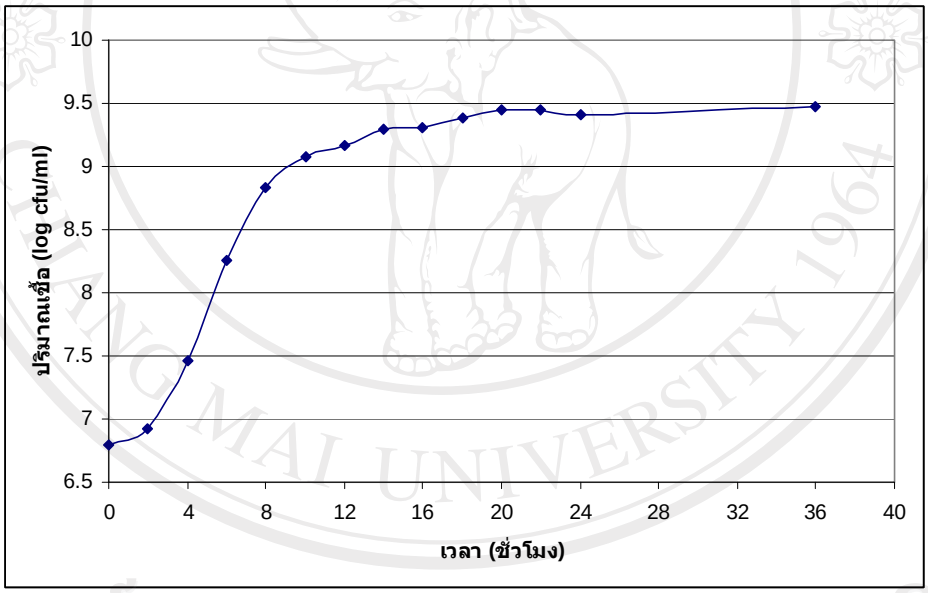
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาระยะการเจริญของเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* และการเตรียมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น

ผลการศึกษาระยะการเจริญของเชื้อ *Leu. mesenteroides* และ *Lac. plantarum* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การเจริญของเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* (TISTR 053) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

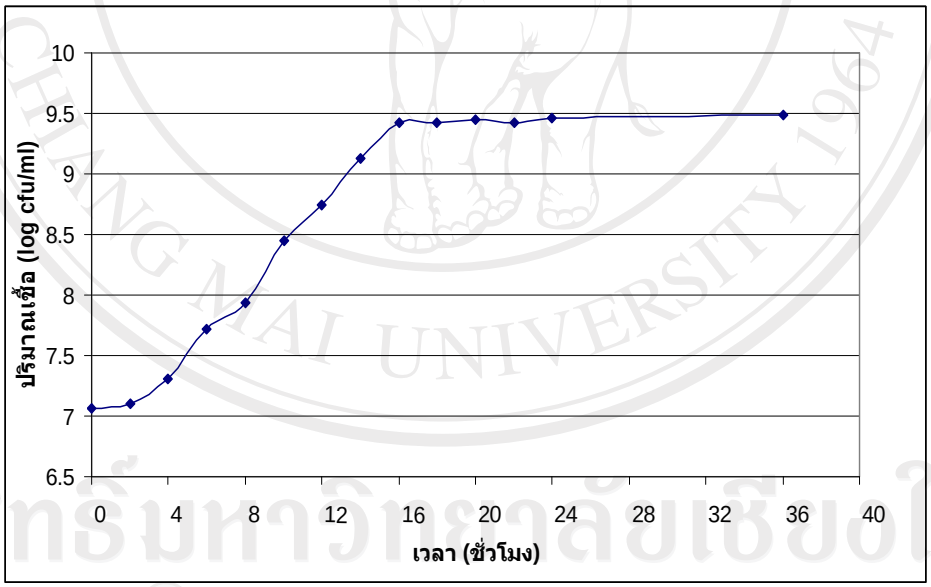
รูปที่ 4.1 แสดงการเจริญของเชื้อ *Leu. mesenteroides* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในเวลา 36 ชั่วโมง มีลำดับการเจริญของเชื้ออยู่ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การปรับตัว (Lag phase) ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากปริมาณเชื้อเริ่มต้น 6.79 log cfu/ml มีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนมีปริมาณ 6.92 log cfu/ml ในชั่วโมงที่ 2

2. การเจริญอย่างรวดเร็ว (Log or exponential growth phase) จะใช้เวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 ไปจนถึงชั่วโมงที่ 14 - 16 ระยะนี้เชื้อจะเจริญอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณถึง 9.31 log cfu/ml ในชั่วโมงที่ 16 ซึ่งใช้เวลาใกล้เคียงกับกราฟการเจริญของเชื้อ *Leu. mesenteroides* subsp. *mesenteroides* MCRI 4 ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เข้าสู่ระยะการเจริญคงที่ในชั่วโมงที่ 14 (Hamasaki *et al*., 2003)

3. การเจริญคงที่ (Stationary phase) ใช้เวลาเริ่มตั้งแต่ประมาณชั่วโมงที่ 16

จากข้อมูลการเจริญของเชื้อ *Leu. mesenteroides* (TISTR 053) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (Specific growth rate, μ) มีค่า 0.39 ชั่วโมง$^{-1}$ และระยะเวลาที่แบคทีเรียใช้ในการแบ่งเซลล์ (generation time, g หรือ doubling time, t_d) มีค่า 1.78 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2 การเจริญของเชื้อ *Lactobacillus plantarum* (TISTR 1465) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.2 แสดงการเจริญของเชื้อ *Lac. plantarum* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในเวลา 36 ชั่วโมง มีลำดับขั้นการเจริญของเชื้ออยู่ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การปรับตัว (Lag phase) ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากปริมาณเชื้อเริ่มต้น 7.07 log cfu/ml มีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนมีปริมาณ 7.11 log cfu/ml

2. การเจริญอย่างรวดเร็ว (Log or exponential growth phase) คือ ใช้เวลาตั้งแต่หลังชั่วโมงที่ 2 ไปจนถึงชั่วโมงที่ 16 ระยะนี้เชื้อจะเจริญอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณถึง 9.42 log cfu/ml ในชั่วโมงที่ 16 ผลการทดลองที่ได้ใกล้เคียงกับกราฟการเจริญของ *Lac. plantarum* 5s strain ที่เลี้ยงใน GPE medium ที่ 37 องศาเซลเซียส คือใช้เวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 ไปจนถึงชั่วโมงที่ 16 (Emanuel *et al*., 2005)

3. การเจริญคงที่ (Stationary phase) ใช้เวลาเริ่มตั้งแต่ประมาณชั่วโมงที่ 16

จากข้อมูลการเจริญของเชื้อ *Lac. plantarum* (TISTR 1465) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (Specific growth rate, μ) มีค่า 0.38 ชั่วโมง$^{-1}$ และระยะเวลาที่แบคทีเรียใช้ในการแบ่งเซลล์ (generation time, g หรือ doubling time, t_d) มีค่า 1.82 ชั่วโมง

สรุปผลการทดลองตอนที่ 1 เนื่องด้วยคุณสมบัติของเชื้อที่ควรนำมาทำเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นควรอยู่ในสภาพที่แข็งแรงและว่องไว เพื่อให้มีระยะการปรับตัว ของกระบวนการหมักสั้นที่สุด (สมใจ, 2544) ระยะการเจริญอย่างรวดเร็ว เป็นระยะที่กิจกรรมสำหรับกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ อยู่ในระดับสมบูรณ์ที่สุด มีเมตาโบลิซึมมากที่สุด แต่แบคทีเรียระยะนี้จะถูกทำลายจากปัจจัยภายนอกได้ง่ายเช่น รังสี ความร้อน ซึ่งต่างจากระยะการเจริญคงที่เป็นช่วงที่แบคทีเรียมีความสามารถในการต้านทานต่อการถูกทำลายมากที่สุด (สิทธิสิน, 2542) โดยในขั้นตอนการเตรียมเชื้อบริสุทธิ์ต้องทำการเก็บเกี่ยวเชื้อโดยการปั่นเหวี่ยงในเครื่อง centrifuge ซึ่งอาจจะมีความร้อนเกิดขึ้นได้ หากใช้เชื้อในระยะการเจริญอย่างรวดเร็วตอนกลางอาจทำให้เชื้อบาดเจ็บหรือถูกทำลายได้ง่าย จากเหตุผลข้างต้นจึงเลือกเชื้อในช่วงท้ายของระยะการเจริญอย่างรวดเร็ว และเป็นระยะเริ่มต้นของระยะการเจริญคงที่ไปเตรียมเป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น โดยเชื้อ *Leu. mesenteroides* และ *Lac. plantarum* จะเลือกใช้เวลาประมาณชั่วโมงที่ 15 - 16 หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth มาเตรียมเป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นเพื่อใช้ในการหมักกิมจิในตอนต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Plengvidhya *et al*. (2004) ในการทำซาวเวอร์เคราต์โดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น ใช้เชื้อ *Leu. mesenteroides* บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสใน MRS broth เป็นเวลา 15 ชั่วโมง และงานวิจัยของ Zlatica and Jolana (2003) ในการใช้เชื้อ *Lactobacillus* sp. บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ใน Latobacillus selective broth เป็นเวลา 16 - 18 ชั่วโมง เป็นเชื้อเริ่มต้นในการหมักน้ำกระหล่ำปลี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ผลการศึกษาคุณภาพวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการเตรียมกิมจิ

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการเตรียมกิมจิได้แก่ ผักกาดขาวปลี นำผักกาดขาวปลีมาล้างด้วยน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำให้แห้งก่อนนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยา ผลการตรวจวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีวิทยา ของผักกาดขาวปลี

คุณภาพ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
1.คุณภาพทางเคมี	
- ความเป็นกรดด่าง	6.10 $\pm$ 0.03
- ปริมาณกรดแลคติก (%w/w)	0.16 $\pm$ 0.01
- ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	1.69 $\pm$ 0.08
2. คุณภาพทางกายภาพ	
- ค่าสี L*a*b*	ค่าสี L* 81.22 $\pm$ 0.86 ค่าสี a* -1.41 $\pm$ 0.19 ค่าสี b* 5.01 $\pm$ 0.87
- ความแข็ง (force-g)	132.83 $\pm$ 21.26
3. คุณภาพทางจุลชีววิทยา	
- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	4.46 $\pm$ 0.26
- ปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* (MPN/g)	< 3
- ปริมาณเชื้อยีสต์ และรา (cfu/g)	< 10

หมายเหตุ - ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

- ค่าสี C* เท่ากับ 5.20 ± 0.88, ค่าสี h เท่ากับ105.77 ± 1.40

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1 คุณภาพทางเคมีของผักกาดขาวปลี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผักกาดขาวปลี พบว่าผักกาดขาวปลี มีค่าความเป็นกรดด่าง เท่ากับ 6.10 $\pm$ 0.03 และปริมาณกรดแลคติกเท่ากับ 0.16 $\pm$ 0.01 %w/w แสดงว่าผักกาดขาวปลีมีคุณสมบัติเป็นกรดเล็กน้อย ให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองของ Zlatica and Jolana (2003) ตรวจความเป็นกรดด่างของน้ำกะหล่ำปลีมีค่าอยู่ในช่วง 5 - 6.3 และมีปริมาณกรดแลคติกเท่ากับ 1.5 - 2.4 g/dm^3

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผักกาดขาวปลีเท่ากับ 1.69 $\pm$ 0.08 %w/w น้ำตาลในผักกาดขาวปลีส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้แก่ กลูโคส ฟรุกโตส และแมนโนส (Yun *et al*., 1996)

4.2.2 คุณภาพทางกายภาพของผักกาดขาวปลี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ค่าสี L*a*b* ของก้านผักกาดขาวปลี ค่าสี L* (ค่าความสว่าง) เท่ากับ 81.22 $\pm$ 0.86 ค่าสี a* (ค่าสีแดง-สีเขียว) เท่ากับ -1.41 $\pm$ 0.19 ค่าสี b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) เท่ากับ 5.01 $\pm$ 0.87 แสดงว่าสีของก้านผักกาดขาวปลีออกโทนสีขาว

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางลักษณะสัมผัส คือ ค่าความแข็งที่วัดโดยใช้วิธี การวัดค่าแรงสูงสุดที่ใช้เข็ม (P/2N) เจาะทะลุผ่านก้านผักกาดขาวปลี มีค่า 132.83 $\pm$ 21.26 force-g

4.2.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผักกาดขาวปลี

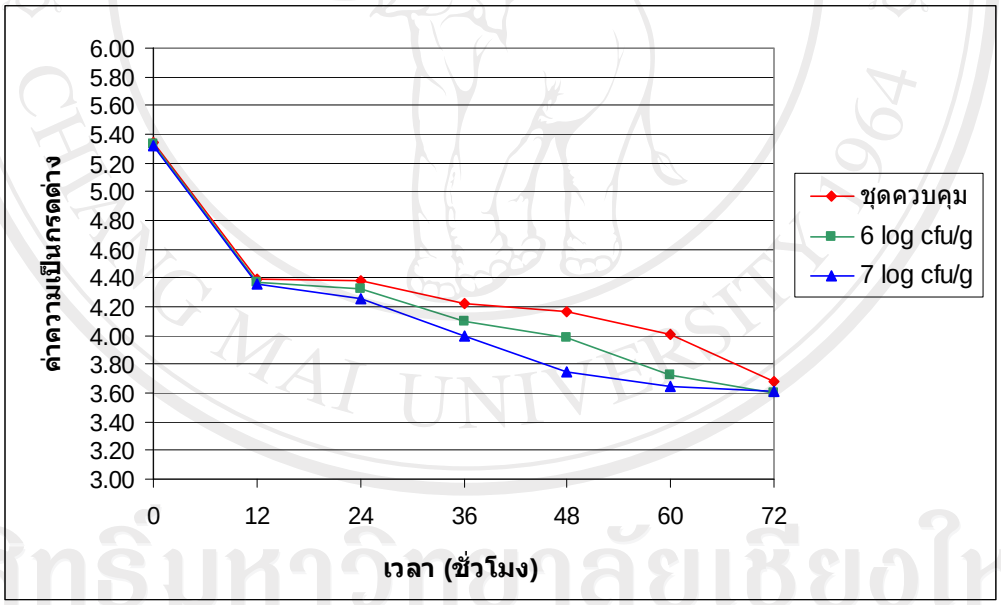
ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผักกาดขาวปลี พบว่าผักกาดขาวปลีที่ผ่านการล้างแล้วมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.46 $\pm$ 0.26 log cfu/g เชื้อ *E. coli* พบน้อยกว่า 3 MPN/g เชื้อยีสต์และรา พบน้อยกว่า 10 cfu/g ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ วราภา และคณะ (2543) พบว่าจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีในผักสดที่นิยมรับประทานในอาหารไทยที่ผ่านการล้างแล้ว อยู่ในช่วง 4.1- 4.5 log cfu/g และ Hutkins (2006) ที่รายงานว่าเชื้อแอโรบิกแบคทีเรียที่พบในผักสดสามารถพบได้ในปริมาณตั้งแต่ 4 - 6 log cfu/g และปริมาณเชื้อยีสต์และราที่พบในผักสดสามารถพบได้ในปริมาณตั้งแต่ 0.3 - 4.6 log cfu/g และใกล้เคียงกันการทดลองของ Inatsu *et al*. (2007) พบว่าผักกาดขาวปลีก่อนล้างมีปริมาณเชื้อแอโรบิกทั้งหมดเท่ากับ 6.39 log cfu/g แต่หลังจากผ่านการล้างพบเชื้อแอโรบิกทั้งหมดเท่ากับ 5.79 log cfu/g และไม่พบเชื้อก่อโรคหลังจากผ่านการล้าง และหากล้างด้วยสารทำความสะอาดได้แก่ acidified sodium chlorite จะสามารถลดปริมาณเชื้อลงได้ถึง 2 log cfu/g ทั้งนี้ปริมาณและชนิดของเชื้อที่พบในผักแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับการปนเปื้อนจากแหล่งที่ปลูก แหล่งน้ำที่ใช้ การขนส่ง และวิธีการล้างผักก่อนทำการตรวจเชื้อ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการหมักกิมจิ

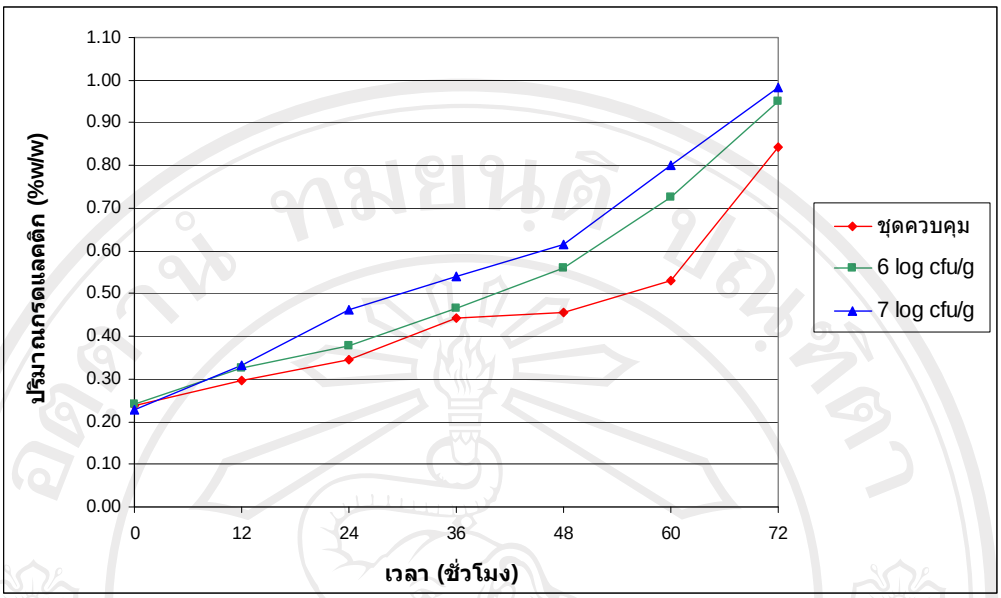
ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 ทำการผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือ ปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส หาเวลาที่เหมาะสมในการหมักโดยการสุ่มวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดแลคติก ทุกๆ 12 ชั่วโมง จนกิมจิมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยาของกิมจิก่อนและหลังการหมัก

4.3.1 ผลการหาเวลาที่เหมาะสมในการหมัก



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในเวลา 72 ชั่วโมง ของกิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติก ในเวลา 72 ชั่วโมง ของกิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกในเวลา 72 ชั่วโมง ของกิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leu. mesenteroides* และ *Lac. plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่ทำการเติมเชื้อบริสุทธิ์) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกของกิมจิชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าชุดที่ไม่ได้เติมเชื้อบริสุทธิ์ คือ ค่าความเป็นกรดด่างของกิมจิชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g จะมีการลดลงของค่าความเป็นกรดด่างและมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดแลคติกเร็วกว่ากิมจิชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 6 log cfu/g และชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำให้กิมจิชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g ใช้เวลาการหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่ประมาณ 4.00 ปริมาณกรดแลคติกประมาณ 0.5 %w/w สั้นกว่ากิมจิชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 6 log cfu/g และชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ คือ กิมจิที่หมักโดยการเติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g, 6 log cfu/g และชุดควบคุมที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ จะใช้เวลาหมักจากค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นในช่วง 5.33 - 5.35 จนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.00 เป็นเวลา 36, 48 และ 60 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นว่ากิมจิที่หมักโดยการเติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g จะใช้เวลาการหมักเร็วกว่าชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 6 log cfu/g เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเร็วกว่าชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งการหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น เป็นการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการหมักเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ ส่งผลให้ลดระยะเวลาการหมักลง (นิธิยา และไพโรจน์, 2547) โดยให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Lee and Kim (1988) ศึกษาการใช้เชื้อ *Lac. plantarum, Lactobacillus brevis* และ *Pediococcus cerevisiae* ที่แยกได้จากกิมจิ เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักกิมจิ สามารถลดระยะเวลาการหมักลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น โดยใช้เวลาการหมักเพียง 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส รวมทั้งคะแนนคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส และการยอมรับโดยรวมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น So *et al.* (1996) พบว่าการใช้เชื้อ *Leu. mesenteroides* เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ใช้เวลาหมักเพียง 4 - 6 วัน ส่วนชุดควบคุมที่ไม่ใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นใช้เวลาการหมักถึง 10 วัน Choi *et al.* (2003) ใช้เชื้อ *Leuconostoc citerum* ปริมาณ 7 log cfu/g เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นใช้เวลาหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จนกิมจิมีค่าความเป็นกรดด่างที่ประมาณ 4.00 ใช้เวลาหมักเพียง 2.5 วัน ส่วนชุดควบคุมใช้เวลาหมัก 3 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีก่อนและหลังหมักกิมจิ

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือ ปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีก่อนและหลังหมักกิมจิ แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางเคมี ก่อนและหลังหมักกิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

คุณภาพทางเคมี	กิมจิ (ก่อนหมัก)			กิมจิ (หลังหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่าง ~ 4.00)		
	ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์	เติมเชื้อบริสุทธิ์* ปริมาณเชื้อละ		ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์	เติมเชื้อบริสุทธิ์* ปริมาณเชื้อละ	
		6 log cfu/g	7 log cfu/g		6 log cfu/g	7 log cfu/g
ความเป็นกรดด่าง	$5.35^{a} \pm 0.01$	$5.34^{ab} \pm 0.01$	$5.33^{b} \pm 0.02$	$4.01^{c} \pm 0.01$	$3.98^{d} \pm 0.01$	$4.00^{c} \pm 0.02$
ปริมาณกรดแลคติก (%w/w)	$0.24^{a} \pm 0.01$	$0.24^{a} \pm 0.01$	$0.23^{a} \pm 0.01$	$0.53^{b} \pm 0.01$	$0.56^{c} \pm 0.01$	$0.54^{b} \pm 0.01$
ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ (%w/w)	$3.23^{a} \pm 0.37$	$2.88^{a} \pm 0.09$	$3.06^{a} \pm 0.34$	$5.37^{c} \pm 0.06$	$4.88^{b} \pm 0.64$	$5.18^{bc} \pm 0.51$
ปริมาณน้ำตาลซูโครส (%w/w)	$5.53^{b} \pm 0.35$	$5.62^{b} \pm 0.19$	$5.75^{b} \pm 0.68$	$2.48^{a} \pm 0.21$	$2.89^{a} \pm 0.08$	$2.78^{a} \pm 0.70$
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	$8.76^{b} \pm 0.08$	$8.50^{b} \pm 0.25$	$8.81^{b} \pm 0.35$	$7.85^{a} \pm 0.79$	$7.77^{a} \pm 0.58$	$7.96^{a} \pm 0.20$
ปริมาณเกลือ (%w/w)	$3.54^{a} \pm 0.15$	$3.51^{a} \pm 0.08$	$3.57^{a} \pm 0.05$	$3.56^{a} \pm 0.20$	$3.55^{a} \pm 0.13$	$3.59^{a} \pm 0.08$

หมายเหตุ

- " * " คือเชื้อ *Leu. mesenteroides* และ *Lac. plantarum*
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแต่ละแถวที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
- ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเป็นกรดด่างก่อนหมักของกิมจิมีค่าอยู่ในช่วง 5.33 – 5.35 ปริมาณกรดแลคติกก่อนหมักมีค่าอยู่ในช่วง 0.23 – 0.24 %w/w หลังจากหมักกิมจิจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่ประมาณ 4.00 ปริมาณกรดแลคติกจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.53 – 0.56 %w/w ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Shin *et al*. (1996) กิมจิมีค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นที่ประมาณ 5.5 และปริมาณกรดแลคติกเริ่มต้นที่ประมาณ 0.15 %w/w หลังจากหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 ปริมาณกรดแลคติกมีค่าประมาณ 0.5 %w/w และจากการทดลองของ Songa *et al*. (2004) กิมจิมีค่าปริมาณกรดแลคติกเริ่มต้นที่ประมาณ 0.2 %w/w

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของกิมจิก่อนหมักมีค่าอยู่ในช่วง 8.50 – 8.81 %w/w (น้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณอยู่ในช่วง 2.88 - 3.23 %w/w น้ำตาลซูโครสมีปริมาณอยู่ในช่วง 5.53 - 5.75 %w/w) สอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมลงไปในปริมาณประมาณ 6% และน้ำตาลส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ที่มาจากผักชนิดต่างๆที่เป็นส่วนประกอบ เช่นผักกาดขาวปลีจะมีน้ำตาลกลูโคส, ฟรุกโตส และแมนโนส (Yun *et al*., 1996) ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหลังหมักมีค่าอยู่ในช่วง 7.77 - 7.96 %w/w (น้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณอยู่ในช่วง 4.88 - 5.37 %w/w น้ำตาลซูโครสมีปริมาณอยู่ในช่วง 2.48 - 2.89 %w/w) จะเห็นว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหลังหมักมีค่าลดลง จากปริมาณเริ่มต้นก่อนหมัก เนื่องมาจากแบคทีเรียแลคติกเปลี่ยนน้ำตาล จากปฏิกิริยา 2 วิถีทางคือ การหมักแบบ homofermentative และ heterofermentative ไปเป็นผลิตภัณฑ์หลักได้แก่กรดแลคติก กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธานอล (Shin, 1994)

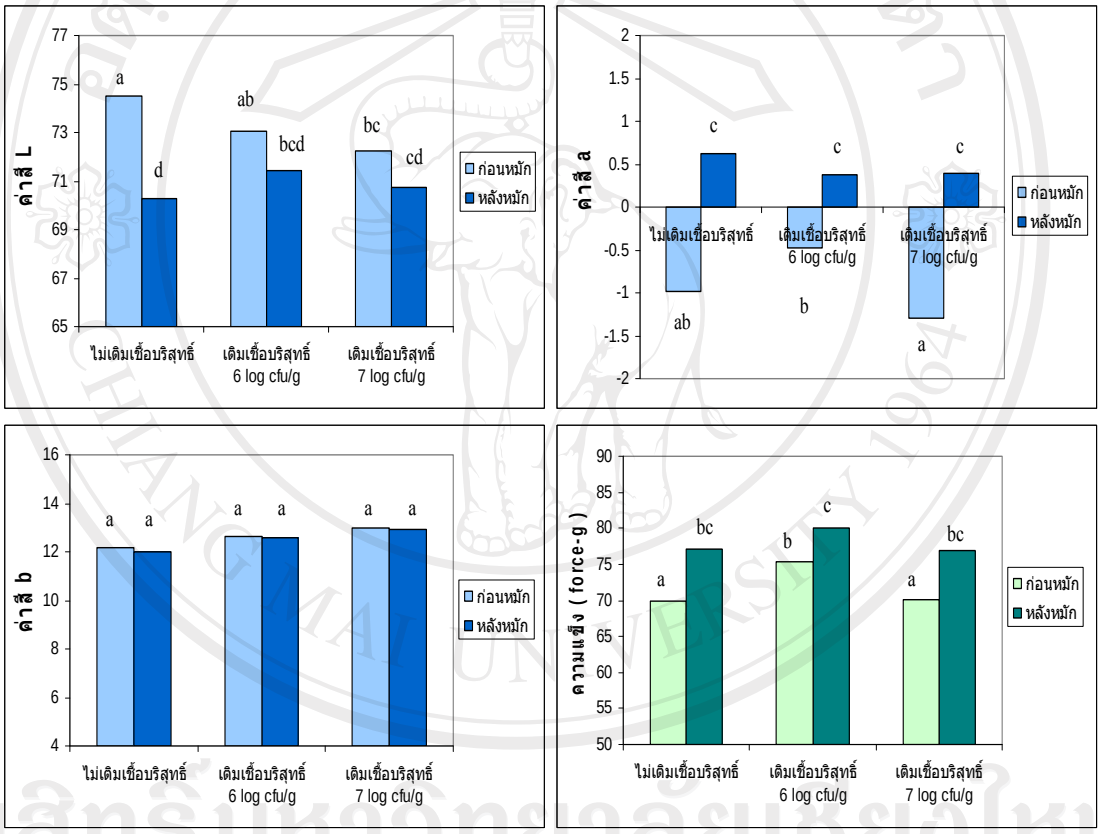
น้ำตาลซูโครสหลังหมักมีปริมาณลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังหมักมีปริมาณเพิ่มขึ้น นั้นอาจเนื่องมาจากในช่วงแรกของการหมักแบคทีเรียแลคติก จะเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์ที่มาจากผักที่เป็นวัตถุดิบไปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธานอล ทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรด ซึ่งน้ำตาลซูโครสเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะถูกไฮโดร-ไลซ์ไปเป็น น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส (นิธิยา, 2545) และจะถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียเป็นเพียงบางส่วน ส่วนที่เหลือจึงทำให้น้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณเพิ่มขึ้น

ปริมาณเกลือของกิมจิก่อนและหลังหมักกิมจิที่ผันแปรปริมาณการเติมเชื้อบริสุทธิ์ 2 ระดับ และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือมีค่าอยู่ในช่วง 3.51 - 3.59 %w/w ซึ่ง Lee (1994) ระบุว่าปริมาณเกลือที่เหมาะสมสำหรับการหมักกิมจิอยู่ในช่วง 3 - 5%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 คุณภาพทางกายภาพของกิมจิ ก่อนและหลังหมัก

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือ ปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ค่าสี L*a*b* และค่าความแข็ง ของกิมจิก่อนและหลังหมัก (วัดในส่วนของก้านผักกาดขาวปลี) แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่าสี L*a*b* และความแข็ง ก่อนและหลังหมักกิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.5 แสดงค่าสี L*a*b* ของกิมจิก่อนและหลังหมัก (วัดในส่วนของก้านผักกาดขาวปลี) พบว่าค่าสี L* (ค่าความสว่าง) หลังหมักมีค่าต่ำกว่าก่อนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) คือ ค่าสี L* ของกิมจิก่อนหมักมีค่าอยู่ในช่วง 72.27 - 74.53 หลังหมักมีค่าอยู่ในช่วง 70.28 – 71.41 ค่าสี a* (ค่าสีแดง-เขียว) หลังหมักมีค่าสี a* ต่างจากก่อนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) คือ ก่อนหมักจะมีค่าสี a* อยู่ในช่วงสีเขียวคือมีค่า -0.48 ถึง -1.29 หลังหมักจะมีค่าสี a* อยู่ในช่วงสีแดงคือ 0.38 – 0.63 ค่าสี b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) ของกิมจิก่อนและหลังหมักมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) คือมีค่าอยู่ในช่วง 12.01 - 12.98 และค่าสี L*a*b* หลังหมักของกิมจิที่ผันแปรปริมาณการเติมเชื้อบริสุทธิ์ 2 ระดับ และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

คุณภาพทางกายภาพ ค่าสี L* มีค่าลดลงหลังจากหมัก แต่ค่าสี a* มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นหลังจากหมัก อาจเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในช่วงแรกของการหมัก ที่น้ำตาลรีดิวซ์ได้รับความร้อนจากการบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีน้ำกับเอมีนทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล แต่ในช่วงต่อมาเกิดกรดอินทรีย์ขึ้นจากการทำงานของแบคทีเรีย อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดได้ช้าลงเนื่องจาก ที่ค่าความเป็นกรดด่างต่ำน้ำตาลจะมีความคงตัวมากขึ้น (นิธิยา, 2545) และอาจเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ในช่วงแรกของการหมักที่ยังคงมีปริมาณออกซิเจนอยู่บ้างเล็กน้อยแต่ในระยะต่อมาจะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นจากการทำงานของแบคทีเรียแลคติก สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำหรือไม่มีจะช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ได้ (นิธิยา, 2545) และอาจเกิดเนื่องจากรงควัตถุที่มีในผักกาดขาวปลีคือ แอนโทแซนทินหรือฟลาโวน (Anthoxanthin; flavones) เป็นรงควัตถุในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) รงควัตถุนี้ในสภาวะกรดจะมีสีขาว แต่การเปลี่ยนแปลงสีของรงควัตุนี้จะไวต่อแร่ธาตุต่างๆ เช่น เมื่อรวมกับอะลูมิเนียมจะมีสีเหลือง รวมกับเหล็กจะมีสีน้ำตาล (Hutching, 1999) ในกิมจิมีแร่ธาตุต่างๆ มากมาย รวมถึงธาตุเหล็ก (Rural Development Administration; Korea, 1996) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ผักมีสีเข้มขึ้นได้ รวมทั้งอาจเนื่องมาจากส่วนผสมของกิมจิที่มีส่วนผสมของพริกแดงและแครอท พริกแดงมีรงควัตถุสีแดง ได้แก่ แคปเซนทิน (Capsanthin), ซีแซนทิน (Zeaxanthin), คริปโทแซนทิน (Cryptoxanthin) (Hutching, 1999) แครอทมีรงควัตถุสีส้ม แอลฟาแคโรทีน (α-Carotene) และบีต้าแคโรทีน (β-Carotene) (Magdougall, 2002) อาจส่งผลให้ก้านผักกาดขาวปลีซึ่งมีสีขาวมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากถูกเคลือบด้วยรงควัตถุของพริกและแครอท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งของกิมจิก่อนและหลังหมัก พบว่าค่าความแข็งของก้านผักกาดขาวปลีหลังหมักมีค่าสูงกว่าก่อนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าความแข็งก่อนหมักมีค่าอยู่ในช่วง 69.85 - 75.43 force-g หลังหมักมีค่าอยู่ในช่วง 76.91 – 80.03 force-g สาเหตุที่ก้านผักกาดขาวปลีหลังหมักมีค่าความแข็งสูงกว่าก่อนหมัก อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการหมักกิมจิจะนำผักกาดขาวปลีที่ผ่านการดองเกลือแล้วมาผสมกับส่วนผสมอื่นๆ โดยเฉพาะการเติมน้ำตาลซูโครสลงไปในส่วนผสม ซึ่งน้ำตาลซูโครสสามารถดึงน้ำออกจากผักเพิ่มขึ้นโดยอาศัยหลักการของกระบวนการออสโมสิส และเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำตาลรวมถึงสารประกอบต่างๆ ที่มีในวัตถุดิบอื่นๆ เข้าไปในเนื้อเยื่อของผักกาดขาวปลีเพิ่มขึ้น (Lee *et al*., 1998) ทำให้ผักมีความแข็งเพิ่มขึ้นหลังหมัก อีกทั้งในขั้นตอนการทำกิมจิสามารถลดปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อเยื่อของผักอ่อนนุ่มได้ ได้แก่ ขั้นตอนการดองเกลือ (Kim *et al*., 1987) ขั้นตอนการนึ่งพริกเป็นเวลา 15 นาที และแครอทเป็นเวลา 30 นาที สามารถลดปริมาณเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อเยื่อของผักอ่อนนุ่ม ซึ่งได้แก่ เอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส และเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรส (Rodrigo *et al.*, 2006) ที่สามารถทำลายสารประกอบเพกทินและเนื้อเยื่อโครงสร้างอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยสอดคล้องกับการทดลองของ ฟองจันทร์และคณะ (2545) ที่พบว่าความกรอบและความแน่นเนื้อของผักกาดเขียวปลีดองเค็ม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการหมักนานขึ้น แต่ความแข็งหลังหมักของก้านผักกาดขาวปลีของกิมจิที่ผันแปรปริมาณการเติมเชื้อบริสุทธิ์ 2 ระดับ และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.4 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิ ก่อนและหลังหมัก

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือ ปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาก่อนและหลังหมัก แสดงในตารางที่ 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยา ก่อนและหลังหมักของกิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

คุณภาพทางจุลชีววิทยา	กิมจิ (ก่อนหมัก)			กิมจิ (หลังหมัก มีค่าความเป็นกรดด่าง ~ 4.00)		
	ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์	เติมเชื้อบริสุทธิ์* ปริมาณเชื้อละ		ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์	เติมเชื้อบริสุทธิ์* ปริมาณเชื้อละ	
		6 log cfu/g	7 log cfu/g		6 log cfu/g	7 log cfu/g
ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติก (log cfu/g)	7.54 ^{a}	7.68 ^{a}	7.85 ^{b}	9.08 ^{d}	8.24 ^{c}	8.20 ^{c}
ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	7.48 ^{a}	7.89 ^{a}	7.82 ^{a}	9.48 ^{c}	8.21 ^{b}	7.89 ^{ab}
ปริมาณเชื้อ *E. coli* (MPN/g)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (cfu/g)	20	10	10	< 10	< 10	< 10

หมายเหตุ

- " * " คือ เชื้อ *Leu. mesenteroides* และ *Lac. plantarum*
- เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด คือ เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแต่ละแถวที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกเริ่มต้นในกิมจิที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์มีปริมาณ 7.54 log cfu/g และเมื่อเติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในปริมาณเชื้อละ 6 log cfu/g มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกเพิ่มเป็น 7.68 log cfu/g กรณีเติมเชื้อบริสุทธิ์ลงไปเชื้อละ 7 log cfu/g มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกเพิ่มเป็น 7.85 log cfu/g หลังจากที่ผ่านการหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกหลังการหมักในกิมจิที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์และเติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g มีปริมาณ 9.08, 8.24 และ 8.20 log cfu/g ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกหลังหมักของกิมจิชุดไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์มีปริมาณสูงกว่าชุดเติมเชื้อบริสุทธิ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เหตุผลที่ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกหลังหมักของกิมจิที่ไม่เติมเชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บริสุทธิ์มีปริมาณสูงกว่าที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการหมักของกิมจิที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ใช้เวลาการหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่ 4.00 นานถึง 60 ชั่วโมง ทำให้เชื้อมีระยะเวลาในการแบ่งตัวที่นานกว่า ต่างจากกิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณ 6 และ 7 log cfu/g นั้นใช้เวลาการหมักเพียง 48 และ 36 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองของ Choi *et al*. (2003) ที่หมักกิมจิโดยใช้เชื้อ *Leuconostoc citerum* เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในปริมาณ 7 log cfu/g หลังหมักกิมจิจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่ประมาณ 4.00 ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกของชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์มีปริมาณประมาณ 8.2 log cfu/g (วันที่ 2.5 หลังหมัก) แต่ชุดควบคุมที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์มีปริมาณประมาณ 8.5 log cfu/g (วันที่ 3 หลังหมัก) จะเห็นว่ากิมจิชุดควบคุมมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกสูงกว่ากิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นประมาณ 0.3 log cfu/g

กิมจิที่หมักโดยการเติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ) ก่อนและหลังหมักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือมีปริมาณ 7.82 และ 7.89 log cfu/g ตามลำดับ แต่กิมจิที่หมักโดยการเติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 6 log cfu/g ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดภายหลังการหมักมีปริมาณสูงขึ้นเล็กน้อยจากก่อนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือมีปริมาณก่อนหมัก 7.89 log cfu/g และหลังหมัก 8.21 log cfu/g จะเห็นว่ามีภายหลังการหมักปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น 0.32 log cfu/g แต่กรณีกิมจิที่หมักโดยไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดภายหลังการหมักมีปริมาณสูงขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือก่อนหมักมีปริมาณ 7.48 log cfu/g และหลังหมักมีปริมาณ 9.48 log cfu/g จะเห็นว่าภายหลังการหมักมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นถึง 2 log cfu/g สาเหตุที่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดภายหลังการหมักของชุดควบคุมมีปริมาณสูงขึ้นมาก อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการหมักที่ใช้เวลานาน อีกทั้งปริมาณกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญแบ่งตัวเพิ่มขึ้นได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Inatsu *et al*. (2007) ที่พบว่าการหมักผักกาดขาวปลีในน้ำเกลือ 3% ปริมาณเชื้อในวันแรกก่อนหมักเท่ากับ 5.79 log cfu/g และในวันที่ 8 พบเชื้อประมาณ 8 log cfu/g และการทดลองของ Cheigh *et al*. (1994) ที่รายงานว่าปริมาณเชื้อแอโรบิกแบคทีเรียจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 20 หลังการหมักกิมจิจากนั้นจึงจะมีปริมาณลดลง และจากการทดลองของ Ha (1994) เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในวันแรกของการหมักกิมจิเท่ากับ 4.4×10^4 cfu/g แต่หลังจากหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่ 3.86 ในวันที่ 3 พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 9.3×10^8 cfu/g แสดงให้เห็นว่ายิ่งใช้ระยะเวลาการหมักนานขึ้นปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดจะยิ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น กิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังการหมักมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ากิมจิที่หมักโดยไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ อาจเป็นผลเนื่องมาจากการหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นเป็นการเพิ่มจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลคติกที่ทำหน้าที่ในการหมักทำให้เชื้อแบคทีเรียแลคติกสามารถแข่งขันในการเจริญได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างลดลงอย่างรวดเร็ว และใช้เวลาการหมักที่สั้น

ปริมาณเชื้อ *E. coli* ก่อนและหลังการหมักของกิมจิ มีปริมาณน้อยกว่า 3 MPN/g ทั้งชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ และชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ในปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g ส่วนประกอบหลักของกิมจิที่ทำมาจากผักชนิดต่างๆ อาจมีการปนเปื้อนเชื้อ *E. coli* มาจากดินที่ใช้ปลูกผัก จากคนหรือสัตว์พาหะต่างๆ แต่การผลิตตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิต ก็สามารถลดการปนเปื้อนจากเชื้อเหล่านี้ได้ เช่น การล้างวัตถุดิบด้วยน้ำสะอาด การใช้ภาชนะที่ลดการปนเปื้อน การป้องกันสัตว์พาหะต่างๆ และการควบคุมสุขลักษณะส่วนบุคคล (สุวิมล, 2547) อีกทั้งขั้นตอนต่างๆ ในการทำกิมจิก็สามารถช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคได้เช่น ขั้นตอนการดองเกลือ พบว่าผักกาดขาวปลีผ่านการดองเกลือปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดมีปริมาณลดลง 11 - 16 เท่า เชื้อยีสต์และราลดลง 29 - 87 เท่า แต่ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้น 3 - 4 เท่าในระหว่างการแช่ผักในน้ำเกลือ 10% เป็นเวลา 10 ชั่วโมง (Choe *et al*., 1991) การกำจัดเชื้อบริเวณผิวด้วยการลวก (ขิงและกระเทียม) หรือ การนึ่ง (พริกและแครอท) ทำให้สามารถป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อเหล่านี้ได้ ทำให้ตรวจไม่พบเชื้อ *E. coli* ในกิมจิก่อนหมัก และสอดคล้องกับการสำรวจของ Yung *et al*. (2005) ที่ได้เก็บตัวอย่างกิมจิที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ขายในประเทศไต้หวันมาตรวจหาคุณภาพทางจุลชีววิทยา พบว่ากิมจิที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม พบปริมาณ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/g แต่กิมจิที่ผลิตจากครัวเรือนพบปริมาณ *E. coli* อยู่ในช่วงน้อยกว่า 3 - 20 MPN/g

กิมจิก่อนหมักมีปริมาณเชื้อยีสต์และราอยู่ในช่วง 10 - 20 cfu/g และหลังการหมัก มีปริมาณต่ำกว่า 10 cfu/g ทั้งชุดที่เติมและไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ อาจเนื่องมาจากสภาวะไร้อากาศซึ่งเกิดจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมัก ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์และราที่ปนเปื้อน โดยยีสต์และราส่วนใหญ่จะเป็น obligate aerobes ยกเว้นยีสต์บางชนิดที่ใช้ในการหมัก (สุมาลี, 2541) ทำให้สภาวะที่หมักกิมจิเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อยีสต์และรา ทำให้ไม่สามารถเจริญแข่งขันกับแบคทีเรียแลคติกและไม่สามารถอยู่รอดได้ ผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับรายงานของ Tolonen (2004) ที่ใช้เชื้อแบคทีเรียแลคติกที่สามารถสร้างไนซิน เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักซาวเวอร์เคราต์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบยีสต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และราในกระหล่ำปลีสดเท่ากับ 10^2 - 10^3 cfu/ml แต่หลังจากหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมไม่สามารถตรวจพบเชื้อยีสต์และราได้ และจากการทดลองของ Jong *et al*. (2004) ทำการเก็บรักษากิมจิที่มีเปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมดคิดเทียบกรดแลคติกเท่ากับ 0.3% เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ปริมาณเชื้อยีสต์และราเริ่มต้นประมาณ 250 cfu/g แต่หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ไม่สามารถตรวจพบเชื้อยีสต์และราได้ แต่ในบางการทดลองเชื้อยีสต์และราก็เพิ่มจำนวนขึ้นได้ในระหว่างการหมัก เช่น จากการทดลองของ Song *et al*. (2004) หมักกิมจิที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบเชื้อยีสต์และราก่อนหมักประมาณ 10 cfu/g แต่หลังจากหมักในวันที่ 10 มีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นเป็น 10^3 cfu/g ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ชนิดและสายพันธุ์ของเชื้อยีสต์และราที่ปนเปื้อน และปริมาณเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นที่แข่งขันในการเจริญในขณะทำการหมักกิมจิ รวมทั้งสภาวะแวดล้อมและสารอาหารที่มีในกิมจิที่อาจแตกต่างกันในแต่ละการทดลอง

สรุปผลการทดลองตอนที่ 3 การหมักกิมจิโดยการใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณเชื้อที่เติมลงไป 2 ระดับคือปริมาณเชื้อละ 6 และ 7 log cfu/g (ชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าการหมักกิมจิโดยการใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g จะใช้ระยะเวลาการหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 สั้นที่สุดคือใช้เวลาเพียง 36 ชั่วโมง อีกทั้งปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศภายหลังการหมักมีปริมาณต่ำกว่าชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น โดยคุณภาพทางเคมีและกายภาพของกิมจิที่ผันแปรปริมาณการเติมเชื้อบริสุทธิ์ 2 ระดับ และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จึงเลือกกิมจิที่หมักโดยการใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leu. mesenteroides* และ *Lac. plantarum* อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g ใช้ระยะเวลาการหมักจนกิมจิมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ไปทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรส์ในตอนที่ 4 ต่อไป

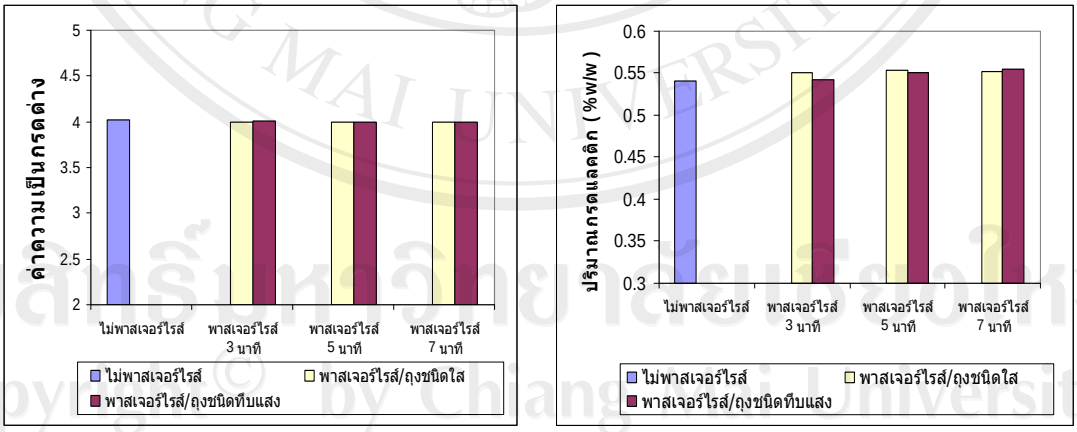
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรส์กิมจิ

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g (ทั้งชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์และชุดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง หรือ จนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 จากนั้นบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ 2 ชนิด คือ ชนิดใสและชนิดทึบแสง นำไปพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) จากนั้นตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยาก่อนและหลังการพาสเจอร์ไรส์

4.4.1 ผลการพาสเจอร์ไรส์ต่อคุณภาพทางเคมี

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกก่อนและหลังการพาสเจอร์ไรส์เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ กิมจิก่อนการพาสเจอร์ไรส์มีค่าความเป็นกรดด่าง 4.02 ± 0.01 ปริมาณกรดแลคติกเท่ากับ 0.541 ± 0.01 หลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในเวลา 3, 5 และ 7 นาที ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าอยู่ในช่วง 3.99 - 4.01 ปริมาณกรดแลคติกมีค่าอยู่ในช่วง 0.542 - 0.555 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับก่อนการพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งการให้ความร้อนสูง อาจเป็นสาเหตุให้อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำหรือปานกลาง มีค่าความเป็นกรดด่างลดลงเล็กน้อย แต่อาหารที่มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 5.8 เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (วราวุฒิ, 2538; สุมาลี, 2541)

4.4.2 ผลการพาสเจอร์ไรส์ต่อคุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพค่าสี L*a*b* และค่าความแข็ง ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือด จนผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) แสดงในรูปที่ 4.7

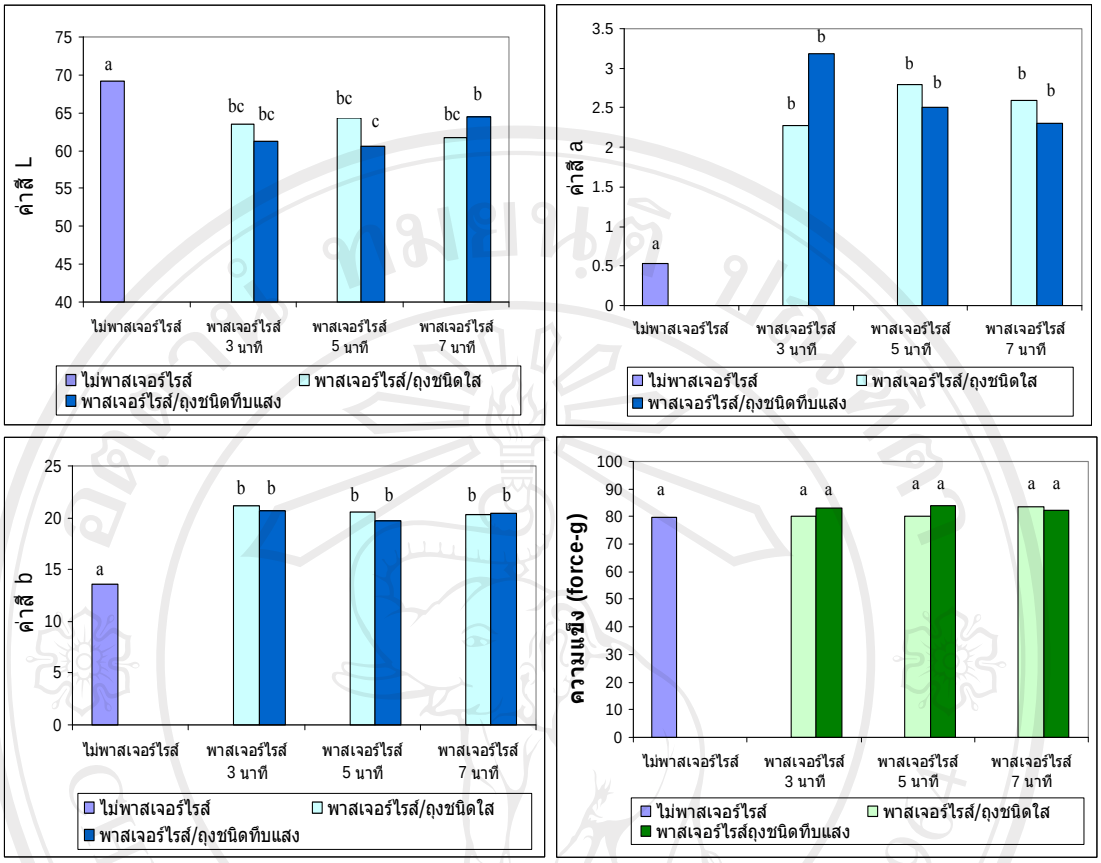
รูปที่ 4.7 แสดงผลค่าสี L*a*b* ของกิมจิหลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ค่าสี L*a*b* ของกิมจิหลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีความแตกต่างจากกิมจิที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\rho \leq 0.05$) ดังนี้

ค่าสี L* (ค่าความสว่าง) ของชุดไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ มีค่าสูงกว่าชุดที่ผ่านการพาสเจอร์-ไรส์ทั้งถุงชนิดใสและชนิดทึบแสง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ ค่าสี L* ชุดที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ มีค่า 69.20 ± 3.42 ส่วนชุดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ทั้งถุงชนิดใส และชนิดทึบแสง มีค่า L* อยู่ในช่วง 60.58 – 64.51

ค่าสี a* (ค่าสีแดง-สีเขียว) ของชุดที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีค่าต่ำกว่าชุดที่ผ่านการพาสเจอร์-ไรส์ทั้งถุงชนิดใสและชนิดทึบแสง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ ค่าสี a* ชุดที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ มีค่า 0.53 ± 0.50 ส่วนชุดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ทั้งถุงชนิดใสและชนิดทึบแสง มีค่าสี a* อยู่ในช่วง 2.27 – 3.19

ค่าสี b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) ของชุดที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีค่าต่ำกว่า ชุดที่ผ่านการพาส-เจอร์ไรส์ทั้งถุงชนิดใสและชนิดทึบแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือค่าสี b* ชุดที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีค่า 13.55 ± 0.84 ส่วนชุดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ทั้งถุงชนิดใสและชนิดทึบแสง มีค่า b* อยู่ในช่วง 19.72 - 21.14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.7 ค่าสี L*a*b* และความแข็ง ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาช์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์)

ผลของการพาสเจอร์ไรส์กิมจิในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที ส่งผลให้ค่าสี L* (ความสว่าง) มีค่าลดลง แต่ส่งผลให้ค่าสี a* (สีเขียว-แดง) ค่าสี b* (สีเหลือง-น้ำเงิน) มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเกิดจากการที่น้ำตาลรีดิวซ์ได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำกับเอมีนทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2545) ทำให้ก้านผักกาดขาวปลีซึ่งเดิมมีสีขาว มีสีคล้ำขึ้น

รูปที่ 4.7 แสดงผลของการพาสเจอร์ไรส์ต่อค่าความแข็งของกิมจิ พบว่าค่าความแข็งของชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ กับชุดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในเวลา 3, 5 และ 7 นาที ทั้งถุงชนิดใสและชนิดทึบแสง มีค่าไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 79.84 – 83.95 force-g ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่ผักกาดขาวปลีผ่านการดองเกลือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การแช่ผักกาดขาวปลีในน้ำเกลือนั้นเป็นการลดปริมาณน้ำในผักโดยอาศัยหลักการของกระบวนการออสโมสิสและเพิ่มปริมาณเกลือในเนื้อเยื่อของผัก ทำให้ผักมีความกรอบ รวมทั้งยังสามารถยับยั้งเอนไซม์ทำให้เนื้อเยื่อผักอ่อนนุ่มได้ (Kim *et al*., 1987) สอดคล้องกับการทดลองของ Kim *et al*. (2004) ที่รายงานว่าการยืดอายุการเก็บรักษากิมจิโดยการใช้ความร้อน สามารถยืดอายุการเก็บรักษากิมจิ และยังคงรักษาความกรอบของกิมจิโดยไม่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย และการทดลองของ Hong *et al.* (2006) ที่ทำการพาสเจอร์ไรส์กิมจิที่บรรจุในกระป๋อง พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12.7 นาที พบว่ากิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีลักษณะสัมผัสที่ดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์

กิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง หลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์ให้ผลคุณภาพทางกายภาพ ค่าสี L*a*b* และค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนาของถุงที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยในชั้นของอะลูมิเนียมฟอยล์และกาวที่ใช้ยึดติด (ประมาณ 10 ไมครอน หรือ 0.01 มิลลิเมตร) (บริษัทรอแยลแคนจำกัด, 2550) ที่มีในถุงชนิดทึบแสงแต่ไม่มีในถุงชนิดโปร่งใส ถึงแม้อะลูมิเนียมฟอยล์จะมีความหนามากกว่าถุงชนิดใสเล็กน้อย แต่ก็สามารถนำความร้อนได้ดี และการพาสเจอร์ไรส์กิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสงมีพื้นที่ในการสัมผัสกับความร้อนได้มากเท่ากัน ขนาดของผักที่ใช้ทำกิมจิก็มีขนาดใกล้เคียงกัน ทำให้การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นแบบนำความร้อนภายในผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีเท่าๆ กัน

4.4.3 ผลการพาสเจอร์ไรส์ต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยา

คุณภาพทางจุลชีววิทยา ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสงผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) แสดงในตารางที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางจุลชีววิทยา ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์)

คุณภาพทางจุลชีววิทยา	ชุดควบคุม ไม่พาสเจอร์ไรส์	พาสเจอร์ไรส์					
		รีทอร์ทเพาซ์ (ถุงชนิดใส)			รีทอร์ทเพาซ์ (ถุงชนิดทึบแสง)		
		3 นาที	5 นาที	7 นาที	3 นาที	5 นาที	7 นาที
ปริมาณแบคทีเรียแลคติก (cfu/g)	5.62×10^8 (8.75 log cfu/g)	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	6.17×10^7 (7.79 log cfu/g)	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$
ปริมาณเชื้อยีสต์ และรา (cfu/g)	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$	$< 10^a$
ปริมาณเชื้อ *E. coli* (MPN/g)	$< 3^a$	$< 3^a$	$< 3^a$	$< 3^a$	$< 3^a$	$< 3^a$	$< 3^a$
S. aureus (ตัวอย่าง 0.1 g)	ND^a	ND^a	ND^a	ND^a	ND^a	ND^a	ND^a

หมายเหตุ

- กิมจิชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์และกิมจิชุดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ เตรียมโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น คือ เชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแต่ละแถวที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
- ND (not detected) = ตราวจไม่พบเชื้อ
- เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด คือ เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการพาสเจอร์ไรส์ต่อปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกพบว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกก่อนนำไปพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณเท่ากับ 8.75 log cfu/g แต่หลังจากผ่านการพาสเจอร์ไรส์จนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติก (ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกน้อยกว่า 10 cfu/g) ทั้งถุงชนิดใสและชนิดทึบแสง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแบคทีเรียแลคติกส่วนใหญ่เป็นเชื้อที่ไม่ทนความร้อน คือเป็นเชื้อประเภท mesophiles ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญจะอยู่ในช่วง 30 - 45 องศาเซลเซียส (Bamforth, 2005) และโดยปกติการใช้ความร้อนเปียกที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นเวลา 10 นาที สามารถทำลายเซลล์ของแบคทีเรียพวกที่ไม่ใช่ thermoduric และ thermophilicได้ (Ray, 2000) ดังนั้นการพาสเจอร์ไรส์จนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จึงสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียแลคติกได้ ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Jong *et al.,* (2004) ที่พาสเจอร์ไรส์กิมจิที่มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกเท่ากับ 7.5×10^5, 7.6×10^7 และ 8.0×10^8 cfu/g ในกิมจิที่มีปริมาณกรดทั้งหมด 0.3%, 0.5% และ 0.8% ตามลำดับ พบว่าหลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ไม่สามารถตรวจพบเชื้อแบคทีเรียแลคติกได้

ผลของการพาสเจอร์ไรส์ต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดพบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ) ก่อนนำไปพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 7.79 log cfu/g แต่หลังจากผ่านการพาสเจอร์ไรส์จนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 cfu/g) ทั้งกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติการใช้ความร้อนเปียกที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สามารถทำลายเซลล์ของแบคทีเรียพวกที่ไม่ใช่ thermoduric และ thermophilic ได้ ส่วนแบคทีเรียพวก thermoduric และ thermophilic ที่สำคัญในอาหารส่วนใหญ่ถูกทำลายที่ 75 - 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 - 10 นาที สปอร์ของแบคทีเรียจะถูกทำลายได้ที่ความร้อน 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (Ray, 2000) รวมทั้งการที่จุลินทรีย์เจริญอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดของกิมจิ คือมีค่าความเป็นกรดประมาณ 4.0 ทำให้ความสามารถในการต้านทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ลดลง ทำให้สามารถถูกทำลายได้ง่ายขึ้น (Jame, 2000) และชนิดของกรดจะมีผลต่อความต้านทานต่อความร้อนโดย ผลของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดแลคติก จะทำให้ความต้านทานต่อความร้อนของเซลล์หรือสปอร์ลดลงมากกว่าผลของกรดฟอสโฟริก และกรดซิตริกที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากัน (Ray, 2000) ซึ่งกรดอินทรีย์ที่มีในกิมจิหลังหมักส่วนใหญ่คือ กรดแลคติกและกรดอะซิติก (Ryu *et al*., 1984; Shin, 1994)

ผลการพาสเจอร์ไรส์ต่อเชื้อยีสต์, รา, *E. coli* และ *S. aureus* เนื่องจากกิมจิก่อนนำไปพาส-เจอร์ไรส์ ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์, รา (มีปริมาณน้อยกว่า 10 cfu/g) เชื้อ *E. coli* (มีปริมาณน้อยกว่า 3 MPN/g) และไม่พบเชื้อ *S. aureus* ในกิมจิปริมาณ 0.1 g ดังนั้นหลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์จึงตรวจไม่พบเชื้อยีสต์, รา, *E. coli* และ *S. aureus*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรุปผลการทดลองตอนที่ 4 เนื่องจากการพาสเจอร์ไรส์กิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g (ทั้งชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์และชุดที่ผ่านการพาสเจอร์-ไรส์) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) พบว่าคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยา ของกิมจิหลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยการพาสเจอร์ไรส์ไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางเคมีและค่าความแข็ง แต่ส่งผลต่อค่าสีเล็กน้อยและการพาสเจอร์ไรส์เพียง 3 นาที ก็สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียแลคติกและจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ ดังนั้นจึงเลือกเวลาการพาสเจอร์ไรส์ที่ 3 นาที ไปศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาในตอนที่ 5 ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการเก็บรักษากิมจิที่ฉนอมโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์

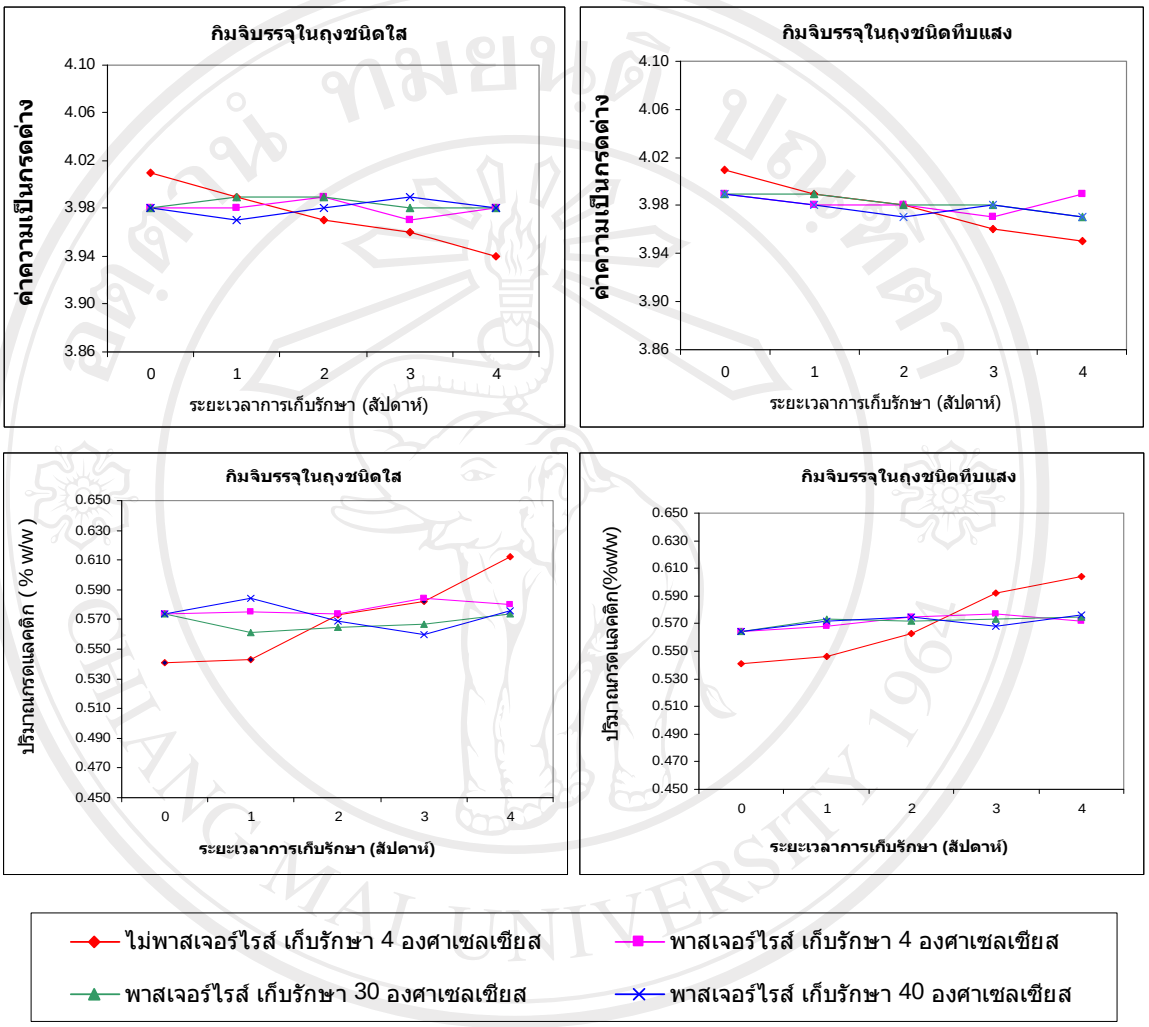
ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g (ทั้งชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์และชุดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง หรือ จนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 จากนั้นบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ 2 ชนิด คือชนิดใสและชนิดทึบแสง นำไปพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยาในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์-ไรส์ เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส)

4.5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก) ของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส) แสดงในรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 แสดงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ทั้งบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส สาเหตุที่ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นั้นคาดว่าเนื่องมาจากแบคทีเรียแลคติก และจุลินทรีย์ทั้งหมดถูกทำลายไปหมดในขั้นตอนการพาสเจอร์ไรส์ จึงทำให้น้ำตาลที่มีในผลิตภัณฑ์ไม่ถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ทำให้ไม่เกิดกรดอินทรีย์ขึ้น กรณีกิมจิชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าลดลงและปริมาณกรดแลคติกมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสงในระหว่างการเก็บรักษา ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใส และชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

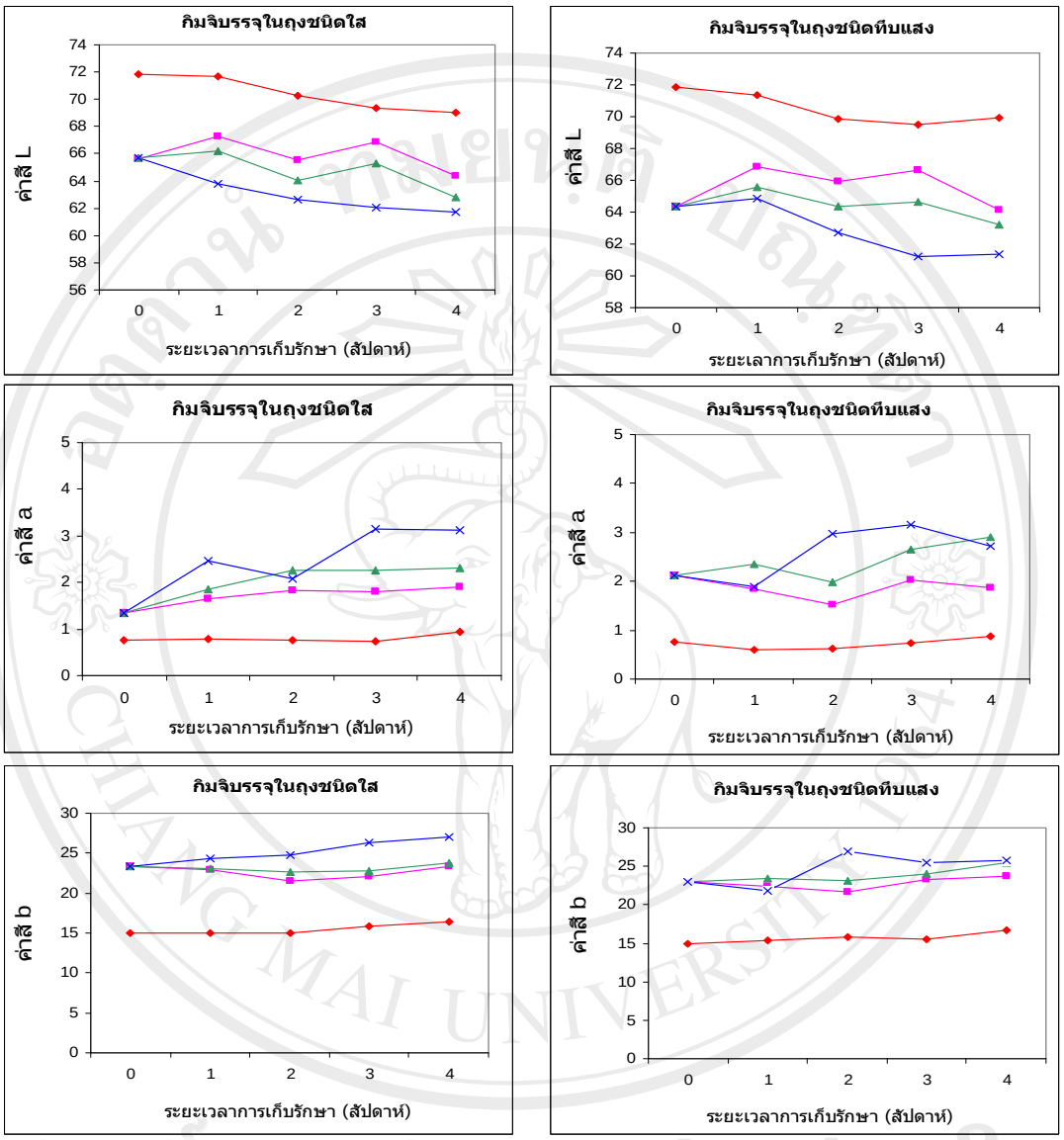
4.5.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L*a*b* ของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส) แสดงในรูปที่ 4.9 พบว่า ค่าสี L* (ความสว่าง) ของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น กรณีค่าสี a* (ค่าสีเขียว-แดง) และค่าสี b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเก็บรักษาในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้เกิดช้าลงได้ แต่เมื่อเก็บในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเช่นที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วขึ้น

กิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ค่าสี L*a*b* มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทั้งกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใส และชนิดทึบแสง โดยค่าสี L* มีค่าอยู่ในช่วง 64.12 - 67.29 ค่าสี a* มีค่าอยู่ในช่วง 1.34 - 2.13 ค่าสี b* มีค่าอยู่ในช่วง 21.57 - 23.67 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าสีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก พบเฉพาะค่าสี a* มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในอาทิตย์ที่ 2 ต่างจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าสี L* มีแนวโน้มลดลง ค่าสี a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

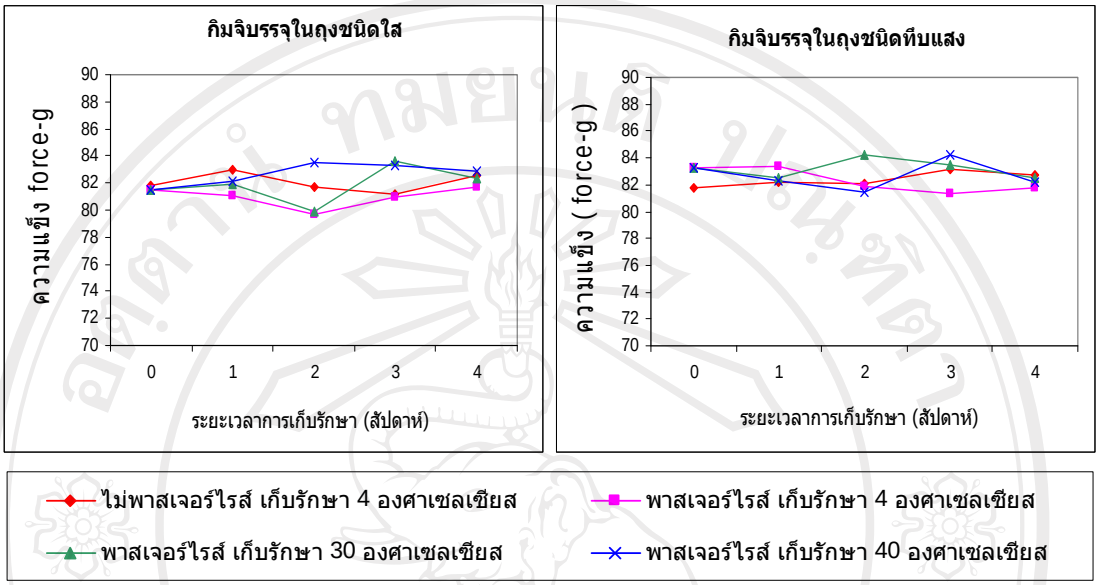
กิมจิชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ค่าสี L* มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา จากค่าสี L* ในสัปดาห์ที่ 0 เท่ากับ 71.87 ± 1.15 ในสัปดาห์ที่ 4 กรณีบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสเท่ากับ 69.03 ± 0.69 และกรณีบรรจุในถุงชนิดทึบแสงเท่ากับ 69.93 ± 0.61 แต่ค่าสี a* และค่าสี b* มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ให้เกิดช้าลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L*a*b* ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสงผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความแข็ง ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส)

รูปที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความแข็ง ของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส) พบว่าความแข็งของก้านผักกาดขาวปลีของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา กรณีชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ก็เช่นเดียวกันความแข็งของก้านผักกาดขาวปลีมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

กิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสงผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ค่าสี L*a*b* และความแข็งของก้านผักกาดขาวปลี ในระหว่างการเก็บรักษามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

หมายเหตุ

กรณีกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ค่าสีและค่าความแข็งข้างต้นเป็นลักษณะของกิมจิส่วนใหญ่ที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ แต่จะมีกิมจิอีกส่วนหนึ่ง คือ กิมจิที่อยู่บริเวณด้านบนของกิมจิที่บรรจุอยู่ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถุงรีทอร์ทเพาซ์ที่ไม่จมอยู่ในน้ำของกิมจิพบได้ตั้งแต่ 0 - 23 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก-7 ผักมีลักษณะสีคล้ำดำและมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มเละ พบว่าค่าสี L* มีค่าต่ำลง ค่าสี a* และ b* เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเริ่มพบในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเริ่มพบในสัปดาห์ที่ 3 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยค่าสี L* มีค่าอยู่ในช่วง 51.75 - 58.39 ค่าสี a* มีค่าอยู่ในช่วง 4.19 - 6.68 ค่าสี b* มีค่าอยู่ในช่วง 24.63 - 28.83 รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข-13 และตารางที่ ข-14

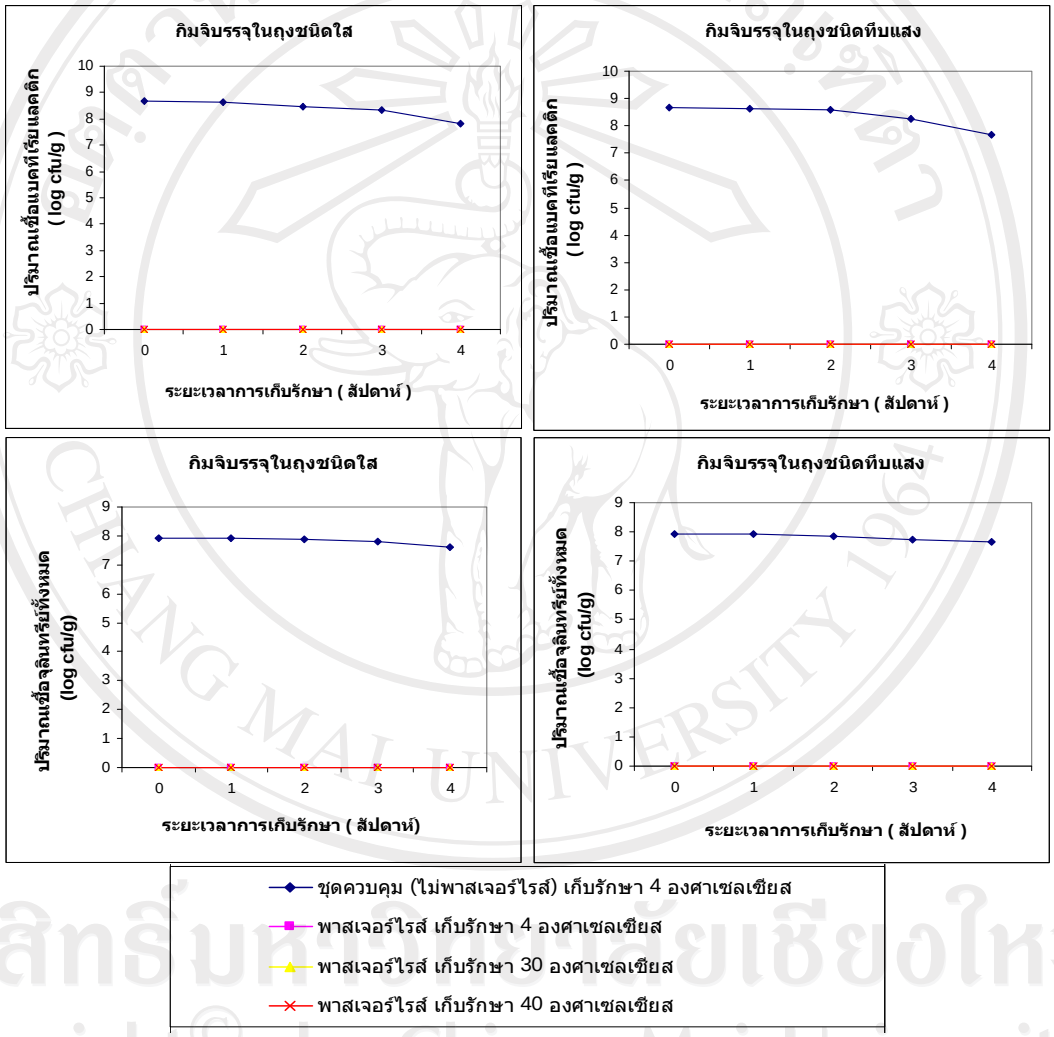
คาดว่ากิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ส่วนที่ไม่จมอยู่ในน้ำของกิมจิ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส มีสีคล้ำดำอาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่าความเป็นกรดด่างลง เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรดด่างต่ำจะทำให้น้ำตาลมีความคงตัวมากขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดช้าลง (นิธิยา, 2545) ดังนั้นกิมจิส่วนที่จมอยู่ในน้ำของกิมจิซึ่งอยู่ในสภาวะที่มีความเป็นกรด จึงสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ ต่างจากกิมจิส่วนที่อยู่ด้านบนที่ไม่จมอยู่ในน้ำกิมจิ เมื่อเก็บในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้เกิดช้าลงได้ แต่ เมื่อเก็บในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเช่นที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วขึ้น และกิมจิส่วนที่ไม่จมอยู่ในน้ำของกิมจิรงควัตถุในผักกาดขาวปลีคือ แอนโทแซนทิน อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้มีสีเข้มขึ้น (Oregon state university, 2007)

กรณีความแข็งของกิมจิส่วนที่ไม่จมอยู่ในน้ำของกิมจิ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงนั้น คาดว่าเกิดเนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน การถ่ายเทความร้อนจากสภาวะแวดล้อมไปยังกิมจิส่วนบนที่อยู่ในถุงที่ไม่จมอยู่ในน้ำกิมจินั้น จะเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ผ่านอากาศภายในถุงไปยังกิมจิ ต่างจากกิมจิที่จมอยู่ในน้ำของกิมจิการถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบนำความร้อนซึ่งเกิดได้ช้ากว่าการพาความร้อน (วิไล, 2546) ทำให้กิมจิส่วนที่อยู่ด้านบนที่ไม่จมอยู่ในน้ำของกิมจิ ได้รับความร้อนที่เร็วกว่ากิมจิที่จมอยู่ในน้ำของกิมจิและมีการสะสมความร้อนมากกว่า ส่งผลให้ความแข็งของกิมจิส่วนด้านบนที่ไม่จมอยู่ในน้ำกิมจินั้นมีค่าลดลง รวมทั้งอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ Lee *et al.* (1998) รายงานว่าถ้าต้องการให้กิมจิมีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่นไม่นิ่ม ควรให้กิมจิจมอยู่น้ำของกิมจิเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา ของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส) แสดงในรูปที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ของกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาช์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อยีสต์, รา, *E. coli* และ *S. aureus* ในกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ชุดควบคุมไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส)

เชื้อจุลินทรีย์	สัปดาห์	ชุดควบคุม (ไม่พาสเจอร์ไรส์) เก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส		พาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส		พาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษา 30 องศาเซลเซียส		พาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส	
		ถุงชนิดใส	ถุงชนิดทึบแสง	ถุงชนิดใส	ถุงชนิดทึบแสง	ถุงชนิดใส	ถุงชนิดทึบแสง	ถุงชนิดใส	ถุงชนิดทึบแสง
ยีสต์และรา (cfu/g)	0	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	2	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	3	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	4	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
E. coli (MPN/g)	0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	1	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	2	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
	4	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
S. aureus (ตัวอย่าง 0.1 กรัม)	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ - กิมจิชุดควบคุม (ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) และกิมจิชุดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ เตรียมโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น คือ เชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g

- ND (Not Detected) = ตรวจไม่พบเชื้อ *S. aureus* ในตัวอย่าง 0.1 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.5 แสดงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาตรวจไม่พบแบคทีเรียแลคติก จุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์, รา, *E. coli* และ *S. aureus* ทั้งกิมจิที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง กรณีกิมจิชุดควบคุม (ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์) ปริมาณแบคทีเรียแลคติกและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยปริมาณแบคทีเรียแลคติกในสัปดาห์ที่ 0 เท่ากับ 8.67 ± 0.03 log cfu/g ในสัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณ เท่ากับ 7.80 ± 0.02 และ 7.69 ± 0.01 log cfu/g กรณีบรรจุในถุงรีทอร์ท-เพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ตามลำดับ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของชุดควบคุมในสัปดาห์ที่ 0 เท่ากับ 7.92 ± 0.02 log cfu/g ในสัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณ 7.62 ± 0.03 และ 7.65 ± 0.04 log cfu/g กรณีบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ตามลำดับ ส่วนเชื้อยีสต์, รา, *E. coli* และ *S. aureus* ของชุดควบคุมตรวจไม่พบตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

สรุปผลการทดลองตอนที่ 5

ผลิตภัณฑ์กิมจิพาสเจอร์ไรส์ เป็นอาหารที่มีความเป็นกรด (ความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00) บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ความชื้น และกรณีถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดทึบแสงจะมีคุณสมบัติในการป้องกันแสง ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที หลังการพาสเจอร์ไรส์ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด, แบคทีเรียแลคติก, ยีสต์, รา, *E. coli* และ *S.aureus* จากคุณลักษณะข้างต้นสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นสภาวะปกติ สภาวะควบคุมเก็บรักษาที่ 4 องศา-เซลเซียส สภาวะเร่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การเสื่อมเสียคาดว่าจะเกิดเนื่องจากการเหลือรอดของแบคทีเรียที่ทนต่อความร้อนและทนกรด การเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเสื่อมเสียเนื่องจากแสง ลักษณะที่ชี้บ่งว่าผลิตภัณฑ์กิมจิเกิดการเสื่อมเสีย ได้แก่ คุณลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนไปเช่น ผักกาดขาวปลีมีสีคล้ำดำและ/หรือมีลักษณะนิ่ม และ/หรือมีกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ และ/หรือคุณภาพทางจุลชีววิทยาไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักกาดดอง (ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10^4 cfu/g, เชื้อยีสต์และรามีปริมาณไม่เกิน 100 cfu/g, *E. coli* มีปริมาณน้อยกว่า 3 MPN/g และไม่พบ *S. aureus* ในตัวอย่าง 0.1 กรัม)

การศึกษาคุณภาพหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์กิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* อัตราส่วน 1:1 ในปริมาณเชื้อละ 7 log cfu/g หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง หรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ในน้ำเดือด จนมีอุณหภูมิตรงกลางผลิตภัณฑ์ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที พบว่าคุณภาพทางเคมี คุณภาพทางจุลชีววิทยา และค่าความแข็งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 30 และ 40 องศา-เซลเซียส กรณีค่าสี L*a*b* เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (เฉพาะกิมจิส่วนที่จมอยู่ในน้ำกิมจิ) ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (เฉพาะกิมจิส่วนที่จมอยู่ในน้ำกิมจิ) ค่าสี L* มีแนวโน้มลดลง ค่าสี a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา แต่กิมจิส่วนที่ไม่จมในน้ำกิมจิจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพอย่างมากทั้ง ค่าสีและความแข็ง คือ ผักกาดขาวปลีมีสีคล้ำดำสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน และมีลักษณะนิ่มเละ จะเกิดในสัปดาห์ที่ 4 กรณีเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และจะเริ่มเกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 กรณีเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าลักษณะที่ชี้บ่งว่าผลิตภัณฑ์กิมจิเกิดการเสื่อมเสียนั้น พบเฉพาะลักษณะทางกายภาพ คือพบผักที่มีสีคล้ำดำและมีลักษณะนิ่มเละเฉพาะกิมจิในส่วนบนที่ไม่จมในน้ำของกิมจิ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส โดยสามารถตรวจพบได้ในสัปดาห์ที่ 4 และ 3 ตามลำดับ แต่ไม่พบในกิมจิที่จมอยู่ในน้ำของกิมจิ ดังนั้นหากบรรจุกิมจิให้จมอยู่ในน้ำกิมจิได้ทั้งหมด ดังรูปที่แสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ก-8 คาดว่าจะไม่เกิดผักที่มีสีคล้ำดำและมีลักษณะนิ่มเละในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส

ผลของภาชนะบรรจุกิมจิ ที่บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสงนั้นโดยรวมแล้วมีคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ในแต่ละสัปดาห์ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) อาจเนื่องมาจากสภาวะการเก็บรักษากิมจิเป็นสภาวะที่ผลิตภัณฑ์ไม่ถูกแสงตลอดเวลาทั้งถุงชนิดใสและชนิดทึบแสง คือ เก็บไว้ในห้องเย็น 4 องศาเซลเซียส และเก็บไว้ในตู้บ่มที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 และ 40 องศาเซลเซียส การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างถุงรีทอร์ทเพาซ์ชนิดใสและชนิดทึบแสง ควรวางผลิตภัณฑ์ให้สัมผัสกับแสง เนื่องจากคุณสมบัติของถุงทั้ง 2 ชนิดที่แตกต่างกันในเรื่องคุณสมบัติการป้องกันแสง คือ ถุงชนิดทึบแสงจะมีชั้นอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ป้องกันแสง แต่ถุงชนิดใสไม่มีชั้นอะลูมิเนียมฟอยล์จึงไม่สามารถป้องกันแสงได้

กรณีกิมจิที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบการเปลี่ยนแปลงค่าสีเพียงเล็กน้อยแต่ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าลดลงและปริมาณกรดแลคติกมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากยังคงมีเชื้อแบคทีเรียแลคติกที่ยังสามารถย่อยสลายน้ำตาลให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจส่งผลต่อการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในเรื่องรสเปรี้ยวที่เพิ่มขึ้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved