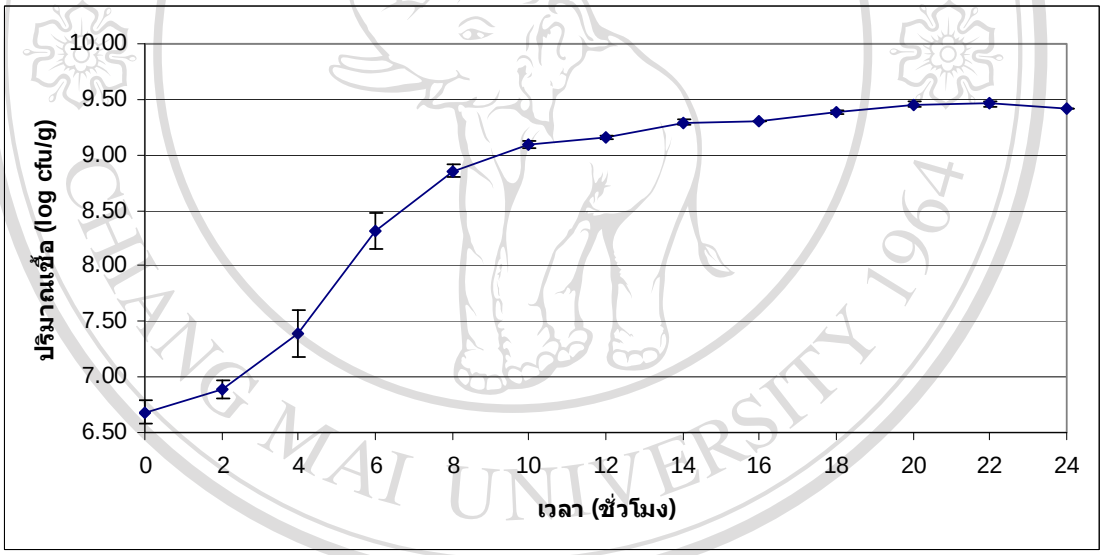
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาระยะการเจริญของเชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* และการเตรียมเชื้อบริสุทธิ์

ผลการศึกษาระยะการเจริญของเชื้อ *Leu. mensenteroides* และ *Lac. Plantarum* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แสดงในรูป 4.1 และ รูป 4.2



รูป 4.1 การเจริญของเชื้อ *Leu. mensenteroides* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

รูป 4.1 แสดงการเจริญของเชื้อ *Leu. mensenteroides* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีการเจริญเป็น 3 ระยะ ดังนี้

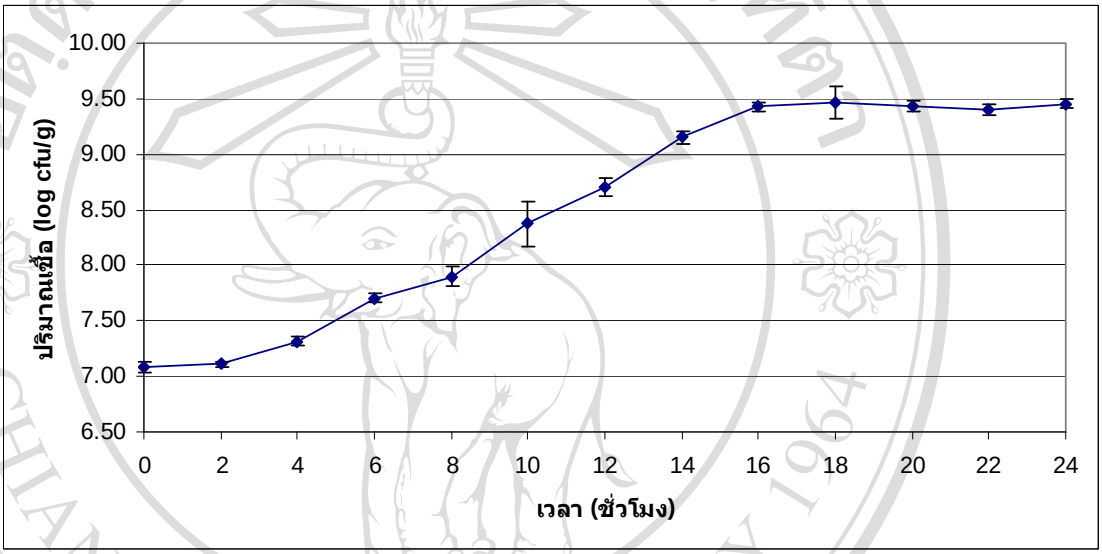
1. ระยะ lag phase เป็นระยะที่แบคทีเรียจะปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เริ่มต้นมีปริมาณเชื้อ *Leu. mensenteroides* 6.79 log cfu/ml. และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 6.92 log cfu/ml. ในชั่วโมงที่ 2

2. ระยะ log phase เป็นระยะที่แบคทีเรียแบ่งตัวอย่างรวดเร็วในอัตราคงที่ซึ่งใช้เวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 จนถึงชั่วโมงที่ 16 ซึ่งระยะนี้เชื้อจะเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วถึง 9.31 log cfu/ml.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ระยะ stationary phase ระยะนี้แบคทีเรียจะมีจำนวนสูงที่สุดและคงที่ซึ่งใช้เวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 16

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



รูป 4.2 การเจริญของเชื้อ *Lac. plantarum* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

รูป 4.2 แสดงการเจริญของเชื้อ *Lac. plantarum* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีการเจริญเป็น 3 ระยะ ดังนี้

1. ระยะ lag phase ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น 7.07 log cfu/ml. และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 7.11 log cfu/ml.

2. ระยะ log phase ใช้เวลาตั้งแต่หลังชั่วโมงที่ 2 จนถึงชั่วโมงที่ 16 ซึ่งระยะนี้เชื้อมีการเจริญอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณถึง 9.42 log cfu/ml.

3. ระยะ stationary phase ใช้เวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 16 ขึ้นไป

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 1 เชื้อที่ควรนำมาทำเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นควรอยู่ในช่วง log phase ของการเจริญเติบโตเพื่อให้ได้เชื้อเริ่มต้นที่ว่องไว ซึ่งจะช่วยให้เวลาในการหมักสั้นเพราะถ้าใช้เชื้อเริ่มต้นในระยะ lag phase ระยะนี้จำนวนแบคทีเรียยังไม่เพิ่มขึ้นเพราะยังไม่แบ่งเซลล์ เนื่องจากเซลล์จะสังเคราะห์โพรโทพลาสซึมใหม่ รวมทั้งเอนไซม์ โคเอนไซม์ DNA RNA เพื่อเตรียมพร้อมในการแบ่งเซลล์ซึ่งส่งผลให้ใช้เวลานานในการหมัก (สมใจ, 2537) ดังนั้นจึงเลือกใช้เชื้อ *Leu. mensenteroides* และ *Lac. plantarum* ที่บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 15 – 16 ของอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth มาเตรียมเป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นเพื่อใช้ในการหมักกิมจิ ซึ่งสอดคล้องกับ Zlatica and Jolana (2003) ที่ใช้เชื้อ *Lactobacillus sp.* บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่มีอายุ 16 – 18 ชั่วโมง เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักน้ำกระหล่ำปลี และการทดลองของ Plengvidhya *et al.* (2004) ที่ใช้เชื้อ *Leu. mensenteroides* ที่มีอายุ 15 ชั่วโมง เป็นเชื้อเริ่มต้นในการทำซาวเวอร์เคราต์

4.2 ผลการศึกษาคุณภาพวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการเตรียมกิมจิ

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการเตรียมกิมจิ คือ ผักกาดขาวปลี ซึ่งนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี คุณภาพทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยา

ตาราง 4.1 คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยา ของผักกาดขาวปลี

คุณภาพ	การตรวจวัด	ค่าที่วิเคราะห์ได้
1. คุณภาพทางเคมี	- ค่าความเป็นกรดด่าง	6.10 ± 0.03
	- ปริมาณกรดแลคติก (%w/w)	0.16 ± 0.01
	- ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	1.69 ± 0.08
2. คุณภาพทางกายภาพ	- ค่าสี	
	L	81.22 ± 0.86
	a*	-1.41 ± 0.19
	b*	5.01 ± 9.87
	- ค่าความแข็ง (g)	132.83 ± 21.26
3. คุณภาพทางจุลชีววิทยา	- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	4.46 ± 0.26
	- ปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* (MPN/g)	< 3
	- ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (cfu/g)	< 10

หมายเหตุ - ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1 คุณภาพทางเคมีของผักกาดขาวปลี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผักกาดขาวปลี พบว่า มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.10 ± 0.03 มีปริมาณกรดแลคติก 0.16 ± 0.01% w/w ทำให้ผักกาดขาวมีความเป็นกรดเล็กน้อย และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 1.69 ± 0.08% w/w ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และแมนโนส (Yun *et al.*, 1996) น้ำตาลเหล่านี้จะเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

4.2.2 คุณภาพทางกายภาพของผักกาดขาวปลี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ค่าสี L a b พบว่าก้านผักกาดขาวปลีมีค่าสี L (ความสว่าง) 81.22 ± 0.86 ค่าสี a* (สีแดง ─ สีเขียว) -1.41 ± 0.19 และค่าสี b* (สีเหลือง - สีน้ำเงิน) เท่ากับ 5.01 ± 0.87 สรุปได้ว่าก้านผักกาดขาวปลีมีสีโทนขาวเขียว ส่วนค่าความเหนียวที่วัดได้มีค่า 132.83 ± 21.26 forge-g ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบกับผักกาดขาวปลีของกิมจิต่อไป

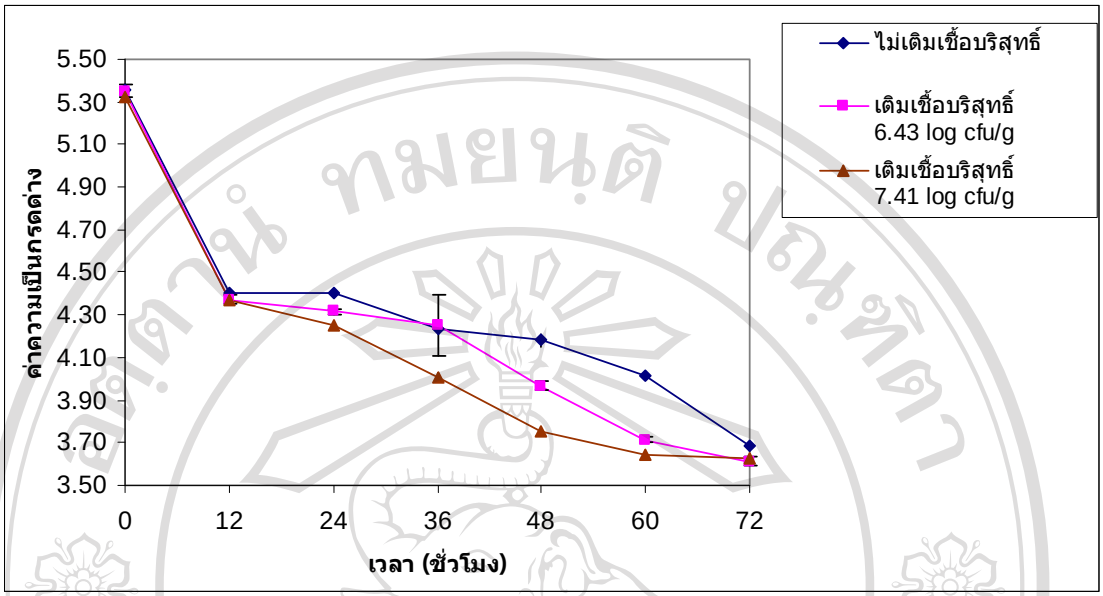
4.2.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผักกาดขาวปลี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผักกาดขาวปลีที่ผ่านการล้างแล้ว มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.46 ± 0.26 log cfu/g เชื้อ *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/g และปริมาณยีสต์รา น้อยกว่า 10 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มผช. สำหรับผักสดมีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่า log cfu/g ซึ่งสอดคล้องกับ Hutkines (2006) พบเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียในผักสด 4 – 6 log cfu/g และปริมาณยีสต์รา 0.3 – 4.6 log cfu/g

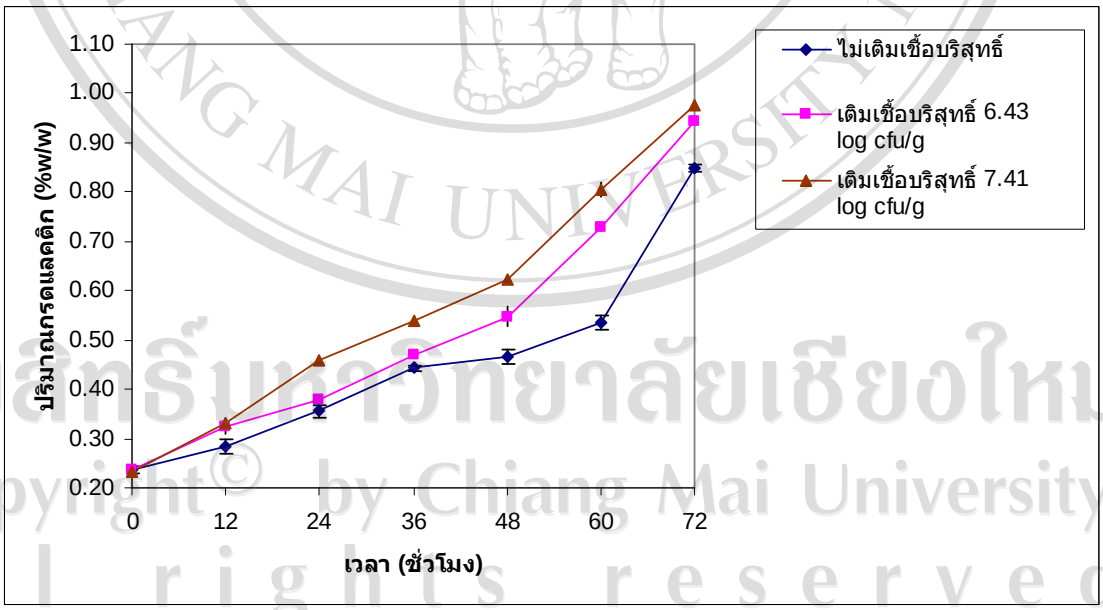
4.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการหมักกิมจิ

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 2 ชนิด คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยเติมปริมาณของเชื้อ 2 ระดับ คือ เชื้อละ 6.43 และ7.41 log cfu/g และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สุ่มวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างทุก ๆ 12 ชั่วโมง จนกิมจิมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.33 – 4.35 และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีวิทยาของกิมจิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของกิมจิภายในเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น คือ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส



รูป 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติกของกิมจิภายในเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น คือ *Leuconostoc mesenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูป 4.3 และ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกของกิมจิซึ่งมีค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นที่ 5.33 – 5.35 และหมักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า ชุดกิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างเร็วกว่ากิมจิชุดที่ไม่ได้เติมเชื้อบริสุทธิ์ ซึ่งกิมจิที่เติมเชื้อเริ่มต้น 7.41 log cfu/g มีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.33 – 4.35 และมีปริมาณกรดแลคติกประมาณ 0.3% w/w ซึ่งใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ส่วนกิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 6.43 log cfu/g และชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น ใช้เวลาประมาณ 18 และ 28 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lee, 1988 ใช้ *Lac. plantarum , Lac. brevis, Ped. cerevisiae* และ *Leu. mensenteroides* ที่แยกได้จากกิมจิใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นในการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า สามารถลดระยะเวลาในการหมักได้เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น และมีลักษณะทางประสาทสัมผัส กลิ่นรส เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่ากิมจิที่หมักเองตามธรรมชาติ So *et al*. (1996) พบว่าการใช้เชื้อ *Leu. mensenteroides* เป็นเชื้อเริ่มต้นในการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการหมัก 4 – 6 วัน ส่วนกิมจิที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นใช้เวลาหมักนานถึง 10 วัน

4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกิมจิก่อนและหลังหมัก

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 2 ชนิด คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยเติมปริมาณของเชื้อ 2 ระดับ คือ เชื้อละ 6.43 และ7.41 log cfu/g และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกิมจิก่อนและหลังหมัก แสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ค่าความเป็นกรดด่างก่อนหมักของกิมจิมีค่าอยู่ในช่วง 5.33 – 5.35 ปริมาณกรดแลคติกอยู่ในช่วง 0.23 – 0.24 %w/w ปล่อยให้เกิดการหมักจนกระทั่งกิมจิมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.33 – 4.36 ซึ่งมีปริมาณกรดแลคติกอยู่ในช่วง 0.34 – 0.35 %w/w ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Shin *et al*. (1996) กิมจิเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 5.5 และมีปริมาณกรดแลคติกเริ่มต้นประมาณ 0.15% w/w ที่ค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.3 กิมจิจะมีปริมาณกรดแลคติกประมาณ 0.3 %w/w

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 คุณภาพทางเคมี ก่อนและหลังหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น คือ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 และชุดควบคุม (ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

คุณภาพทางเคมี	กิมจิก่อนหมัก			กิมจิหลังหมัก*		
	ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์	เติมเชื้อบริสุทธิ์		ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์	เติมเชื้อบริสุทธิ์	
		6.43 log cfu/g	7.41 log cfu/g		6.43 log cfu/g	7.41 log cfu/g
ความเป็นกรดด่าง	$5.35^{a}\pm0.01$	$5.34^{ab}\pm0.01$	$5.33^{b}\pm0.02$	$4.36^{c}\pm0.01$	$4.35^{c}\pm0.01$	$4.33^{d}\pm 0.02$
ปริมาณกรดแลคติก (%w/w)	$0.24^{a}\pm0.01$	$0.24^{a}\pm 0.01$	$0.23^{a}\pm0.01$	$0.34^{b}\pm0.01$	$0.34^{b}\pm0.01$	$0.35^{b}\pm 0.01$
ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ (%w/w)	$3.23^{a}\pm0.37$	$2.88^{a}\pm 0.09$	$3.06^{a}\pm0.34$	$5.29^{bc}\pm0.04$	$5.22^{b}\pm0.43$	$5.18^{b}\pm 0.12$
ปริมาณน้ำตาลซูโครส (%w/w)	$5.53^{b}\pm0.35$	$5.62^{b}\pm 0.19$	$5.75^{b}\pm0.68$	$2.52^{a}\pm 0.22$	$2.71^{a}\pm0.07$	$2.68^{a}\pm 0.80$
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	$8.76^{b}\pm0.08$	$8.50^{b}\pm 0.25$	$8.81^{b}\pm0.35$	$7.81^{a}\pm 0.67$	$7.93^{a}\pm0.02$	$7.86^{a}\pm 0.20$
ปริมาณเกลือ (%w/w)	$3.54^{a}\pm0.15$	$3.51^{a}\pm 0.08$	$3.57^{a}\pm0.05$	$3.56^{a}\pm 0.20$	$3.55^{a}\pm0.13$	$3.59^{a}\pm 0.08$

หมายเหตุ - เชื้อบริสุทธิ์ คือ เชื้อ *Leu. mensenteroides* และ *Lac. plantarum*
- ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแต่ละแถวที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
- วัดคุณภาพเมื่อกิมจิผ่านการหมัก 12 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.2 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนหมักมีค่าอยู่ในช่วง 2.28 – 3.23 %w/w ปริมาณน้ำตาลซูโครสประมาณ 5.53 – 5.75 %w/w และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 8.50 – 8.81 %w/w เมื่อกิมจิหมักจนได้ค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.3 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5.18 – 5.29 %w/w แต่ปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงเหลือ 2.52 – 2.71 %w/w

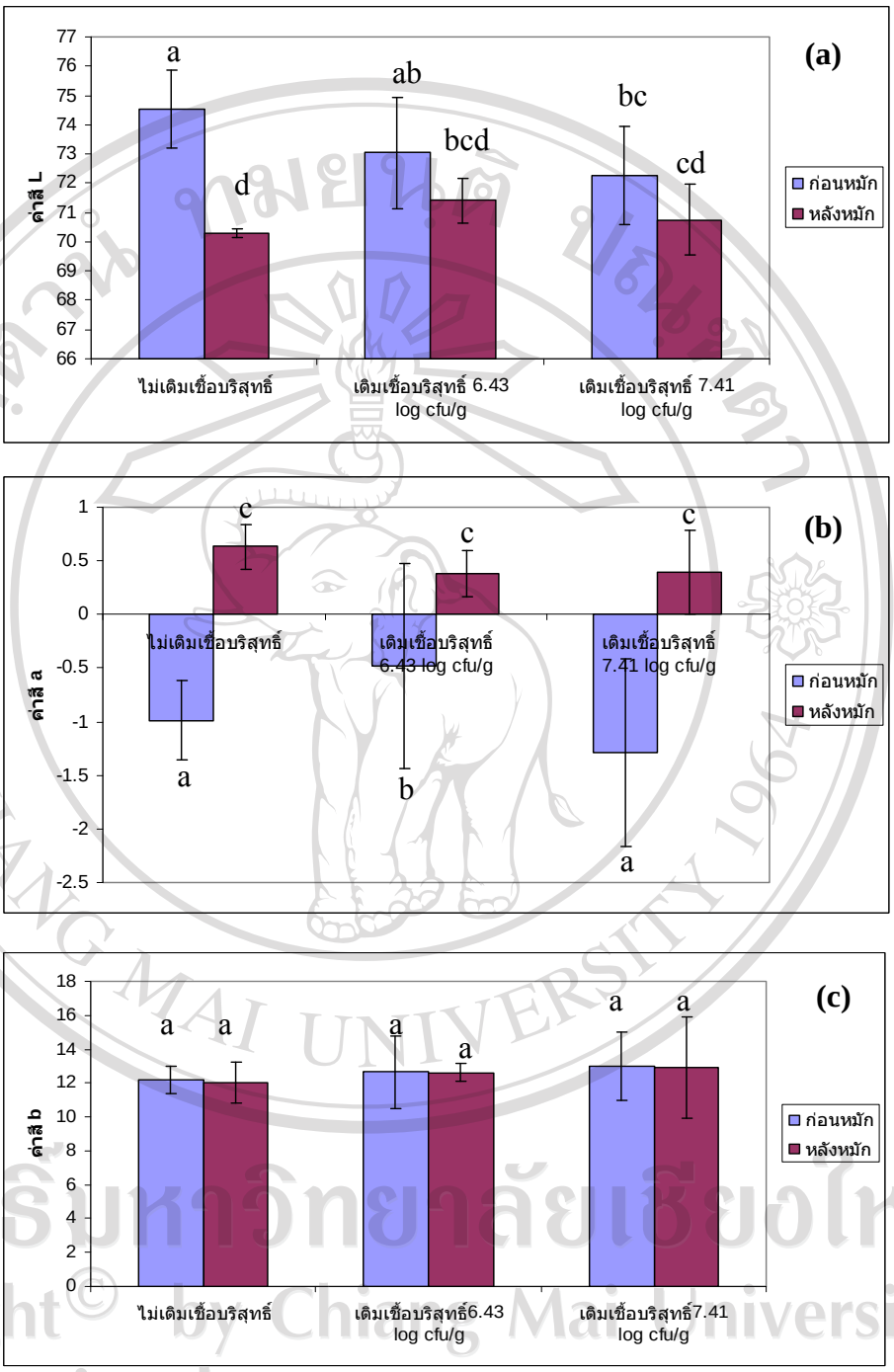
ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงอยู่ในช่วง 7.81 – 7.93 %w/w จะเห็นว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหลังหมักมีค่าลดลง เนื่องจากแบคทีเรียแลคติกทำการหมักโดยใช้น้ำตาลเป็นสารตั้งต้นเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ได้แก่ กรดแลคติก กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และเอธานอล ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังหมักมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลง อาจเนื่องจากการหมักของแบคทีเรียเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์ในวัตถุดิบ เช่นผักกาดขาวปลีจะมีน้ำตาลกลูโคส, ฟรุกโตสและแมนโนส (Yun *et al*., 1996) เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในการหมัก เช่น กรดแลคติก กรด อะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และเอธานอล ส่งผลทำให้เกิดสภาวะเป็นกรด มีผลทำให้น้ำตาลซูโครสถูกไฮโดรไลส์ไปเป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส (นิธิยา, 2545)

ส่วนปริมาณเกลือของกิมจิทั้งก่อนและหลังหมักมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 3.51 – 3.59 %w/w ซึ่งสอดคล้องกับ Mheen and Kwon, 1984 รายงานว่าความเข้มข้นเกลือประมาณ 3.5 %w/w จะใช้เวลาหมักประมาณ 1 – 2 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ Lee (1994) รายงานว่าปริมาณเกลือที่เหมาะสมสำหรับการหมักกิมจิอยู่ในช่วง 3 – 5 %w/w ที่ทำให้กิมจิมีลักษณะทางกายภาพที่ดี

4.3.3 คุณภาพทางกายภาพของกิมจิก่อนและหลังหมัก

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 2 ชนิด คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยผันแปรปริมาณของเชื้อ 2 ระดับ คือ เชื้อละ 6.43 และ7.41 log cfu/g และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของกิมจิก่อนและหลังหมัก แสดงในรูป 4.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.5 ค่าสี (a) ค่าสี L, (b) ค่าสี a*, (c) ค่าสี b* ของกิมจิก่อนและหลังหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 2 ชนิด คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยเติมปริมาณของเชื้อ 2 ระดับ คือ เชื้อละ6.43 และ7.41 log cfu/g และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

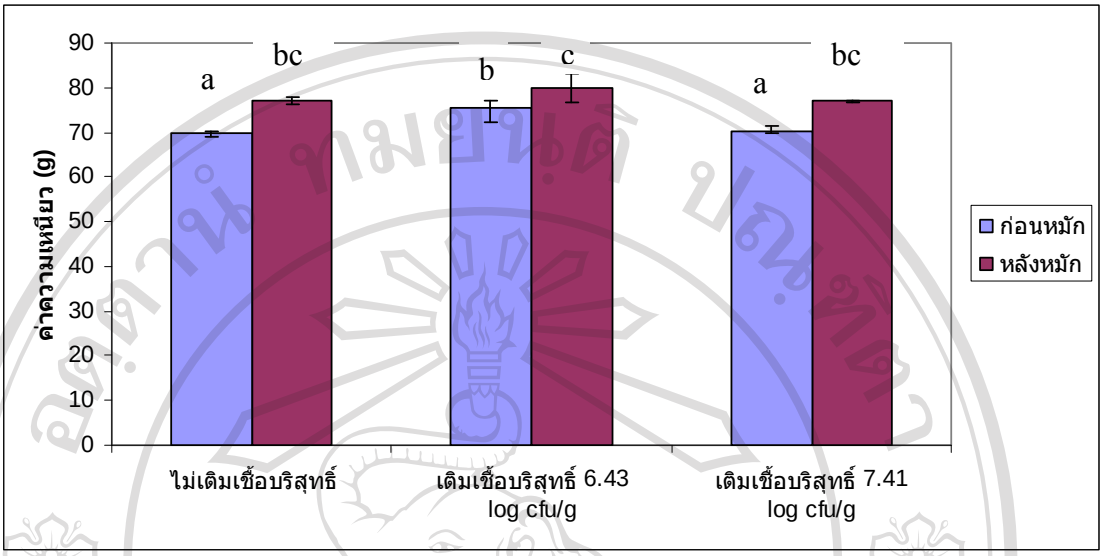
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 4.5 ค่าสี L a* b* ของกิมจิก่อนและหลังหมัก พบว่า ค่าสี L (ความสว่าง) หลังหมักมีค่าต่ำกว่าก่อนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือ ค่าสี L ก่อนหมักมีค่าประมาณ 72.27 – 74.53 หลังหมักมีค่าอยู่ในช่วง 70.28 – 71.41 ค่าสี a* (สีแดง – สีเขียว) มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ระหว่างกิมจิก่อนหมักและหลังหมัก คือ ก่อนหมักกิมจิมีค่าสี a* อยู่ในช่วงของสีเขียว มีค่า -0.48 ถึง -1.29 หลังหมักมีค่าอยู่ในช่วงของสีแดง คือ 0.38 – 0.63 ส่วนค่าสี b* (สีน้ำเงิน – สีเหลือง) ของกิมจิก่อนและหลังหมักมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือมีค่าอยู่ในช่วง 12.01 – 12.98 และค่าสี L a b หลังหมักของกิมจิที่ผันแปรปริมาณการเติมเชื้อบริสุทธิ์ 2 ระดับ และชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

คุณภาพทางกายภาพ ค่าสี L มีค่าลดลงหลังจากการหมัก และค่าสี a* มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากรงควัตถุในผักกาดขาวปลี คือ แอนโทแซนทิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีขาวในสภาวะเป็นกรด แต่จะไวต่อการเปลี่ยนสีเมื่อมีแร่ธาตุต่างๆ เช่น รวมตัวกับอะลูมิเนียมจะมีสีเหลืองรวมกับเหล็กจะมีสีน้ำตาล (Hutching, 1999) ซึ่งในกิมจิมีแร่ธาตุมากมาย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้สีของกิมจิเข้มขึ้น และส่วนผสมของกิมจิมีสีของพริกและแครอท ซึ่งพริกมีรงควัตถุสีแดง ได้แก่ แคปเซนซิน (Capsanthin), ซีแซนทิน (Zeaxanthin), คริปโทแซนทิน (Cryptoxanthin) (Hutching, 1999) และในแครอทมีรงควัตถุสีส้ม ได้แก่พวก แอลฟาแคโรทีน (α-Carotene) และบีต้าแคโรทีน (β-Carotent) (Magdoougall, 2002) จึงส่งผลให้ก้านผักกาดขาวปลีมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากรงควัตถุของพริกและแครอท

รูป 4.6 แสดงค่าความเหนียวของกิมจิก่อนและหลังหมัก พบว่าค่าความเหนียวของก้านก่อนหมักอยู่ในช่วง 69.85 – 75.43 g หลังหมักมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 76.91 – 80.03 g อาจเนื่องมาจากเกลือในกระบวนการผลิตกิมจิมีคุณสมบัติเป็นสารดึงน้ำออกจากเซลล์ของผัก ทำให้ก้านผักกาดขาวปลีมีความเหนียวเพิ่มขึ้น (วิเชียร, 2543) อีกทั้งความเข้มข้นของเกลือสามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เนื้อเยื่อของผักอ่อนนุ่มได้ (Kim *et al*., 1987; วิเชียร 2543) นอกจากนี้ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบโดยการนึ่งพริก และแครอท ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีการแลคทูโรเนส และเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรส ที่สามารถทำลายเพคตินและเนื้อเยื่อของผักได้ (Rodrigo *et al*., 2006) จึงส่งผลให้ความเหนียวของก้านผักกาดขาวปลีเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.6 ค่าความเหนียวก่อนและหลังหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 2 ชนิด คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยเติมปริมาณของเชื้อ 2 ระดับ คือ เชื้อละ 6.43 และ7.41 log cfu/g และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

4.3.4 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิก่อนและหลังหมัก

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 2 ชนิด คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยเติมปริมาณของเชื้อ 2 ระดับ คือ เชื้อละ 6.43 และ 7.41 log cfu/g และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิก่อนและหลังหมักแสดงในตาราง 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิมจิ ก่อนหมักมีปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกเริ่มต้นในกิมจิที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์มีประมาณ 7.54 log cfu/g และเมื่อเติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นลงไป 6.43 log cfu/g พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้นเป็น 7.68 log cfu/g ส่วนกิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ 7.41 log cfu/g พบว่ามีปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้นเป็น 7.85 log cfu/g หลังจากผ่านการหมักจนกิมจิมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.35 พบว่าแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ ในกิมจิที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียแลคติก เป็น 8.98 log cfu/g ส่วนกิมจิที่เติมเชื้อ

บริสุทธิ์เริ่มต้น 6.43 และ7.41 log cfu/g มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกเป็น 8.14 และ 8.12 log cfu/g ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากิมจิมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกหลังหมักสูงกว่าก่อนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และปริมาณแบคทีเรียแลคติกของกิมจิหลังหมักชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นมีค่ามากกว่ากิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ทั้ง 2 ระดับ อาจเนื่องจากกิมจิที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ใช้เวลาการหมักนานกว่า เชื้อแบคทีเรียจึงมีเวลาในการเจริญเติบโตที่นานกว่า ซึ่ง Choi *et al*., 2003 รายงานว่า กิมจิชุดควบคุม (ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น) มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกสูงกว่ากิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นประมาณ 0.3 log cfu/g ในขณะที่มีความเป็นกรดด่างประมาณ 4.00 เท่ากัน

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ) ของกิมจิหลังหมักที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ 2 ระดับ คือ เชื้อละ 6.43 และ7.41 log cfu/g พบว่ากิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ เชื้อละ 7.41 log cfu/g ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ก่อนและหลังหมัก มีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนกิมจิชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์ 6.43 log cfu/g พบว่าหลังหมักปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกิมจิก่อนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ กิมจิก่อนหมักที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ และเติมเชื้อบริสุทธิ์ 2 ระดับ มีปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมด 7.89 และ 7.82 log cfu/g ตามลำดับ พอหมักได้ค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.35 พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 8.05 และ 7.89 log cfu/g ตามลำดับ ส่วนกิมจิที่ไม่ได้เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่ากิมจิก่อนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ ก่อนหมักมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 7.48 log cfu/g หลังหมักมีปริมาณเชื้อ 9.28 log cfu/g ซึ่งมีค่าสูงกว่ากิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักทั้ง 2 ระดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อีกด้วย อาจเนื่องจากการหมักทำให้เกิดกรดแลคติกจึงทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่ง Cheigh *et al*,.(1994) รายงานว่าปริมาณเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) จะเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 20 ของการหมักที่อุณหภูมิ 2 - 7 องศาเซลเซียส และจะลดลงเนื่องจากอากาศเหลืออยู่น้อย ความเข้มข้นของเกลือ และปริมาณกรดที่เกิดขึ้นจากหมัก และสอดคล้องกับ Ha (1994) ทำการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าวันแรกของการหมักกิมจิมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.4×10^4 cfu/g และวันที่สองกิมจิมีค่าความเป็นกรดด่าง 4.11 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 9.3×10^8 cfu/g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยา ก่อนและหลังหมักกิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 2 ชนิด คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ *Lactobacillus plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 โดยเติมปริมาณของเชื้อ 2 ระดับ คือ เชื้อละ 6.43 และ7.41 log cfu/g และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

คุณภาพทางเคมี	กิมจิก่อนหมัก			กิมจิหลังหมัก*		
	ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์	เติมเชื้อบริสุทธิ์		ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์	เติมเชื้อบริสุทธิ์	
		6.43 log cfu/g	6.43 log cfu/g		6.43 log cfu/g	7.41 log cfu/g
ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติก (log cfu/g)	$7.54^{a}\pm0.30$	$7.68^{a}\pm0.20$	$7.85^{a}\pm0.10$	$8.98^{d}\pm0.20$	$8.14^{c}\pm0.10$	$8.12^{c}\pm0.20$
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	$7.48^{a}\pm0.20$	$7.89^{a}\pm0.40$	$7.82^{a}\pm0.10$	$9.28^{c}\pm0.60$	$8.05^{b}\pm0.10$	$7.89^{ab}\pm0.40$
ปริมาณเชื้อ *E. coli* (MPN/g)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (cfu/g)	200	100	100	< 10	< 10	< 10

หมายเหตุ

- เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด คือ เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับในแต่ละแถวที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
- * คือ วัดคุณภาพเมื่อกิมจิผ่านการหมัก 12 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณเชื้อ *E. coli* ก่อนและหลังหมักมีปริมาณน้อยกว่า 3 MPN/g ทั้งชุดที่ไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นและชุดที่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นทั้ง 2 ระดับ อาจเนื่องมาจากการล้างวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกิมจิด้วยน้ำสะอาดมีผลทำช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบหรือถูกขจัดออกไป (สุมาลี, 2539) รวมทั้งขั้นตอนการทำกิมจิโดยเฉพาะการดองเกลือสามารถช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดที่อยู่ในวัตถุดิบได้ (สุมณฑา, 2545) สอดคล้องกับ (Choe *et al*., 1991) พบว่ากิมจิที่ผ่านการดองด้วยเกลือ 10% นาน 10 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณแบคทีเรียได้

11 – 16 เท่า และลดปริมาณเชื้อยีสต์รา ได้ 29 – 87 เท่าของปริมาณเชื้อยีสต์ราทั้งหมด แต่ปริมาณแบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้น 3 – 4 เท่า และนอกจากนี้ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การลวกกระเทียม การนึ่งพริก และการนึ่งแครอท ก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดปริมาณเชื้อ *E. coli* ได้

ปริมาณเชื้อยีสต์และราก่อนหมักของกิมจิที่ความเข้มข้น 10^{-1} อยู่ในช่วง 100 – 200 cfu/g หลังหมักพบว่าปริมาณเชื้อยีสต์ราต่ำกว่า 10 cfu/g ทั้ง 3 ชุด อาจเนื่องจากสภาวะที่เกิดขึ้นขณะหมักไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์และรา ซึ่งสอดคล้องกับ Tolonen (2004) ใช้เชื้อแบคทีเรียแลคติกที่สร้างไนซิน เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักซาวเวอร์เคราต์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบปริมาณยีสต์และราในกระหล่ำปลีจะมีค่าอยู่ในช่วง 100 - 1000 cfu/ml และ Ha (1994) รายงานว่า ในส่วนผสมของกิมจิมีสารที่มีคุณสมบัติต้านการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น สาร allicinในกระเทียม น้ำมันหอมระเหยในขิง ซึ่งสารเหล่านี้มีผลยับยั้งจุลินทรีย์ที่อยู่ในกิมจิ รวมทั้งกรดที่เกิดขึ้น และสารแบคเทอริโอซิน (bacteriocin) ที่เกิดจากหมักเป็นตัวควบคุมการเจริญของเชื้อก่อโรคในกิมจิ อย่างไรก็ตาม Ro (1981) รายงานว่าพบเชื้อยีสต์ในกิมจิ แต่พบในปริมาณต่ำ ซึ่งเป็น film – forming yeast เพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากผ่านระยะการหมักที่เหมาะสม ซึ่งเชื้อยีสต์เหล่านี้สามารถสร้างเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อเยื่อของกิมจิ นิ่ม เปื่อย ยุ่ย คือ เอนไซม์โพลีกาแลคโทเนส (polygalactonase) ซึ่งทำลายเพคติน และโครงสร้างอื่นๆ ของผักกาดขาวปลี และหัวผักกาดขาว ทำให้คุณภาพของกิมจิลดลง (Lee, 1986)

หมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในปริมาณ 6.43 และ7.41 log cfu/g โดยใช้เชื้อ *Leu. mensenteroides* และ *Lac. plantarum* ในอัตราส่วน 1:1 ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่ากิมจิที่หมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นปริมาณ 7.41 log cfu/g ใช้ระยะเวลาการหมักจนกระทั่งมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.35 สั้นที่สุด คือ 12 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยา กับกิมจิที่เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น 6.43 log cfu/g พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จึงเลือกหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในประมาณเชื้อละ 7.41 log cfu/g ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.35 นำไปทำการศึกษาความดันที่เหมาะสมในตอนที่ 4 ต่อไป

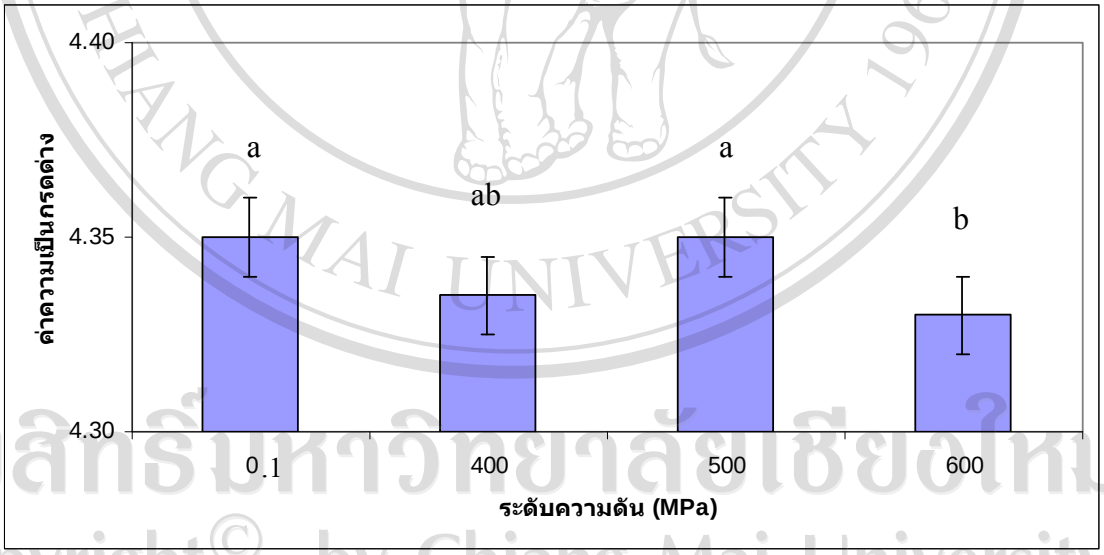
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การศึกษาระดับความดันที่มีผลต่อคุณภาพของกิมจิ

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และเชื้อ *Lactobaillus plantarum* ปริมาณเชื้อละ 7.41 log cfu/g และชุดควบคุมไม่เติมเชื้อบริสุทธิ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบรรจุถุงเพื่อนำไปผ่านความดันสูงในระดับ 0.1 (ชุดควบคุม), 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นนำกิมจิมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยา ก่อนและหลังผ่านความดัน

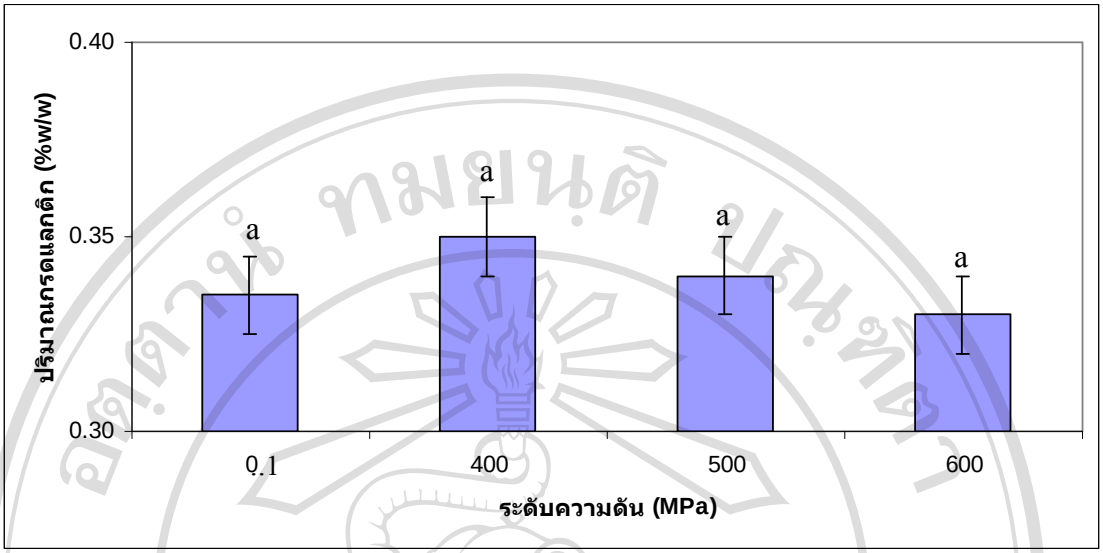
4.4.1 ผลของความดันต่อคุณภาพทางเคมี และทางกายภาพ

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดแลคติกของกิมจิที่ผ่านความดันในระดับ 0.1, 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ แสดงในรูป 4.7



รูป 4.7 ค่าความเป็นกรดด่างของกิมจิ ที่ผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม) , 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

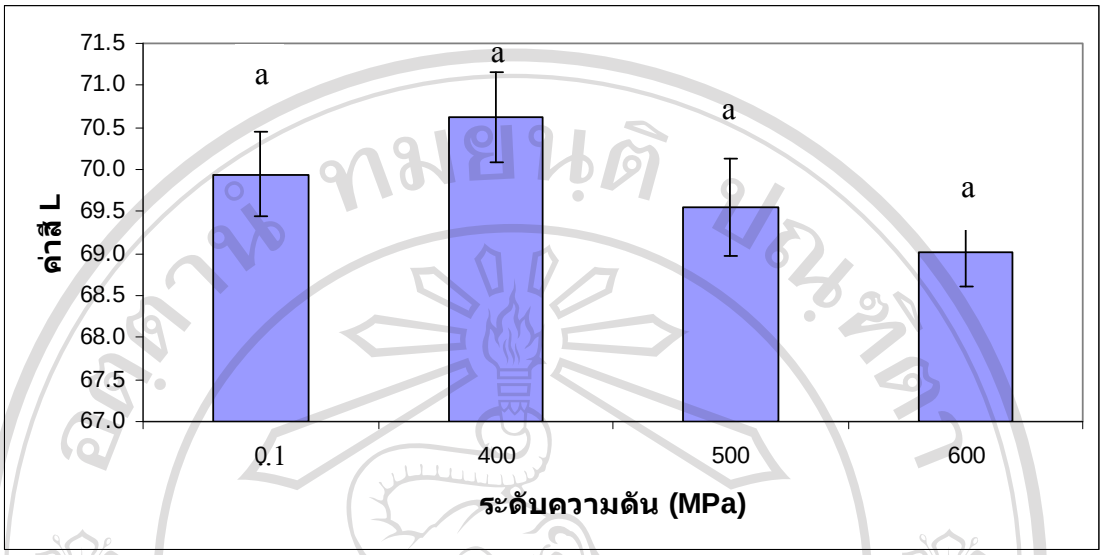


รูป 4.8 ปริมาณกรดแลคติกของกิมจิ ที่ผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม) , 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

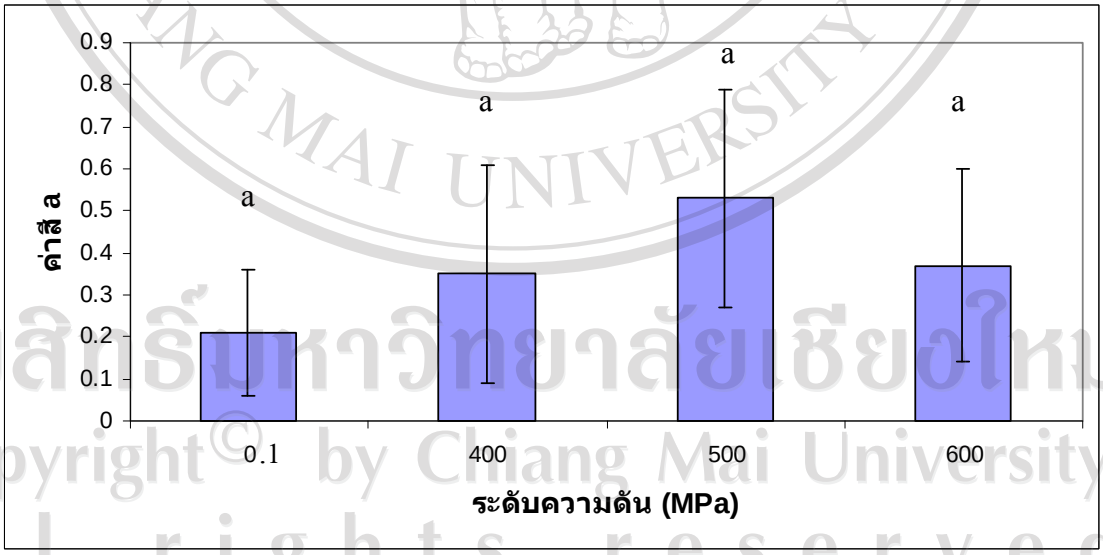
ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกก่อนและหลังผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม) , 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน คือ 4.33 - 4.35 ปริมาณกรดแลคติกเท่ากับ 0.34 ± 0.01 ดังแสดงใน รูป 4.7 และรูป 4.8

คุณภาพทางกายภาพ ค่าสี L a* b* ของก้านผักกาดขาวปลีของกิมจิก่อนและหลังผ่านความดันสูงในระดับต่างๆ พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$) Houska *et al*., 2005 รายงานว่า การใช้ความดันสูงสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้คงเดิมได้ ทั้งสี กลิ่น ปริมาณวิตามิน เนื่องจากความดันสูงมีผลต่อสารโมเลกุลใหญ่เท่านั้น ซึ่งความดันสูงจะทำลาย secondary และ tertiary bonds แต่ไม่มีผลต่อพันธะโควาเลนท์ (covalent bonds) และไม่มีผลต่อสารโมเลกุลเล็ก เช่น วิตามิน ไพโตเคมีคิล (phytochemical) สารให้กลิ่น (Moerman, 2004) ยกเว้นค่าสี a* ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) อาจเนื่องมาจากสีของรงควัตถุจากพริกและแครอทเคลือบและแพร่เข้าไปบริเวณก้านของผักกาดขาวปลีขณะที่ทำการหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

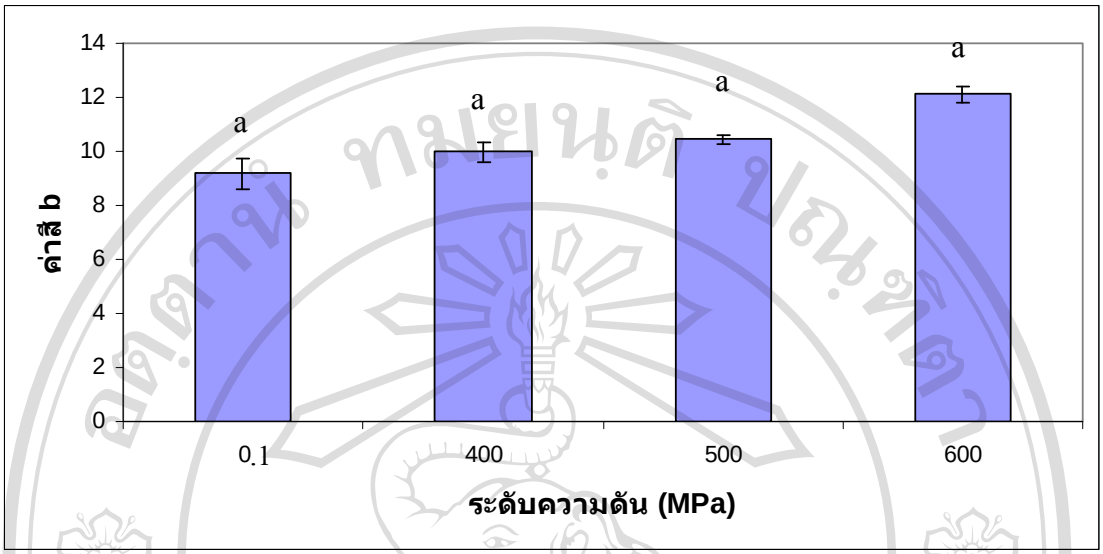


รูป 4.9 ค่าสี L ของกิมจิ ที่ผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม) , 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

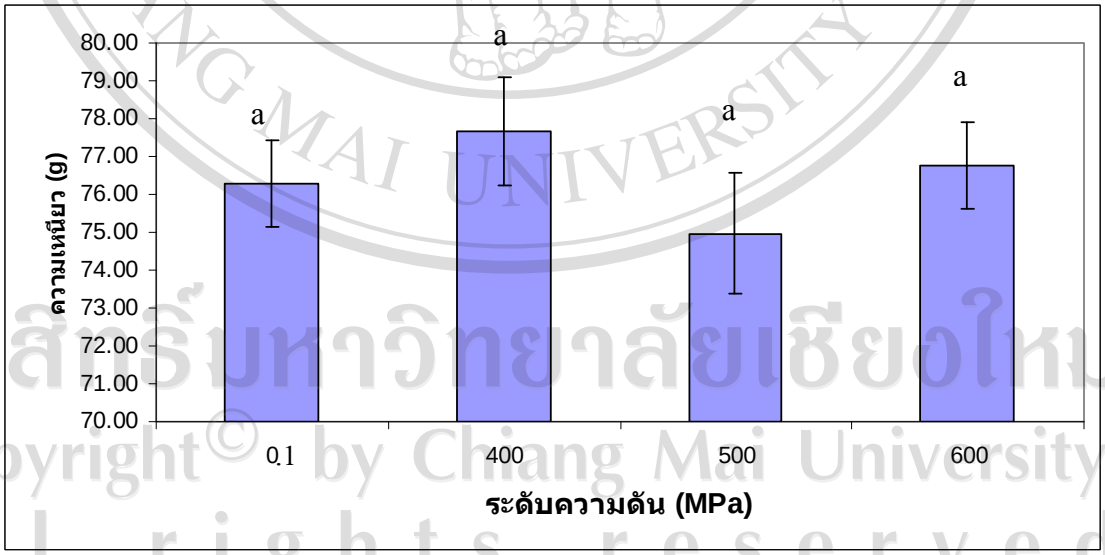


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 4.10 ค่าสี a* ของกิมจิ ที่ผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม) , 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที



รูป 4.11 ค่าสี b* ของกิมจิ ที่ผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม) , 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 4.12 ค่าความเหนียวของกิมจิ ที่ผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม) , 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

ค่าความเหนียวของก้านผักกาดขาวปลี พบว่าความเหนียวของชุดควบคุม และกิมจิที่ผ่านความดันในระดับต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) คือมีความเหนียวอยู่ในช่วง 75.68 – 77.66 g อาจเนื่องจากผักกาดขาวปลีผ่านการดองเกลือมาแล้ว จึงทำให้ผักมีความกรอบ และเกลือสามารถยังยั้งการทำงานของจุลินทรีย์บางชนิดที่ก่อให้เกิดเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อเยื่อของผักอ่อนนุ่มได้ (Kim *et al*., 1987)

4.4.2 ผลของความดันต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยา

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิที่ผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม), 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที แสดงในตารางที่ 4.4

ตาราง 4.4 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิที่ผ่านความดัน 0.1 (ชุดควบคุม), 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 40 นาที

คุณภาพทางจุลชีววิทยา	**ระดับความดัน (MPa)**			
	0.1	**400**	**500**	**600**
ปริมาณแบคทีเรียแลคติก (log cfu/g)	8.12±0.13	ND	ND	ND
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	7.91±0.55	2.59±0.79	2.51±0.58	ND
ปริมาณเชื้อยีสต์และรา(cfu/g)	<10	<10	<10	<10
ปริมาณ *E. coli* (MPN/g)	<3	<3	<3	<3
S. aureus (กิมจิ 0.1g)	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ

- เตรียมกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น คือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และ เชื้อ *Lactobacillus plantarum* ปริมาณเชื้อละ 7.41 log cfu/g หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.35
- ND (not detected) = ตรวจไม่พบเชื้อ
- เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด คือ เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 แสดงผลของกิมจิหลังผ่านความดัน พบว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกก่อนนำไปผ่านความดันมีปริมาณเท่ากับ 8.12 log cfu/g แต่เมื่อผ่านความดันทั้ง 3 ระดับ คือ 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ พบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกมีค่าน้อยกว่า 25 cfu/g (Smiddy *et al.*, 2006) รายงานว่าน้ำนมที่ผ่านความดัน 200 และ 250 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 55 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด, เชื้อ *Psychrotrophs* , เชื้อ *Psedomonads*, *Coliforms*, เชื้อ *Staphyloccus aureus* และ เชื้อ *Lactobacillus* มีปริมาณของทุกเชื้อน้อยกว่า 1 log cfu/ml.

ผลของความดันต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าจุลินทรีย์ทั้งหมด ก่อนนำไปผ่านความดันมีปริมาณเชื้อเท่ากับ 7.91 log cfu/g หลังผ่านความดันมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) และพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 2.95, 2.51 log cfu/g และ น้อยกว่า 25 cfu/g หลังจากผ่านความดันที่ระดับ 400 , 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ ตามลำดับ Knorr (1995) สันนิษฐานว่า ความดันสูงทำให้แวคคิวโอลภายในเซลล์แตก และทำลายผนังเซลล์ และเซลล์ เมมเบรน ซึ่งมีผลต่อเอนไซม์ภายในเซลล์ทำให้เมตาบอลิซึมต่างๆ ถูกทำลาย ซึ่งขนาดความดันสูงที่สามารถยับยั้งการขยายพันธุ์และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ (ธีรพร, 2551) นอกจากนี้ Moreman, 2005 รายงานว่า ที่ระดับความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิห้อง สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (Gram - positive bacteria) ได้และที่ความดันระดับ 400 เมกะปาสคาลส์ สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบได้ (Gram - negative bacteria) ได้

ส่วนผลของความดันต่อเชื้อยีสต์, รา, *E. coli* และ *S. aurers* เนื่องจากกิมจิก่อนผ่านความดันตรวจไม่พบเชื้อเหล่านี้ ดังนั้นเมื่อนำกิมจิมาผ่านความดันในระดับต่างๆ จึงตรวจไม่พบเชื้อยีสต์, รา, *E. coli* และ *S. aurers*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิมจิที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น คือเชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และเชื้อ *Lactobacillus plantarum* ปริมาณเชื้อละ 7.41 log cfu/g ในอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ 1:1 นำไปหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.35 แล้วนำไปผ่านความดันสูงที่ 0.1 (ชุดควบคุม), 400, 500 และ 600 เมกะปาสคาลส์ พบว่า คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของกิมจิหลังผ่านความดันทั้ง 3 ระดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่คุณภาพทางจุลชีววิทยาพบว่าที่ความดันสูงระดับ 600 เมกะปาสคาลส์ สามารถ

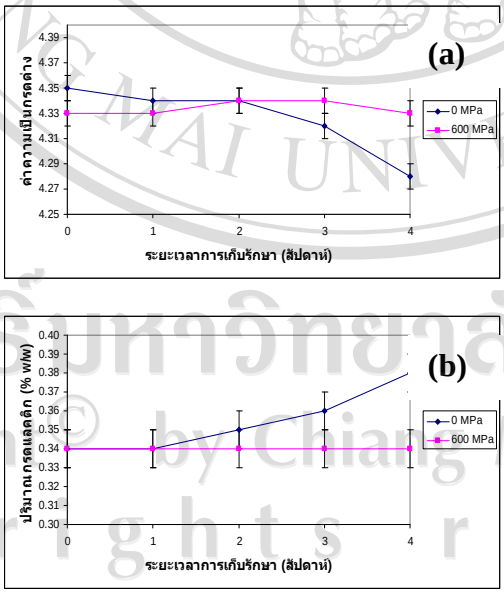
ทำลายเชื้อแบคทีเรียแลคติก และจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ ดังนั้นจึงเลือกความดันสูงที่ระดับ 600 เมกะปาสคาลส์ ไปศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาในตอนต่อไป

4.5 คุณภาพหลังการเก็บรักษากิมจิที่ถนอมด้วยความดันสูง

ทำการหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นคือ เชื้อ *Leuconostoc mensenteroides* และเชื้อ *Lactobacillus plantarum* โดยใช้ปริมาณเชื้อละ 7.41 log cfu/g ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนกิมจิมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.35 จากนั้นนำไปผ่านความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยา ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์

4.5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดแลคติกของกิมจิที่ผ่านความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์



รูป 4.13 การเปลี่ยนแปลง (a) ค่าความเป็นกรดด่าง และ (b) ปริมาณกรดแลคติกของกิมจิที่ผ่านความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 4.13 แสดงค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดแลคติกไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจเนื่องจาก เชื้อแบคทีเรียแลคติกและจุลินทรีย์ทั้งหมดถูกทำลายไปในขั้นตอนการให้ความดัน ส่วนกิมจิที่ไม่ผ่านการให้ความดันสูง (ชุดควบคุม) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความเป็นกรดด่างลดลง และปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

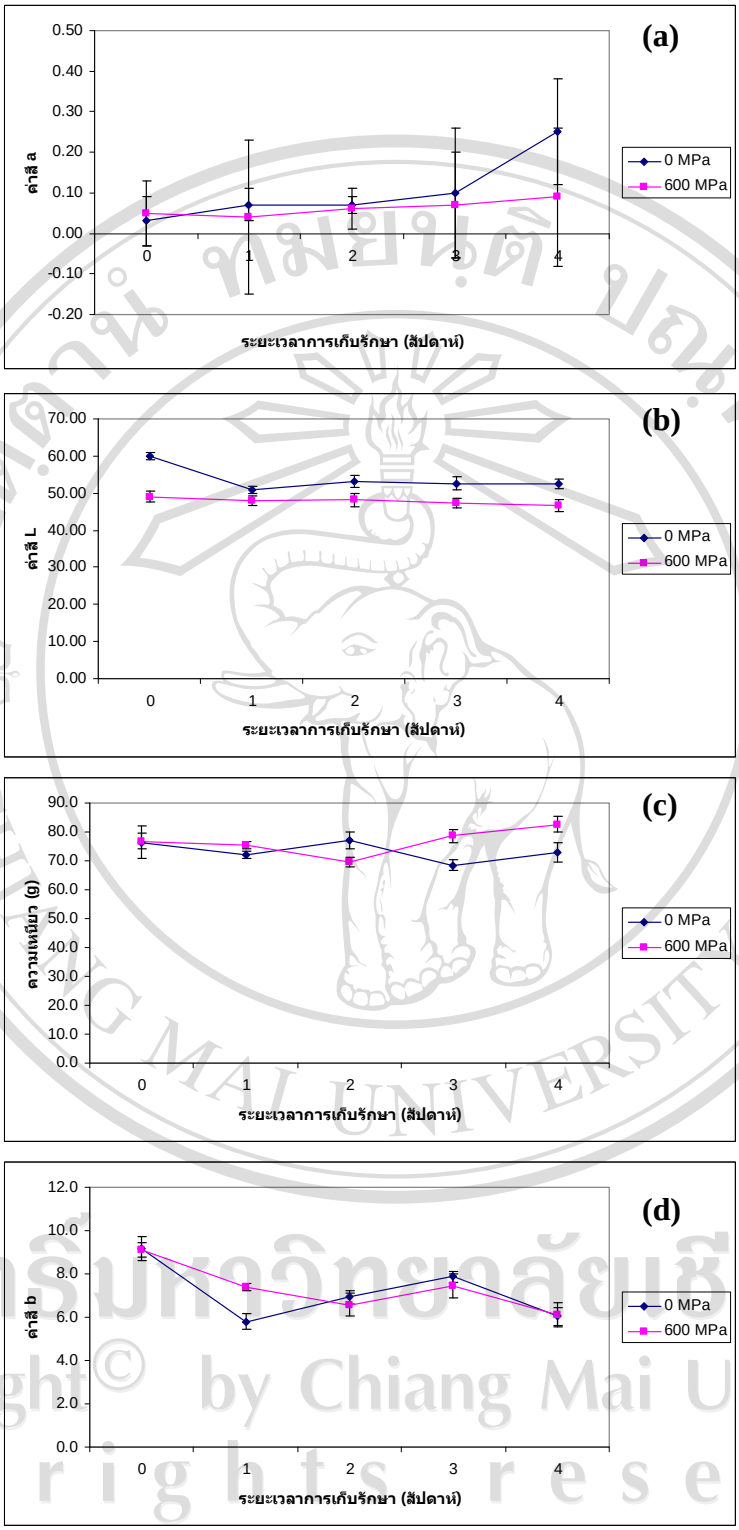
4.5.2 คุณภาพทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L a* b* ของกิมจิที่ผ่านความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.10 พบว่า ค่าสี L a* b* มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะการเก็บรักษา โดยค่าสี L (ความสว่าง) อยู่ในช่วง 46.73 – 49.01 ค่าสี a* (สีแดง – สีเขียว) อยู่ในช่วง 0.04 – 0.09 และค่าสี b* (สีน้ำเงิน – สีเหลือง) อยู่ในช่วง 6.11 – 9.44 แสดงว่ากิมจิมีสีออกแดงซึ่งเป็นสีของพริก

ส่วนกิมจิที่ไม่ผ่านความดันสูง (ชุดควบคุม ความดัน 0.1 เมกะปาสคาลส์) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าค่าสี L มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย จากสัปดาห์ที่ 0 มีค่า 69.94 ± 0.74 และในสัปดาห์ที่ 4 มีค่า 52.47 ± 1.24 และ b* มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสี a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ความเหนียวของก้านผักกาดขาวปลีของกิมจิที่ผ่านความดันมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่เก็บรักษา อาจเนื่องจากผักกาดขาวปลีผ่านการดองเกลือมาแล้ว จึงทำให้ผักมีความกรอบ คงที่ ซึ่งความดันไม่สามารถลดความเหนียวของผักได้ (Kim *et al*., 1987) ส่วนชุดของกิมจิที่ไม่ผ่านความดัน พบว่าค่าความเหนียวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเช่นกัน อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ทำให้ผักเปื่อย ยุ่ย ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

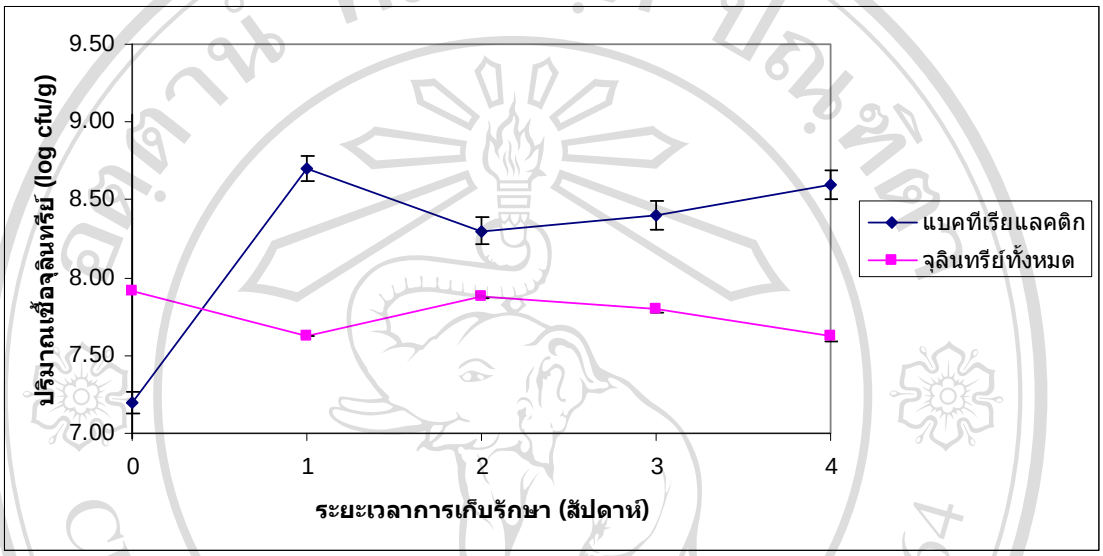


รูป 4.14 การเปลี่ยนแปลง (a) ค่าสี L , (b) ค่าสี a* , (c) ค่าสี b*และ(d) ค่าความเหนียวของกิมจิที่ผ่านความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.3 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา ของกิมจิที่ผ่านความดันสูง ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.5



รูป 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติก จุลินทรีย์ทั้งหมด ของกิมจิที่ไม่ผ่านความดันสูง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

จากรูป 4.15 และตาราง 4.5 แสดงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิที่ผ่านความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ และชุดควบคุมที่ไม่ผ่านความดัน (0.1 เมกะปาสคาลส์) เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาตรวจไม่พบเชื้อแบคทีเรียแลคติก ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, เชื้อยีสต์ รา *E.coli* และ *S. aureus* ส่วนกิมจิที่ไม่ผ่านความดัน (ชุดควบคุม) พบว่า ปริมาณแบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้นและมีปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์ทั้งหมด คือ จากสัปดาห์ที่ 0 มีปริมาณ เชื้อ 7.20 log cfu/g และในสัปดาห์ที่ 4 :มีปริมาณเชื้อ 8.60 log cfu/g ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงเล็กน้อย คือ ในสัปดาห์ที่ 0 มีปริมาณ 7.91 log cfu/g และในสัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณ 7.62 log cfu/g ส่วนเชื้อยีสต์ รา, *E. coli* และ *S. aureus* ตรวจไม่พบตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากในกระบวนการหมักกิมจิมีการเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นที่ช่วยเร่งให้สภาวะของกิมจิมีความเป็นกรดเร็วขึ้นซึ่งเหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียแลคติกอื่นๆ ที่มีอยู่ในกิมจิ และส่งผลให้แบคทีเรียชนิดอื่นไม่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่เป็นกรด จากข้อมูลค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกของกิมจิในช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นี้แสดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้เห็นว่ากระบวนการหมักที่เป็นผลมาจากการเจริญของแบคทีเรียแลคติกยังเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา ในตัวอย่างกิมจิจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นเชื้อแบคทีเรียแลคติก เมื่อนำมาตรวจวัดปริมาณโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA agar เทียบกับอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar ซึ่งเป็นอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อพวกแบคทีเรียแลคติกโดยเฉพาะพบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกในกิมจิหลังหมักที่นับได้ในอาหาร MRS agar มีปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์ที่วัดได้ในอาหาร PCA agar และยังมีปริมาณมากกว่าในกิมจิที่เก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 0 อีกด้วย เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียแลคติกจะเจริญเติบโตได้ดีในอาหาร MRS agar มากกว่าในอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA agar ดังนั้นในการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจึงมีปริมาณน้อยกว่าเชื้อแบคทีเรียแลคติก และ (Ennahar.*et al*,2002;YOKOI.*et al*,2006;) ได้รายงานว่าหากต้องการวัดปริมาณของแบคทีเรียแลคติกโดยใช้อาหาร PCA agar นี้ จำเป็นต้องเติมสาร.bromocersol purple and GYP หรือ brom cerzol purple ส่วนอาหาร MRS agar นั้นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้ อย่างแพร่หลาย ในการทำ plate count ของแบคทีเรียแลคติก (Choi *et al*.,2005 ; Song *et .al*,2004; Tolonen.*et.al*,2003)เนื่องจากเป็น selective medium ที่จำเพาะและสนับสนุนการเจริญของเชื้อแบคทีเรียแลคติก จึงทำให้

ผลิตภัณฑ์กิมจิที่หมักโดยเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น *Leuconostoc mensenteroides* และ เชื้อ *Lactobacillus plantarum* ปริมาณเชื้อละ 7.41 log cfu/g ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.35 หลังจากผ่านความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติก และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์, รา , *E. coli* และ *S. aureus* เมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลชีววิทยา ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักกาดดอง คือ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10^4 log cfu/g เชื้อยีสต์และรา ไม่เกิน 100 cfu/g, *E. coli* มีน้อยกว่า 3 MPN/g และไม่พบ *S. aureus* ในตัวอย่าง กิมจิ 0.1 กรัม ไม่มีฝ้าขาวหรือฟองอันเนื่องมาจากการหมัก ลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบพอควร ไม่นิ่มเละ ความเป็นกรดด่างต้องไม่เกิน 4.5 สรุปกิมจิที่ได้จากการหมักครั้งนี้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักกาดดอง

ส่วนกิมจิที่ไม่ผ่านความดัน (0.1 เมกะปาสคาลส์) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความเป็นกรดด่างมีค่าลดลง และปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากยังคงมีเชื้อแบคทีเรียแลคติกที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดอินทรีย์ได้ ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของกิมจิต่ำลง เช่น มีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้นและเนื้อสัมผัสนิ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 แสดงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของกิมจิที่ผ่านความดันสูง 600 เมกะปาสคาลส์ และชุดควบคุมที่ไม่ผ่านความดันสูง (0.1 เมกะปาสคาลส์) เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สัปดาห์	ปริมาณของจุลินทรีย์ (log cfu/g)	ความดัน (เมกะปาสคาลส์)	
		0.1	**600**
0	แบคทีเรียแลคติก	8.12±0.07	ND
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	7.91±1.14	ND
	ยีสต์และรา	ND	ND
	E. coli	ND	ND
	S. aureus	ND	ND
1	แบคทีเรียแลคติก	8.70±0.08	ND
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	7.63±0.01	ND
	ยีสต์และรา	ND	ND
	E. coli	ND	ND
	S. aureus	ND	ND
2	แบคทีเรียแลคติก	8.30±0.09	ND
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	7.88±0.01	ND
	ยีสต์และรา	ND	ND
	E. coli	ND	ND
	S. aureus	ND	ND
3	แบคทีเรียแลคติก	8.40±0.09	ND
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	7.80±0.02	ND
	ยีสต์และรา	ND	ND
	E. coli	ND	ND
	S. aureus	ND	ND
4	แบคทีเรียแลคติก	8.60±0.09	ND
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	7.62±0.03	ND
	ยีสต์และรา	ND	ND
	E. coli	ND	ND
	S. aureus	ND	ND

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved