศกรีมที่เก็บนานขึ้น มีความแข็งของเนื้อผลิตภัณฑ์มากขึ้น มีผลมาจากส่วนที่เป็นผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เมื่อเก็บไอศกรีมที่อุณหภูมิแช่แข็งนานขึ้น อาจมีผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์มากขึ้น จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อมากขึ้น และแข็งขึ้น (Musu and Hartel, 2003) อีกทั้งระยะเวลาการเก็บไอศกรีมโยเกิร์ตที่นานขึ้น จะส่งผลให้ช่องอากาศ (air cell) เกิดการเคลื่อนย้าย ทำให้ช่องอากาศเหล่านั้นแตกออกเป็นช่องอากาศที่มีขนาดเล็กลง จึงอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อมากขึ้นด้วย

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมี

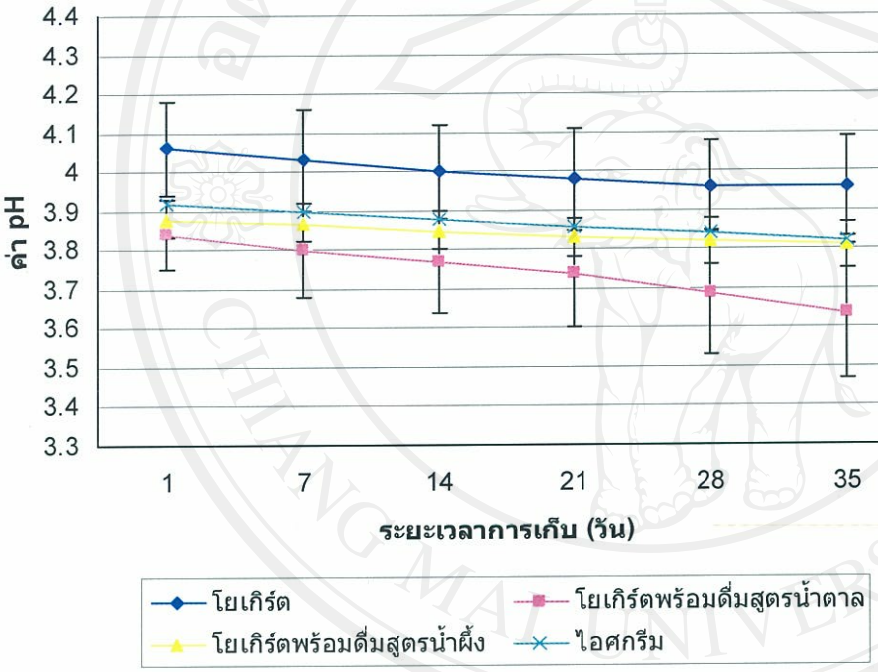
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมี ได้ศึกษาในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด ดังนี้

4.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม เติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม เติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำผึ้ง ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ที่อุณหภูมิ -12 ± 2 องศาเซลเซียส แล้วทำการวิเคราะห์ค่า pH ในวันที่ 1, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน พบว่า ค่า pH ของทุกผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงทุกสัปดาห์อย่างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ภาพที่ 7 และตารางที่ ง-2) การที่ผลิตภัณฑ์มีค่า pH ลดลง เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เป็น starter ในผลิตภัณฑ์ คือ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* สามารถมีกิจกรรมได้ ถึงแม้จะอยู่ที่อุณหภูมิแช่เย็น โดยยังสามารถผลิตกรดแลคติคได้ จากกระบวนการหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาลแลคโตสในผลิตภัณฑ์ (Shah et al., 1995) อีกทั้งเชื้อ *B. longum* ซึ่งเป็นเชื้อโพรไบโอติคก็สามารถผลิตกรดได้อย่างช้าๆ (Marshall & Tamime, 1997) จึงส่งผลให้ค่า pH ของผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอิศรา (2546) ที่พบว่า ค่า pH ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจาก 4.27 เหลือ 3.90 เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน และจากการศึกษาของณัติพร (2548) ที่ได้รายงานไว้ว่าเมื่อเก็บไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องสูตรน้ำผึ้งลำไยที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 90 วัน จะมีค่า pH ลดลงจาก 4.33 เหลือ 4.17



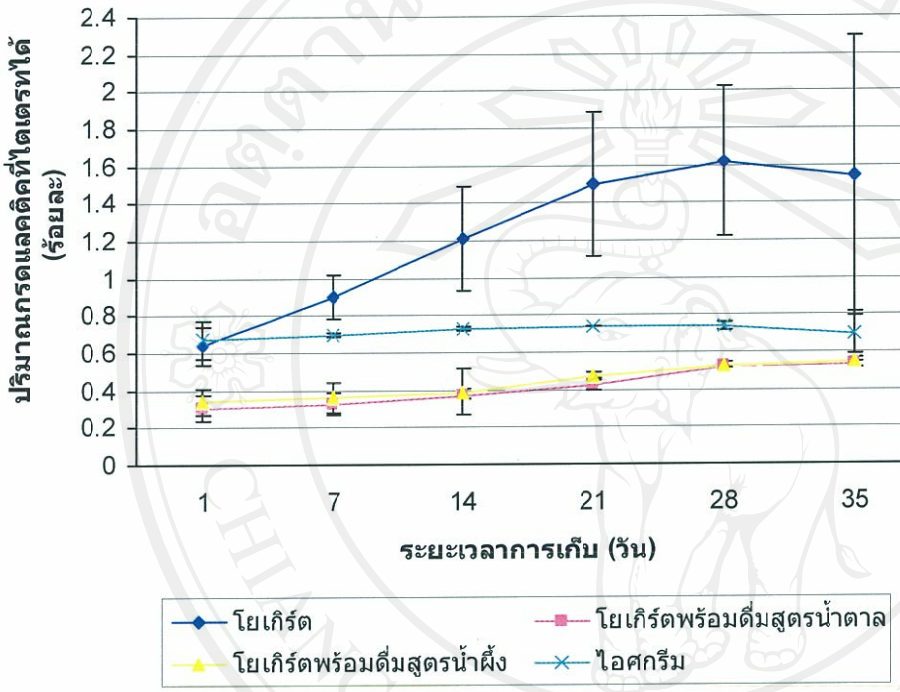
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum*

4.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติคในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่เก็บเป็นระยะเวลา 1, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน พบว่า ปริมาณกรดแลคติคของทุกผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นกว่าค่าในวันแรก โดยปริมาณกรดแลคติคที่วิเคราะห์ทุกสัปดาห์ในโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำผึ้ง และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.64 เป็นร้อยละ 1.54 จากร้อยละ 0.34 เป็นร้อยละ 0.55 และจากร้อยละ 0.67 เป็นร้อยละ 0.70 ตามลำดับ (ภาพที่ 8 และตารางที่ง-3) ซึ่งค่าที่เพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม เติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำตาล มีค่าเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 0.31 เป็นร้อยละ 0.54 ซึ่งเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณกรดแลคติคที่เพิ่มขึ้นในทุกผลิตภัณฑ์ เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักของน้ำตาลโดยเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอิศรา (2546) ได้รายงานว่า ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อโพรไบโอติค ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.09 เป็น ร้อยละ 1.20 เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 30 วัน

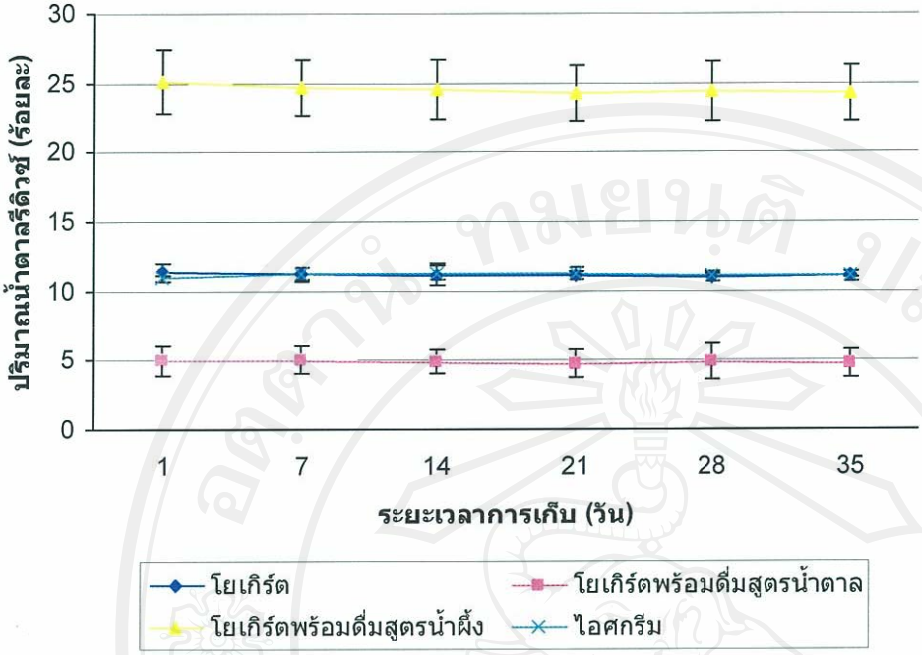


ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum*

4.3.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ที่เก็บนาน 1, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน มีค่าลดลง แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ภาพที่ 9 และตาราง ง-4) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่า เอ็นไซม์จากจุลินทรีย์จะย่อยน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ได้เพียงเล็กน้อย ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ลดลงเพียงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum*

4.3.3 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง

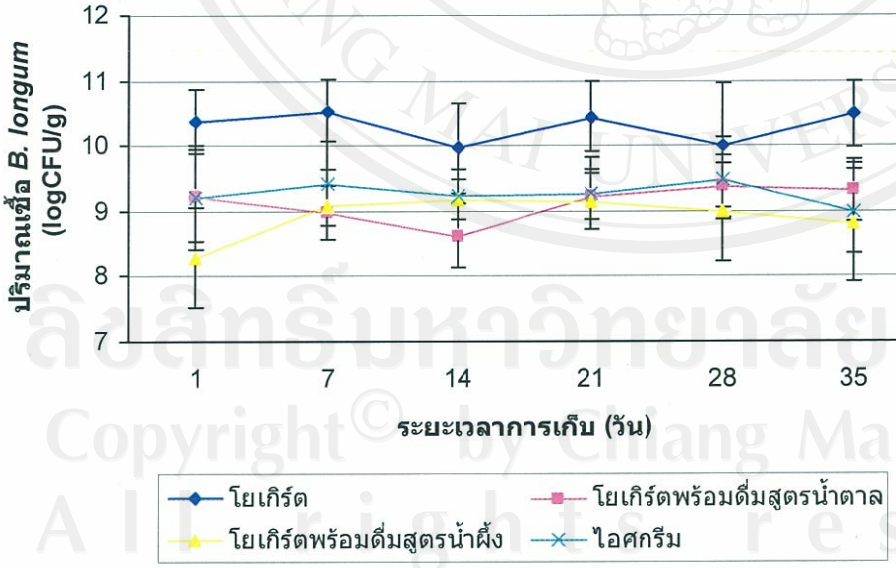
เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด คือ โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำผึ้ง ที่เก็บที่ 4 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่เก็บที่ -12 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ที่เก็บเป็นระยะเวลา 1, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน พบว่าปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ภาพที่ 10 และตารางที่ ง-5) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของณัติพร (2548) ที่พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องที่เก็บที่ -12 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 15, 30, 60 และ 90 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ Birollo และคณะ (2000) ก็ได้รายงานไว้ว่า ปริมาณเชื้อ *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต และโยเกิร์ตพร้อมดื่ม ที่เก็บที่ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน มีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี พบว่า สอดคล้องกับผลของการศึกษาคุณสมบัติทางจุลินทรีย์ โดยค่าทางเคมีของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ค่า pH ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตลอดช่วงการเก็บ เป็นระยะเวลา 35 วัน ทั้งนี้เนื่องมาจาก จุลินทรีย์ไม่มีการเจริญในช่วงการเก็บผลิตภัณฑ์ จึงส่งผลให้ค่าทางเคมีดังกล่าวค่อนข้างคงที่

จากผลค่า pH ที่ได้ พบว่า ค่า pH ของโยเกิร์ตข้าวกล้องมีค่ามากที่สุด โดยมากกว่าค่า pH ของไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง และน้ำตาล ตามลำดับ (ภาพที่ 7 และตารางที่ ง-2) ในขณะที่ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในโยเกิร์ตข้าวกล้อง มากกว่าใน โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง และโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง ตามลำดับ (ตารางที่ ง-5) แต่อย่างไรก็ตาม ค่า pH ในแต่ละผลิตภัณฑ์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ (ภาพที่ 8 และตารางที่ ง-3) พบว่า ปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ในโยเกิร์ตข้าวกล้องมีค่ามากที่สุด โดยมากกว่าปริมาณกรดแลคติคที่ไตเตรทได้ในไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้อง โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง และน้ำตาล ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ ง-5)



ภาพที่ 10 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

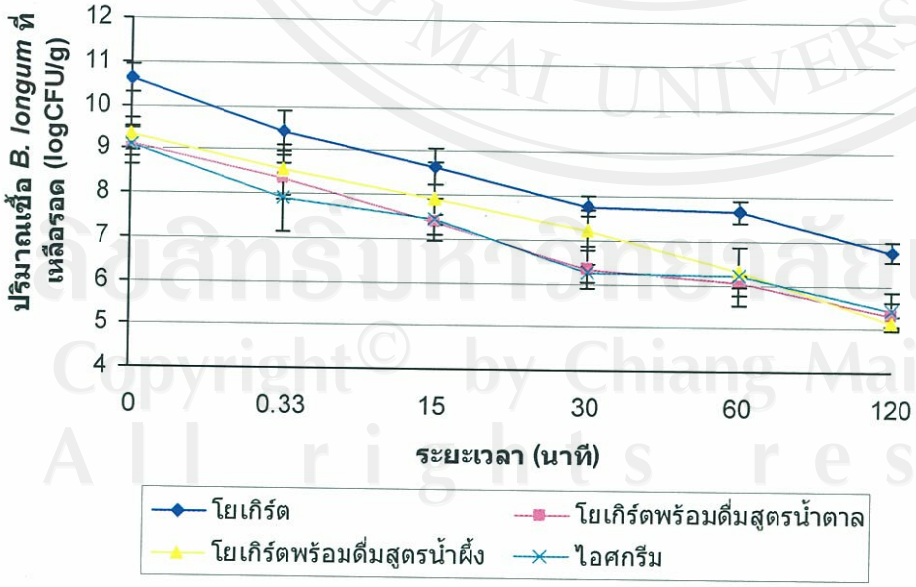
4.4 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *B. longum* ที่เหลือรอดในสภาวะเลียนแบบระบบย่อยอาหาร

4.4.1 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* น้ำย่อยเทียม

การศึกษาการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในน้ำย่อยเทียม ได้ทำการศึกษาที่ pH 2.0 และ 3.0 เนื่องจากในระบบทางเดินกระเพาะอาหาร และลำไส้ (gastrointestinal tract) มีความเป็นกรด pH อยู่ในช่วง 1.3-3.0 (Rao et al., 1989) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

4.4.1.1 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในน้ำย่อยเทียม ที่ pH 2.0

เมื่อนำผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตทั้ง 4 ชนิด มาทำการย่อยด้วยน้ำย่อยเทียม ที่ pH 2.0 เป็นระยะเวลา 0.33 (20 วินาที), 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในทุกผลิตภัณฑ์จะลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ที่ผ่านการย่อยด้วยน้ำย่อยเทียม เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากเริ่มต้น 10.63 log CFU/g. เป็น 9.43, 8.64, 7.77, 7.66 และ 6.77 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 11 และตารางที่ ง-6) ซึ่งปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อโยเกิร์ตถูกย่อยในน้ำย่อยเทียมเป็นระยะเวลา 0.33 นาที จากนั้นจะลดปริมาณลงเรื่อยๆจนเมื่อถูกย่อยเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงเหลือ 6.77 log CFU/g จากเริ่มต้น 3.86 log cycles หรือมีปริมาณเหลือรอดเป็นร้อยละ 63.69 (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 11 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องในน้ำย่อยเทียมที่ pH 2.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

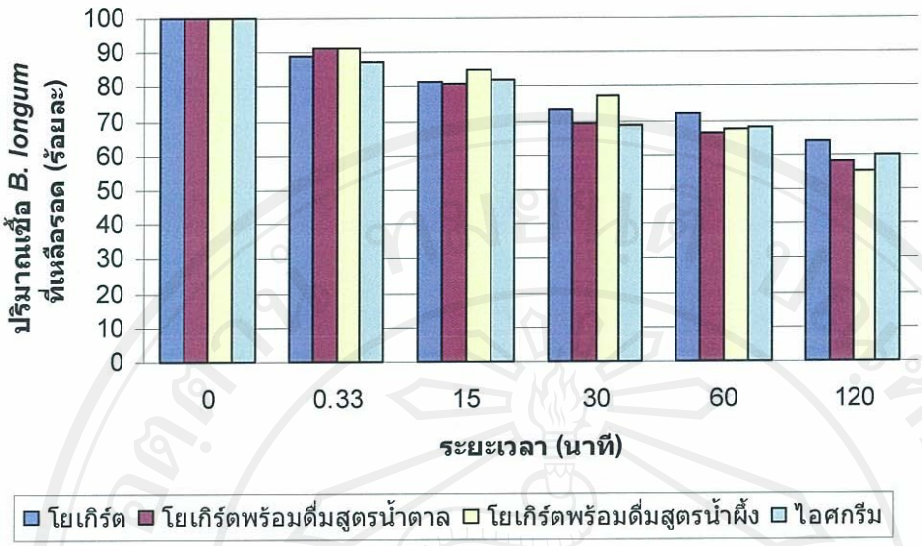
สำหรับโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำตาล มีปริมาณเชื้อ *B. longum* เริ่มต้นเท่ากับ 9.16 log CFU/g เมื่อนำไปย่อยในน้ำย่อยเทียม pH 2.0 พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ที่ย่อยนาน 0.33 นาที จะมีปริมาณลดลงจากเริ่มต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณเชื้อเริ่มต้นในโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม ก่อนสัมผัสกับน้ำย่อยเทียม มีค่าเท่ากับ 9.16 log CFU/g เมื่อสัมผัสกับน้ำย่อยเทียมเป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที จะมีปริมาณเชื้อลดลงเป็น 8.37, 7.41, 6.35, 6.08 และ 5.34 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 11 และตารางที่ ง-6) การย่อยเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดจำนวนลง 3.82 log cycles หรือมีปริมาณเชื้อ *B. longum* เหลือรอดเป็นร้อยละ 58.30 (ภาพที่ 12)

โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำผึ้ง จะมีเชื้อลดลงจาก 9.33 log CFU/g เป็น 8.53, 7.90, 7.21, 6.29 และ 5.13 log CFU/g ตามลำดับ เมื่อย่อยที่ pH 2.0 นาน 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 11 และตารางที่ ง-6) โดยปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกย่อยนาน 2 ชั่วโมง โดยปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงเหลือ 5.13 log CFU/g ซึ่งลดลงจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นถึง 4.20 log cycles หรือเหลือรอดเป็นร้อยละ 54.98 (ภาพที่ 12)

ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* มีปริมาณเชื้อ *B. longum* เริ่มต้นเท่ากับ 9.10 log CFU/g เมื่อนำไปย่อยในน้ำย่อยเทียม pH 2.0 พบว่า การย่อยนาน 0.33 นาทีจะมีผลทำให้ปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากเริ่มต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณเชื้อเริ่มต้นในไอศกรีมมีค่าเท่ากับ 9.10 log CFU/g เมื่อถูกย่อยเป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที ปริมาณเชื้อจะลดลงอย่างต่อเนื่องเป็น 7.91, 7.44, 6.24, 6.19 และ 5.43 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 11 และตารางที่ ง-6) เมื่อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถูกย่อยเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จะลดจำนวนลง 3.67 log cycles หรือมีปริมาณเชื้อ *B. longum* เหลือรอดเป็นร้อยละ 59.67 (ภาพที่ 12)

จากการศึกษาปริมาณการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านการย่อยในน้ำย่อยเทียม pH 2 เป็นระยะเวลานาน 2 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด จะลดปริมาณลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะลดจำนวนลงจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นก่อนผ่านการย่อย 3.67 – 4.20 log cycles หรือมีปริมาณเชื้อเหลือรอดร้อยละ 54.98 - 63.69 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hansen et al. (2001) ซึ่งพบว่า ปริมาณเชื้อ *B. adolescentis* 15703 *B. breve* 15700 และ *B. longum* Bb-46 ในรูปที่เป็นเซลล์อิสระ (free cells) เมื่อถูกย่อยโดยน้ำย่อยเทียม ที่ pH 2.0 เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะมีปริมาณเชื้อลดจำนวนลง 3 - 4 log cycles

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

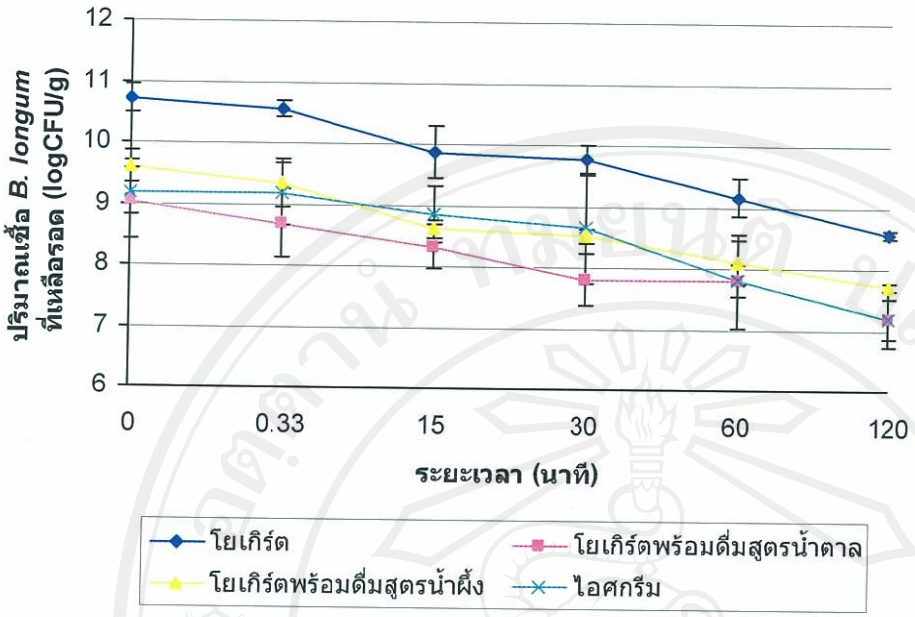


ภาพที่ 12 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องในน้ำย่อยเทียมที่ pH 2.0

4.4.1.2 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในน้ำย่อยเทียม ที่ pH 3.0

เมื่อนำผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตทั้ง 4 ชนิด มาทำการย่อยด้วยน้ำย่อยเทียมที่มี pH 3.0 เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 นาที และ 120 นาที พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในทุกผลิตภัณฑ์จะลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่ผ่านการย่อยด้วยน้ำย่อยเทียม เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 นาที และ 120 นาที จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากเริ่มต้น 10.72 log CFU/g เป็น 10.56, 9.88, 9.76, 9.16 และ 8.56 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 13 และตารางที่ ง-7) ซึ่งปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อโยเกิร์ตถูกย่อยในน้ำย่อยเทียมเป็นระยะเวลา 0.33 นาที จากนั้นปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดปริมาณลงเรื่อยๆ จนเมื่อถูกย่อยเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงเหลือ 8.56 log CFU/g หรือปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จะลดจำนวนลงจากเริ่มต้น 2.16 log cycles หรือมีปริมาณเหลือรอดเป็นร้อยละ 79.85 (ดังภาพที่ 14)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 13 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องในน้ำย่อยเทียมที่ pH 3.0

สำหรับโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำตาล มีปริมาณ เชื้อ *B. longum* เริ่มต้นเท่ากับ 9.06 log CFU/g เมื่อนำไปย่อยในน้ำย่อยเทียม ที่ pH 3.0 พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ที่ย่อยนาน 0.33 นาที จะมีปริมาณลดลงจากเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณเชื้อเริ่มต้นในโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มก่อนสัมผัสกับน้ำย่อยเทียม มีค่าเท่ากับ 9.06 log CFU/g เมื่อสัมผัสกับน้ำย่อยเป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที จะมีปริมาณเชื้อลดลงเป็น 8.68, 8.34, 7.80, 7.80 และ 7.19 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 13 และ ตาราง ง-7) การย่อยเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดจำนวนลง 3.82 log cycles หรือปริมาณเชื้อ *B. longum* เหลือรอดเป็นร้อยละ 79.36 (ภาพที่ 14)

โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำผึ้งจะมีเชื้อลดลงจาก 9.60 log CFU/g เป็น 9.35, 8.62, 8.51, 8.11 และ 7.71 log CFU/g ตามลำดับ เมื่อย่อยที่ pH 3.0 นาน 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 13 และตารางที่ ง-7) โดยปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกย่อยนาน 2 ชั่วโมง โดยปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงเหลือ 7.71 log CFU/g ซึ่งลดลงจากปริมาณเชื้อเริ่มต้น 1.89 log cycles หรือเหลือรอดเป็นร้อยละ 80.31 (ภาพที่ 14)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* มีปริมาณ เชื้อ *B. longum* เริ่มต้นเท่ากับ 9.18 log CFU/g เมื่อนำไปย่อยในน้ำย่อยเทียม ที่ pH 3.0 พบว่า การย่อยนาน 0.33 นาที จะมีผลทำให้ปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากเริ่มต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณเชื้อเริ่มต้นในไอศกรีม มีค่าเท่ากับ 9.19 log CFU/g เมื่อถูกย่อยเป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที ปริมาณเชื้อจะลดลงอย่างต่อเนื่องเป็น 9.17, 8.85, 8.64, 7.80 และ 7.71 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 13 และตารางที่ ง-7) เมื่อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถูกย่อยเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จะลดจำนวนลง 2.02 log cycles หรือปริมาณเชื้อ *B. longum* เหลือรอดเป็นร้อยละ 78.02 (ดังภาพที่ 14)

จากการศึกษาปริมาณการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านการย่อยในน้ำย่อยเทียม ที่ pH 3.0 เป็นระยะเวลานาน 2 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิดจะลดปริมาณลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะลดจำนวนลงจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นก่อนผ่านการย่อย 1.87 – 2.16 log cycles หรือมีปริมาณเชื้อเหลือรอดร้อยละ 78.02 – 80.31 ทั้งนี้ Hansen et al. (2002) ได้รายงานไว้ว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* Bb-46 ในรูปที่เป็นเซลล์อิสระ (free cells) ที่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยเทียมที่ pH เท่ากับ 3.0 เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* Bb-46 ลดจำนวนลงจากปริมาณเริ่มต้นที่ 10^7 เหลือ 10^5 ซึ่งปริมาณเชื้อลดลงจำนวน 2 log cycles ซึ่งผลการศึกษาของ Hansen et al. (2002) จะใกล้เคียงกับการศึกษานี้ ซึ่งมีปริมาณลดลง 1.87 – 2.16 log cycles

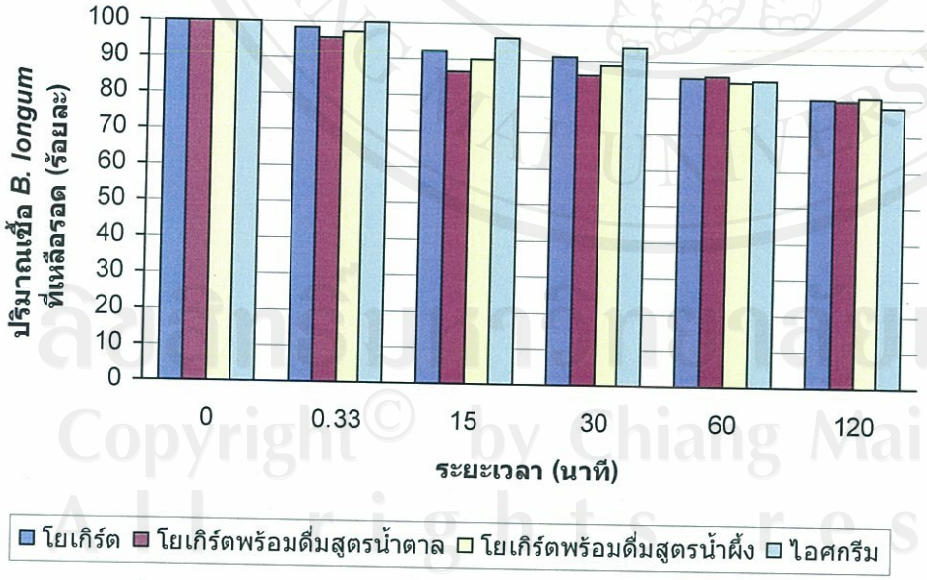
ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ทั้ง 4 ชนิด จะเหลือรอดหลังจากการย่อย ที่ pH 3.0 เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ในจำนวนที่สูงกว่าการย่อยเป็นเวลาเท่ากัน ที่ pH 2.0 (ตารางที่ 13)

ดังนั้น ชนิดของผลิตภัณฑ์ ชนิดของสารให้ความหวาน และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิแช่เย็น และแช่แข็ง ต่างไม่มีผลต่อการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในสภาวะน้ำย่อยเทียม ที่ pH 2.0 และ 3.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 13 ปริมาณการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* (ร้อยละ) ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ในน้ำย่อยเทียม ที่ pH 2.0 และ 3.0

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* (ร้อยละ)									
	20 วินาที		15 นาที		30 นาที		60 นาที		120 นาที	
	pH 2	pH 3	pH 2	pH 3	pH 2	pH 3	pH 2	pH 3	pH 2	pH 3
โยเกิร์ต	88.71	98.51	81.28	92.16	73.10	91.04	72.06	85.45	63.69	79.85
โยเกิร์ตพร้อมดื่มสูตรน้ำตาล	91.38	95.81	80.90	86.88	69.32	86.09	66.38	86.09	58.30	79.36
โยเกิร์ตพร้อมดื่มสูตรน้ำผึ้ง	91.43	97.40	84.67	89.79	77.28	88.65	67.42	84.48	54.98	80.31
ไอศกรีมโยเกิร์ต	86.92	99.78	81.76	96.30	68.57	94.02	68.02	84.87	59.67	78.02



ภาพที่ 14 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องในน้ำย่อยเทียมที่ pH 3.0

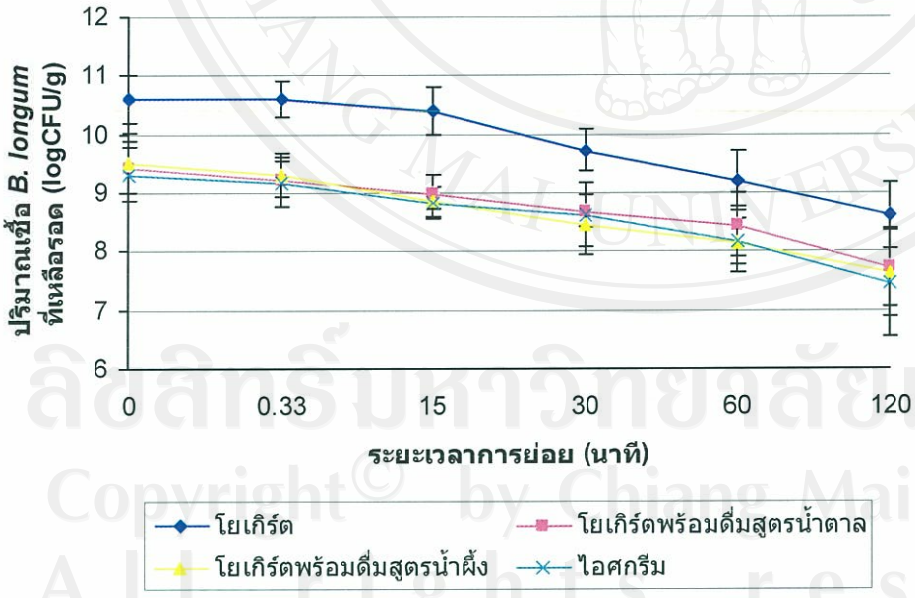
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในน้ำดีเทียม

การศึกษาการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในน้ำดีเทียม ได้ทำการศึกษาสองสภาวะ คือ ที่น้ำดีเทียมความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 2.0 ซึ่งมีผลการศึกษา ดังนี้

4.4.2.1 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในน้ำดีเทียม ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

เมื่อนำผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตทั้ง 4 ชนิด มาทำการย่อยด้วยน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าปริมาณเชื้อ *B. longum* ในโยเกิร์ตข้าวกล้องจะลดจำนวนลง โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไป 30, 60 และ 120 นาที จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากปริมาณเชื้อเริ่มต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตข้าวกล้องที่อยู่ในน้ำดีเทียม เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจาก เริ่มต้น 10.60 log CFU/g เหลือ 10.60, 10.41, 9.72, 9.22 และ 8.61 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 15 และ ตารางที่ ง-8) และที่เวลาการย่อยในน้ำดีเทียมนาน 2 ชั่วโมง จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงเหลือ 8.61 log CFU/g ซึ่งลดลงจากเริ่มต้น 1.99 log cycles หรือมีปริมาณเหลือรอดร้อยละ 81.23 (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 15 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำตาล มีปริมาณเชื้อ *B. longum* เริ่มต้นเท่ากับ 9.45 log CFU/g เมื่อนำไปย่อยในน้ำดีเทียมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงเป็น 9.23, 9.01, 8.69, 8.46 และ 7.73 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 15 และตารางที่ ง-8) และที่เวลาการย่อยในน้ำดีเทียมนาน 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จะลดจำนวนลง 1.72 log cycles หรือมีปริมาณเชื้อ *B. longum* เหลือรอดเป็นร้อยละ 81.80 (ภาพที่ 16)

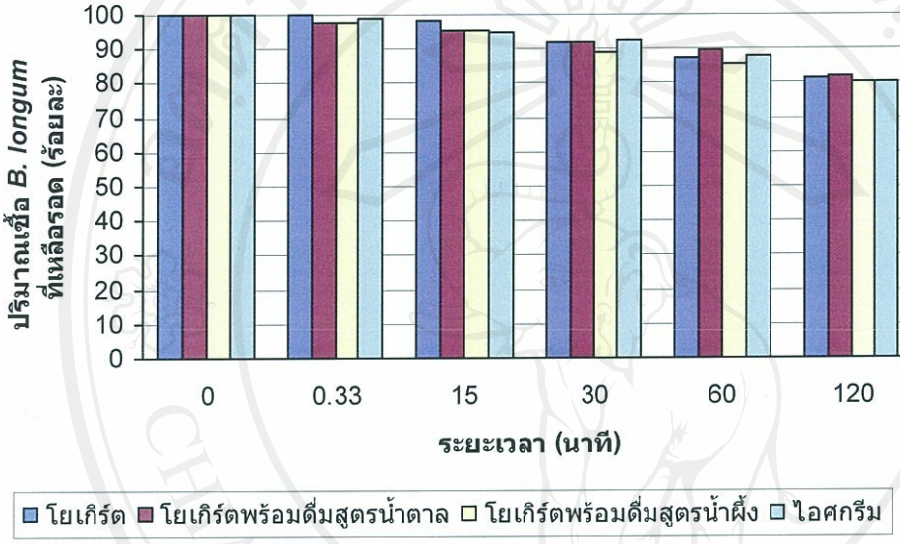
โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำผึ้ง ที่ย่อยในน้ำดีเทียมที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากเริ่มต้น คือ 9.52 log CFU/g เหลือ 9.31, 8.85, 8.45, 8.16 และ 7.62 log CFU/g ที่เวลาการย่อย 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 15 และตารางที่ ง-8) โดยปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงจากเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่เวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที สำหรับเวลา 2 ชั่วโมง จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงเหลือ 7.62 log CFU/g ซึ่งลดลงจากปริมาณเริ่มต้น 1.90 log cycles หรือมีการเหลือรอดเป็นร้อยละ 80.04 (ภาพที่ 16)

ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่ย่อยในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จะมีปริมาณ เชื้อ *B. longum* ลดลงจากเริ่มต้น คือ 9.31 log CFU/g เหลือ 9.18, 8.83, 8.63, 8.19 และ 7.46 log CFU/g ที่เวลาการย่อย 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 15 และตารางที่ ง-8) โดยปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดจำนวนลงจากเริ่มต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่เวลา 60 และ 120 นาที สำหรับเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงเหลือ 7.46 log CFU/g ซึ่งลดลงจากปริมาณเริ่มต้น 1.85 log cycles หรือมีการเหลือรอดเป็นร้อยละ 80.13 (ภาพที่ 16)

จากการศึกษาปริมาณการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านการย่อยในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นระยะเวลานาน 2 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณเชื้อดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด จะลดปริมาณลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 15 และตารางที่ ง-8) โดยจะลดจำนวนลงจากปริมาณเชื้อในผลิตภัณฑ์เริ่มต้นก่อนผ่านการย่อย เท่ากับ 1.72 – 1.99 log cycles หรือมีปริมาณเชื้อเหลือรอดร้อยละ 80.04 – 81.80 ทั้งนี้ Hansen et al. (2002) ได้รายงานไว้ว่าปริมาณเชื้อ *B. longum* Bb-46 ในรูปที่เป็นเซลล์อิสระ (free cells) เมื่อถูกย่อยโดยน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะมีปริมาณเชื้อลดลงจากปริมาณเริ่มต้นที่ 8.60 log CFU/g เหลือ 6.50 log CFU/g ซึ่งปริมาณเชื้อจะลดจำนวนลงเท่ากับ 2.10 log cycles ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษานี้ที่มีค่าลดลง 1.72 – 1.99 log cycles

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาในตอนนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ทุกชนิดต่างมีการเหลือรอดในน้ำดีเทียม ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ไม่แตกต่างกัน และชนิดของสารให้ความหวานที่ใช้ในโยเกิร์ตพร้อมดื่ม ตลอดจนสภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส หรือ อุณหภูมิแช่แข็งที่ -12 องศาเซลเซียส ต่างไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum*

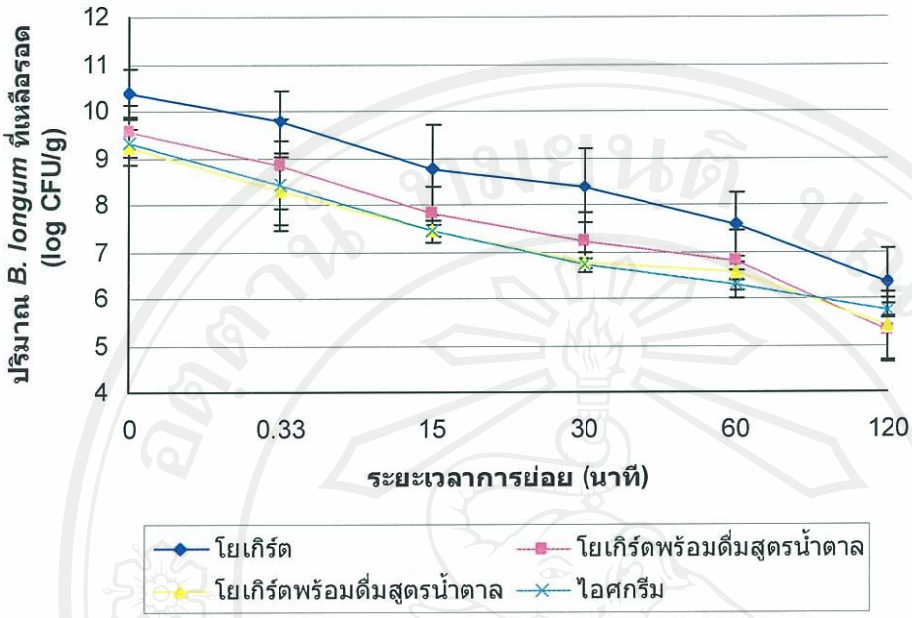


ภาพที่ 16 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง ในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5

4.4.2.2 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในน้ำดีเทียม ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0

เมื่อนำผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตทั้ง 4 ชนิด มาทำการย่อยด้วยน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0 เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าปริมาณเชื้อ *B. longum* ในโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* จะลดจำนวนลง โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไป 15, 30, 60 และ 120 นาที จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากปริมาณเชื้อเริ่มต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* ที่อยู่ในน้ำดีเทียมเป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงจากเริ่มต้น 10.39 log CFU/g เหลือ 9.77, 8.75, 8.40, 7.56 และ 6.32 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 17 และตารางที่ ง-9) และที่เวลาการย่อยในน้ำดีเทียมนาน 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลงเหลือ 6.32 log CFU/g ซึ่งลดลงจากเริ่มต้น 4.07 log cycles หรือมีปริมาณเหลือรอดเป็นร้อยละ 60.83 (ภาพที่ 18)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 17 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้องในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0

โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม เติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำตาล มีปริมาณเชื้อ *B. longum* เริ่มต้นเท่ากับ 9.57 log CFU/g เมื่อนำไปย่อยในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0 เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงเป็น 8.87, 7.84, 7.24, 6.80 และ 5.30 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 17 และตารางที่ ง-9) โดยปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงจากเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่เวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที สำหรับเวลา 2 ชั่วโมง จะมีปริมาณเชื้อ *B. longum* ลดลง 4.27 log cycles หรือปริมาณเชื้อ *B. longum* เหลือรอดเป็นร้อยละ 55.38 (ภาพที่ 18)

เมื่อโยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่ม เติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำผึ้ง ถูกย่อยในน้ำดีเทียมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดปริมาณลงจากเริ่มต้น คือ 9.23 log CFU/g เหลือ 8.31, 7.43, 6.78, 6.57 และ 5.41 log CFU/g ที่เวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 17 และตารางที่ ง-9) ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงจากเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่เวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที สำหรับเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงเหลือ 5.41 log CFU/g ซึ่งลดลงจากปริมาณเริ่มต้น 3.82 log cycles หรือเหลือรอดเป็นร้อยละ 58.61 (ภาพที่ 18)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* มีปริมาณ เชื้อ *B. longum* เริ่มต้นเท่ากับ 9.34 log CFU/g เมื่อนำไปย่อยในน้ำดีเทียมที่ระดับความเข้มข้น 2.0 เป็นระยะเวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่า ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงเป็น 8.42, 7.43, 6.74, 6.30 และ 5.75 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 17 และตารางที่ ง-9) โดยปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงจากเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่เวลา 0.33, 15, 30, 60 และ 120 นาที และที่เวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดจำนวนลง 3.59 log cycles หรือปริมาณเชื้อ *B. longum* เหลือรอดเป็นร้อยละ 61.56 (ภาพที่ 18)

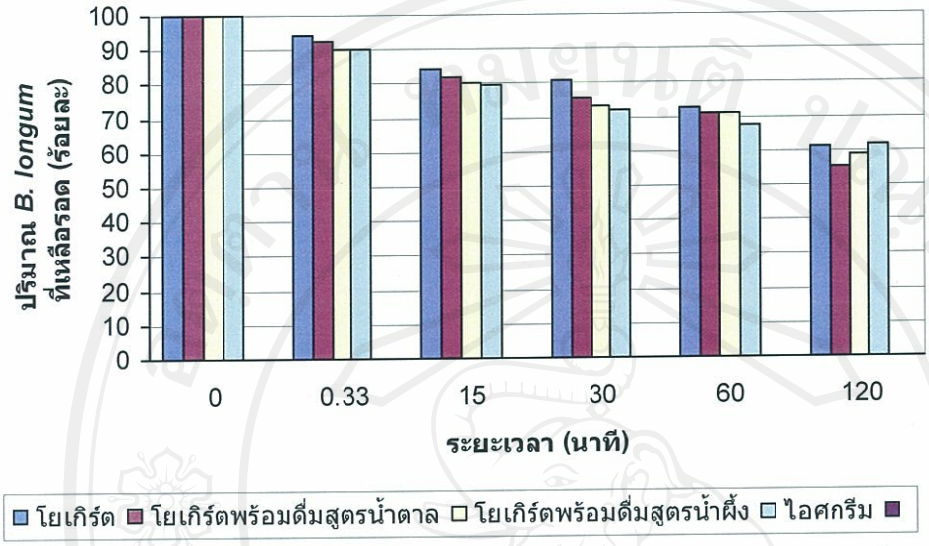
จากการศึกษาปริมาณการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านการย่อยในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0 เป็นระยะเวลานาน 2 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณเชื้อดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำตาล โยเกิร์ตข้าวกล้องพร้อมดื่มเติมเชื้อ *B. longum* สูตรน้ำผึ้ง และไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อ *B. longum* จะลดปริมาณลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะลดจำนวนลงอย่างเรื่อยๆ และสม่ำเสมอจากปริมาณเชื้อในผลิตภัณฑ์เริ่มต้นก่อนผ่านการย่อย อยู่ในช่วง 3.59 – 4.27 log cycles หรือมีปริมาณเชื้อเหลือรอดร้อยละ 55.38 – 61.56 ในขณะที่ปริมาณเชื้อ *B. longum* ที่เป็นเซลล์อิสระจากการศึกษาของ Lian et al. (2003) จะมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วใน 20 วินาทีแรกที่สัมผัสกับน้ำดีเทียม ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ซึ่งจะลดจำนวนลงประมาณ 3.0 log cycles และเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อ *B. longum* ที่เป็นเซลล์อิสระจะลดลงอีกเล็กน้อยประมาณ 0.22 log cycles หรือลดจำนวนลงประมาณ 3.22 log cycles จากเริ่มต้น แต่เมื่อเวลาครบ 2 ชั่วโมงเท่ากันปริมาณเชื้อ *B. longum* จะลดลงจากเริ่มต้นใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาพบว่า เชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ทุกชนิดจะเหลือรอดในสภาวะน้ำดีเทียมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0 ได้น้อยกว่าน้ำดีเทียมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ซึ่งทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำดีเทียมสูงขึ้น เชื้อ *B. longum* จะมีความสามารถเหลือรอดได้ในปริมาณที่ลดลง Schmidt and Zink (2000) ได้รายงานไว้ว่า เชื้อ *Bifidobacterium* จะมีคุณสมบัติทนต่อสภาวะเกลือ น้ำดี หรือทนต่อความร้อนได้เนื่องจากมี *dnaK* heat shock gene ซึ่งสามารถสร้างสาร heat-shock protein ได้

จากการศึกษาการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในสภาวะเลียนแบบระบบย่อยอาหารพบว่าชนิดของผลิตภัณฑ์ หรืออาหาร ชนิดของสารให้ความหวาน และสภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิแช่เย็น และแช่แข็งที่ศึกษา ต่างไม่มีผลต่อการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุด คือ ปริมาณเชื้อ *B. longum* เริ่มต้นใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหาร หากมีปริมาณเชื้อในระดับที่สูง เมื่อผ่านการย่อยในน้ำย่อย หรือน้ำดีเทียมแล้ว ปริมาณเชื้อ *B. longum* ก็จะหลงเหลือในอาหารในระดับที่สูง ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ร่างกายได้ดี



ภาพที่ 18 การเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง ในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.0

ตารางที่ 14 ปริมาณการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* (ร้อยละ)ในผลิตภัณฑ์จากโยเกิร์ตข้าวกล้อง เติมเชื้อ *B. longum* ในน้ำดีเทียม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 2.0

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณการเหลือรอดของเชื้อ *B. longum* (ร้อยละ)									
	20 วินาที		15 นาที		30 นาที		60 นาที		120 นาที	
	ร้อยละ 0.5	ร้อยละ 2.0	ร้อยละ 0.5	ร้อยละ 2.0	ร้อยละ 0.5	ร้อยละ 2.0	ร้อยละ 0.5	ร้อยละ 2.0	ร้อยละ 0.5	ร้อยละ 2.0
โยเกิร์ต	100	94.03	98.21	84.22	91.70	80.85	86.98	72.76	81.23	60.83
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (น้ำตาล)	97.67	92.69	95.34	81.92	91.96	75.65	89.52	71.06	81.80	55.38
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (น้ำตาล)	97.79	90.03	95.06	80.50	88.76	73.46	85.71	71.18	80.04	58.61
ไอศกรีมโยเกิร์ต	98.60	90.15	94.84	79.55	92.70	72.16	87.97	67.45	80.13	61.56

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved