บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

กิมจิเป็นอาหารประเภทผักดองที่อาศัยภูมิปัญญาท้องถิ่นของเกาหลีด้วยการหมักพริกสีแดง และผักต่างๆ โดยทั่วไปเป็นผักกาดขาวปลี ซึ่งชาวเกาหลีนิยมรับประทานกิมจิเกือบทุกมื้อ และนำไปปรุงเป็นส่วนประกอบของอาหารอีกหลายอย่าง เช่น ข้าวต้ม ข้าวผัด สตู บะหมี่ เป็นต้น ส่วนใหญ่กิมจิจะมีรสเผ็ด เปรี้ยว และมีกลิ่นฉุน นักโภชนาการของประเทศเกาหลีระบุว่ากิมจิให้คุณค่าทางอาหารมากแม้จะผ่านกระบวนการหมักแต่วิตามิน เกลือแร่ ยังคงอยู่ นอกจากนี้ยังมีเส้นใยน้ำผัก และกรดแลคติกที่ช่วยให้ระบบย่อยอาหารและลำไส้ทำงานได้ดี ป้องกันโรคอ้วน โรคเบาหวาน และมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร (วิลาวัลย์, 2539)

2.1 กิมจิ (Kimchi)

2.1.1 ประเภทของกิมจิ

กิมจิมีมากกว่า 187 ชนิด โดยจะแตกต่างกันตามถิ่น สภาพอากาศ วัตถุดิบหลัก และขั้นตอนการทำ ตัวอย่างเช่น กิมจิหัวผักกาด (Kaktugi) เป็นหัวผักกาดล้วนไม่มีผักกาดขาวผสม กิมจิแตงกวายัดไส้ (Oisobaegi) และกิมจิผักกาดขาวที่ถือว่าเป็นกิมจิที่รู้จักและนิยมกันมากที่สุด ซึ่งเป็นการผสมกันของผักกาดขาว พริกแดง กระเทียม ขิง และน้ำซุบจากปลาเข้าด้วยกัน ดังแสดงตาราง 2.1

กิมจิสามารถแบ่งได้เป็น 8 กลุ่มใหญ่ด้วยกันตามประเภทของวัตถุดิบหลักที่ใช้ทำ และพบว่ามากกว่า 70% ที่ได้รับความนิยมเป็นกิมจิที่ทำจากผักกาดขาวปลี (baechu kimchi)ที่เหลือ 20% กว่าเป็นกิมจิที่ทำมาจากหัวผักกาด (radish kimchi) (Park and Cheigh, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 การแบ่งกลุ่มกิมจิและตัวอย่างในแต่ละกลุ่มตามวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต

กลุ่มวัตถุดิบหลัก	ตัวอย่างกิมจิ
ผักกาดขาวปลี (Baechu kimchi)	- กิมจิผักกาดขาวปลีทั้งหัวแบ่งครึ่ง 2 ซีก (Tongbaechu kimchi)
หัวผักกาด (Radish kimchi)	- กิมจิหัวผักกาดขาว (Dongchimi), - กิมจิหัวผักกาดขาวหั่น (mupinul kimchi)
หัวผักกาดหั่นเป็นลูกบาศก์ (Kaktugi)	- กิมจิหัวผักกาดขาวหั่นเป็นลูกบาศก์ (Radish kaktugi) - กิมจิหัวผักกาดขาวหั่นกับต้นหอม (radish and leek kaktugi)
หัวผักกาดขาวและผักกาดขาวปลี Sokbakji and nabak kimchi	- กิมจิหัวผักกาดกับผักกาดขาวปลี (Sokbakji kimchi) - กิมจิหัวผักกาดขาวกับน้ำเต้า (wax gourd sokbakji)
ผักใบเขียวและลำต้น (Green vegetables and stem vegetable)	- กิมจิกะหล่ำปลี (gat kimchi) - กิมจิผักกาดหอม (kodulbaegi kimchi)
ผลไม้และรากผัก (Fruit and root vegetable kimchi)	- กิมจิแตงกวายัดไส้ (stuffed cucumber kimchi) - กิมจิแตงกวา (Oi kimchi)
หอมหัวใหญ่ กระเทียม และผักประเภทต้นกุยช่าย (Green onion, garlic and leek kimchi)	- กิมจิกุยช่าย (Leek kimchi), - กิมจิหอมหัวใหญ่(geeen onion kimchi)
เนื้อ, ปลา หอย และสาหร่ายทะเล (Meat, fish, shellfish and seaweeds)	- กิมจิเนื้อ(Meat kimchi) - กิมจิหอยนางรม(Oyster kimchi)

ที่มา: Son, 1991

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 กระบวนการทำกิมจิ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำกิมจิแสดงที่ตาราง 2.2

ตาราง 2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมกิมจิ

กลุ่ม	วัตถุดิบ
วัตถุดิบหลัก	ผักกาดขาวปลี หัวผักกาด แตงกวา ต้นหอม ผักกาดหอม กะหล่ำปลี ฯลฯ
วัตถุดิบรอง	พริกแดง หอมหัวใหญ่ มัสตาร์ด ขิง พริกไทย กระเทียม ฯลฯ
เครื่องปรุงรส	น้ำปลา เกลือ ซอส ผงชูรส อาหารหมักอื่น ฯลฯ
อื่นๆ	ผัก เช่น แครอท ใบมัสตาร์ด เห็ด ฯลฯ ผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล ลูกสน โสม บาร์เลย์ ฯลฯ ธัญพืช เช่น ข้าว บาร์เล่ย์ แป้ง ฯลฯ อาหารทะเลและเนื้อต่างๆ เช่น กุ้ง หอยนางรม หมู ไก่

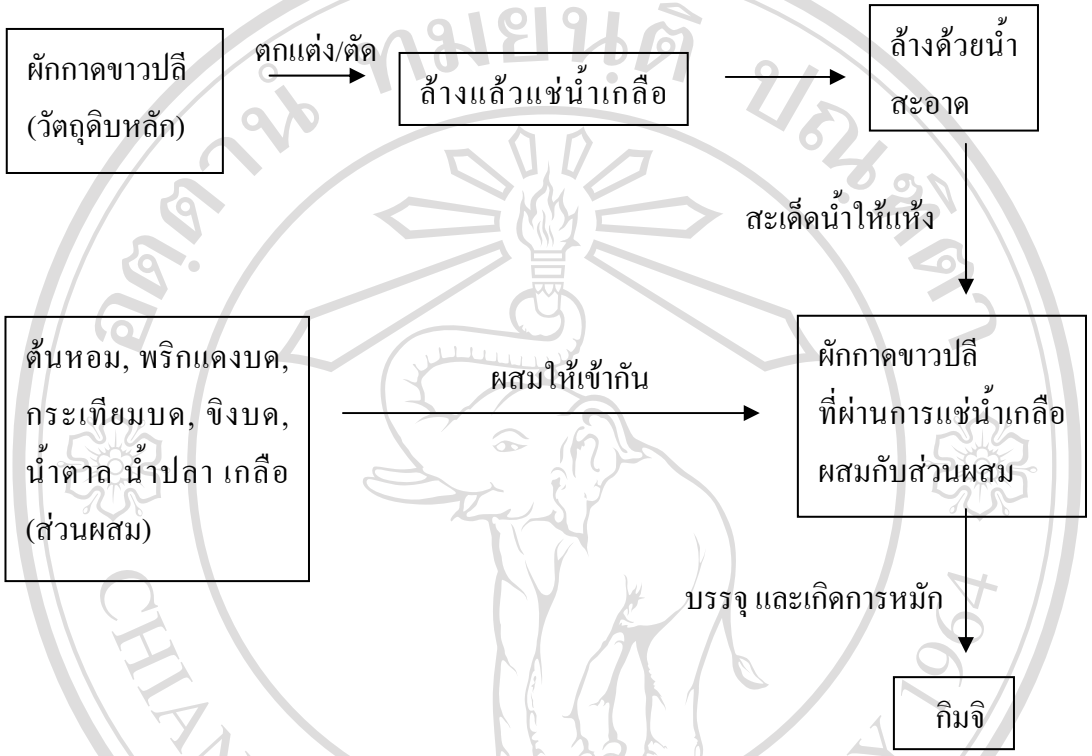
ที่มา : Park and Cheigh, 2004

ผักที่ใช้ทำกิมจิส่วนใหญ่เป็นผักกาดขาวปลี หัวผักกาดขาว และแตงกวา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผักอื่นๆ ประกอบ เช่น กระเทียม หอมหัวใหญ่ พริกแดงป่น ขิง ต้นหอม กะหล่ำปลี และอบเชย ส่วนเครื่องปรุงรสนั้นใช้เกลือ ซอส หรือน้ำหมักต่างๆ ที่ทำขึ้นและมีสารให้ความหวาน น้ำส้ม เมล็ดงา หรือน้ำมันงา เพื่อปรับปรุงกลิ่นและรสชาติของกิมจิแต่ละชนิดให้มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว

การทำกิมจิมี 2 วิธีใหญ่ๆ ด้วยกันดังแสดงในรูป 2.1 ซึ่งวิธีแรกใช้ผักกาดขาวปลีทั้งหัวแบ่งออกเป็น 2 ซีกในการหมัก เรียกว่า tongbaechu kimchi ซึ่งนิยมใช้เก็บทำในช่วงฤดูหนาวที่ใช้เวลายาวนาน หมักเกลือที่ความเข้มข้น 10% นาน 10 ชั่วโมง ส่วนอีกวิธีหนึ่งหั่นผักกาดขาวปลีให้เป็นชิ้นยาวประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร เรียกว่า chopped matbaechu kimchi นำไปหมักเกลือเข้มข้น 8 - 15% นาน 2 - 7 ชั่วโมง ซึ่งการดองเกลือที่ดีนั้นควรดองที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นสุดท้ายของเกลือความมีประมาณ 2.2 - 3.0% (Kim, 1987) จากนั้นล้างผักกาดขาวทั้ง 2 วิธีด้วยน้ำสะอาดแล้วปล่อยให้สะเด็ดน้ำแล้วนำมาผสมกับส่วนผสมที่เตรียมไว้ ได้แก่ พริกแดงป่น กระเทียมบด ขิงบด ต้นหอมหั่นเป็นท่อน หัวผักกาดหั่นฝอย น้ำปลา น้ำตาล คลุกให้เข้ากัน นอกจากนี้สามารถเติมส่วนผสมอื่นๆ ลงไปได้เพื่อเพิ่มรสชาติ กลิ่น และตัวกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียแลคติก เช่น ถั่ว น้ำส้ม แอปเปิ้ล กุ้ง ธัญพืช เป็นต้น จากนั้นปล่อยให้เกิดการหมักในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 5 - 25 องศาเซลเซียส จนมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 4.2 -

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 และมีปริมาณกรดทั้งหมดประมาณ 0.4 - 0.8% ซึ่งเป็น กิมจิที่มีรสชาติเป็นที่ต้องการและยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด (Salunke, 1984; Park and Cheigh, 2004)



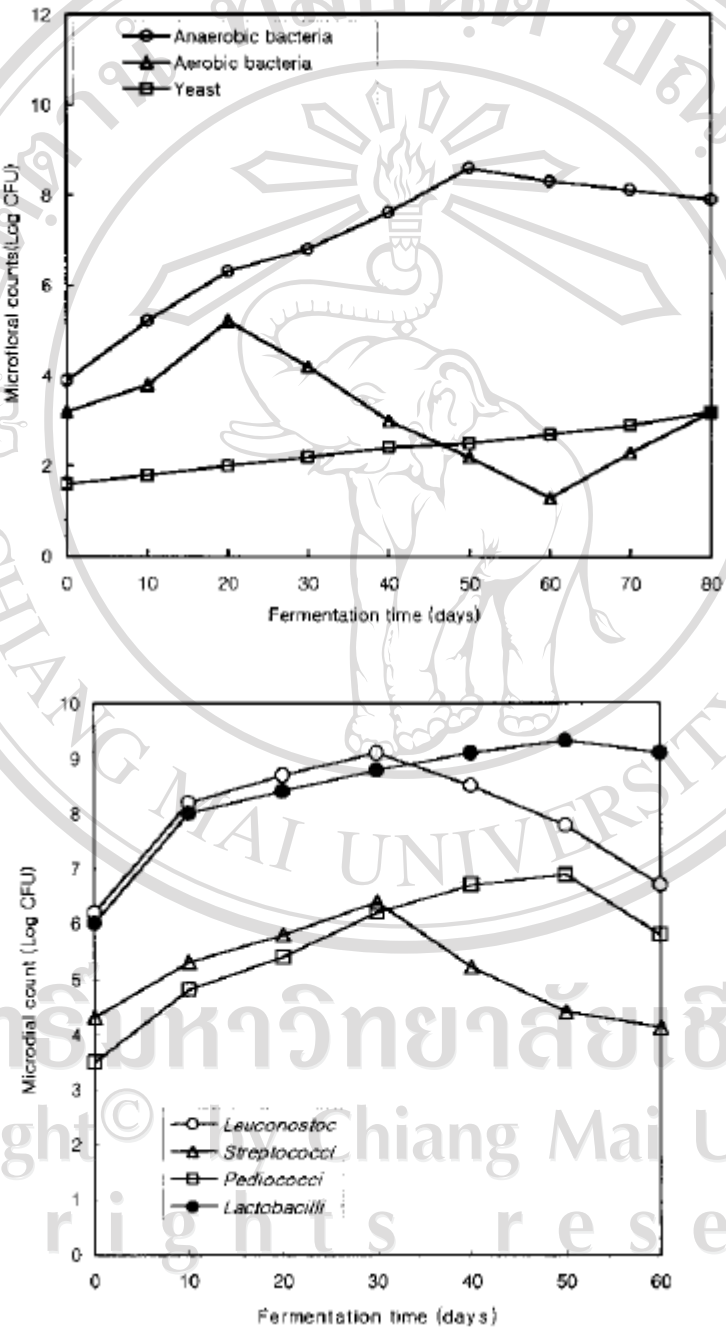
รูป 2.1 แผนผังการทำกิมจิผักกาดขาวปลี
ที่มา : Cheigh and Park, 1994

ตามมาตรฐาน CODEX กิมจิ คือ ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากผักกาดขาวปลี (Chinese cabbage, *Brassica pekinensis* Rupr.) ทั้งหัว หรือ ใช้ผักกาดขาวปลีทั้งหัวแบ่งเป็น 2 หรือ 4 ซีก หรือตัดเป็นชิ้นๆ ที่มีความกว้างและความยาวประมาณ 1-6 เซนติเมตร ที่ผ่านการดองเกลือ ล้างด้วยน้ำสะอาดและทิ้งให้สะเด็กน้ำแล้วนำมาผสมกับส่วนผสมอื่น ได้แก่ พริกแดงป่น (*Capsicum annuum* L.) กระเทียม ขิง หัวผักกาดขาว ที่หั่นหรือบดแล้ว จากนั้นทำการหมักให้เกิดกรดแลคติก และเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องมีเกลืออยู่1.0-4.0% w/w และมีปริมาณกรดแลคติกไม่เกิน 1.0% w/w (CODEX STAN 223-2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ ค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดแลคติก ระหว่างการหมักกิมจิ

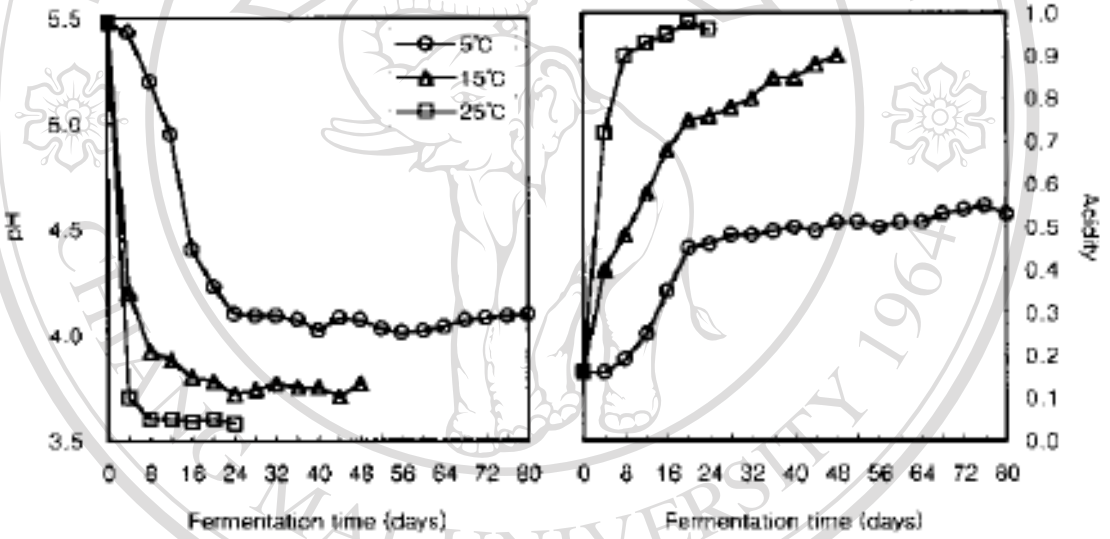
สิ่งสำคัญในการหมักกิมจิ คือ สภาวะที่ไร้อากาศ เพื่อกระตุ้นแบคทีเรียแลคติกให้เจริญระหว่างหมัก ในรูป 2.2



รูป 2.2 การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ระหว่างการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 2 - 7 องศาเซลเซียส
ที่มา: Mheen and Kwon, 1984

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าปริมาณของแอนแอโรบิค แบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) โดยเฉพาะแบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้น และพบพวกแอโรบิก แบคทีเรีย (Aerobic bacteria) เช่น *Achromobacter, Flavobacterium* และ *Pusedomonas* ลดลง (Whang, 1960) ส่วนยีสต์พบในปริมาณที่เล็กน้อย ที่พบได้แก่ *Saccharomyces, Tolulopsis, Debaryomyces, Pichia, Rhodotorula, Endomycopsis, Kluyveromyces, Cryptococcus, Trichospors* และอื่นๆ (Ro, 1981) (Shin *et al*., 1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่างและปริมาณกรดของกิมจิโดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 5.5 และปริมาณกรดแลคติกเริ่มต้นที่ 0.15% w/w แล้วปล่อยให้เกิดการหมักจนได้ค่ากรด-ด่างประมาณ 4.2 แสดงผลดังรูป 2.3



รูป 2.3 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างและปริมาณกรดแลคติก ระหว่างการหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 5, 15 และ 25 องศาเซลเซียส

พบว่าใช้เวลาดังนี้การหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 วัน ถ้าหมักกิมจิที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสจะใช้เวลา 3 วัน และถ้าหมักที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 23 วัน เพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรดด่าง 4.2 ตามต้องการ ส่วนปริมาณกรดพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากหมักได้ 8 วันจะมีปริมาณกรด 0.9% แต่ถ้าหมักที่ 5 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณกรดทั้งหมด 0.5% หลังจากหมักได้ 44 วัน และจะคงที่ไปจนถึงวันที่ 80 ซึ่งพบว่าการหมักกิมจิที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยรักษาค่ากรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติกให้อยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ มากกว่าการหมักกิมจิที่อุณหภูมิสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4.บทบาทของเกลือในการหมักกิมจิ

เกลือในกระบวนการผลิตกิมจิใช้เป็นสารที่ดึงน้ำออกจากเซลล์ของผักโดยวิธีการออสโมซิส จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดี และช่วยเพิ่มรสชาติให้กับผลิตภัณฑ์ น้ำที่ไหลออกมาจากผักจะประกอบด้วยน้ำตาล และสารอาหารบางอย่างซึ่งช่วยควบคุมชนิดของจุลินทรีย์ที่เจริญและช่วยให้แบคทีเรียไม่เกาะกลุ่มกัน (สุมาลี, 2539; สุมณฑา 2545) นอกจากนี้เกลือยังเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ที่เจริญได้ตามปริมาณและความเข้มข้นของเกลือ เช่น กิมจิ เชื้อที่เจริญได้ดี คือ แบคทีเรียแลคติก เพราะเชื้อชนิดนี้ทนเกลือและบางชนิดถูกเร่งการเจริญที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำได้ (อรรถพล, 2549) ดังนั้นเกลือจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการหมัก ซึ่งถ้ามีความเข้มข้นของเกลือมากเกินไปมีผลให้แบคทีเรียแลคติกไม่สามารถเจริญได้ ดังแสดงในตาราง 2.3 ที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 30 องศาเซลเซียส กิมจิผักกาดขาวปลีที่มีความเข้มข้นของเกลือ 3.5% ใช้เวลาในการหมัก 1-2 วัน ในขณะที่ความเข้มข้นของเกลือ 5% และ 7% จะใช้เวลา 2 วันในการหมัก ส่วนการหมักที่ 14 องศาเซลเซียสใช้เวลา 5-12 วัน สำหรับกิมจิที่มีความเข้มข้นของเกลือ 3.5% และ ใช้เวลาในการหมัก 10-18 วัน สำหรับกิมจิที่มีความเข้มข้นของเกลือ 5.0% ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการหมักกิมจิที่อุณหภูมิต่างและความเข้มข้นของเกลือไม่มากจะใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่าการหมักกิมจิที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ (Young, 2004) พบว่าผักกาดขาวปลีที่ผ่านการแช่น้ำเกลือเข้มข้น 10% นาน 10 ชั่วโมง สามารถลดจำนวนแบคทีเรียได้ 10-16 เท่า และปริมาณยีสต์ ราได้ 29-87 เท่าแต่จะกระตุ้นให้แบคทีเรียแลคติกเพิ่มปริมาณได้ 3-4 เท่า

ตาราง 2.3 ผลของความเข้มข้นของเกลือและอุณหภูมิที่มีต่อการหมักกิมจิ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	**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, 1984

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.15 ส่วนประกอบอื่นๆ ในกิมจิ

ส่วนผสมต่างๆ ของกิมจิสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกิมจิได้ (Cho *et al*., 1988)

องค์ประกอบหลักของกิมจิ ได้แก่ ผักกาดขาวปลี หัวผักกาด กุยช่าย เกลือทะเล เกลือป่น สมุนไพรที่เพิ่มรสชาติ ได้แก่ ขิง กระเทียม หอมหัวใหญ่ พริก ต้นหอม ส่วนองค์ประกอบรอง ได้แก่ ปลาหมัก น้ำดองปลา น้ำปลา น้ำตาล เพื่อเร่งการหมักให้เกิดเร็วขึ้น และแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ เช่น แป้ง น้ำแป้ง

- ผักกาดขาวปลี (Chinese cabbage) มีสีขาว รงควัตถุในผักกาดขาวปลี คือ แอนโทแซนทิน (Anthoxanthin) เป็นรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flvonoid) มีได้ตั้งแต่ไม่มีสี สีขาว สีครีม และสีเหลือง ซึ่งในสภาวะที่เป็นกรดจะมีสีขาว แต่ในสภาวะด่างจะมีสีเหลือง

- พริก (Red chili) โดยปกติจะใช้ 2-2.24% โดยในพริกจะมีสารที่เรียกว่า carotenoids อยู่ประมาณ 40 ชนิด โดย capsanthin และ casorubin เป็นสารที่ให้สีแดงในพริก capsaicinoids เป็นสารที่ให้ความเผ็ดในพริก การใช้พริกมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ให้สีแดงและรสเผ็ด

- ขิง (ginger) มีสารสำคัญที่ให้กลิ่น คือ cital และ linalool และสารให้ความเผ็ดในขิง คือ gingerone และ shogaol ส่วนน้ำมันหอมระเหยในขิงมีฤทธิ์ต้านเชื้อ *Stapyhlococcous aureus*

- กระเทียม (garlic) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 26 โปรตีนร้อยละ 7 และน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 0.1 สารสำคัญที่ให้กลิ่น คือ allyl sulfide, allicin สารระเหยอื่นๆ เช่น ethyl sulfide, dimethyl disulfide, trisulfide, dimethyl diallyl disulfide นอกจากนี้ยังมีเกลือแร่ แคลเซียม โซเดียม โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ไอโอดีน ซัลเฟอร์ และวิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบีหนึ่ง, วิตามินบีสอง, วิตามินซี และไนอะซิน (อรรถพล, 2549)

กิมจิที่มีกระเทียมเข้มข้น 2 % สามารถลดการเจริญเติบโตของ แอโรบิก แบคทีเรียได้ 50-1000 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกิมจิที่มีกระเทียม 1% และพบแอโรบิกแบคทีเรีย 21 ชนิดที่แยกได้จากกิมจิ ได้แก่ *Bacillus* sp. 11 สายพันธุ์ , *Staphytloccous* sp.*และ Enterobacteriaceae* sp อย่างละ2 สายพันธุ์ , *Micrococcus* sp., *Flavobacterium* sp. อย่างละ 1 สายพันธุ์ และ *Vibrionaceae* sp. 4 สายพันธุ์ ซึ่งทั้งหมดนี้ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารเหลวที่มีกระเทียมเข้มข้น 4.5% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในเวลา 24 ชั่วโมง แต่กระเทียมเข้มข้น 0-6% จะกระตุ้นให้แบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้นในช่วงเริ่มต้นของการหมักที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส (Cho *et al*., 1988) น้ำสกัดกระเทียม 5% มีผลต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ เชื้อแบคทีเรีย *Salmonella anatum* ซึ่งแบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้ไวต่อการถูกทำลายด้วยสาร allicin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(มหาวิทยาลัยมหิดล, 2551) และยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ในอาหารเหลว tryptic soy broth (TBS) (Kim *et al*., 1996)

- ต้นหอม และต้นกระเทียมยักษ์ (green onion & leek) ให้สาร allyl sulfide, แคโรทีน และ วิตามินซี

- แครอท มี Beta carotene ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง

- ปลาเค็ม และปลาหมัก (salted and fermented anchovy) เป็นแหล่งโปรตีน และกรดอะมิโนในกิมจิ ให้รสชาติและกลิ่นที่เฉพาะตัวของกิมจิ

- น้ำตาล (sugar) ปริมาณที่ใช้ในกิมจิประมาณ 0.4 - 3.0% มีหน้าที่เร่งกระบวนการหมัก ทำให้กิมจิเปรี้ยวเร็วขึ้น ทั้งเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์อีกด้วย

2.1.6 คุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ของกิมจิ

กิมจิเป็นอาหารที่ทำจากผักหลายชนิดจึงเป็นอาหารที่ให้พลังงานต่ำ แต่มีแร่ธาตุ วิตามิน และเส้นใยสูง นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น กระเทียม ต้นหอม พริกแดง ซึ่งมีสารที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 2.4 Park and Cheing, (2004) ได้แยกกิมจิออกตามประเภทของวัตถุดิบหลัก พบว่ากิมจิแต่ละชนิดมีคุณค่าทางโภชนาการตามตาราง 2.5 จากตาราง พบว่ากิมจิให้พลังงานต่ำ (11-18 kcal/100g) กิมจิผักกาดขาวปลี และกิมจิหัวผักกาดเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ดี (37-47 mg), ฟอสฟอรัส (40-58 mg) และโพแทสเซียม (300-400 mg) นอกจากนี้ยังมีวิตามินบี1 0.06 และ 0.14 mg, วิตามินบี2 0.06 และ 0.05 mg ไนอะซิน 0.8 และ 0.5 mg และปริมาณของวิตามินซี 14 และ 19 mg ในกิมจิ 100 g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 คุณค่าทางโภชนาการในส่วนที่กินได้ 100 กรัมของวัตถุดิบที่ใช้ทำกิมจิ

ส่วนประกอบ	ชนิดของผัก						
	ผักกาดขาวปลี	พริกชี้ฟ้าแดง	หัวผักกาด	แครอท	ต้นหอม	กระเทียม	ขิง
Moisture (gm.)	95.6	81.9	92.6	85.1	89.4	67.8	89.0
Cal (Unit)	13	56	26	55	36	117	38
Fat (gm)	0.1	0.8	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3
CHO (gm)	1.5	9.1	5.6	12.4	8.2	27.4	7.5
Fiber (gm)	0.4	3.8	1.0	0.9	1.2	0.7	0.8
Protein (gm)	1.6	3.2	1.0	1.3	1.5	3.5	1.2
Ca (mg)	45	12	32	60	51	18	21
P (mg)	52	85	34	28	39	88	29
Fe (mg)	1.1	1.1	1.4	1.7	1.0	1.5	0.5
Vitamin (A I.U)	58	21450	Tr.	18520	2000	Tr.	-
Vitamin B1 (mg)	0.03	0.15	0.04	0.04	0.05	0.24	0.02
Vitamin B2 (mg)	0.03	0.01	0.03	0.04	0.05	0.05	0.02
Niacin (mg)	-	-	0.4	0.6	0.4	0.4	-
Vitamin C (mg)	37	100	26	9	32	10	-

Cal. = Calorie แคลอรี่

CHO = Carbohydrate คาร์โบไฮเดรต

Tr. = Trace มีเล็กน้อย

- = ไม่มีรายงาน

ที่มา: กรมอนามัย, 2530

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.5 คุณค่าทางโภชนาการในส่วนที่กินได้ 100 กรัมของวัตถุดิบหลักที่ทำกิมจิ

Composition	**Baechu kimchi**	**Kaktugi**	**Dongchimi**
Energy, kcal	18.00	33.00	11.00
Moisture,%	90.80	88.40	94.20
Protein, g	2.00	1.60	0.70
Fat, g	0.50	0.30	0.10
Nonfibrous carbohyfeate, g	2.60	6.70	2.50
Fiber, g	1.30	0.70	0.50
Ash, g	2.80	2.30	2.00
Calcium, mg	47.00	37.00	18.00
Phosphorus, mg	58.00	40.00	17.00
Iron, mg	0.80	0.40	0.20
Potassium, mg	300.00	400.00	120.00
Vitamin A, RE	48.00	38.00	15.00
β-carotene, μg	290.00	226.00	88.00
Vitamin B1, mg	0.06	0.14	0.02
Vitamin B2, mg	0.06	0.05	0.02
Niacin, mg	0.80	0.50	0.20
Vitamin C, mg	14.00	19.00	9.00

ที่มา: Park and Cheing, 2004

กิมจิจัดเป็นอาหารสุขภาพเนื่องจากกิมจิอุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ และเส้นใยซึ่งช่วยในการย่อยอาหาร ช่วยต้านการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้และ ป้องกันท้องผูก สรรพคุณเหล่านี้ได้มาจากผักกาดขาว หัวหอม และกระเทียมที่ใช้ในการทำกิมจิ นอกจากนี้ยังมีโปรไอโอติก แลกโตบาซิลัส (Probiotic lactobacillus) ที่ให้กรดแลคติก (Park *et al*., 1996) สาร allicin ในกระเทียมมีคุณสมบัติสามารถป้องกันการแข็งตัวของคลอเรสเตอรอล (cholesterol) ในเส้นเลือดแดง และมีเอนไซม์ cysteine proteinase และ alcohol dehydrogenase ที่ช่วยทำลายแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัสได้ (The Garlic Information Center, 2008) ส่วนพริกมีสารแคปไซซิน (capsaicin) ที่กระตุ้นให้ร่างกายเกิดเมตาบอลิซึม (metabolism) เพิ่มมากขึ้นซึ่งมีผลให้กิมจิมีคุณสมบัติช่วยควบคุมน้ำหนักของร่างกายได้ (Kim, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการหมัก

2.2.1 แบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria)

แบคทีเรียแลคติกเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่งหรือกลม ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนที่ มีคุณสมบัติในการหมักคาร์โบไฮเดรตได้กรดแลคติก ซึ่งทำให้เกิดรสชาติที่ต้องการในอาหารแปรรูปบางชนิด เช่น ผักดองต่างๆ หรือ เนยแข็ง (สุมาลี, 2539) ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มนี้ เช่น *Streptococcus, Lactococcus, Pediococcus, Leuconostoc, Lactobacillus* และ *Tetraqenococcus* เป็นต้น แบคทีเรียแลคติกจัดเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรไอโอติก (probiotics) ซึ่งหมายถึงจุลินทรีย์ที่เมื่อผู้บริโภคได้รับเข้าสู่ร่างกายแล้วจะให้ประโยชน์ต่อผู้บริโภค เช่น ปรับสมดุลของสภาพแวดล้อมของระบบลำไส้ โดยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ช่วยเพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียม นอกจากนี้กระตุ้นและเสริมระบบภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย ลดระดับคอเลสเตอรอล ลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในลำไส้ และลดอาการท้องเสียท้องร่วง เป็นต้น (ปรียา, 2546)

แบคมีเรียแลคติกสร้างพลังงานจากการหมักคาร์โบไฮเดรต เกิดกรดแลคติกจากปฏิกิริยา 2 วิถีทาง คือ วิถีทางที่แลคเตทเพียงอย่างเดียว เรียก โฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (homofermentative) และวิถีทางที่ได้แลคเตทร่วมกับสารอื่นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เรียก เฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (heterofermentative) (สุมณฑา, 2545) ดังรูปที่ 2.2

- แบบที่ 1 การหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ : เป็นการหมักที่ได้แลคเตทอย่างเดียวเป็นผลผลิตที่สำคัญ ผ่านกระบวนการไกลโคไลซีส (Emden-Meyerhof-Parmas glycolytic pathway) หรือ EMP pathway เริ่มจากกลูโคสที่มีคาร์บอน 6 อะตอม (C-6) ถูกเติมฟอสฟอรัสและเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขึ้นก่อนที่เอนไซด์อัลโดเลส (aldolase) จะเข้าทำปฏิกิริยา เป็นผลให้โมเลกุลกลูโคสแตกออกเป็นกลีเซอรัลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (C-3) 2 โมเลกุล จากนั้นถูกเปลี่ยนไปเป็นไพรูเวทโดยเกิด ATP ขึ้น 2 โมเลกุลจากการหมักกลูโคส 1 โมเลกุล ในขั้นสุดท้ายเป็นการริดิวซ์ไพรูเวทเป็นแลคเตท ในขั้นตอนนี้ต้องใช้ NADH ได้ NAD^+ กลับคืนมาจากที่ถูกใช้ไปในการออกซิเดชันกลีเซอรัลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต

- แบบที่ 2 การหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ : เป็นการหมักที่ได้แลคเตท เอทธานอล หรืออะซิเทตและคาร์บอนไดออกไซด์จากกลูโคส เนื่องจากแบคทีเรียขาดเอนไซม์อัลโดเลส จึงเปลี่ยนรูปจากกลูโคสที่มีคาร์บอน 6 อะตอมไปเป็นเพนโตส (ไรโบส) ซึ่งมีคาร์บอน 5 อะตอม โดยการจัดโครงสร้างภายในโมเลกุลที่มีการออกซิเดชันและดีคาร์บอกซิเลชันร่วมด้วย น้ำตาลที่มี 5 อะตอมจะถูกทำให้แตกออกเป็นกลีเซอรัลดีไฮด์ฟอสเฟส (ซึ่งเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่มีคาร์บอน 3 อะตอม) และอะเซทติลฟอสเฟตโดยเอนไซม์ฟอสโฟคีโตเลส (phosphodetolase)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

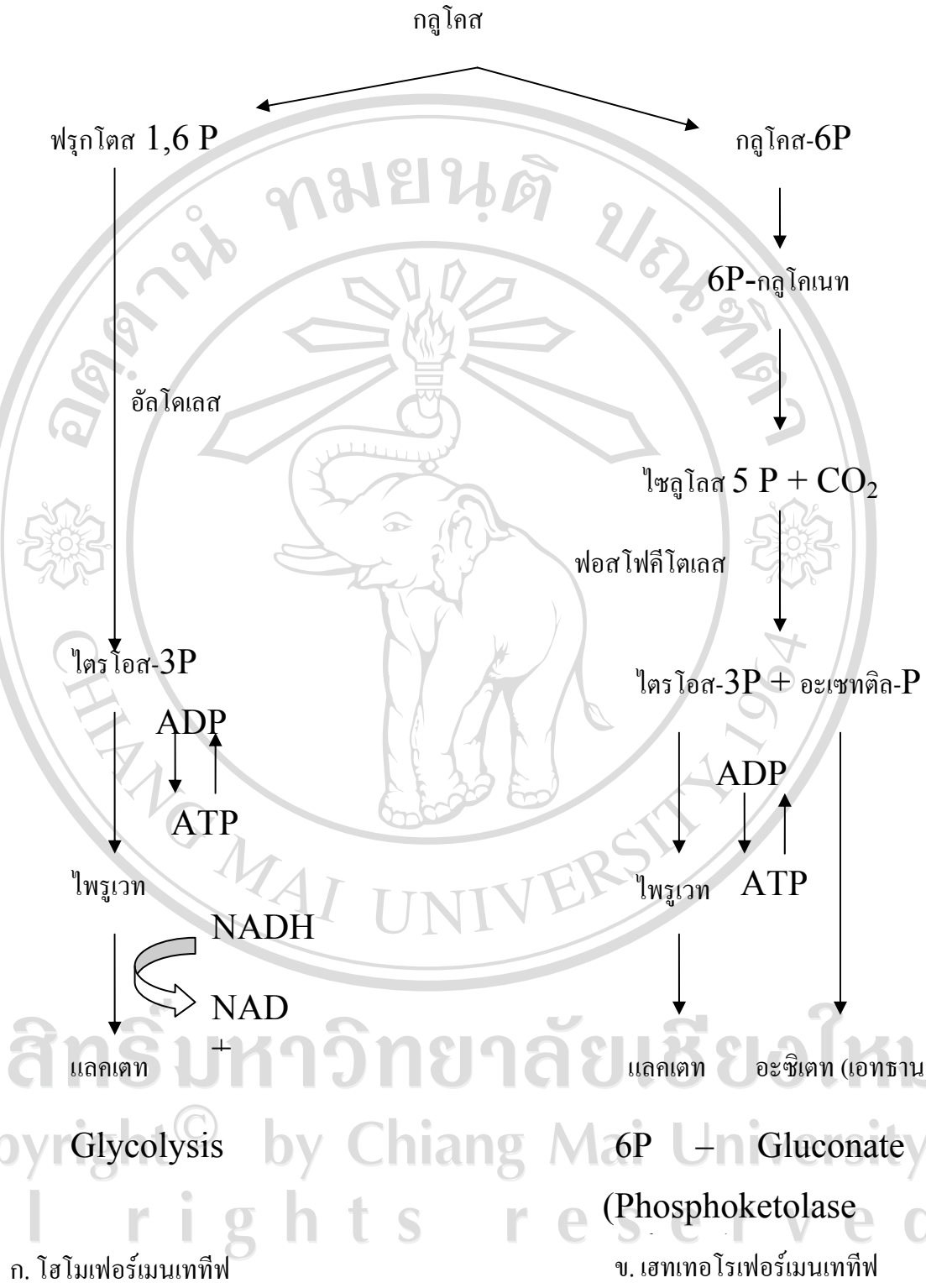
กลีเซอรอดีไฮด์ฟอสเฟตจะเปลี่ยนไปเป็นแลคเตทเช่นเดียวกับการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (แต่เนื่องจากการหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟมีกลีเซอรัลดีไฮด์ฟอสเฟตเพียง 1 โมเลกุล จึงเกิด ATP เพียง 1 โมเลกุล) ส่วนอะเซทติลฟอสเฟตนั้น ถ้าอยู่ในสภาวะที่ขาดตัวรับอิเล็กตรอน อะเซทติลฟอสเฟตจะทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน ทำให้ถูกรีดิวซ์ไปเป็นเอทธานอลและได้ NAD^+ ขึ้นมาใหม่ 2 โมเลกุล แต่ในสภาวะที่มีออกซิเจน NAD^+ สามารถสร้างขึ้นใหม่จากเอนไซม์ NADH oxidase และ peroxidases ปล่อยให้อะเซทติลฟอสเฟตมีมากพอสำหรับการเปลี่ยนไปเป็นอะซิเตทจึงเท่ากับการเติมฟอสเฟตให้กับซับสเตรทอีกทางหนึ่งเป็นผลให้ได้ ATP เพิ่มมาอีก 1 โมเลกุล เป็น 2 โมเลกุลจากกลูโคส 1 โมเลกุล เช่นเดียวกับการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ ในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของ ATP สะท้อนให้เห็นได้จากอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลเช่นนี้สามารถเกิดขึ้นกับตัวรับออกซิเจนอื่นๆ ด้วย เช่น ฟรุกโตส ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นแมนนิตอล การระบุว่าเกิดการหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟหรือไม่ อาศัยการชี้บ่งด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

2.2.2 แบคทีเรียแลคติกที่มีบทบาทในการหมักกิมจิ

การหมักกิมจิเป็นการเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่าง,ปริมาณกรด,ระดับของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณน้ำตาล ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ในการหมัก เริ่มต้นการหมักค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงอย่างรวดเร็ว ปริมาณกรดและปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณน้ำตาลจะลดลง จนกระทั่ง ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.2-4.5 และมีปริมาณกรดแลคติก 0.4-0.8% จึงถือว่าได้กิมจิที่มีคุณภาพที่ดี

Leuconostoc mesenteroides เป็นแบคทีเรียแกรมบวก (Gram-positive), รูปร่างค่อนข้างกลมมักอยู่เป็นคู่ๆ หรือเรียงต่อเป็นโซ่ โคโลนีกลม เรียบ สีขาวขุ่น ขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลางกน้อยกว่า 1.00 มิลลิเมตร ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และไม่สร้างสปอร์ เป็นพวก facultative anaerobes เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 5-37 องศาเซลเซียส (Garvie, 1986) แบคทีเรียชนิดนี้มักเจริญร่วมกัน lactobacilus ทั้งในธรรมชาติและในสภาวะที่สร้างขึ้นเพื่อการทดลองทั่วๆ ไป (Holzapfel and Schillinger, 1992) *L. mesenteroides* นิยมใช้ในอุตสากรรมการหมัก เช่น กะหล่ำปลีดอง (Fleming, 1995) , ผลิตภัณฑ์หมักจากนม (Holzapfer and Schillinger, 1992) ส่วนเชื้อ *Lactobacillus plantarum* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โคโลนีมีลักษณะกลม เรียบ สีครีม แบคทีเรียชนิดนี้ไม่สร้างสปอร์ สามารถพบได้ทั่วไปในกิมจิ ผัก กะหล่ำปลีดอง หรือแม้แต่เป็นน้ำลายของมนุษย์ และพบมากในลำไส้ของมนุษย์ซึ่งเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 2.4 แสดงวิถีทางเคมีของการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ และเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ
ที่มา: สุมณฑา, 2545

แบคทีเรียที่ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคที่มีอยู่ในร่างกาย จึงถือว่า *L. plantarum* เป็น probiotic bacteria

การหมักกิมจิใช้เชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* (*Leuconostoc* sp.) เป็นเชื้อเริ่มต้นในการหมัก ซึ่งเป็น เฮเทอร์โรเฟอร์เมนเททีฟแบคมีเรีย ผลิต กรดแลคติก, กรดอะซิติก, แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธานอล จนค่า pH ลดลงประมาณ 4.6-4.9 ซึ่งมีผลให้ยับยั้งการเจริญของ *L. mesenteroides* เอง จากนั้นเกิดการหมักต่อของแบคทีเรียแลคติกที่ทนกรดได้ ดังตาราง 2.6 เช่น *Pediococcus cervisiae, Lactobacillus brevis, Lac. fermentum* และ *Lac. plantarum* (Lee *et al*., 1992; Lim *et al*., 1989) ซึ่งปริมาณของแบคทีเรียแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนของเชื้อเริ่มต้นที่มีอยู่ในผักกาดขาวปลีและในส่วนผสมต่างๆ ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ เป็นเชื้อ *Lac. plantarum* ในระยะสุดท้ายของการหมักกิมจิจะพบยีสต์ที่สร้างเอนไซม์ polygalacturonase ซึ่งมีคุณสมบัติทำลายเพคตินและเนื้อเยื่ออื่นๆ ของผักกาดขาวและหัวผักกาดขาวทำให้กิมจิมีคุณภาพต่ำลง (Mheen *et al*., 1984)

2.2.3 การหมักกิมจิโดยใช้เชื้อเริ่มต้น

ในการผลิตอาหารหมักระดับอุตสาหกรรมจะเติมแบคทีเรียเริ่มต้นลงไปจำนวนหนึ่งเพื่อควบคุมกระบวนการหมักให้เกิดกรดแลคติกในปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการ (นิธิยา, 2545) เพื่อควบคุมคุณภาพที่ดีของกิมจิโดยใช้เชื้อ *Lac. plantarum, Lac. brevis, Ped. cerevisiae* และ *Leu. mesenteroides* ที่แยกได้จากกิมจิเป็นเชื้อเริ่มต้นในการหมัก (Lee, 1988) กิมจิที่หมักด้วยเชื้อเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาหมัก 24 ชั่วโมง จะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสและกลิ่นรส เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่ากิมจิที่หมักเองตามธรรมชาติ

จุลินทรีย์ที่จะใช้เป็นเชื้อบริสุทธิ์เริ่มต้นในการหมักควรอยู่ในสภาพที่แข็งแรงและว่องไว มีปริมาณมาก ปราศจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ต้องการและคงความสามารถในการสร้างผลผลิตที่ต้องการได้ดี (สมใจ, 2544)

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ ในระหว่างการหมักของกิมจิ

กิมจิที่หมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม จะสามารถต่อต้านเชื้อก่อโรคในกิมจิได้ Ha (1994) พบว่าเชื้อก่อโรคในกิมจิระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในวันที่ 2 หลังจากหมักกิมจิจนมีค่าความเป็นกรดด่าง 4.11 ตรวจไม่พบ *Clostridium perfring*ens และในกิมจิที่มีค่าความเป็นกรดด่าง 3.76 ตรวจไม่พบเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella typhimurium* และที่ค่าความเป็นกรดด่างของกิมจิ 3.70 ตรวจไม่พบเชื้อ *Listeria monocytogenes, Vibrio parahaemolyticus* และ *Escherichia coli* ซึ่งปริมาณของเชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้นจาก 10^5 log cfu/g เป็น 10^8 log cfu/g Kim et al. (2004) รายงานว่าวันแรกของการหมักตรวจพบเชื้อ enteric bacteria ในกิมจิ 10^4 log cfu/g แต่หลังจากหมักจนกิมจิมีปริมาณกรดทั้งหมด 1.2% ตรวจไม่พบเชื้อ enteric bacteria กิมจิที่หมักจนมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคได้ เนื่องจาก ความเป็นกรดที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก ปริมาณเกลือ การแข่งขันของเชื้อชนิดต่างๆ ในระหว่างการหมัก รวมทั้งสภาวะไร้ออกซิเจนจะช่วยกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียแลคติก แต่ช่วยลดการเจริญของเชื้อที่ต้องการอากาศ เช่น *Acromobacter, Flavobacterium* และ *Pseudomonas* sp. (Whang *et al*., 1960)

2.3 การปรับปรุงคุณภาพของกิมจิ

การปรับปรุงคุณภาพของกิมจิอาจทำได้หลายวิธี เช่น การเติมชาเขียว (Choi and Park, 2000) การเติมโสม (Chang, 1995) การเก็บรักษากิมจิไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เช่นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บกิมจิได้นาน 20 วัน ในขณะที่อุณหภูมิ -5 ถึง 0 องศาเซลเซียสสามารถเก็บกิมจิได้นานมากกว่า 3 เดือน (Lee and Yang, 1970)การฉายรังสี ร่วมกับความร้อนและบรรจุด้วยแก๊สไนโตรเจน (Kim *et al*., 2008) และการใช้ความร้อนในระดับต่างๆ

การเติมเปลือกหอยป่น Choi *et al*.(2005) พบว่ากิมจิที่เติมเปลือกหอยป่น 0.5% ช่วยทำให้คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกิมจิยาวนานขึ้นและเพิ่มปริมาณธาตุแคลเซียมในกิมจิอีกด้วย เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกิมจิที่ไม่เติมเปลือกหอยป่นในกิมจิได้ด้วยนอกจากนี้รสชาติของกิมจิที่เติมเปลือกหอยป่น 0.5% นี้ มีความขมน้อยกว่าและมีให้รสชาติที่ดีกว่า(Lee *et al*., 2004) ศึกษาผลของการใช้พริกที่ผ่านรังสีมาใช้ในการหมักกิมจิ โดยใช้ความเข้มของรังสี 0, 5, 10, 15 และ 20 kGy พบว่า กิมจิที่ใช้พริกที่ผ่านรังสีมีจุลินทรีย์เริ่มต้นน้อยกว่ากิมจิที่ใช้พริกที่ไม่ผ่านรังสีนับจำนวนได้ประมาณ 1 log CFU/ml และเพิ่มขึ้นเป็น 8.5 log CFU/ml เมื่อผ่านการหมักไป 10 วัน ซึ่งเท่ากับกิมจิที่ใช้พริกไม่ผ่านรังสี แสดงให้เห็นว่าพริกที่ผ่านรังสีทำให้การหมักเกิดขึ้นช้า และนอกจากนี้การใช้รังสีเข้มข้น 5 kGy มีผลให้กิมจิมีกลิ่นรส และสีดีที่สุดการใช้ความดันสูงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำลาย vegetative cell ของแบคทีเรียและสามารถยับยั้งเอนไซม์บางชนิดได้Hong *et al*.(1997) ได้แยกเชื้อ *Lactobacilllus sp*. จากกิมจิแล้วนำมาให้ความดันสูงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าความดันสูงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ 70 kg/cm^2 นาน 200 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณของเชื้อ Lactobacillus ได้ถึง 5 log cycle แสดงให้เห็นว่าการใช้ความดันสูงนี้เป็นเทคนิคที่ไม่ใช้ความร้อนที่สามารถรักษาคุณภาพของกิมจิให้คงอยู่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.6 เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (%) ที่แยกได้จากกิมจิที่หมักที่อุณหภูมิ 5, 15 และ 25 องศาเซลเซียส

Genus	Species	Subspecies	5 ^{0}C	15 ^{0}C	25 ^{0}C
Leuconostoc	*mesenteroides*	*mesenteroides*	31.5	12	6.3
	mesenteroides	*cremoris*	0	4	4.8
	mesenteroides	*dextranicum*	10.1	0	1.6
	para mesenteroides		23.6	0	0.8
	lactis		0	1	0
Sterptococcus	*lactis*		0	0	1.6
	iniac		4.5	0	0.8
	agalactiae		0	0	0.8
	raffinolactic		0	0	11.1
Pediococcus	*pentosaccus*		0	0	4.0
	inopinatus		2.2	6	0
	acidilactici		0	1	0
Lactobacillus	*plantarum*		0	15	36.5
	maltaromicus		12.3	8	5.6
	homochiochii		0	7	4.8
	brevis		0	0	3.2
	curvatus		0	0	2.4
	minor		10.1	3	0.8
	sake		4.5	9	0.8
	confuses		0	0	0.8
	hilgardii		0	0	0.8
	frucosus		0	15	0.8
	farciminis		0	3	1.6
	coryniformis	*coryniformis*	0	0	0.8
	casei	*rhamnosus*	0	0	0.8
	sivergens		1.1	0	0
	ailmentarius		0	4	0
	bavaricus		0	2	0
	yamanashiensis		0	4	0
	amylophilus		0	1	0
Bacillus	*cereus group*		0	0	4.8
	circulans		0	0	4.0

ที่มา: Lim, 1989

Song *et al.* (2004) ศึกษาผลของการใช้รังสีแกมมาเพื่อยืดอายุของกิมจิ โดยใช้ความเข้มข้นของรังสี 0, 2.5, 5 และ 10 kGy โดยให้รังสี 2 ช่วงคือ ช่วงการหมักระยะต้น และช่วงกลางของการหมักกิมจิ เพื่อยับยั้งกิจกรรมการหมักของจุลินทรีย์ , กิจกรรมของ lactate dehydrogenase (LDH) และช่วยชะลอการลดลงของค่าความเป็นกรดเบสของกิมจิ พบว่า กิมจิที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผ่านรังสีแกมมาในระยะการหมักช่วงต้นสามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ได้ดีและการทำงานของ lactate dehydrogenase แต่ไม่สามารถช่วยชะลอการลดลงของค่าความเป็นกรดเบสได้ทั้งกิมจิที่ได้รับความเข้มของรังสี 10 kGy นอกจากนี้พบว่าการใช้รังสีเข้มข้น 5 kGy มีผลให้กิมจิมีกลิ่นรส และสีดีที่สุด

2.4 การถนอมอาหารโดยใช้ความดันสูง

กระบวนการใช้ความดันสูงในการแปรรูปอาหารหรือถนอมอาหาร เป็นกระบวนการหนึ่งที่ได้นำมาประยุกต์กับอาหารโดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นประเทศเริ่มแรกที่กระตุ้นการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้ความดันสูง และเพิ่มมากขึ้นในหลายๆ ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส สวีเดน เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ อาหารประเภทที่เป็นกรด (acid foods) เช่น แยม เครื่องดื่มน้ำผลไม้ และโยเกิร์ต เนื่องจากการใช้ความดันสูงเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีความสดและใกล้เคียงกับธรรมชาติ (ธีรพร,2551)ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันที่ต้องการอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุดคำนึงถึงคุณค่าทางอาหารและความสดของผลิตภัณฑ์ (Gao *et al*., 2005)

2.4.1 กระบวนใช้ความดันสูง (High Hydrostatic Pressure)

หลักการ

ความดันเป็นตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมีซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเป็นไปตามกฎของ Le Chatalier กล่าวว่า ภายใต้สภาวะที่สมดุลเมื่อให้ความดันแก่ระบบจะทำให้ปริมาตรลดลงเพื่อทำให้เกิดสภาวะสมดุล และความดันจะเกิดอย่างสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด (Isostatic) ซึ่งกระบวนการให้ความดันสูงทำให้อาหารมีปริมาตรลดลงและส่งผลต่อพันธะที่ไม่ใช่พันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนท์ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก และพันธะที่ไม่ละลายน้ำ แต่ความดันจะไม่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบของอาหารที่มีโมเลกุลต่ำ เช่น วิตามิน สารให้กลิ่น สารให้สี (Houška *et al*., 2005) ส่วนองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น โครงสร้างที่สาม (tertiary structure) และพันธะโควาเลนท์บางชนิดจะถูกเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการส่งผ่านความดันจะไม่สามารถทำได้ถ้ามีฟองอากาศเกิดขึ้นนอกจากนี้ที่อุณหภูมิคงที่ ถ้าให้ความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้ระดับการจัดเรียงตัวของสารเพิ่มขึ้น (วัชราภรณ์, 2549)

กระบวนการใช้ความดันสูงในการแปรรูปอาหารเป็นกระบวนการที่ไม่ทำให้เกิดความร้อน (nonthermal process) หรือทำให้เกิดความร้อนขึ้นน้อยมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการผ่านความดันให้แก่อาหาร (pressurizing medium) เนื่องจากสะดวกและใช้ได้กับอาหารและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาจใช้แก๊สเป็นตัวกลางได้แต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากทำให้เกิดพลังงานที่สูงเกินไปและเกิดปัญหาเกี่ยวกับการระเบิดของถังความดัน ส่วนอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวสามารถนำมาใส่ในถังความดันได้โดยตรง ในกรณีที่อาหารมีลักษณะเป็นของแข็งหรือของแข็งผสมกับของเหลวอาจนำมาบรรจุในภาชนะที่อ่อนตัว (flexible containers) และจุ่มลงในของเหลวที่เป็นตัวกลางในถังความดันแล้วจึงให้ความดันจนถึงระดับที่กำหนดไว้ (ธีรพร, 2551)

ของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางจะส่งผ่านความดันไปยังอาหารอย่างสม่ำเสมอเท่ากันในทุกทิศทาง ทำให้อาหารคงรูปร่างเดิมและเนื่องจากไม่มีการใช้ความร้อนจึงทำให้สารอาหาร และลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารยังคงอยู่ และมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ด้วย

2.4.2 ผลของความดันต่อจุลินทรีย์

ความดันสูงสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้เนื่องจากความดันสูงมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ คือ ทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เสียสภาพธรรมชาติและลดขนาดของฟอสโฟไลปิด (phospholipids) เป็นผลให้หยุดการนำเข้ากรดอะมิโนที่จำเป็นไปยังภายในเซลล์ นอกจากนี้ความดันสูงยังเพิ่มความสามารถในการเลือกผ่าน (permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้สารภายในเซลล์รั่วไหลออก และมีผลให้แวคิวโอลของเซลล์แตกได้ การใช้ความดันสูงเกินไปความสามารถในการเลือกผ่านเซลล์จะคืนกลับได้ แต่ถ้าความดันสูงมากจะมีผลทำลายเซลล์ได้ (ธีรพร, 2551)

โดยทั่วไปแบคทีเรียที่อยู่ในระยะ Log phase จะทนต่อความดันได้น้อยกว่าเซลล์ที่อยู่ในระยะ Stationary phase (Pangan and Mackey ,1999) พบว่า *E. coli* ที่อยู่ในช่วง log phase เป็นช่วงที่ถูกทำลายได้ง่าย และเซลล์ไม่สามารถซ่อมแซมเยื่อหุ้มเซลล์ที่ถูกทำลายไปได้ แต่เซลล์ที่อยู่ในช่วง stationary phase สามารถซ่อมแซมส่วนที่ถูกทำลายได้ และที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่ช่วยให้เซลล์ซ่อมแซมส่วนที่เสียหายได้

ส่วนการทนต่อความดันสูงของจุลินทรีย์สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ แบคทีเรียแกรมบวก ยีสต์ และแบคทีเรียแกรมลบ ตามลำดับ (Moreman, 2004) ศึกษาการทดต่อความดันของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยเพาะเชื้อ *Bacillus stearotheromophillus, B. subtilis, Clostridium sporogenes, C. tyrobutyricum, C. saccharolyticum, Enterococcus faecalis, Staphylococcus aureus, Pseudomonas fluorescences, E. coli* และ *Saccharomyces cerevisia* ลงไปในหมูบด และนำไปให้ความดันที่ 400 MPa นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 20 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความดันสามารถยับยั้ง *E. coli* และ *P. fluorescens* ได้ถึง 99% และ 100% ตามลำดับ ในขณะที่ความดันมีผลต่อแบคทีเรียแกรมบวก *E. faecalis* และ *S. aureus* เล็กน้อย ส่วนยีสต์ *S. cerevis*iase นั้นถูกทำลายจนหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยกเว้นสปอร์ของ *Bacillus* และ *Clostridium* ที่ทนทานต่อความดัน ซึ่งสอดคล้องกับ (Shigehisa *et al*., 1991) ศึกษาการทนต่อความดันของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยเพาะเชื้อ *B. cereus, Campylobbacter jejuni, Canida utilis, E. coli, Micrococcuccus luteus, P. aeruginosa, S. cerevisiae, Salmonella typhimurium, S. aureus , Streptococcus feacalis* และ *Yersinia enterotica* ลงในเนื้อหมูบดเหลว และให้ความดัน 300 -600 MPa พบว่า จุลินทรีย์ทั้งหมดถูกทำลาย ยกเว้น *B. cereus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดที่สร้างสปอร์โดยลดปริมาณลงเหลือน้อยกว่า 10 CFU/mL.

2.4.3 ผลของความดันสูงต่อเอนไซม์

ความดันสูงสามารถทำลายหรือยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ เนื่องจากความดันสูงมีผลให้โครงสร้างบริเวณ active site ของเอนไซม์ เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ผลของความดันสูงต่อ succinate formate และ malate dehydrogenase ซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้ลดลง และเมื่อให้ความดันสูง 100 MPa นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิห้องสามารถทำลายเอนไซม์นี้ได้อย่างสมบูรณ์

Ogawa *et al*. (1990) ศึกษาผลของความดันสูงต่อเอนไซม์ pectinesterase ในน้ำส้ม (Satsuma mandarin juice) พบว่าที่ความดันสูง 300-400 MPa สามารถทำลายกิจกรรมของเอนไซม์นี้ได้ และความดันที่ 300 MPa หรือสูงกว่านี้สามารถทำลายกิจกรรมของ pectinesterase บริสุทธิ์ได้เช่นกัน โดยทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ได้อย่างถาวรและเอนไซม์นี้จะไม่คืนกิจกรรมระหว่างเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าของแข็งที่ละลายได้ชนิดต่างๆ เช่น น้ำตาล ไขมัน มีส่วนช่วยปกป้องการสูญเสียกิจกรรมของเอนไซม์นี้จากการได้รับความดันสูงหรือความร้อน

2.4.4 การประยุกต์ใช้ความดันสูงในกระบวนการแปรรูปอาหาร

ความดันสูงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารรวมทั้งเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการ เช่น เนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ การศึกษาและการประยุกต์ใช้ความดันสูงในการแปรรูปและถนอมอาหารในปัจจุบันมีเพิ่มขึ้น และมีผลิตภัณฑ์ที่ผ่านความดันสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้ความดันสูงสามารถใช้ในการละลายน้ำแข็งของอาหารแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาอาหารโดยไม่เกิดการแช่เยือกแข็ง (Houška *et al*., 2005) เนื่องจากการใช้ความดันในระดับที่เหมาะสมมีผลทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ และเอนไซม์ที่ไม่ต้องการในอาหาร (ธีรพร, 2551) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากการใช้ความดัน ในตาราง 2.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.7 ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์อาหารที่แปรรูปจากการใช้ความดันสูง

ผลิตภัณฑ์	ผู้ผลิต	ภาชนะและขนาดบรรจุ
แยม ท็อปปิ้งผลไม้ โยเกิร์ต และเจลลี่	Meiji-ya	ถ้วยพลาสติก (100-125 กรัม)
น้ำองุ่น	Pokka Corp	ขวดแก้ว (200-800 กรัม)
Mikan Juice	Wakayama Nokyo Food Industry Takanashi Milk	ขวดแก้ว (500 กรัม) กล่องกระดาษ (1,000 กรัม)
ไอศกรีม (ผสมผลไม้สด)	Nisshin Oil Mills	ถ้วยกระดาษ (130 กรัม)
เนื้อสัตว์ที่มีความนุ่ม	FujiChika & Mutterham	

ที่มา : Knorr, 1995

2.4.5 ข้อดีของกระบวนการความดันสูงยิ่ง (วัชราภรณ์, 2549)

- ยับยั้งปฏิกิริยาของจุลินทรีย์และเอนไซม์
- รักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงของสด เช่น สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัส
- ไม่มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร
- ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์
- ไม่จำเป็นต้องใส่สารกันเสีย จึงหลีกเลี่ยงกลิ่นรสที่ไม่ต้องการได้
- แรงดันที่ส่งผ่านไปยังอาหารเป็นไปอย่างสม่ำเสมออาหารจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง
- เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์
- เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ก่อให้เกิดของเสีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ความดันสูงในปัจจุบันมีข้อจำกัดในการใช้ระดับอุตสาหกรรมอยู่ที่เครื่องมือหรืออุปกรณ์ซึ่งต้องออกแบบให้ทนต่อแรงดันที่สูงมาก และมีค่าใช้จ่ายมาก