บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

กิมจิเป็นผักดองของประเทศเกาหลี มาจากภาษาจีนที่เรียกว่า ชิมเช (Chimchae, Shimchae) แปลว่า ผักดอง มีหลักฐานการค้นพบตั้งแต่สมัยศตวรรษที่ 3 แรกทีเดียวกิมจิเป็นผักดองเค็มธรรมดา หลังจากที่ได้มีการนำเข้าผักจากต่างประเทศ ผักชนิดต่างๆ ก็ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำกิมจิเพิ่มขึ้น ดังมีการค้นพบหลักฐานการบันทึกกระบวนการทำกิมจิชนิดต่างๆ ในศตวรรษที่ 17 และในปี ค.ศ. 1759 - 1829 มีหลักฐานการบันทึกโดย Madam Lee ได้บรรยายการใช้พริกเป็นส่วนประกอบในการทำกิมจิใน *Kyhapchongseo* (Lee, 1986; Lee and Ahn, 1995) ชาวเกาหลีจะทำกิมจิเก็บไว้กินได้ทุกฤดูกาล แต่ในช่วงฤดูหนาวจะมีประเพณีที่เรียกว่ากิมเจียง (Kimjang) เป็นประเพณีการทำกิมจิแบบโบราณ ชาวบ้านจะหมักกิมจิในปริมาณที่มากกว่าปกติ สำหรับเก็บรักษาผักให้มีความสด กรอบ ไว้รับประทานตลอดฤดูหนาวในช่วงที่ผักขาดแคลน ทุกวันนี้ชาวเกาหลีกยังทำกิมจิรับประทานเองที่บ้าน ตำรับกิมจิแต่ละบ้านไม่เหมือนกัน ส่วนประกอบและอากาศในแต่ละท้องที่ส่งผลถึงรสชาติของกิมจิด้วย ชาวเกาหลีนิยมรับประทานกิมจิในอาหารแทบทุกชนิด ตั้งแต่ข้าวต้ม ข้าวสวย ซุป ข้าวผัด สตู บะหมี่ จนถึงพิซซ่าและเบอร์เกอร์ และในปัจจุบันในประเทศเกาหลีมีอุตสาหกรรมการผลิตกิมจิที่จำหน่ายภายในประเทศ และส่งออกไปยังประเทศอื่นเป็นจำนวนมาก (Lee *et al.*, 1998)

2.1 ผลิตภัณฑ์กิมจิ (Kimchi)

2.1.1 การแบ่งประเภทของกิมจิ

สามารถแบ่งกิมจิออกเป็นหลายกลุ่มหลายชนิด มีรายงานชนิดของกิมจิถึง 187 ชนิด (Park *et al.*, 1994) ขึ้นกับวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำกิมจิ และขั้นตอนการทำ วัตถุดิบและส่วนประกอบที่ใช้ทำกิมจิมีหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.1 กิมจิสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มแรกเป็นกิมจิที่หมัก โดยการผสมระหว่างผักซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ผ่านการดองเกลือแล้วกับส่วนผสมอื่นๆ เรียก ออดินารี กิมจิ (Ordinary kimchi) สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชนิดขึ้นกับวัตถุดิบหลักที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 กลุ่มที่สอง เป็นกิมจิที่หมักโดยการเติมน้ำหรือน้ำเกลือลงไปในส่วนผสมทั้งหมดเรียก มูล กิมจิ (Mool kimchi) สามารถแบ่งออกได้หลายชนิดขึ้นกับวัตถุดิบหลัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 กิมจิที่ชาวเกาหลีนิยมทำเป็นกิมจิที่ทำจากผักกาดขาวปลี หรือที่เรียก baechu cabbage kimchi รองลงมาคือกิมจิที่ทำจากหัวผักกาด หรือ kaktugi kimchi และ Dongchimi kimchi ชนิดที่ผลิตออกมาทางการค้ามากที่สุดคือ กิมจิที่ทำจากผักกาดขาวปลี มากกว่า 70% ส่วนอีกประมาณ 20% เป็นกิมจิที่ทำจากหัวผักกาด (Park and Cheigh, 1994; Cheigh and Park, 2004)

ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมกิมจิ

กลุ่ม	วัตถุดิบ
1. วัตถุดิบหลัก	ผักกาดขาวปลี หัวผักกาด แตงกวา ต้นหอม ผักกาดหอม ต้นกระเทียม ฯลฯ
2. วัตถุดิบรอง	พริกชี้ฟ้าแดง ต้นหอม กระเทียม ขิง มัสตาร์ด หอมหัวใหญ่ ชินามอน ฯลฯ
3. เครื่องปรุงรส	เกลือ น้ำปลา หรือ อาหารทะเลหมักอื่นๆ ซีอิ้วขาว ผงชูรส คอร์นไซรับ ฯลฯ
4. อื่นๆ	ผักชนิดต่างๆ เช่น แครอท ใบมัสตาร์ด พาร์สเล่ย์ เห็ด ฯลฯ ผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น ผลแพร์ แอปเปิ้ล เมลอน ลูกสน ฯลฯ ธัญพืช เช่น ข้าว บาร์เล่ย์ ข้าวสาลี ฯลฯ อาหารทะเลชนิดต่างๆ เนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ

ที่มา: Park and Cheigh, 2004

ตารางที่ 2.2 การแบ่งกลุ่มกิมจิและตัวอย่างในแต่ละกลุ่มที่เรียกแตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้

กลุ่ม	ชนิด	วัตถุดิบหลัก
1. ออดินารี กิมจิ (Ordinary kimchi)	Baechu kimchi	ผักกาดขาวปลีที่หั่นเป็นชิ้นๆ
	Tongbaechu kimchi	ผักกาดขาวปลีทั้งหัว หรือ ผ่าออกเป็น 4 ซีก
	Bassam kimchi (Ssam kimchi)	ผักกาดขาวปลีหั่นเป็นชิ้นห่อด้วยส่วนใบ
	Kaktugi kimchi	หัวผักกาดหั่นเป็นรูปลูกบาศก์
	Yeolmoo kimchi	หัวผักกาดทั้งหัว
	Yangbaechu kimchi	กระหล่ำปลี
	Oi sobaegi kimchi	แตงกวา
	Pa kimchi	ต้นหอม
2. มูล กิมจิ (Mool kimchi)	Baik kimchi	ผักกาดขาวปลีที่หั่นเป็นชิ้นๆ
	Dongchimi kimchi	หัวผักกาดทั้งหัว
	Nabak kimchi	ผักกาดขาวปลี และหัวผักกาด
	Yeolmoo kimchi	หัวผักกาด yŏlmu radish

ที่มา: Cheigh and Park, 1994

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตามมาตรฐาน CODEX กิมจิเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากผักกาดขาวปลี (Chinese cabbage, *Brassica pekinensis* Rupr.) ที่ผ่านการดองเกลือ ล้างด้วยน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำมาผสมกับส่วนผสมอื่น ได้แก่ พริกแดงป่น (red pepper, *Capsicum annuum* L.*)* กระเทียม ขิง หัวผักกาด ที่ผ่านการเตรียมโดยการหั่นหรือบด จากนั้นทำการหมักก่อนบรรจุลงในภาชนะที่เหมาะสมและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบวิธีการเตรียมผักกาดขาวปลีอาจทำได้หลายรูปแบบ คือ ใช้ผักกาดขาวปลีทั้งหัว หรือใช้ผักกาดขาวปลีทั้งหัวแบ่งออกเป็น 2 หรือ 4 ซีกตามความยาว หรือจะตัดให้เป็นชิ้นขนาดความกว้างยาวประมาณ 1 - 6 เซนติเมตร ก็ได้ สามารถเติมส่วนประกอบอื่นๆ ลงไปได้ ได้แก่ ผลไม้ ข้าว ถั่ว อาหารทะเลดองเค็ม น้ำตาล ผักชนิดอื่นๆ โดยต้องมีปริมาณเกลืออยู่ในช่วง 1 – 4 %w/w และมีปริมาณกรดแลคติกไม่เกิน 1.0 %w/w (CODEX STAN 223-2001)

2.1.2 กระบวนการทำกิมจิ

กิมจิที่ทำจากผักกาดขาวปลี เป็นส่วนประกอบหลัก จะมีวิธีเตรียมอยู่ 2 แบบ วิธีแรกใช้ผักกาดขาวปลีทั้งหัวแบ่งออกเป็น 2 ซีกตามความยาว เรียก tongbaechu kimchi ส่วนอีกวิธีเตรียมผักกาดขาวปลีโดยการหั่นผักกาดขาวปลีเป็นชิ้นๆ ขนาดความกว้างยาวประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร ก่อนนำไปดองเกลือเรียก baechu kimchi (chopped matbaechu kimchi) ในขั้นตอนการดองเกลือสามารถแช่ผักในน้ำเกลือหรือใช้เกลือป่นโรยไปบนผักก็ได้ ระยะเวลาในการแช่ผักขึ้นกับความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ ระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่ 1 - 15 ชั่วโมง ขึ้นกับความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5 – 18 % ที่อุณหภูมิ 8 - 25 องศาเซลเซียส จากนั้นต้องนำมาล้างเกลือออก สะเด็ดน้ำก่อนนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ หัวผักกาดหั่นฝอย พริกป่น ขิงบด กระเทียมบด ต้นหอมหั่นเป็นท่อน น้ำตาล เกลือ น้ำปลา โดยให้ความเข้มข้นของเกลือสุดท้ายอยู่ในช่วง 2.2 - 3.0% (Park and Cheigh, 2004) หรือ 3 - 5% (Lee, 1994) ส่วนผสมอื่นสามารถเติมไปเพื่อเพิ่มรสชาติเช่น watercress, mustard leave, pine nut, อาหารทะเล หรือเนื้อ จากนั้นทำการหมักในสภาวะไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 5 - 25 องศาเซลเซียส จนมีรสชาติที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจะมีค่าความเป็นกรดด่าง อยู่ระหว่าง 4.2 - 4.5 มีปริมาณกรดทั้งหมดประมาณ 0.4 - 0.8% (Park and Cheigh, 2004) หรือ หมักให้มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 4.0 – 4.5 ปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.5 - 0.6% (Shin, 1994) เปอร์เซ็นต์เกลือและอุณหภูมิมีผลต่อระยะเวลาการหมัก สำหรับการหมัก baechu kimchi ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์เกลือ 3.5% และ 5% จะใช้เวลาการหมัก 1 - 2 วัน และ 2 วันตามลำดับ ส่วนกรณีหมักที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์เกลือ 3.5% และ 5% จะใช้เวลาการหมัก 5 - 12 วัน และ 10 - 18 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตามลำดับ และถ้าความเข้มข้นของเกลือสูงเกินไปการหมักที่อุณหภูมิต่ำเชื้อแบคทีเรียแลคติกจะไม่สามารถเจริญได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลของความเข้มข้นของเกลือและอุณหภูมิในการหมัก ต่อเวลาที่ใช้ในการหมักกิมจิ (วัน)

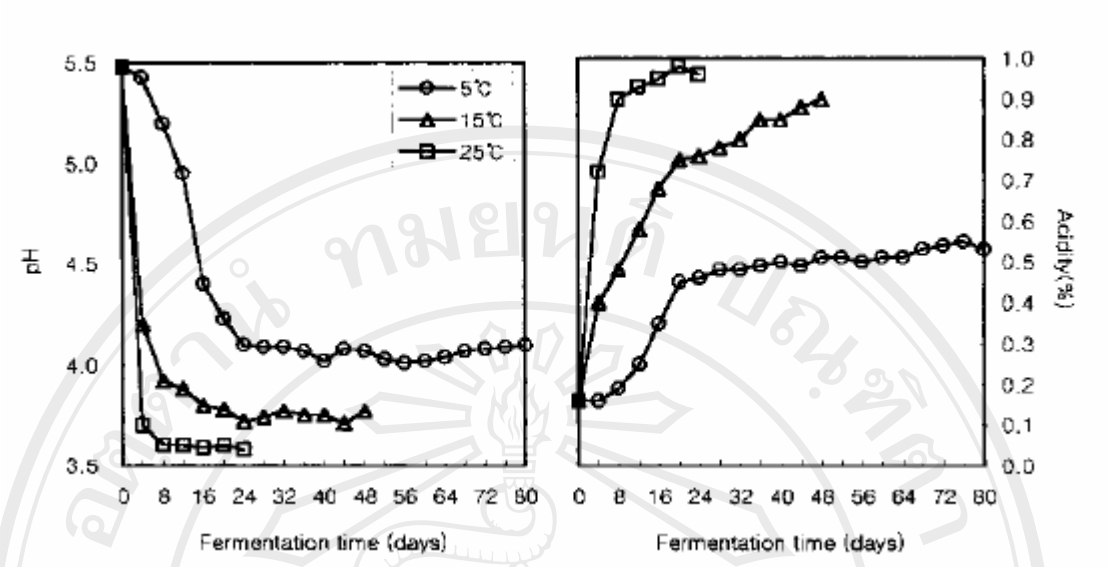
อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของเกลือ (%)			
	2.25	3.5	5.0	7.0
30	1-2	1-2	2	2
20	2-3	2-3	3-5	10-16
14	5-10	5-12	10-18	12-32
5	35-180	55-180	90-180	ไม่เกิดการหมัก

ที่มา: Mheen *et al*., 1984

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ในระหว่างการหมักและเก็บรักษากิมจิ

Shin *et al*. (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ในระหว่างการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 5, 15 และ 25 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นที่ 5.5 ปริมาณกรดแลคติกเริ่มต้นที่ 0.15 %w/w กิมจิหมักที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นกรดด่างลดลงอย่างรวดเร็ว มีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.2 และ 3.7 ในวันที่ 2 และวันที่ 4 ตามลำดับ กิมจิหมักที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นกรดด่างที่ 4.2 และ 3.7 ในวันที่ 4 และวันที่ 24 ตามลำดับ กิมจิหมักที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างจะค่อยๆ ลดลงจนมีค่า 4.1 ในวันที่ 24 และมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 4.1 ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ในวันที่ 8 ของการหมักที่ 25, 15 และ 5 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดแลคติกมีค่า 0.9%, 0.5% และ 0.2% ตามลำดับ กรณีหมักที่ 5 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดแลคติกจะเพิ่มขึ้นไปจนมีค่า 0.5% ในวันที่ 48 และคงที่ไปจนถึงวันที่ 80 จะเห็นว่าการหมักกิมจิที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยรักษาระดับค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ให้คงที่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้นานกว่าการหมักที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกอย่างรวดเร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ในระหว่างการหมักกิมจิที่อุณหภูมิต่างๆ
ที่มา: Shin *et al*., 1996

2.1.4 บทบาทของเกลือในการหมักกิมจิ

การแช่ผักกาดขาวปลีในน้ำเกลือ เป็นการลดปริมาณน้ำในผักโดยอาศัยหลักการของกระบวนการออสโมสิส รวมทั้งสารประกอบที่สามารถละลายกับน้ำ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ออกจากเนื้อเยื่อของผักและเพิ่มปริมาณเกลือในเนื้อเยื่อของผัก ทำให้ผักมีความกรอบ และเกลือสามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อเยื่อของผักอ่อนนุ่ม ทำให้ส่งผลต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ดี (Kim *et al*., 1987) อีกทั้งยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งหมดให้ลดลง 11 - 16 เท่า เชื้อยีสต์และราลดลง 29 - 87 เท่า แต่ปริมาณแบคทีเรียแลคติกเพิ่มปริมาณขึ้น 3 - 4 เท่า ในระหว่างการแช่ผักในน้ำเกลือ 10% เป็นเวลา 10 ชม. (Choe *et al*., 1991)

2.1.5 บทบาทของส่วนประกอบในการทำกิมจิ

ส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใช้ในการทำกิมจิ นอกเหนือจากผักกาดขาวปลี ได้แก่ หัวผักกาด แครอท ต้นหอม กระเทียม ขิง นอกจากจะช่วยเพิ่มกลิ่นรส เพิ่มสีสรรของกิมจิแล้ว ยังอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ หลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.4 อีกทั้งบางชนิดยังมีสารต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย เช่น กระเทียมมีสาร diallyl disulfide, diethyl sulfide, diallyl trisulfide และ allicin ซึ่งให้รสเผ็ดและมีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย (Michael *et al*., 2005) Cho *et al*. (1988) พบว่าการใช้กระเทียม 2% ในการหมักกิมจิที่ 21 องศาเซลเซียส ช่วยลดปริมาณเชื้อแอโรบิก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบคทีเรียได้ 50 – 1000 เท่า และจากการทดลองในหลอดทดลองพบว่าเชื้อแอโรบิกแบคทีเรียที่แยกได้จากกิมจิจำนวน 21 ชนิดได้แก่ *Bacillus* sp.11 สายพันธุ์ *Staphylococcus* sp.1 สายพันธุ์ *Micrococcus* sp. 1 สายพันธุ์ *Flavobacterium* sp. 1 สายพันธุ์ *Enterobacteriaceae* sp. 2 สายพันธุ์ และ *Vibrionaceae* sp. 4 สายพันธุ์ ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีกระเทียม 4.5% ที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Cho and Jhon, 1988) Kim *et al*. (1996) พบว่าสารสกัดจากกระเทียมสามารถยับยั้ง *E. coli* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy broth สำหรับขิงจัดเป็นพืชสมุนไพรที่ใช้เติมรสเผ็ดร้อนในอาหาร มีน้ำมันหอมระเหยที่ให้ทั้งกลิ่นรสและเป็นสารต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย ชื่อ จินเจอรอล (Gingerols) (Roller, 2003) และขิงประกอบด้วยสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรุนแรง สำหรับพริกสารรสเผ็ดในพริกชนิดต่างๆ พบได้ตั้งแต่ 0.5 - 0.9% ขึ้นอยู่กับ ชนิด พันธุ์ อายุ แหล่งปลูก และฤดูที่ปลูก ส่วนเผ็ดที่สุดจะอยู่ที่ไส้ผล สำหรับส่วนของเมล็ดจะมีความเผ็ดน้อยที่สุด สารเผ็ดร้อนในพริกเรียกแคบไซซิน (Capsaicin) นอกจากนั้นในผลสุกของพริกแดงจะประกอบด้วยรงควัตถุสีแดงได้แก่ แคบเซนทิน (Capsanthin), ซีแซนทิน (Zeaxanthin) และคริปโทแซนทิน (Cryptoxanthin) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มแซนโทฟิลล์ (Xanthophylls) และ Xanthophylls เป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) (Hutching, 1999) นอกจากนี้พริกยังมีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นแหล่งของวิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอื่นๆ ต้นหอมเป็นแหล่งของวิตามินเอและวิตามินซี แครอทมีรงควัตถุสีส้ม แอลฟาแค-โรทีน (α-Carotene) และบีต้าแคโรทีน (β-Carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอและเพิ่มสีสรรให้กิมจิด้วย (Magdougall, 2002) สำหรับผักกาดขาวปลีมีสีขาว รงควัตถุในผักกาดขาวปลีคือ แอนโทแซนทินหรือฟลาโวน (Anthoxanthin; flavones) เป็นรงควัตถุในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) รงควัตถุนี้มีได้ตั้งแต่ไม่มีสี สีขาว สีครีม และสีเหลือง รงควัตถุนี้ในสภาวะกรดจะมีสีขาวแต่ในสภาวะด่างจะมีสีเหลือง การเปลี่ยนแปลงสีของรงควัตุนี้จะไวต่อแร่ธาตุต่างๆ เช่นรงควัตถุนี้เมื่อรวมกับอะลูมิเนียมจะมีสีเหลือง รวมกับเหล็กจะมีสีน้ำตาล (Hutching, 1999) และจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oregon state university, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการในส่วนที่กินได้ 100 กรัม ของวัตถุดิบที่ใช้ทำกิมจิ

ชนิดของผัก	Moisture gm	Cal. Unit	Fat gm	CHO gm	Fiber gm	Protein gm	Ca mg	P mg	Fe mg	vitamins				
										A I.U.	B_1 mg	B_2 mg	Niacin mg	C mg
1. ผักกาดขาวปลี	95.6	13	0.1	1.5	0.4	1.6	45	52	1.1	58	0.03	0.03	-	37
2. พริกชี้ฟ้าแดง	81.9	56	0.8	9.1	3.8	3.2	12	85	1.1	21450	0.15	0.01	-	100
3. หัวผักกาด	92.6	26	0.2	5.6	1.0	1.0	32	34	1.4	Tr.	0.04	0.03	0.4	26
4. แครอท	85.1	55	0.4	12.4	0.9	1.3	60	28	1.7	18520	0.04	0.04	0.6	9
5. ต้นหอม	89.4	36	0.2	8.2	1.2	1.5	51	39	1.0	2000	0.05	0.05	0.4	32
6. กระเทียม	67.8	117	0.3	27.4	0.7	3.5	18	88	1.5	Tr.	0.24	0.05	0.4	10
7. ขิง	89.0	38	0.3	7.5	0.8	1.2	21	29	0.5	-	0.02	0.02	-	-

Cal. = Calorie แคลอรี่

CHO = Carbohydrate คาร์โบไฮเดรต

Tr. = Trace มีเล็กน้อย

- = ไม่มีรายงาน

ที่มา: กรมอนามัย, 2530

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักกิมจิ

2.2.1 เชื้อแบคทีเรียแลคติกที่มีบทบาทสำคัญในการหมักกิมจิ

การศึกษาเชื้อแบคทีเรียแลคติกที่มีบทบาทสำคัญในการหมักกิมจิ พบว่าเชื้อ *Leuconostoc* sp. และ *Lactobacillus* sp. มีบทบาทสำคัญในการหมักกิมจิ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 สายพันธุ์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ *Leuconostoc mesenteroides, Leuconostoc cremoris, Leuconostoc paremesenteroides, Leuconostoc dextranicum, Streptococcus raffinolactis*, *Lactobacillus sake, Lactobacillus fructosus, Lactobacillus leichimanni* (So, 1994) รวมทั้ง *Lactobacillus plantarum* ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำงานหลังจากที่กิมจิหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 4.6 - 4.9 (Lee *et al*., 1992) และในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคทางพันธุกรรมในการตรวจหาเชื้อพบสายพันธุ์เพิ่มเติมได้แก่ *Leuconostoc kimchii* (Kim *et al*., 2000) *Lactobacillus kimchii* (Yoon *et al*., 2000*) Weissella kimchii* (Choi *et al*., 2002) *Weissella koreensis* (Lee *et al*., 2002) *Lactobacillus inhae* (Kim *et al*., 2003) *Leuconostoc citerum* (Choi *et al*., 2003) Hutkins (2006) สรุปเชื้อที่มีความสำคัญในการหมักกิมจิได้แก่ *Leu. mesenteroides, Leu. kimchii, Leuconostoc gelidium, Lac. inhae Leu. citerum, Lac. plantarum, Lactobacillus brevis, Lactococcus lactis* และ *W. kimchii*.

2.2.2 การทำงานของเชื้อแบคทีเรียแลคติกในระหว่างการหมักกิมจิ

กิมจิเป็นอาหารที่เกิดจากการหมักของแบคทีเรียแลคติก (lactic acid bacteria) ทั้งกลุ่มเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (heterofermentative) และโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (homofermentative) เกิดผลิตภัณฑ์หลักเป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆเช่น กรดแลคติก (lactic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเอทธานอล (ethanol) กระบวนการหมักกิมจิ เริ่มด้วยแบคทีเรียสายพันธุ์ *Leu. mesenteroides* ซึ่งเป็น heterofermentative lactic acid bacteria ประเภท facultative anaerobe จะสร้างกรดแลคติก กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธานอล เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างต่ำลงไปที่ 4.6 - 4.9 เนื่องจากเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ ส่งผลทำให้ *Leu. mesenteroides* ถูกยับยั้ง และทำให้แบคทีเรียแลคติกสายพันธุ์ที่ทนกรดได้สูงกว่าทำงานได้แก่ *Pediococcus cerevisiae*, *Lac. brevis*, *Lac. fermentum* และ *Lac. plantarum* โดยเฉพาะ *Lac. plantarum* จะมีในปริมาณที่สูงสุด ปริมาณของยีสต์และราในการหมักระยะสุดท้ายจะส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผัก เนื่องจากยีสต์และราสามารถสร้างเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อเยื่อของผักอ่อนนุ่ม (tissue softening enzymes) รวมทั้งเอนไซม์โพลีกาแลค-ทูโรเนส (polygalacturonase) ซึ่งสามารถทำลายสารประกอบเพกทิน (pectin substances) และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื้อเยื่อโครงสร้างอื่นๆ ของผักกาดขาวปลีและหัวผักกาดได้ ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของกิมจิในระยะสุดท้ายลดลง รวมทั้งลักษณะทางประสาทสัมผัสของผักกาดขาวปลีที่อ่อนนุ่มไม่กรอบนั้นเกิดเนื่องจากการสร้างกรดที่มากเกินไปของแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ทนกรดได้ในระหว่างการเก็บรักษา (Lee *et al*., 1992; Cheigh and Park, 1994)

ตารางที่ 2.5 เชื้อแบคทีเรียแลคติกที่มีบทบาทสำคัญในการหมักกิมจิ ที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการหมักต่างๆ

อุณหภูมิที่ใช้หมักกิมจิ (°C)	เชื้อแบคทีเรียแลคติกที่มีบทบาทสำคัญในการหมักกิมจิ		
	ก่อนหมัก (before ripening)	หลังหมัก (after ripening)	References
20-30	*Leu. mesenteroides*	*Lac. plantarum, Lac. brevis*	Mheen *et al.*, 1984
14	*Leu. mesenteroides*	*Lac. plantarum*	
5	*Leu. mesenteroides*	*Lactobacillus* (low acid producer)	
25	*Leu. mesenteroides, Leu. cremoris, S. raffinolactis*	*Lac. plantarum, Lac. homohiochii*	Lim *et al.*, 1989 Park *et al.*, 1990
15	*Leu. mesenteroides, Lac. Sake, Lac. fructosus*	*Lac. plantarum, Lac. maltaromicus*	
5	*Leu. mesenteroides, Leu. paremesenteroides*	*Lac. maltaromicus, Lac. Sake*	
20	*Leu. mesenteroides, Lac. leichimanni, Lac. sake*	*Lac. plantarum, Lac. brevis*	Shim *et al.*, 1990
30	*Leuconostoc, Lactobacillus*	*Lactobacillus*	Lee *et al.*, 1992
20	*Leuconostoc, Lactobacillus*	*Lactobacillus*	
5	*Leuconostoc, Lactobacillus*	*Lactobacillus*	
30	*Leu. mesenteroides*		Lee *et al.*, 1993
5	*Leu. mesenteroides*		
5-7	*Leu. mesenteroides, Leu. dextranicum*	*Lac. bavaricus*	So, 1994

ที่มา: So, 1994

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3 แบคทีเรียแลคติก

แบคทีเรียแลคติกเป็นแบคทีเรียในกลุ่มแกรมบวกมีทั้งรูปร่างกลม และแท่ง ไม่สร้างสปอร์ (non spore forming) เจริญในที่ที่ไม่มีอากาศ (nonrespiring) (Axelsson, 1998) แต่บางชนิดสามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีอากาศ พบในอาหารหลายชนิด เช่น นม ผัก และผลไม้ แบคทีเรียแลคติก ขาดสารไซโตโครม (cytochromes) และฟอร์ไฟลิน (porphrin) จึงไม่ให้เอนไซม์คะทะเลส (catalase) และออกซิเดส (oxidase) แบคทีเรียกลุ่มนี้บางชนิดได้ออกซิเจนผ่านเอนไซม์ฟลาโวโปรตีนออกซิเดส (flavoprotein oxidase) และใช้ออกซิเจนนี้สร้างไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์ และหรือใช้เพื่อรีออกซิไดซ์ NADH ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการดีไฮโดรจิ-เนชัน (dehydrogenation) ของน้ำตาล (สุมณฑา, 2549)

แบคทีเรียแลคติกสร้างพลังงานจากการหมักคาร์โบไฮเดรต เกิดกรดแลคติกจากปฏิกิริยา 2 แบบ คือ (Axelsson, 1998; สุมณฑา, 2549)

- การหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (Homofermentative)

เป็นการหมักที่ได้แลคเตท (lactate) อย่างเดียวเป็นผลผลิตสำคัญ ผ่านกระบวนการไกลโคไล-ซีส (Emden-Meyerhof-Perbas glycolytic pathway) หรือ EMP pathway แบคทีเรียแลคติกทั้งหมดยกเว้น *Leuconostoc, Lactobacilli* กลุ่มเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ, *Onecocci, Weissella* เป็นโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ กระบวนการเริ่มจากฟรุกโตส-1-6-ไดฟอสเฟต (fructose-1,6-diphosphate, FDP) ถูกเปลี่ยนไปเป็นไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต (dihydroxyacetone phosphate, DHAP) และกลีเซอรัลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (glyceraldehydes-3-phosphate, GAP) โดย ฟรุกโตส-1-6-ไดฟอสเฟต อัลโดเลส (FDP aldolase) จากนั้น กลีเซอรัลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (และไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟตผ่านทาง กลีเซอรัลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต) ถูกเปลี่ยนไปเป็นไพรูเวท (pyruvate)โดยเกิด ATP ขึ้น 2 โมเลกุลจากการหมักกลูโคส 1 โมเลกุล จากนั้นเป็นการริดิวซ์ไพรู-เวทเป็นแลคเตท (lactate) ในขั้นตอนนี้ต้องใช้ NADH ได้ NAD^+ กลับคืนมาจากที่ถูกใช้ไปในการออกซิเดชันกลีเซอรัลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต

- การหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (Heterofermentative)

เป็นการหมักที่ได้แลคเตท (lactate) เอทธานอล (ethanol) หรืออะซิเตท (acetate) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากกลูโคส เนื่องจากแบคทีเรียขาดเอนไซม์อัลโดเลส จึงเปลี่ยนรูปจากกลูโคสที่มีคาร์บอน 6 อะตอมไปเป็นไรบูโลส-5-ฟอตเฟต(ribulose-5-phosphate) และเป็นไซลู-โลส-5-ฟอตเฟต(xylulose-5-phosphate) ซึ่งมีคาร์บอน 5 อะตอมโดยการจัดโครงสร้างภายใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมเลกุลที่มีการออกซิเดชันและดีคาร์บอกซิเลชันร่วมกัน น้ำตาลที่มี 5 อะตอมนี้จะถูกทำให้แตกออกเป็น กลีเซอรัลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (glyceraldehydes-3-phosphate, GAP) และอะเซทติล-ฟอสเฟต (Acetyl-phosphate)โดยเอนไซม์ฟอสโฟคีโตเลส (phosphoketolase) กลีเซอรัลดี-ไฮด์-3-ฟอสเฟต จะเปลี่ยนไปเป็นแลคเตท เช่นเดียวกับการเกิดไกลโคไลซีสในการหมักแบบโฮโม-เฟอร์เมนเททีฟ (แต่เนื่องจากการหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟมีกลีเซอรัลดีไฮด์ฟอสเฟตเพียง 1 โมเลกุลจึงเกิด ATP เพียง 1 โมเลกุล) ส่วนอะเซทติลฟอสเฟตในสภาวะที่ขาดตัวรับอิเล็กตรอน อะเซทติลฟอสเฟตจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้ถูกรีดิวซ์เป็นเอทธานอลและได้ NAD ขึ้นมาใหม่ 2 โมเลกุลจากเอนไซม์ NADH แต่ในสภาวะที่มีออกซิเจน NAD สามารถสร้างใหม่จากเอนไซม์ NADH oxidases และ peroxidases ปล่อยให้อะเซทติลฟอสเฟตมีมากพอสำหรับการเปลี่ยนไปเป็นอะซิเตท จึงเท่ากับเป็นการเติมฟอสเฟสให้กับซับสเตรตอีกทางหนึ่ง เป็นผลให้ได้ ATP เพิ่มขึ้นมาอีก 1 โมเลกุลเป็น 2 โมเลกุลจากกลูโคส 1 โมเลกุล เช่นเดียวกับการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ ในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของ ATP สะท้อนให้เห็นได้จากอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลเช่นเดียวกันนี้สามารถเกิดขึ้นกับตัวรับออกซิเจนอื่นๆ ด้วย เช่น ฟรุกโตส ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นแมนนิตอล การระบุว่าเกิดการหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเท-ทีปหรือไม่ อาศัยการชี้บ่งด้วยการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

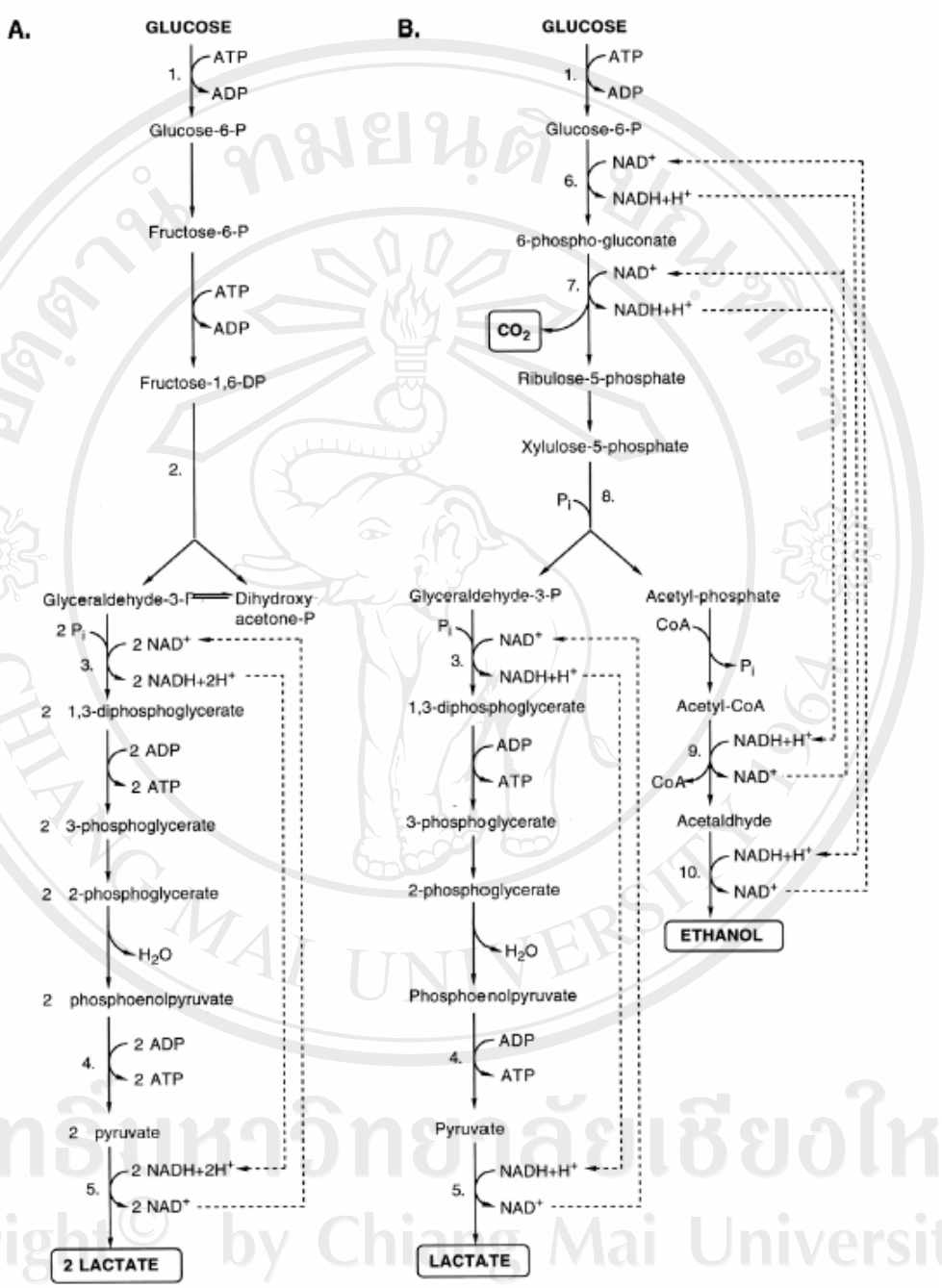
2.2.4 กิจกรรมของแบคทีเรียแลคติกในอาหาร (สุมณฑา, 2549)

• การเกิดกรดอินทรีย์และการลดลงของค่าความเป็นกรดด่าง การเจริญเติบโตของแบคทีเรียแลคติกจะให้กรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ เป็นสารเมตาบอไลท์ทุติยภูมิ เช่น กรดแลคติกและกรดอะซิติก ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของซับสเตรตต่ำลงจึงมีผลยับยั้งจุลินทรีย์

• การเกิดแบคทีริโอซิน (bacteriocin) แบคทีริโอซินเป็นสารประเภทเปปไทด์หรือโปรตีนที่สามารถฆ่าแบคทีเรียที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับแบคทีเรียที่ให้กรดแลคติกได้ เนื่องจากแบคทีริ-โอซิน เป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จึงมีความปลอดภัยมากกว่าสารเคมีสังเคราะห์ที่นำมาใช้เป็นยาปฏิชีวนะเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์

• การเกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) แบคทีเรียแลคติกสามารถสร้าง H_2O_2 เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวรับออกซิเจน เนื่องจากแบคทีเรียแลคติกมีเอนไซม์ฟลาโวโปรตีนออกซิเดส แต่ขาดเอนไซม์คะทะเลส แบคทีเรียแลคติกจะสร้าง H_2O_2 ในสภาวะที่มีออกซิเจนเท่านั้นและเนื่องจากที่แบคทีเรียแลคติกสามารถสร้าง H_2O_2 ได้จึงทำให้ทนต่อสารนี้ได้มากกว่าแบคทีเรียอื่นๆ อาหารหมักบางชนิดเกิด H_2O_2 สะสมน้อย เนื่องจากการหมักกรดแลคติกเกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เอื้อต่อการเกิด H_2O_2 ปริมาณ H_2O_2 เกิดขึ้นในการหมักกรดแลคติกขึ้นอยู่กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.2 การหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (A) และเฮทเทอร์โรเฟอร์เมนเททีฟ (B)

1.Glucokinase; 2. fructose-1,6-diphosphate aldolase; 3. glyceradehyde-3-phosphate dehydrogenase; 4. pyruvate kinase; 5. lactate dehydrogenase; 6. glucose-6-phosphate dehydrogenase; 7. 6-phosphogluconate dehydrogenase; 8. phosphoketolase; 9. acetaldehyde dehydrogenase; 10. alcohol dehydrogenase

ที่มา: Axelsson, 1998

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในซับสเตรตในตอนเริ่มต้นของการหมักเท่านั้น แต่ข้อจำกัดนี้กลับเป็นผลดี เพราะหลังจากการหมักดำเนินไปแล้ว จะไม่ เกิด H_2O_2 ขึ้นมาอีก การเกิด H_2O_2 มากเกินไปอาจจะไปยับยั้งแบคทีเรียแลคติกได้

• การเกิดเอทธานอล การหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟในสภาวะที่ไม่มีอากาศทำให้เกิดเอทธานอลขึ้น เอทธานอลเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ทำให้แบคทีเรียแลคติกได้เปรียบในการแข่งขันเหนือแบคทีเรียอื่นๆ ในการเจริญเติบโต

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ในระหว่างการหมักกิมจิ

เชื้อก่อโรคที่พบในวัตถุดิบ และส่วนผสมที่ใช้ในการหมักกิมจินั้นมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดและแหล่งที่มาของวัตถุดิบ ความเข้มข้นของเกลือ และมาตรฐานการผลิต เชื้อก่อโรคต่างๆ สามารถถูกกำจัดได้ในขั้นตอนของการทำกิมจิตั้งแต่ ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ การดองเกลือ และในระหว่างการหมักกิมจิจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม การลวกวัตถุดิบ และการใช้ก๊าซโอโซนในการล้างวัตถุดิบสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ (Kim *et al.*, 1993) Yung *et al*. (2005) ได้เก็บตัวอย่างกิมจิที่ขายในประเทศไต้หวันมาตรวจคุณภาพทางเคมี และทางจุลชีววิทยา โดยเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์กิมจิจากในซุปเปอร์มาเก็ต ที่ผลิตมาจากโรงงานอุตสาหกรรม บรรจุในถุงพาสติก หรือขวดแก้ว จำนวน 20 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างจากร้านขายปลีกในตลาดสดที่ผลิตมาจากครัวเรือนที่บรรจุในถุงพลาสติก จำนวน 17 ตัวอย่าง พบว่าค่าความเป็นกรดด่างกิมจิอยู่ระหว่าง 3.6 – 5.1 เปอร์เซ็นต์เกลืออยู่ระหว่าง 1.5 – 16.0% ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศทั้งหมดพบอยู่ในช่วง 1 - 7.2 log cfu/g กิมจิผลิตจากโรงงานอุตสหกรรมอาหารมีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียอยู่ในช่วงน้อยกว่า 3 – 600 MPN/g และ *E. coli* พบน้อยกว่า 3 MPN/g กิมจิที่ผลิตจากครัวเรือนมีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียน้อยกว่า 3 จนถึงมากกว่า 2400 MPN/g และ *E. coli* น้อยกว่า 3 - 20 MPN/g ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 ค่าความเป็นกรดด่าง เปอร์เซ็นต์เกลือ ปริมาณแอโรบิกแบคทีเรีย ปริมาณโคลิฟอร์ม และปริมาณ *E. coli* ที่พบในกิมจิ

แหล่งที่มาของกิมจิ	จำนวนตัวอย่าง	pH	ปริมาณเกลือ (%w/w)	APC (log cfu/g)	TC (MPN/g)	*E. coli* (MPN/g)
ซุปเปอร์มาเก็ต	20	3.6-5.1 (4.2±0.4)[a]	1.5-16.0 (5.5±3.8)	1-7.2 (5.9±4.7)	< 3 -600 (66.0±71.7)[b]	< 3
ร้านค้าในตลาดสด	17	3.8-5.1 (4.3±0.3)	2.0-14.5 (6.0±3.4)	4-8.03 (7.0±3.8)	<3->2400 (689±203)[c]	< 3-20

[a] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, [b] คำนวณโดยกำหนดให้ค่า < 3 MPN/g มีค่าเท่ากับ 0 MPN/g

[c] คำนวณโดยกำหนดให้ค่า >2400 MPN/g มีค่าเท่ากับ 2400 MPN/g

APC = aerobic plate count, TC = total coliform

ที่มา: Yung *et al.*, 2004

กิมจิที่หมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม จะมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อก่อโรค Ha (1994) ตรวจสอบเชื้อก่อโรคในระหว่างการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสพบว่าในวันที่ 2 หลังจากหมักกิมจิจนมีค่าความเป็นกรดด่าง 4.11 ตรวจไม่พบ *Clostridium perfringens* ในวันที่ 4 ของการหมักค่าความเป็นกรดด่าง 3.76 ตรวจไม่พบเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella typhimurium* และในวันที่ 5 หลังจากหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่าง 3.70 ตรวจไม่พบเชื้อ *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus* และ *Escherichia coli* ในขณะที่เชื้อแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 10^5 cfu/g ไปเป็น 10^8 cfu/g ดังแสดงในตารางที่ 2.7 Park (1998) ได้ทำการตรวจสอบเชื้อก่อโรคจากกิมจิที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ในระหว่างการหมักที่ 0 และ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 41 วัน พบว่าตรวจไม่พบเชื้อก่อโรค ได้แก่ *E. coli* *S. aureus* และ *V. parahaemolyticus* ถึงแม้ว่าในวันที่ 0 จะสามารถตรวจพบเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียในปริมาณ 2.0×10^3 cfu/g แต่ในวันที่ 13 ที่ 8 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อลดลงจนไม่สามารถตรวจพบได้ Kim *et al*. (2004) ตรวจพบเชื้อ enteric bacteria ในวันแรกของการหมักกิมจิในปริมาณ 10^4 cfu/g แต่ตรวจไม่พบหลังจากหมักจนมีปริมาณกรดทั้งหมด 1.2% ในวันที่ 10 ของการหมัก กิมจิที่หมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคได้ เนื่องจากความเป็นกรดที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก ปริมาณเกลือ การแข่งขันของเชื้อชนิดต่างๆในระหว่างการหมัก รวมทั้งสภาวะไร้อากาศซึ่งเกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นจากแบคทีเรียแลคติกในระหว่างการหมัก จะช่วยกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียแลคติก แต่ช่วยลดการเจริญของเชื้อชนิดอื่นที่ต้องการอากาศในการเจริญเช่น *Acromobacter, Flavobacterium และ Pseudomonas* sp. (Whang *et al*., 1960)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงเชื้อก่อโรคในระหว่างการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	pH	*Cl. perfringens*	*S. aureus*	*Salm. typhimurium*	*L .monocyto-genes*	*V. parahae-molyticus*	*E. coli*	Lactic acid bacteria
0	5.44	4.3×10^4	2.9×10^4	3.6×10^4	6.3×10^4	2.3×10^4	5.2×10^4	2.0×10^5
1	5.12	2.7×10^2	4.5×10^4	2.2×10^4	3.7×10^4	2.1×10^4	3.3×10^4	7.3×10^6
2	4.11	-	2.8×10^3	5.8×10^3	4.5×10^3	7.3×10^3	2.9×10^3	2.8×10^8
3	3.86	-	5.0×10	1.1×10^2	2.6×10^2	5.5×10^2	3.3×10^2	5.7×10^8
4	3.76	-	-	-	4.0×10	9.0×10	3.0×10	6.1×10^8
5	3.70	-	-	-	-	-	-	5.6×10^8
6	3.66	-	-	-	-	-	-	5.8×10^8
7	3.63	-	-	-	-	-	-	6.0×10^8

หมายเหตุ - ปริมาณเชื้อแสดงในหน่วย cfu/g , “ -” คือไม่สามารถตรวจพบเชื้อ

ที่มา: Ha, 1994

เชื้อแบคทีเรียแลคติกในกิมจิสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคได้ เช่น *P. cerevisiae* และ *Leuconostoc* sp. มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรค *E. coli, S. aureus และ B. cereus* (Park *et al*., 1983) *P. cerevisiae* ยับยั้งการเจริญของ *E. coli, Streptococcus faecalis และ Lactobacillus bulgaricus* (Park and Jo, 1986) จากการทดลองในหลอดทดลอง โดยใช้สารสกัดจาก *Lac. plantarum* Lp2 ที่แยกได้จากกิมจิ สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli, Pseudomonas aeruginosa* และ psychrotropic PC1 (Park and Song, 1991) Cho *et al.* (1994) รายงานว่า *Lac. brevis* สามารถสร้างแบคทีริโอซิน (มี molecular size 59 kDa) ให้ผลยับยั้งทั้งแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวก ได้ในช่วงความเป็นกรดด่างระหว่าง 4.0 - 9.0 Paik *et al*. (2000) แยก *Lac. lactis* BH5 จากกิมจิ และพบว่าสามารถสร้างแบคทีริโอซิน (มี molecular size 3.7 kDa) ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Micrococcus flavus* ATCC 10240 รวมทั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคและไม่ก่อโรคอีกหลายชนิด แบคทีริโอซินสามารถทำงานได้ในค่าความเป็นกรดด่างในช่วง 2.0 - 9.0 และสามารถทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้หลายชนิด

2.2.6 การหมักกิมจิโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น

กระบวนการหมักกิมจิสามารถหมักโดยใช้หรือไม่ใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น (starter culture) แต่การหมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น เป็นการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการหมักเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ (นิธิยา และ ไพโรจน์, 2547) ส่งผลให้ลดระยะเวลาการหมักลงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าการหมักโดยไม่ใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น Lee and Kim (1988) ศึกษาการใช้เชื้อ *Lac. plantarum*, *Lac. brevis* และ *P. cerevisiae* ที่แยกได้จากกิมจิเป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักกิมจิ สามารถลดระยะเวลาการหมักลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น โดยใช้เวลาการหมักเพียง 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส รวมทั้งคะแนนคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส และการยอมรับโดยรวมสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เติมเชื้อบริสุทธิ์ So *et al.* (1996) พบว่าการใช้เชื้อ *Leu. mesenteroides* เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักใช้เวลาการหมักเพียง 4 - 6 วัน ส่วนกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ใช้เชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นใช้เวลาการหมักถึง 10 วัน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส และพบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียแกรมลบและโคลิฟอร์ม ในช่วงแรกของการหมักลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่กลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้น ค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงแรกของการหมักและลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายของการหมัก อีกทั้งการเติมเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นไม่ทำให้ความเป็นกรดเพิ่มมากเกินไป

2.2.7 เชื้อจุลินทรีย์ที่จะใช้เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักควรมีคุณสมบัติดังนี้

อยู่ในสภาพที่แข็งแรงและว่องไว เพื่อให้มีระยะการปรับตัว (lag phase) ของกระบวนการหมักสั้นที่สุด มีปริมาณมากพอที่จะใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นสำหรับการหมักในปริมาณที่ต้องการได้ ปราศจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ต้องการและคงความสามารถในการสร้างผลผลิตที่ต้องการได้ดี (สมใจ, 2544)

2.3 การปรับปรุงคุณภาพกิมจิ

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพกิมจิมีหลายวิธี มีทั้งการศึกษาวิธีการยืดระยะเวลาการหมักให้นานขึ้น เช่น การใช้สารต่อต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ ที่มาจากธรรมชาติเช่น การใช้ชาเขียว (Park *et al.*, 1994; Choi and Park, 2000) การใช้ไคโตซาน (Son *et al.*, 1996) การใช้เกลือในระดับที่สูง (Park and Kim, 1991) และการยับยั้งกระบวนการหมักหลังจากหมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -5 องศาเซลเซียส (Lee *et al.*, 1970) การใช้การฉายรังสี (Songa *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2004) การใช้ความดันสูง และการใช้กระบวนการความร้อนในระดับต่างๆ

Lee *et al.* (1970) ศึกษาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติกของกิมจิเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -5 และ 0 องศาเซลเซียส สามารถรักษาระดับปริมาณกรดแลคติกไว้ที่ 0.57 - 0.60% ได้เป็นเวลา 3 เดือน กรณีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถรักษาระดับปริมาณกรดแลคติกที่ 0.61% ได้ประมาณ 20 วัน ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติก (%w/w)ในระหว่างเก็บรักษากิมจิที่อุณหภูมิต่ำ

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-5	0.57	0.58	0.59	0.58	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60	0.62
0	0.58	0.61	0.60	0.61	0.59	0.60	0.59	0.60	0.61	0.62
4	0.61	0.61	0.64	0.68	0.68	0.70	0.69	0.70	0.72	0.72

ที่มา: Lee *et al*., 1970

มีการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิในการหมักและเก็บรักษาเป็น 2 ระดับอุณหภูมิ เช่นการหมักที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือ หมักที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ 0.5% หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (Lee *et al.,* 1993) ในปัจจุบันจึงมีการออกแบบตู้เย็นที่สามารถตั้งโปรแกรมอุณหภูมิสำหรับหมักและเก็บรักษากิมจิโดยเฉพาะ (Park and Cheigh, 2004)

การให้ความร้อนโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์ เป็นอีกวิธีหนึ่งในการทำลาย vegetative cell ของแบคทีเรียและสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Kim and Hwan (1984) ศึกษาการพาสเจอร์-ไรส์กิมจิที่ทำจากหัวผักกาด (Chinese radish kimchi) ในระดับ pilot scale พบว่าค่า D- values ของเชื้อจุลินทรีย์ในกิมจิมีค่า 2.21, 1.62, 0.73, 0.39 และ 0.21 นาที ที่อุณหภูมิ 60, 64, 70, 75 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ Z-value มีค่าเท่ากับ 19 องศาเซลเซียส พบว่าสัดส่วนการตายของเชื้อจุลินทรีย์ในส่วนของการ preheating ต่อการตายทั้งหมดเท่ากับ 0.3 สัดส่วนการตายของเชื้อจุลินทรีย์ในส่วนของการ holding, precooling และ cooling ต่อการตายทั้งหมดเท่ากับ 0.7 Jong *et al.* (2004) ศึกษาการพาสเจอร์ไรส์กิมจิที่มีกรดแลคติกในระดับต่างๆ คือ 0.3% 0.5% และ 0.8% พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกิมจิที่มีปริมาณกรดทั้งหมด 0.3%, 0.5% และ 0.8% จากปริมาณเริ่มต้นที่ 6.1×10^6, 2.7×10^8 และ1.2×10^9 cfu/g ตามลำดับ ลดลงหลังจากพาสเจอร์ไรส์เป็นจำนวน 2 log, 3 log และ 4 log ตามลำดับ ปริมาณแบคทีเรียแลคติกของกิมจิที่มีปริมาณกรดแลคติก 0.3%, 0.5% และ 0.8% มีปริมาณเริ่มต้นก่อนการพาสเจอร์ไรส์เท่ากับ 7.5×10^5, 7.6×10^7 และ 8.0×10^8 cfu/g ตามลำดับ หลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์ไม่สามารถตรวจพบเชื้อแบคทีเรียแลคติกได้ ปริมาณยีสต์และราในกิมหลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์ไม่สามารถตรวจพบได้ ค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติกของกิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ว่ากิมจิที่มีเปอร์เซ็นต์กรด 0.5% ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีคะแนนสูงสุด Kim *et al*. (2004) รายงานว่าการยืดอายุการเก็บรักษากิมจิโดยการใช้ความร้อน สามารถยืดอายุการเก็บรักษากิมจิและยังคงรักษาความกรอบของกิมจิโดยไม่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย Hong *et al.* (2006) ทำการพาสเจอร์ไรส์กิมจิโดยบรรจุในกระป๋องที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12.7 นาที พบว่ากิมจิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีลักษณะเนื้อสัมผัส และสีที่ดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ แต่ความร้อนทำให้ปริมาณของแคโรทีนอยด์ วิตามินซี และกลิ่นรส ลดลง

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการหมักกิมจิ

2.4.1 สารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นรส (Flavor Compounds) ในกิมจิ

• กรดอินทรีย์ (Organic acid) กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักกิมจิเป็นสารหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในกิมจิ ดังแสดงปริมาณของกรดอินทรีย์ในกิมจิชนิดต่างๆ ในตารางที่ 2.9 พบว่ากรดแลคติก (lactic acid) มีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการหมัก ส่วนกรดอินทรีย์ที่ไม่สามารถระเหยได้ชนิดอื่นมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการหมักซึ่งได้แก่ กรดซัคซินิก (succinic acid) กรดฟูมาริก (fumaric acid) และกรดมาลิก (malic acid) สำหรับกรดอะซิติก (acetic acid) เป็นกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ที่เกิดขึ้นเป็นหลักในระหว่างการหมักกิมจิ กรดอะซิติกในกิมจิที่เติมพริกและกระเทียมจะมีปริมาณสูงกว่ากิมจิที่ไม่ได้เติมพริกและกระเทียม แสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบที่เติมในกิมจิช่วยกระตุ้นการสร้างกรดอะซิติก ส่วนกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ชนิดอื่นๆ ได้แก่ กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดโพพิโอนิก (Propionic acid) กรดบิวไทริก (butyric acid) กรดวาลิลิก (Valeric acid) กรดคาโพรอิก(caproic acid) กรดเฮบทาโนอิก (heptanoic acid) มีในปริมาณที่น้อยมาก (Ryu *et al*., 1984)

• สารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ (Volatile Flavor Component) พบสารให้กลิ่นที่แตกต่างกัน จำนวน 40 ชนิดในกิมจิโดยใช้การตรวจวัดแบบ dynamic headspace concentration สารให้กลิ่นหลักคือ เอธานอล (Ethanol) เมธิลอัลลิลซัลไฟด์ (Methy allyl sulfide) กรดอะซิติก (acetic acid) ไดเมทธิลไดซัลไฟด์ (dimethy disulfide) แคมฟีน (camphene) 1-เพลแลนดรีน (1-phellandrene) ไดอัลลิล ไดซัลไฟด์ (diallyl disulfide) เมทธิลอัลลิลไตรซัลไฟด์ (methyl allyl trisulfide) อัลฟาซิจิบิรีน (α-zingibirene) และอื่นๆ ซึ่งสารเหล่านี้จะมีค่าสูงในระหว่างที่กิมจิเริ่มจะหมักได้ที่ และจะค่อยๆ ลดลงในเวลาต่อมา (Hur, 1994) สารประกอบซัลเฟอร์มีบทบาทสำคัญต่อกลิ่นรสของกิมจิเนื่องจากมีค่า threshold values ที่ต่ำและคุณลักษณะของกลิ่นที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แรง (Hawer, 1994) แหล่งของสารประกอบซัลเฟอร์ในกิมจิมาจากผักกาดขาวปลี หัวผักกาด พริก กระเทียม (Yu *et al*., 1993) ขิง และต้นหอม (Block *et al*., 1992)

• กรดอะมิโน จากตารางที่ 2.10 แสดงกรดอะมิโนอิสระที่พบในกิมจิที่หมักโดยการเติมหรือไม่เติมน้ำปลา (fermented anchovy) หมักที่อุณหภูมิ 20 - 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 44 ถึง 47 ชั่วโมง พบว่า กรดกลูตามิค (glutamic acid) อาร์จินีน (arginine) ไลซีน (lysine) กรดแอสปาร์ติค (aspartic acid) และอาร์จินีน (arginine) เป็นกรดอะมิโนที่พบในกิมจิ ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด (total amino acid) ที่พบในกิมจิที่เติมน้ำปลาจะมีปริมาณสูงกว่ากิมจิที่ไม่เติมน้ำปลา (Cho and Rhee, 1979) กรดอะมิโนบางตัวเป็นตัวเพิ่มรสชาติที่ดีให้แก่กิมจิ เช่น กรดกลูตามิก ดังนั้น การผลิตในอุตสาหกรรมนิยมเติมน้ำปลาในกิมจิก่อนการหมัก เพื่อช่วยเพิ่มรสชาติของกิมจิให้ดีขึ้น (Park *et al.,* 1994)

ตารางที่ 2.9 ปริมาณของกรดอินทรีย์ (meq/100g) ในกิมจิที่หมักที่อุณหภูมิ 12 - 16 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	กิมจิ A			กิมจิ B			กิมจิ C		
	1	4	7	1	4	7	1	4	7
Nonvolatile organic acids									
Lactic acid	0.07	0.14	0.33	0.08	0.62	0.99	0.19	0.83	1.64
Succinic acid	0.70	0.35	0.29	0.30	0.87	0.82	0.08	0.83	0.69
Fumaric acid	0.48	T	T	T	T	T	0.04	T	T
Malic acid	3.25	1.24	T	3.65	0.27	0.61	1.04	0.09	T
Volatile organic acids									
Formic acid	ND	T	ND	ND	ND	ND	ND	T	ND
Acetic acid	0.27	0.64	1.84	T	2.53	7.09	0.27	0.81	4.82
Propionic acid	0.16	0.23	0.54	1.62	1.43	0.23	1.51	1.50	1.62
Butyric acid + Valeric acid	0.51	0.76	0.82	0.38	0.54	0.41	0.44	0.76	0.68
Caproic acid	0.03	0.11	0.11	0.04	0.06	0.05	0.07	0.07	0.08
Heptanoic acid	0.04	0.11	0.11	0.03	0.04	0.05	0.05	0.26	0.08

กิมจิ A: ผักกาดขาวปลี (100%), กิมจิ B: ผักกาดขาวปลี (100%) + กระเทียม (4%),
กิมจิ C: ผักกาดขาวปลี (100%) + พริกแดง 4(%), T :พบเล็กน้อย , ND : ตรวจวิเคราะห์ไม่พบ
ที่มา: Ryu *et al*., 1984

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.10 กรดอะมิโนอิสระที่พบในกิมจิที่หมักโดยการเติมหรือไม่เติมน้ำปลา (fermented anchovy) หมักที่อุณหภูมิ 20 - 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 44 ถึง 47 ชั่วโมง

กรดอะมิโน	กิมจิที่ไม่เติมน้ำปลา [a]	กิมจิที่เติมน้ำปลา	
		10 มิลลิลิตร [b]	15 มิลลิลิตร [c]
Lysine	0.21 (7.5)[d]	1.10 (14.5)	1.32 (12.0)
Histidine	0.07 (2.4)	0.01 (0.2)	0.11 (1.0)
Arginine	0.29 (10.3)	0.40 (5.3)	0.60 (5.5)
Tryptophan	0.22 (7.7)	0.12 (1.5)	0.27 (2.5)
Aspatic acid	0.17 (5.8)	0.78 (10.4)	1.20 (10.9)
Threonine	0.40 (14.0)	0.65 (8.6)	0.69 (6.3)
Serine	-	0.46 (6.1)	0.58 (5.3)
Glutamic acid	0.27 (9.7)	0.94 (12.5)	1.50 (13.7)
Proline	0.11 (3.8)	0.24 (3.2)	0.35 (3.2)
Glycine	0.07 (2.5)	0.22 (2.9)	0.34 (3.1)
Alanine	0.52 (18.4)	0.86 (11.4)	1.22 (11.2)
Valine	0.15 (5.2)	0.49 (6.5)	0.78 (7.2)
Methionine	0.02 (0.5)	0.16 (2.2)	0.26 (2.3)
Isoleucine	0.10 (3.4)	0.30 (4.0)	0.47 (4.3)
Leucine	0.10 (3.7)	0.49 (6.5)	0.76 (6.9)
Tyrosine	0.08 (2.7)	0.12 (1.6)	0.17 (1.6)
Phenylalanine	0.07 (2.5)	0.22 (2.9)	0.32 (2.9)
Total	2.83 (100)	7.57 (100)	10.94 (100)

a ใส่เกลือ15% ปริมาณ10 มิลลิลิตร, **c** ใส่น้ำปลา 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นของเกลือ 24%)

c ใส่น้ำปลา 15 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นของเกลือ 24%), **d** เปอร์เซ็นต์ต่อกรดอะมิโนทั้งหมด

ส่วนประกอบของกิมจิ: สัดส่วนผักกาดขาวปลี: ลีค: กระเทียม : ขิง: พริกแดง: น้ำตาล = 100: 4: 2: 1: 2: 1

ที่มา: Cho and Rhee, 1979

2.4.2 คุณค่าทางโภชนาการของกิมจิ

กิมจิเป็นอาหารที่มีแคลอรี่ต่ำ แต่อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ ใยอาหาร กรดอินทรีย์และแบคทีเรียแลคติกสูง ส่วนโปรตีนไขมันนั้นขึ้นกับปริมาณส่วนประกอบอื่นๆ ที่เติมลงไปเพิ่มเติม เช่น เนื้อชนิดต่าง ๆ หรืออาหารทะเล สำหรับวิตามินซีและแคโรทีน มาจากผัก ส่วนวิตามินบีมาจากการใส่น้ำปลาลงไป (Lee *et al.,* 1960) มีวิตามินบางชนิดถูกสร้างขึ้นในระหว่างการหมัก ดังแสดงในตารางที่ 2.11 แสดงปริมาณวิตามินที่มีในกิมจิ ในระหว่างการหมักกิมจิที่ 3-7 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณวิตามินบีหนึ่ง บีสอง บีสิบสอง และไนอะซิน เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมักและมีระดับสูงสุดเมื่อหมักได้ที่แล้ว คือประมาณ 2 - 3 สัปดาห์ โดยวิตามินบีหนึ่งเพิ่มขึ้น ส่วนวิตามินซีลดลงในช่วงแรกของการหมัก และกลับเพิ่มขึ้นอีกหลังหมักจนได้ที่ (Lee *et al.,* 1960) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cheigh (1994) พบว่าปริมาณวิตามินซีขณะหมักเท่ากับ 15 mg/l

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่เพิ่มขึ้นเป็น17 mg/l หลังจากที่ค่าต่ำลงเล็กน้อย ใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber, DF) ในกิมจิมีประมาณ 24% ของน้ำหนักแห้ง มีใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber, SDF) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber, IDF มี 7.8 และ 16.2% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Park, 1996)

ตารางที่ 2.12 แสดงสารอาหารในกิมจิ 3 ชนิดคือ Baechu kimchi kaktugi kimchi และ Dongchimi kimchi พบว่าในกิมจิ 100 กรัม มีพลังงานทั้งหมดใน Baechu kimchi และ kaktugi kimchi เพียง 18 และ 11 kcal ตามลำดับ ส่วน Dongchimi kimchi เป็นแหล่งของแคลเซียมคือมี 37 - 47 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 40 - 58 มิลลิกรัม โปตัสเซียม 300 - 400 มิลลิกรัม ต่อกิมจิ 100 กรัม baechu kimchi และ kaktugi kimchi 100 กรัม มีวิตามินบีหนึ่ง 0.06 และ 0.14 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.06 และ 0.05 มิลลิกรัม ไนอะซิน 0.8 และ 0.5 มิลลิกรัม วิตามินซี 14 และ 19 มิลลิกรัม ตามลำดับ (Rural Development Administration; Korea, 1996) ในกิมจิยังพบไฟโตเคมิคอล (Phytochemicals) บางชนิด เช่น เบนซิลไอโซไทโอไซยาเนท (benzylisothiouganate) สารประกอบอินดอล (indole compounds) ไธโอไซยาเนต (thiocyanate) และซิโทสเตอรอล (Sitosterol) ซึ่งเป็นสารต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์และต่อต้านการเกิดมะเร็ง

ตารางที่ 2.11 ปริมาณวิตามินในกิมจิที่หมักที่อุณหภูมิ 3 - 7 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาการหมัก (week)	Carotene (μg%)	Vitamin B_1 (μg%)	Vitamin B_2 (μg%)	Vitamin B_{12} (μg%)	Niacin (μg%)	Vitamin C (μg%)
0	49.5[a]	41.7	66	0.17	740	28.9
1	44.0 (35.4)[b]	41.6 (40.1)	47 (54)	0.009 (0.19)	781 (747)	25.0 (25.3)
2	32.0 (30.4)	70.9 (61.9)	110 (99)	0.19 (0.20)	928 (861)	27.8 (28.5)
3	26.6 (26.9)	79.1 (87.5)	230 (157)	0.25 (0.33)	901 (792)	23.6 (22.3)
4	21.0 (25.3)	62.7 (70.8)	35 (95)	0.20 (0.26)	591 (525)	16.7 (16.0)
5	24.2 (20.1)	53.5 (49.1)	40 (37)	0.10 (0.16)	-	11.6 (11.0)

[a] baechu kimchi ที่หมักโดยวิธีธรรมชาติ

[b] ปริมาณเฉลี่ยของกิมจิ 4 ชนิดได้แก่กิมจิที่หมักตามธรรมชาติและกิมจิที่หมักโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด

ที่มา : Lee *et al*., 1960

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.12 คุณค่าทางโภชนาการต่อปริมาณกิมจิชนิดต่างๆ 100 กรัม

ส่วนประกอบ	Baechu kimchi	Kaktugi kimchi	Dongchimi kimchi
Energy, kcal	18	33	11
Moisture, %	90.8	88.4	94.2
Protein, g	2.0	1.6	0.7
Fat, g	0.5	0.3	0.1
Nonfibrous carbohydrate, g	2.6	6.7	2.5
Fiber, g	1.3	0.7	0.5
Ash, g	2.8	2.3	2.0
Calcium, mg	47	37	18
Phosphorus, mg	58	40	17
Iron, mg	0.8	0.4	0.2
Potassium, mg	300	400	120
Vitamin A, RE	48	38	15
β-carotene, μg	290	226	88
Vitamin B_1, mg	0.06	0.14	0.02
Vitamin B_2, mg	0.06	0.05	0.02
Niacin, mg	0.8	0.5	0.2
Vitamin C, mg	14	19	9

ที่มา: Rural Development Administration; Korea, 1996

2.4.3 คุณประโยชน์ของกิมจิ

• กิมจิช่วยเพิ่มความอยากอาหาร เนื่องมาจากรสชาติ สีสรร และลักษณะเนื้อสัมผัสของผักที่มีความกรอบ รสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ที่เกิดจากการหมักของแบคทีเรียแลคติก และเครื่องปรุงรสต่างๆ (Park and Cheigh, 2004)

•. กิมจิสามารถควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากเป็นอาหารที่มีแคลอรี่ต่ำ (Rural Development Administration; Korea, 1996) และเนื่องมาจากสารแคปไซซิน (capsaicin) ในพริกที่กระตุ้นระบบประสาทให้หลั่งสารแคทิโคลามีน (catecholamine) ในต่อมหมวกไต (adrenal gland) ช่วยเพิ่มกระบวนการเมตตาโบลิซึ่มในร่างกาย (Kim, 1998) และจากการทดลองในหนูทดลองพบว่าหนูที่ได้รับอาหารที่มีไขมันสูงพร้อมกับกิมจิ มีน้ำหนักตัวในสัปดาห์ที่ 4 ต่ำกว่าหนูที่ได้รับอาหารที่มีไขมันสูงเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Choi, 2001)

• ป้องกันท้องผูกและมะเร็งลำไส้ เนื่องจากในกิมจิมีกรดอินทรีย์ แบคทีเรียแลคติกและใย-อาหารสูง ใยอาหารยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดความดันโลหิตสูง เบาหวาน ท้องผูก และมะเร็ง (Park *et al.,* 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

• เป็นแหล่งของโพรไบโอติก การรับประทานกิมจิจะช่วยลด *E. coli* แต่เพิ่ม แบคทีเรียแลคติกโดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Lactobacilli* และ *Leuconostoc* ในลำไส้ (Park and Cheigh, 2000)

• ลดโคเลสเตอรอลในเลือดและเพิ่มการสลายตัวของไฟบริน (fibrinolytic activity) ซึ่งมีผลทำให้ลดการเกิดการอุดตันในหลอดเลือด (antiatherosclerosis activity) (Song and Song, 1999)

• ต้านการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidative effect) เนื่องจากวิตามินซี เบต้าแคโรทีน สารประกอบฟีโนลิกที่พบในกิมจิ (Ryu *et al*., 1997)

• ต้านการเกิดมะเร็ง (Anticancer effect) ต้านการเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรม (Antimutagenic effect) ต้านการเกิดเนื้องอก (antitumor effect) และเพิ่มภูมิคุ้มกัน เนื่องจากในกิมจิมีสารเบต้าซิโตสเตอรอล (β-sitosterol) กลูโคซิโนเลท (glucosinolates) ไอโซ-ไทโอไซยาเนท (isothiocyanates) อินดอล (indoles) สารประกอบอัลลิล (allyl compounds) (Oh *et al*., 1993; Park, 1995) และส่วนประกอบในผนังเซลล์ของแบคทีเรียแลคติก (cell wall components of lactic acid bacteria) หลายชนิด สามารถช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันและป้องกันมะเร็งได้ (Park and Cheigh, 2000)

• มีรายงานการทดลองของนักวิจัยในมหาวิทยาลัยในประเทศเกาหลี The Seoul National University ว่ากิมจิสามารถรักษาไก่หรือสัตว์ปีกที่ติดโรคไข้หวัดนก (Avian bird flu) โรคไวรัสในนกเป็ดไก่ที่ทำให้ไม่สามารถออกไข่และเป็นอัมพาต (Newcastle's disease) และหลอดลมอักเสบ (bronchitis)ได้ โดยทำการทดลองให้อาหารที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อ *Leuconostoc Kimchii* (a culture fluid of *Leuconostoc Kimchii*) แก่ไก่ที่ติดเชื้อไวรัส พบว่าไก่ 11 ใน 13 ตัวหายจากโรค ในขณะที่กลุ่มควบคุมที่ให้น้ำเปล่าตายหมดทุกตัว สำหรับกรณีโรคซาร์ (SARS) นั้นยังไม่มีรายงานทางวิทยาศาสตร์ว่าสามารถรักษาให้หายได้ (Black, 2006)

2.5 การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน

2.5.1 การพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization)

การพาสเจอร์ไรส์ เป็นการใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์เพียงบางส่วนในอาหารคือทำลายแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคกับมนุษย์ และไม่สร้างสปอร์ หรือทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย แต่ทั้งนี้จะต้องเก็บอาหารไว้ในสภาพที่จุลินทรีย์จะเจริญได้น้อยที่สุด โดยร่วมกับวิธีการแช่เย็น การเติมสารเคมี เป็นต้น อุณหภูมิและเวลาที่ใช้จะขึ้นกับความต้านทานของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มนุษย์และเซลล์ (vegetative cell) ที่ต้องการทำลาย และยังขึ้นกับคุณค่าทางอาหารที่เหลืออยู่หลังจากได้รับความร้อน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีที่สุด (รุ่งนภา, 2535)

การพาสเจอร์ไรส์จะใช้ความร้อนไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนอาจทำได้โดยใช้น้ำเดือด ไอน้ำเดือด ความร้อนแห้ง หรือผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน และอาหารต้องถูกทำให้เย็นลงทันที การพิจารณาให้ความร้อนโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์กับอาหารเมื่อ อาหารนั้นถ้าได้รับความร้อนสูงเกินไปจะเกิดการเสื่อมคุณภาพ ต้องการทำลายเฉพาะเชื้อโรคเท่านั้นจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียเป็นประเภทที่ทนความร้อนได้ไม่สูง หรือ มีการถนอมอาหารวิธีอื่นร่วมด้วย เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ ที่ยังหลงเหลืออยู่ในอาหาร ได้แก่ การแช่เย็น การลดความเป็นกรดด่างของอาหาร การเติมสารเคมีบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์ และสารกันเสีย การเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย เช่น นมข้นหวาน การเก็บรักษาอาหารให้ปลอดเชื้อโดยการบรรจุในภาชนะปิด การรักษาสภาพแวดล้อมให้มีสภาวะไร้ออกซิเจนในภาชนะปิด (สุมาลี, 2541)

2.5.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ถูกฆ่าหรือทำลายด้วยความร้อน เนื่องจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนหรือการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์นั้น การให้ความร้อนที่จำเป็นต่อการฆ่าจุลินทรีย์หรือสปอร์ของจุลินทรีย์นั้นขึ้นกับปัจจัยดังนี้ (สุมาลี, 2541)

- ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-เวลา ภายใต้สภาพที่กำหนด เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาที่จำเป็นต้องใช้ลดลง

- ความเข้มข้นของสปอร์หรือเซลล์เริ่มต้น ในสภาพที่มีสปอร์หรือเซลล์ในปริมาณมากจำเป็นต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่งเป็นเวลานานขึ้น เพื่อที่จะสามารถทำลายสปอร์หรือเซลล์ทั้งหมดได้

- สภาพของเซลล์หรือสปอร์ก่อนการให้ความร้อน

  - ช่วงการเจริญเติบโตหรืออายุของเชื้อ ความต้านทานต่อความร้อนของเซลล์หรือสปอร์ขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์ของเชื้อ ระยะการเจริญเติบโตของเซลล์ หรือช่วงของการสร้างสปอร์ หรือเซลล์ที่เคยสัมผัสความร้อนมาก่อนจะมีความต้านทานต่อความร้อนมากกว่า vegetative cell จะถูกทำลายได้ง่ายกว่า สปอร์ กรณีของเซลล์แบคทีเรียจะมีความต้านทานต่อความร้อนสูงสุดเมื่อเจริญอยู่ในช่วงปลายระยะการปรับตัวและระยะการเจริญคงที่ ช่วงที่เซลล์แบคทีเรียมีความต้านทานต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความร้อนต่ำสุดอยู่ในระหว่างการเจริญเติบโตในระยะขั้นการเจริญอย่างรวดเร็ว ส่วนกรณีของสปอร์ สปอร์ที่อายุน้อยที่ยังไม่เป็นสปอร์ที่สมบูรณ์ จะมีความต้านทานต่อความร้อนได้ต่ำกว่าสปอร์ที่เจริญสมบูรณ์เต็มที่แล้ว

- อุณหภูมิของการบ่ม อุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ และสำหรับการสร้างสปอร์ จะมีผลต่อการต้านทานความร้อนของเซลล์และสปอร์ โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการต้านทานความร้อนจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มถูกปรับให้สูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์นั้น

- อาหารเลี้ยงเชื้อ อาหารเลี้ยงเชื้อที่เลี้ยงเซลล์หรือสปอร์ให้เจริญดีจะทำให้เซลล์หรือสปอร์นั้นมีความต้านทานต่อความร้อนได้ดี

• ส่วนประกอบของอาหารที่กำลังจะผ่านความร้อน

- ค่าความเป็นกรดด่าง ตามปกติเซลล์หรือสปอร์จะมีความต้านทานได้ดีในอาหารที่มีค่าความเป็นกรดด่างที่เป็นกลาง แต่ถ้าค่าความเป็นกรดด่างเปลี่ยนสภาพเป็นกรดหรือด่าง จะทำให้ความต้านทานต่อความร้อนของเซลล์หรือสปอร์ลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงของสภาพความเป็นกรดจะมีผลต่อความต้านทานต่อความร้อนของเซลล์หรือสปอร์อย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพความเป็นด่าง (Jame, 2000) ชนิดของกรดจะมีผลต่อความต้านทานต่อความร้อนโดย ผลของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดแลคติก จะทำให้ความต้านทานต่อความร้อนของเซลล์หรือสปอร์ลดลงมากกว่า ผลของกรดฟอสโฟริก และกรดซิตริกที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากัน (Ray, 2000) เนื่องจากผลของค่าความเป็นกรดด่างต่อความต้านทานความร้อนของเซลล์หรือสปอร์ สามารถแบ่งชนิดของอาหารออกเป็น 4 ชนิดตามค่าความเป็นกรดด่างดังนี้ (ICMSF, 1988)

1. อาหารที่เป็นกรดสูง (high acid food) ซึ่งเป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 3.7
2. อาหารที่เป็นกรด (acid food) เป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 3.7 - 4.5
3. อาหารที่เป็นกรดปานกลาง (medium acid food) เป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 4.5 - 5.5
4. อาหารที่เป็นกรดต่ำ (low acid food) เป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรดด่าง 5.5 - 7.0

- เกลือ ผลของเกลือต่อความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือ ความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ และปัจจัยอื่นๆ เกลือบางชนิดจะมีผลในการป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ แต่บางชนิดทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีความต้านทานต่อความร้อนต่ำลง (Jame, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- น้ำตาล มีผลช่วยป้องกันเซลล์หรือสปอร์จากความร้อน โดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์จุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ซึ่งชอบเจริญในอาหารที่มีความดันออสโมซิสสูง ซึ่งเรียกว่า osmophilic organisms แต่อาจจะไม่มีผลต่อจุลินทรีย์กลุ่มอื่น อย่างไรก็ตาม สาเหตุที่น้ำตาลมีผลต่อการป้องกันเซลล์หรือสปอร์จากความร้อน อาจเนื่องมาจากน้ำตาลจะมีผลในการลดค่า water activity (a_w) ซึ่งการลดค่า a_w นี้จะทำให้เซลล์หรือสปอร์มีความสามารถในการต้านทานความร้อนสูงขึ้น (Jame, 2000)

- โปรตีนและไขมัน มีส่วนช่วยป้องกันความร้อนแก่เซลล์หรือสปอร์เช่นกัน

2.5.3 ความต้านทานต่อความร้อนของยีสต์ราและแบคทีเรีย

โดยปกติการใช้ความร้อนเปียกที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สามารถทำลายเซลล์ของยีสต์ รา และแบคทีเรียพวกที่ไม่ใช่ thermoduric และ thermophilic ส่วนแบคทีเรียพวก thermoduric และ thermophilic ที่สำคัญในอาหารส่วนใหญ่ถูกทำลายที่ 75 - 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 - 10 นาที สปอร์ของแบคทีเรียจะถูกทำลายได้ที่ความร้อน 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที สปอร์ของยีสต์และราส่วนใหญ่ถูกทำลายที่ 65 - 70 องศาเซลเซียส ในเวลาไม่กี่นาที ยกเว้นสปอร์ของราบางชนิดที่สามารถทนอุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 - 5 ชั่วโมง (Ray, 2000) ถ้าใช้ความร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะสามารถทำลายเซลล์และสปอร์ของยีสต์ทุกชนิดได้ แต่ในทางปฏิบัตินิยมใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิ 62.8 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หรือ 71.7 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที) ส่วนเชื้อราที่สามารถต้านทานต่อความร้อนได้สูงมาก ได้แก่ *Byssochlamys*, *Taiaromyces, Neosartorya* พบในผลไม้ ผลไม้กระป๋อง น้ำผลไม้เข้มข้น แยม เยลลี่และอาหารอื่นๆ มีความทนทานต่อสารกันเสียและในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนน้อย แต่ถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที (Morton, 2000) สปอร์ที่สร้างขึ้นเป็นชนิด ascospore นอกจากนี้แล้วเชื้อราที่มีโครงสร้างพิเศษ เช่น sclerotium ซึ่งเป็นโครงสร้างพิเศษที่มีผนังหนาทำให้สามารถต้านทานต่อความร้อนได้สูง ถึงแม้จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียสในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากการศึกษาในการทำลาย sclerotium ของเชื้อรา *Penicillium* สามารถทำได้โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 82.2 องศาเซลเซียส นาน 100 นาที หรือที่ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แต่การทำลายเชื้อราและสปอร์ส่วนใหญ่ มักใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ ส่วนกรณีของความร้อนแห้งพบว่าสปอร์ของเชื้อราสามารถต้านทานต่อความร้อนแห้งได้ค่อนข้างดี ความร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ก็ยังไม่สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อราในกลุ่มที่มีความสามารถต้านทานต่อความร้อนได้ (วราวุฒิ, 2538; สุมาลี, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4 ความต้านทานต่อความร้อนของเอนไซม์

โดยปกติอุณหภูมิ 79.4 องศาเซลเซียส เพียงพอในการทำลายเอนไซม์ของอาหารหรือจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่ใช้ในการยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหารจึงมักสามารถควบคุมการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ (วราวุฒิ, 2538) เอนไซม์ที่ทำให้เนื่อเยื่อผักอ่อนนุ่มได้แก่ เอนไซม์เพคติเนส (pectinese) สามารถพบได้ในพืชชั้นสูง จุลินทรีย์ และทาก เอนไซม์เพคติเนส ได้แก่ เอนไซม์โพลีกาแลคทู-โรเนส (polygalacturonase, EC 3.2.1.15, PG) เอนไซม์เพคตินเอสเทอร์เรส (pectinesterase) ซึ่งจะมีชื่อสามัญได้หลายชื่อขึ้นกับลักษณะของปฏิกิริยา เช่น เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรส (pectinmethylesterase EC 3.1.1.11, PME) และเอนไซม์เพคเทต ไลเอส (Pectate lyases, EC 4.2.2.2) (ปราณี, 2543) Rodrigo *et al.* (2006) สกัดเอนไซม์ PG และเอนไซม์ PME จากมะเขือเทศ 4 สายพันธุ์ พบว่าเอนไซม์ PG1 สามารถถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เอ็นไซม์ PG2 สามารถถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เอนไซม์ PME สามารถถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เอ็นไซม์ PGs ที่สร้างจากเชื้อราส่วนมากจะเป็นแบบไม่ทนความร้อน (thermolabile) มักถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ยกเว้นเอ็นไซม์ PGs ที่สร้างจาก *Penicillium* (Gillespie *et al*., 1990), *Rhizopus* (Ros *et al*., 1993) และ *Sclerotinia* (Archer and Fielding, 1975)

2.6 บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ (Retort Pouch) (งามจิตร, 2547)

รีทอร์ทเพาซ์ เป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว (flexibie package) ประกอบด้วยวัสดุ เช่น พลาสติก อลูมิเนียม และวัสดุเชื่อมประสานตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไป สามารถใช้บรรจุอาหารได้ ทนต่ออุณหภูมิที่ใช้ฆ่าเชื้อได้ไม่น้อยกว่า 120 องศาเซลเซียส ภาชนะบรรจุสามารถเปิดรับประทานได้ง่าย โดยอุ่นด้วยไมโครเวฟ หรือใส่ทั้งถุงลงในน้ำเดือด นาน 3 - 5 นาที และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้นานตั้งแต่ 6 เดือน ถึง 2 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารประเภทและความหนาของวัสดุที่ใช้ทำรีทอร์ทเพาซ์ ผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในรีทอร์ทเพาซ์ จัดว่าเป็นอาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิท ซึ่งใช้หลักในการแปรรูป โดยการให้ความร้อนเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับการผลิตอาหารกระป๋อง แต่มีความแตกต่างในเรื่องของเทคโนโลยีกระบวนการผลิต เครื่องมือที่ใช้การบรรจุ การปิดผนึก และต้นทุนการผลิต นอกเหนือจากรูปแบบและคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

คุณสมบัติโดยทั่วไปของวัสดุที่ใช้ทำรีทอร์ทเพาซ์ แบ่งเป็นชั้นนอกเป็นชั้นที่เหนียวทนต่อการขีดข่วน ชั้นกลางเป็นชั้นที่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน แสงสว่าง และความชื้น ส่วนชั้นด้านในเป็นชั้นที่มีคุณสมบัติปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และสามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยปลอดภัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พลาสติกและวัสดุที่ใช้นำมาเชื่อมประสานกันโดยทั่วไป ได้แก่ PET12 /AI7 /CPP70, PET12 /AI7 / NY15 / CPP70, PET12 / NY15 / CPP70 (PET : Polyester, AI ; Aluminium foil, CPP : Cast Polypropylene, ส่วนตัวเลขที่อยู่ด้านหลังของชนิดพลาสติกหมายถึงความหนาซึ่งมีหน่วยเป็นไมครอน) บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ แบ่งออกตามประเภทและรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ประเภทใส (Transparent type) ซึ่งสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในถุงได้ เนื่องจากมีการใช้พลาสติกชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี เช่น โพลีไวนิลิดีน-คลอไรด์ หรือ เอทิลินไวนิล หรือ ประเภททึบแสงที่มีชั้นของอลูมิเนียม (aluminum type) มีทั้งรูปแบบเป็นถุงสี่เหลี่ยม ปิดผนึกทั้ง 4 ด้าน หรือแบบที่ขยายก้นถุง (gusset) เพื่อให้ถุงสามารถตั้งได้ อาจมีการพิมพ์ลวดลายบนถุง หรือนำถุงบรรจุในกล่องกระดาษอีกชั้นหนึ่ง ปัจจุบันถุงรีทอร์ทเพาซ์ได้มีการพัฒนาออกแบบให้มีซิปบนปากถุงเพื่อให้สามารถปิดถุงได้ภายหลังจากการเปิดแล้ว

ขั้นตอนในการผลิตอาหารบรรจุในรีทอร์ทเพาซ์ เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ คัดเลือกวัตถุดิบตัดแต่งลวกหรือต้มเพื่อลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งเป็นการไล่อากาศที่มีอยู่ในวัตถุดิบออก จากนั้นนำวัตถุดิบที่เตรียมได้ไปบรรจุ ซึ่งการบรรจุและปิดผนึกจะต้องระมัดระวังเป็นอย่ามาก ทั้งในส่วนของรอยปิดผนึก เพราะถ้าบริเวณปิดผนึกมีการปนเปื้อนของไขมันและน้ำ จะทำให้ความแข็งแรงของรอยปิดผนึกบริเวณนั้นลดลง และในส่วนของอากาศเหนือช่องว่างภายในจะมีผลต่อความดันภายในทำให้ขณะที่ฆ่าเชื้ออุณหภูมิจะสูงขึ้น ถ้าอากาศภายในถุงมากก็จะทำให้ความดันภายในถุงสูง ถุงจะเกิดการพองตัวขึ้นและทำให้ความแข็งแรงของรอยปิดผนึกลดลง ดังนั้นจึงควรไล่อากาศภายในถุงออกก่อนการปิดผนึก การตรวจสอบความแข็งแรงของรอยผนึก สามารถตรวจสอบโดยใช้สายตาดูรอยย่น หรือความผิดปกติจากภายนอก รวมทั้งตรวจสอบความคงทนต่อแรงกด (burst test) และแรงดึง (tensile test) ของรีทอร์ทเพาซ์สำหรับขั้นตอนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในรีทอร์ทเพาซ์ ในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ จะใช้เครื่องฆ่าเชื้อระบบน้ำซึ่งมีทั้งชนิดที่เป็น water immersion และ water spray

ข้อดีบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์มีความหนาน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นจึงช่วยลดเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนทำให้ประหยัดพลังงานและ ลดโอกาสที่จะทำให้อาหารสุกเกินไป ทำให้คุณภาพและรสชาติอาหารดีกว่า มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อย รักษาคุณภาพของกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสได้ดีกว่า ช่วยลดต้นทุนการขนส่งเนื่องจากรีทอร์ทเพาซ์มีลักษณะเบาประหยัดเนื้อที่ในการการเก็บและสะดวกในการนำไปรับประทาน โดยสามารถอุ่นทั้งถุงก่อนรับประทานได้ กรณีถุงชนิดใสสามารถอุ่นในไมโครเวฟได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อเสียเพิ่มต้นทุนในการผลิตเนื่องจากตัวภาชนะมีราคาแพง มีการลงทุนสูงในเรื่องเครื่องจักรเทคโนโลยี และภาชนะบรรจุ การบรรจุทำได้ช้ากว่าและยุ่งยากกว่าและ การควบคุมการผลิตโดยเฉพาะการปิดผนึกจะทำได้ยากกว่าบรรจุภัณฑ์แบบอื่น ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved