บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องและงานวิจัย

2.1 ผลิตภัณฑ์น้ำพริกหนุ่ม

น้ำพริกหนุ่มเป็นอาหารชนิดหนึ่งซึ่งบ่งบอกถึงวัฒนธรรม การกินของชาวล้านนาที่สืบทอดกันมาเป็นเวลานาน อาหารของชาวล้านนามักต้องมีน้ำพริกหนุ่มอยู่ด้วย นิยมรับประทานกับแคบหมู หรือจะเป็นผักพื้นบ้านทั้งผักสด ต้ม หรือลวก นอกจากช่วยเสริมรสชาติแล้ว ผู้บริโภคยังได้รับสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย ปัจจุบันน้ำพริกหนุ่มได้กลายเป็นของฝากที่มีชื่อเสียงของทางภาคเหนือโดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งพริกหนุ่มมีคุณค่าทางโภชนาการหลายอย่าง เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินซี และวิตามินเอ เป็นต้น (สุทธิศักดิ์, 2550)

2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำพริกหนุ่ม

น้ำพริกหนุ่มประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญคือ พริกหนุ่ม หอมแดง กระเทียม และเครื่องปรุงรส (รังสิมา, 2549)

2.1.1.1 พริกหนุ่ม

พริกหนุ่มมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum annuum* Linn. เป็นพริกเม็ดขนาดใหญ่ มีความเผ็ดปานกลางและมีหลายสายพันธุ์ เป็นพริกที่เมื่ออ่อนเป็นสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีแดง มีกลิ่นหอม รสเผ็ด เนื้อหนา สารอาหารที่สำคัญได้แก่ วิตามินซี วิตามินบี และวิตามินอี รสเผ็ดร้อนในพริกช่วยเจริญอาหาร ขับลม บำรุงธาตุ เป็นยาระบาย อีกทั้งมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ สารแคปไซซินทำให้อารมณ์ดี เพราะรสเผ็ดร้อนทำให้สมองกระตุ้นให้ร่างกายหลั่งฮอร์โมนอะดรีนาลิน และยังช่วยขับเสมหะจากคอและหลอดลมทำให้โล่งสบาย แก้หวัดได้ (ทวีทอง และคณะ, 2547)

พริกหนุ่มพันธุ์แม่ปิง (*Capsicum annuum* L. var. Maeping) เป็นพริกเม็ดขนาดใหญ่ ผลอ่อนเป็นสีเขียว ผลแก่เป็นสีแดงออกส้ม ยาวประมาณ 10 - 15 ซม. ข้อดีของพริกพันธุ์นี้ คือ เป็นพริกรสค่อนข้างเผ็ด มีลักษณะเนื้อแน่น และมีสีเขียวจัด ซึ่งจะทำให้น้ำพริกหนุ่มที่ผลิตออกมามีคุณลักษณะสัมผัสและรสชาติดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1.2 กระเทียม

กระเทียมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Allium sativum* Linn. เป็นพืชล้มลุก ใบสีเขียว แบนยาว ลำต้นเจริญเป็นหัวอยู่ใต้ดิน ทรงกลมแป้นและกลมรี มีกลีบหลายกลีบเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ มีหลายสายพันธุ์ เช่น พันธ์ศรีสะเกษ พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์บางช้าง เป็นต้น กระเทียมสดมีสารอาหารที่สำคัญ เช่น สารอัลลิซิน (allicin) ซีลีเนียม (selenium) เจอร์เมเนียม (germanium) ซึ่งมีส่วนช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด โรคมะเร็ง การอักเสบ และช่วยรักษาโรคผิวหนังที่เกิดจากเชื้อรา เช่น หิด กลาก เกลื้อน เป็นต้น ส่วนสารอาหารที่โดดเด่นอื่นๆ คือ เบต้าแคโรทีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินบี และวิตามินซี (ทวีทอง และคณะ, 2547)

2.1.1.3 หอมแดง

หอมแดง เป็นส่วนหัวที่แก่แล้วของต้นหอม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Allium ascalonicum* Linn. เป็นพืชล้มลุก มีหัวใต้ดินเป็นรูปทรงกลมหรือรูปไข่ มีทั้งแบบกลีบเดียวและหลายกลีบ หอมแดงมีรสซ่าและกลิ่นฉุน เพราะมีสารอัลลิลซัลไฟล์ (allylsulphide) เมื่อปอกเปลือกจึงทำให้แสบตา หอมแดงเป็นเครื่องเทศสำคัญ นิยมใช้ในอาหารจำพวกต้มและแกง สารอาหารที่สำคัญของหอมแดง คือ คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินเอ และวิตามินซี หอมแดงมีสรรพคุณช่วยบรรเทาอาการหวัด หายใจไม่ออก ทุบแล้วดมทำให้จมูกโล่งขึ้น (ทวีทอง และคณะ, 2547)

2.1.1.4 เครื่องปรุงรส

เครื่องปรุงรสที่นิยมใช้ปรุงรสในน้ำพริกหนุ่ม เช่น น้ำปลา น้ำตาล เกลือ มะนาว เต้าเจี้ยว ซีอิ้วขาว และอาจปรุงแต่งด้วยมะเขือเทศส้ม เนื้อปลาสุก น้ำปลาร้าต้มสุก เป็นต้น ตามสูตรของผู้ผลิตที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ เพื่อเพิ่มรสชาติตามความนิยมและความเหมาะสมของแต่ละท้องถิ่น (อรุณี, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำพริกหนุ่ม

น้ำพริกหนุ่มเป็นอาหารประเภทที่มีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งเป็นอาหารที่ต้องมีการควบคุมกรรมวิธีการผลิตอย่างเข้มงวดเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำพริกหนุ่ม (มผช. 293/2547) ได้กำหนดมาตรฐานของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำพริกหนุ่มไว้ดังนี้ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำพริกหนุ่ม, 2547)

1. จุลินทรีย์รวมทั้งหมด ต้องไม่เกิน $1x10^4$ cfu/g
2. *Salmonella* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม
3. *Staphylococcus aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม
4. *Clostridium perfringens* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม
5. *E. coli* โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อตัวอย่าง 1 กรัม
6. ยีสต์และรา ต้องน้อยกว่า 10 cfu/g

2.2 สาเหตุของการเน่าเสียในอาหาร

การเน่าเสียของอาหารมีหลายลักษณะ เช่น การเปลี่ยนสี มีกลิ่นรสผิดปกติ เนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป มีการสร้างเมือก (slime) มีแก๊สสะสมทำให้อาหารมีฟอง หรืออาหารมีความข่นมากขึ้น (บุษกร, 2550) การเน่าเสียของอาหารเกิดจากสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการคือ เกิดจากสาเหตุทางเคมี และเกิดจากจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

2.2.1. การเน่าเสียของอาหารที่เกิดจากสาเหตุทางเคมี

อาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเอนไซม์ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของอาหาร ถ้าเป็นอาหารกระป๋อง เอนไซม์ไม่มีบทบาทสำคัญในการทำให้อาหารเสีย เนื่องจากกระบวนการแปรรูปอาหารกระป๋องมีขั้นตอนทำลายเอนไซม์ อย่างไรก็ตามถ้าในกระบวนการแปรรูปอาหารต่างๆ ไม่มีขั้นตอนการทำลายเอนไซม์แล้วจะมีผลนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีซึ่งทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

อาหารทุกชนิดที่มีแหล่งมาจากพืชและสัตว์จะมีเอนไซม์เป็นส่วนประกอบ เอนไซม์เป็นสารอินทรีย์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีในอาหาร เอนไซม์จะทำให้อาหารเกิดการย่อย

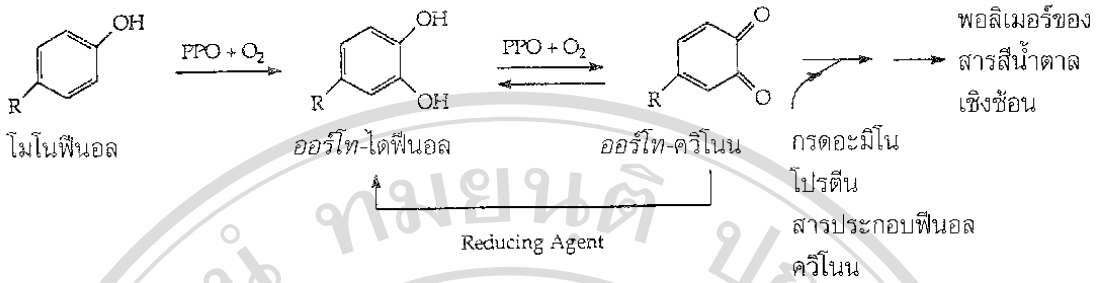
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สลายตัวเองเช่น ย่อยน้ำตาล โปรตีน และไขมัน เป็นต้น เอนไซม์ในผักและผลไม้ช่วยทำให้ผักและผลไม้สุก นิ่ม เละ และสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัส และถ้าปล่อยให้เอนไซม์ย่อยสลายต่อไปเรื่อยๆ อาหารจะเกิดการเน่าเสีย และมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้น การเสื่อมคุณภาพของอาหาร เช่น การเหม็นหืน และการเกิดสีน้ำตาลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเช่นกัน ดังนั้นถ้าต้องการเก็บรักษาอาหารไว้ได้เป็นเวลานานควรทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหารเสียก่อน เช่น การใช้ความร้อนในการลวกหรือหุงต้มก็เพียงพอที่จะยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ ในบางกรณีสามารถใช้ความเย็นเพื่อชะลอการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์และป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการได้ เอนไซม์ที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารมีดังนี้ คือ

2.2.1.1 เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO)

เอนไซม์นี้มีชื่อตามระบบ คือ o-diphenol: oxygen oxidoreductase; EC 1.10.3.1 เอนไซม์ PPO นี้มีชื่อสามัญต่างๆ กัน เช่น ไทโรซิเนส (tryrosinase) พอลิฟีนอเลส (polyphenolase) ฟีนอเลส (phenolase) แคทีคอลออกซิเดส (catechol oxidase) ครีซอเลส (cresolase) หรือแคทีคอเลส (catecholase) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับสับสเตรตที่ใช้ เอนไซม์ PPO พบทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์บางชนิด เช่น ฟังไจ โดยเอนไซม์ PPO นี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อพืชเมื่อเซลล์ถูกทำลายทางกล เช่น การปอกเปลือก หรือการหั่นชิ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์ PPO ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (o-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อให้เป็นออร์โท-ควิโนน (o-quinone) ควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้ จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีน เพราะกรดอะมิโนไลซีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกาย นอกจากนี้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ยังทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติเปลี่ยนไปด้วย ดังแสดงในภาพ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO
ที่มา: นิธิยา (2545)

สับสเตรตที่ถูกออกซิไดส์ได้ด้วยเอนไซม์ PPO ได้แก่ สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในพืช ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เช่น แอนโทไซยานิดิน ลูโคแอนโทไซยานิดิน ลูโคแอนโทไซยานิดิน ฟลาโวนอล แคตีคอล กรดคาเฟอิก กรดคลอโรจินิก แคตีชิน เอสเทอร์ของกรดซินนามิก 3,4-ไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน และไทโรซีน พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 5-7 เอนไซม์นี้ไม่ค่อยคงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (halide acid) กรดฟีนอลิกซัลไฟต์ คีเลติงเอเจนต์ (chelating agents) และรีดิวซิงเอเจนต์ (reducing agents) เช่น กรดแอสคอร์บิก และ ซีสเตอีน เป็นต้น (นิธิยา, 2545)

2.2.1.2 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase; POD)

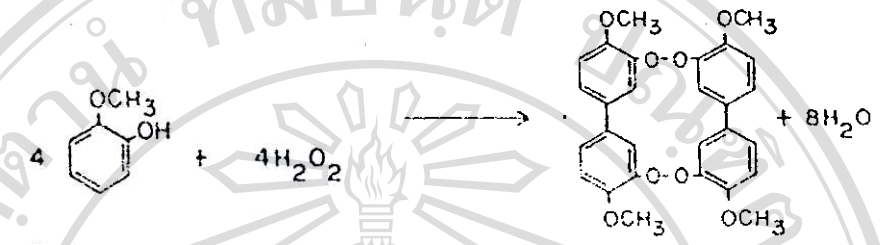
เอนไซม์นี้มีชื่อตามระบบ คือ doner: hydrogen-peroxide oxidoreductase; EC 1.11.1.7 เอนไซม์ POD จัดเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในกลุ่มของเอนไซม์ออกซิโดรีดักเตส (oxidoreductase) เป็นเอนไซม์ที่มีธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของโมเลกุล สามารถออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีลักษณะปฏิกิริยาหลัก คือ Peroxidatic reaction (ปราณี, 2535) ดังนี้

$$H_2O_2 + 2\ AH_2 \text{ ------> } 2H_2O + HAAH \text{ (polymerized product)}$$

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาหลักของเปอร์ออกซิเดสใน in vitro ที่มีสารเริ่มต้น (substrate) เป็นสารประกอบฟีนอล (A) เช่น p-cresol, guaiacol, resorcinol และ aniline เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างของปฏิกิริยาการออกซิไดส์สาร guaiacol ซึ่งเป็นตัวให้ไฮโดรเจนในขณะที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อสารทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ tetraguaiacol ซึ่งมีสีน้ำตาล ดังภาพ 2.2



Guaiacol Tetraguaiacol

ภาพ 2.2 ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์สาร guaiacol ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ที่มา: ปราณี (2535)

2.2.1.3 เอนไซม์ลิพอกซิจิเนส (Lipoxigenase; LOX)

เอนไซม์นี้มีชื่อตามระบบ คือ linoleate: oxygen oxidoreductase; EC 1.13.1.13 โดยเอนไซม์ LOX นี้จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากทั้งที่อยู่ในรูปอิสระหรือจับอยู่กับสารอื่นได้เป็นอนุมูลอิสระ หลังจากนั้นจะเกิด ปฏิกิริยาต่อโดยไม่อาศัยเอนไซม์ได้เป็นแอลดีไฮด์ เช่น มาโลนาลดีไฮด์ (malonaldehyde) และสารประกอบอื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ อนุมูลอิสระและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ทำให้สีเปลี่ยนไปด้วย เช่น สีเขียวของคลอโรฟิลล์ หรือสีส้มและสีแดงของแคโรทีนอยด์ และยังทำลายวิตามินและโปรตีน เป็นต้น กรดอะมิโนในโมเลกุลของโปรตีนที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด ได้แก่ ซิสเตอีน ไทโรซีน ฮิสติดีน และทริพโตเฟน การเติมสารต้านออกซิเดชัน เช่น วิตามินอี โพรพิลแกลเลต เบนโซอิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอีน และกรดนอร์ไดไฮโดรกัวแอซิติก จะช่วยป้องกันการถูกทำลายจากอนุมูลอิสระและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้ (นิธิยา, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2. การเน่าเสียของอาหารที่เกิดจากจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก พบกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในอากาศ ดิน น้ำ อาหารและอุปกรณ์สำหรับใช้ประกอบอาหาร รวมทั้งตามมือและทางเดินอาหารของคนและสัตว์ ดังนั้นจึงยากที่จะหลีกเลี่ยงจุลินทรีย์จากการบริโภคอาหาร จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและเน่าเสียหรือเกิดโรคอาหารเป็นพิษระบาด จุลินทรีย์ซึ่งปนเปื้อนอยู่ในอาหารต้องการพลังงาน เริ่มด้วยการใช้เอนไซม์ต่างๆ ที่มีอยู่ภายในเซลล์ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอาหาร ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวนี้จะมีอยู่สองชนิด คือ extracallular enzyme และ intracellular enzyme โดยเอนไซม์ชนิดหลังนี้จะเกิดขึ้นภายหลังการแตกสลายของเซลล์จุลินทรีย์ จากนั้นจึงนำสารต่างๆ ที่ย่อยสลายแล้วไปใช้เพื่อการอยู่รอด การเจริญ และการขยายพันธุ์ต่อไป อาหารที่จุลินทรีย์ย่อยสลายจะมีการเสื่อมคุณภาพ มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

2.2.2.1 ชนิดจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย

จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้อาหารเสียมี 3 ประเภทได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา

1) แบคทีเรีย

เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมากหน่วยที่ใช้วัดขนาดของแบคทีเรีย คือ ไมโครเมตร (μm) หรือ 1 ไมครอนมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนใน 1000 มิลลิเมตร เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมองเห็นแบคทีเรียมีรูปร่างต่างๆ เช่น รูปทรงกระบอก เป็นแท่ง รูปกลม ซึ่งอาจจะวางตัวเกาะเรียงกันเป็นสายหรือเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่นและบางชนิดมีรูปร่างเป็นเกลียว เป็นต้น

แบคทีเรียทั่วไปมีทั้งในสภาพที่กำลังเจริญซึ่งสามารถย่อยสลายอาหารได้ดีและในสภาพพักตัวหรือเรียกว่า ระยะสปอร์ซึ่งเป็นสภาพที่ยากแก่การทำลาย เซลล์แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกทำลายโดยการพาสเจอไรซ์หรือที่อุณหภูมิน้ำเดือด แต่ในสภาพสปอร์สามารถทนต่อการต้มที่ 100 °C ได้เป็นเวลานานถึง 16 ชั่วโมง แบคทีเรียมีทั้งชนิดที่สร้างสปอร์และไม่สร้างสปอร์ชนิดที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต แบคทีเรียเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวตามขวางอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม แบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าทุกๆ 30 นาทีคือแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนจาก 1 เซลล์เป็น 2 เซลล์ ดังนั้นถ้าในอาหารมีแบคทีเรียปนเปื้อนเพียง 1 เซลล์ภายในเวลา 10 ชั่วโมงเท่านั้นจะมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่าหนึ่งล้านเซลล์ อาหารที่มีแบคทีเรียปนเปื้อนประมาณหนึ่งล้านเซลล์จะมีการเน่าเสียเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนในกรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่อาหารปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียชนิดเป็นพิษในอาหาร แบคทีเรียดังกล่าวจะย่อยสลายและเพิ่มจำนวนไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเพียงพอที่จะก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษหรือโรคระบบทางเดินอาหารเกิดขึ้นกับผู้บริโภคแบคทีเรียต่างชนิดที่ก่อให้เกิดอันตรายนั้นมีจำนวนต่างกัน

ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดสำคัญที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ได้แก่ *Pseudomonas, Acinetobacter, Moraxella, Alcaligenes* และ *Flavobacterium*

เอนไซม์บางชนิดของแบคทีเรีย เช่น โปรติเอส (protease) จะย่อยโมเลกุลของโปรตีนให้สลายตัวเป็นสารประกอบต่างๆ ซึ่งมีกลิ่นเหม็น เช่น แอมโมเนีย (ammonia) แอมีน (amine) ฟีนอล (Phenol) อินโดล (indole) เมอแคพแทน (mercaptan) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ ส่วนรสเปรี้ยวของอาหารและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่มักเกิดจากการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตของแบคทีเรีย และสลายให้กรดต่างๆ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

2) ยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่อยู่เป็นเซลล์เดียว ซึ่งต่างจากราที่มักอยู่ร่วมกันหลายๆ เซลล์ ยีสต์ต่างจากแบคทีเรีย คือ เซลล์มีขนาดใหญ่กว่า มีรูปร่างเป็นรูปไข่ ยาว กลมหรือกลมรี โคโลนีของยีสต์มีสีต่างๆ จากสีครีมจนถึงสีชมพูและแดง การสืบพันธุ์เป็นแบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ (budding) เมื่อหน่อขยายใหญ่ขึ้นจะแตกออกเป็นสองเซลล์ (fission) ยีสต์สามารถเจริญได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่กว้าง และมีแอลกอฮอล์สูงถึง 18 % ยีสต์หลายชนิดเจริญในที่ที่มีน้ำตาลซูโครสสูงถึง 55 - 60 % (สุมณฑา, 2545)

ยีสต์เจริญได้ดีในอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลมาก เช่น น้ำผลไม้ และชอบอาหารที่มีรสเปรี้ยว จึงทนต่ออาหารที่มีกรดได้ดีกว่าแบคทีเรีย สปอร์ของยีสต์ไม่ทนต่อความร้อน อุณหภูมิเพียง 77 °C เท่านั้นก็สามารถทำลายสปอร์ของยีสต์ได้ เป็นคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามกับสปอร์ของแบคทีเรียซึ่งทนต่อความร้อนได้ดีมาก

อาหารที่เกิดจากการเน่าเสียจากยีสต์มักมีกลิ่นหมัก มีเมือกและฝ้าเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้า สำหรับเครื่องดื่มจะขุ่นและมีฟองก๊าซเกิดขึ้น ยีสต์มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถใช้เอนไซม์ย่อยกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่ใช้ในการถนอมอาหารเช่น กรดแลคติก กรดซิตริก และกรดแอซิตริกได้ เมื่อยีสต์ใช้กรดต่างๆ ดังกล่าวกรดจะมีความเข้มข้นลดลงเป็นผลให้อาหารมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียชนิดที่เป็นสาเหตุของอาหารเน่าเสียได้

อาหารที่เกิดการเสื่อมคุณภาพและเน่าเสียจากยีสต์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลมาก เช่น แยม น้ำเชื่อม และผลไม้แห้ง ซึ่งเกิดจาก *Saccharomyces rouxii* และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Shizosaccharomyces octosporus นอกจากนี้อาหารที่ปริมาณเกลือมาก เช่น ผักดอง แฮม เบคอน และเนื้อเค็มมักเกิดการเสื่อมคุณภาพจากยีสต์ได้เช่นกัน ส่วนมากเกิดจาก *Hansenula, Saccharomyces* และ *Torulopsis* (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2546)

3) เชื้อรา

เชื้อราเป็นเชื้อที่เติบโตและแผ่ลามอย่างรวดเร็ว โดยเติบโตเป็นบริเวณกว้างภายในระยะ เวลา 2-3 วัน เชื้อราประกอบด้วยเส้นใยที่แตกแขนงเป็นเส้นสาย เรียกว่า ไฮฟา (hypha) เชื้อราสามารถเติบโตในอาหารและมีการสร้างสปอร์ การสร้างสปอร์ของเชื้อรามี 2 แบบ คือ การสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual spore) และแบบอาศัยเพศ (sexual spore) โดยเชื้อราทุกชนิดสามารถสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ แต่บางชนิดไม่สร้างสปอร์แบบอาศัยเพศ (บุษกร, 2550)

โดยทั่วไปเชื้อราเจริญได้ดีช้ากว่ายีสต์และแบคทีเรีย ดังนั้นในอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเน่าเสีย ในระยะแรกเชื้อราเจริญได้ช้า แต่หลังจากที่เชื้อราผ่านช่วงแรกไปแล้วก็จะเจริญต่อไปได้อย่างรวดเร็ว ดังที่เห็นได้จากอาหารที่มีเชื้อราปนเปื้อนอยู่เพียงเล็กน้อย หลังจากที่ทิ้งไว้เพียงหนึ่งหรือสองวันจะเห็นเชื้อราขึ้นเต็มไปหมด เชื้อราเป็นปัญหาในอุตสาหกรรมอาหารมาก เนื่องจากสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี เช่น ในอาหารที่มีความชื้นเพียงเล็กน้อย หรือในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกรด เชื้อราก็สมารถเจริญและทำให้อาหารเสียได้

การเน่าเสียของผักและผลไม้ส่วนใหญ่มักเริ่มจากเชื้อราเข้าไปย่อยสตาร์ช และน้ำตาลเอนไซม์ต่างๆจากเชื้อรา เช่น ทรานเซลิมิเนส (transeliminase) และเอสเทอเรส (esterase) ไปทำลายเนื้อเยื่อของพืช เซลลูเลส (cellulase) มีหน้าที่ย่อยผนังเซลล์ของผักและผลไม้ ส่วนโปรติเอส (protease) แอมิเลส (amylase) และเอนไซม์ต่างๆ ซึ่งย่อยคาร์โบไฮเดรตจะทำหน้าที่ทำลายโพรโทพลาสซึมได้ภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่วัน เชื้อราก็สามารถทำลายโครงสร้างของผักและผลไม้ได้เกือบหมด การเจริญของเชื้อราในผักและผลไม้โดยทั่วไปจะทำให้เนื้อเยื่อของพืชแตกสลายและเกิดการเน่าเสีย

เชื้อราชนิดที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้อาหารต่างๆ เกิดการเน่าเสีย ได้แก่ *Aspergilus, Penicillium, Rhizopus, Cladosporium* และ *Mucor* ส่วนการเสียของอาหารแห้งทุกชนิดมักเกิดจากเชื้อราชนิดที่ทนต่อสภาพความแห้งได้ดีคือ *Xeromyces biosporus* ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในวงการอุตสาหกรรมอาหารมากมาย (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของจุลินทรีย์เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ประกอบการผลิตอาหารจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารทุกชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมสามารถเจริญได้ดีที่สุด ฉะนั้นความรู้เรื่องปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ประโยชน์เพื่อนำไปใช้ในการทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์เป็นการยับยั้งการเจริญหรือทำลายจุลินทรีย์เพื่อช่วยป้องกันการเกิดการเน่าเสียของอาหารและอันตรายที่อาจเกิดจากจุลินทรีย์ได้ ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของจุลินทรีย์มีดังนี้

1) อาหาร

สารอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต และช่วยทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของเชื้อเป็นไปโดยปกติ ได้แก่ น้ำ ไนโตรเจน วิตามิน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่างๆ ชนิดและสัดส่วนของอาหารต่างมีความสำคัญในการที่จะให้จุลินทรีย์แต่ละชนิดเติบโตได้แตกต่างกัน องค์ประกอบของอาหารที่สำคัญ ได้แก่ อาหารสำหรับการเติบโต อาหารสำหรับทำให้เกิดพลังงาน และ growth factor หรือวิตามินต่างๆ ซึ่งอาจมีความสำคัญต่อการสร้างพลังงานหรือการเจริญเติบโต

จุลินทรีย์ใช้สารประกอบไนโตรเจนเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเติบโตได้แตกต่างกัน จุลินทรีย์หลายชนิดใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปโปรตีนไม่ได้ เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ย่อยสลายโปรตีน การเน่าเสียของอาหารประเภทต่างๆ จะเริ่มด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ ของจุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอาหารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยและละลายน้ำได้ง่ายก่อนที่จะย่อยสารประกอบอื่น ๆ กล่าวคือ แบคทีเรียส่วนใหญ่มักใช้กลูโคส และสารประเภทคาร์โบไฮเดรตก่อนสารชนิดอื่น (บุษกร, 2550)

2) วอเตอร์แอคติวิตี

ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียต้องการน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่า วอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ในการเจริญเติบโตสูงกว่ายีสต์และเชื้อรา และในกลุ่มแบคทีเรียด้วยกันก็ต้องการวอเตอร์แอคติวิตีในการเจริญเติบโตต่างกันด้วย คือ แบคทีเรียแกรมลบต้องการวอเตอร์แอคติวิตีสูงกว่าแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสียส่วนมากจะไม่เจริญถ้าค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำกว่า 0.91 ในขณะที่ราสามารถเจริญได้ในอาหารที่มีวอเตอร์แอคติวิตีเพียง 0.80 อาหารแต่ละชนิดจะเสียเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอคติวิตีของอาหาร ตามปกติอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำที่ 0.6 จุลินทรีย์จะไม่เจริญ ส่วนอาหารที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate Moisture Foods, IMFs) ซึ่งมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อยู่ระหว่าง 0.6 - 0.85 ที่สภาวะนี้จะสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวกได้หลายชนิด รวมทั้งยีสต์และรา ซึ่งอาหารประเภท IMFs นี้จะสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ห้องได้นานพอควร (สุมณฑา, 2545)

จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญได้ในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่างกัน แบคทีเรียเจริญได้ดีอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีสูง ส่วนยีสต์และเชื้อราทนต่อสภาพที่วอเตอร์แอคติวิตีต่ำได้ดีกว่า นั่นคือการเน่าเสียของอาหารแห้ง ส่วนใหญ่จึงเกิดจากเชื้อรา จุลินทรีย์แต่ละชนิดที่มีความสำคัญในอาหารสามารถเจริญในอาหารที่มีวอเตอร์แอคติวิตีขั้นต่ำแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 ค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุดสำหรับจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร

จุลินทรีย์	ค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุด	จุลินทรีย์	ค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุด
Most spoilage bacteria	0.90 – 0.91	*Staphylococcus albus*	0.88 – 0.92
Acinetobacter	0.95 – 0.98	*Staphylococcus aureus*	0.84 – 0.92
Aeromonas	0.95 – 0.98	Vibrio parahaemolyticus	0.93 – 0.98
Alcaligenes	0.95 – 0.98	Halophilic bacteria	0.75
Arthrobacter	0.95 – 0.98	Most yeasts	0.87 – 0.94
Bacillus	0.90 – 0.99	Osmophilic yeasts	0.60 – 0.78
Bacillus Cereus	0.92 – 0.95	Most molds	0.70 – 0.80
Citrobacter	0.90 – 0.98	Xerophilic molds	0.60 – 0.70
Clostridium botulinum	0.90 – 0.98	*Aspergillus*	0.68 – 0.88
Type A	0.95	*Aspergillus glaucus*	0.70 – 0.75
Type B	0.94	*Aspergillus flavus*	0.80 – 0.90
Type C	0.97	*Aspergillus halophilicus*	0.86
Corynebacterium	0.95 – 0.98	*Aspergillus niger*	0.80 – 0.84
Enterobacter	0.95 – 0.98	*Botrytis cinerea*	0.93
Escherichia coli	0.94 - 0.97	*Debaryomyces*	0.87 – 0.91
Flavobacterium	0.95 – 0.98	*Fusarium*	0.80 – 0.92
Lactobacillus	0.90 – 0.94	*Mucor*	0.80 – 0.93
Leuconostoc	0.96 – 0.98	*Penicillium*	0.80 – 0.90
Micrococus	0.90 – 0.95	*Penicillium rubrum*	0.67
Micrococcus roscus	0.90 – 0.93	*Rhodotorula*	0.89 – 0.92
Pseudomonas aeruginosa	0.96 – 0.98	*Saccharomyces cerevisiae*	0.90 – 0.94
Pseudomonas Fluorescens	0.95 – 0.97	*Saccharomyces rouxii*	0.62 – 0.81
Salmonella	0.93 – 0.96	*Xeromyces bisporus*	0.60 – 0.61

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์แต่ละชนิดแตกต่างกัน อุณหภูมิต่ำที่สุดในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะมีอุณหภูมิต่ำกว่า -34 °C ส่วนอุณหภูมิสูงสุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้คืออุณหภูมิสูงกว่า 100 °C (บุษกร, 2550) แบคทีเรียแต่ละประเภทมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญต่างกัน สามารถแบ่งกลุ่มแบคทีเรียตามอุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญได้ 4 ประเภท ดังนี้

1. ไซโครไฟล์ (Psychrophile) หมายถึงแบคทีเรียที่ชอบความเย็น เจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำคือ -5 - 5 °C และเจริญได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 12 - 15 °C

2. มีโซไฟล์ (Mesophile) หมายถึงแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 35 °C แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับอาหารมักอยู่ในประเภทมีโซไฟล์

3. เทอร์โมไฟล์ (Thermophile) หมายถึงแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 °C

4. ไซโครโทรพ (Psychrotroph) หมายถึงกลุ่มแบคทีเรียที่เจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -5 °C และเจริญ ได้ดีที่อุณหภูมิปานกลางคือ 20 - 30 °C

แบคทีเรียแต่ละประเภทมีช่วงอุณหภูมิที่สามารถเจริญได้แตกต่างกัน เชื้อราส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวกมีโซไฟล์ คือ เจริญได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 25 - 30 °C แต่มีเชื้อราบางชนิด เช่น *Aspergillus* สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า คือ ประมาณ 30 - 35 °C นอกจากนี้ยังมีเชื้อราอีกมากที่สามารถทนต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีมาก คือ เจริญได้ที่อุณหภูมิ -5 °C (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2546)

4) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อแบคทีเรียโดยทั่วไปจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการเจริญเติบโต เมื่อความเป็นกรด-ด่างลดลงอยู่ในช่วงที่เป็นกรด คือค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.5 เชื้อแบคทีเรียก็จะเริ่มดำรงชีวิตอยู่ได้ลำบากมากขึ้น ยกเว้นเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มแลกติกแอซิดแบคทีเรีย ซึ่งสามารถอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นกรดที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำถึง 3.5 ได้ และเชื้อแบคทีเรียบางจำพวกที่ทนกรด ส่วนเชื้อยีสต์และราโดยทั่วไปสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนๆ (ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.0 - 6.0) บางชนิดสามารถทนได้ถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง 2 ส่วนความเป็นกรด-ด่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูงสุดที่เชื้อยีสต์และราดำรงอยู่ได้คือช่วง 8 - 11 (สุวิมล, 2546) ขอบเขตของความเป็นกรด-ด่างที่จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ สามารถเจริญเติบโตได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขอบเขตของความเป็นกรด-ด่างที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้

จุลินทรีย์	ความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด	ความเป็นกรด-ด่างสูงสุด
เชื้อแบคทีเรีย		
Acetobacter acidophilum	2.8	4.3
Escherichia coli	4.4	9.0
Pseudomonas aeruginosa	5.6	8.0
Salmonella typhi	4.0-4.5	8.0-9.6
Thiobacillus thiooxidans	1.0	9.8
Vibrio parahaemolyticus	4.8	11.0
Bacillus subtilis	4.5	8.5
Bacillus stearothermophilus	5.2	9.2
Clostridium botulinum	4.7	8.5
Lactobacillus sp.	3.8-4.4	7.2
Staphylococcus aureus	4.0	9.8
เชื้อยีสต์		
Saccharomyces sp.	2.1-2.4	8.6-8.8
Hansenula Canadensis	2.15	8.6
Candida krusei	1.5	-
เชื้อรา		
Aspergillus oryzae	1.6	9.3
Penicillum italicum	1.9	9.3
Fusarium oxysporum	1.8	11.1
Phycomyces blakeslecanus	3.0	7.5

ที่มา: สุวิมล, (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5) ปริมาณออกซิเจน

ในการเจริญของแบคทีเรียแต่ละประเภทต้องการปริมาณออกซิเจนน้อยมากแตกต่างกันดังนี้คือ

1. Aerobic Bacteria คือ แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนสำหรับการเจริญ เช่น *Escherichia* และ *Pseudomonas*

2. Anaerobic Bacteria คือ แบคทีเรียที่เจริญได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ตัวอย่างเช่น *Clostridium*

3. Facultative Bacteria คือ แบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน เช่น *Staphylococcus*

แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียและอาหารเป็นพิษเป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามมีแบคทีเรียที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่เป็นอันตรายมาก คือ *Clostridium* ซึ่งไม่ต้องการออกซิเจนเลย (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2546)

6) สารยับยั้งการเจริญแบคทีเรีย

สารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์พบมากจาก 3 แหล่งด้วยกันคือ

1. สารยับยั้งชนิดที่แบคทีเรียสร้างขึ้นเองในระหว่างที่เจริญ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ เช่น สารปฏิชีวนะ เป็นต้น

2. สารยับยั้งที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ เช่น ไลโซไซม์ (lysozyme) และคอนแอลบูมิน (conalbumin) ซึ่งมีอยู่ในส่วนประกอบของไข่ดาว

3. สารยับยั้งที่เติมลงไปในอาหาร เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการ เช่น เกลือโพรพิโอเนต และเกลือซอร์เบต เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2.3 การควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์

วิธีการป้องกันการเน่าเสียของอาหารที่ได้ผลดีมากที่สุด คือ การป้องกันการเจริญและการทำลายจุลินทรีย์ ฉะนั้นกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การใช้ความร้อน การใช้อุณหภูมิต่ำ การฉายรังสีแกมมา และการอบแห้ง เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ช่วยยืดอายุการเก็บอาหารไม่ให้เกิดการเน่าเสียก่อนเวลาอันควร

การฆ่าเชื้อในอาหารโดยใช้ความร้อนหรือการสเตอริไรซ์ถือว่าเป็นการแปรรูปอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานาน แม้ว่าการให้ความร้อนแก่อาหารจะสามารถควบคุมจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ตาม ความร้อนที่ใช้อาจเปลี่ยนคุณสมบัติของอาหาร เช่น กลิ่นรส วิตามิน ดังนั้นการแปรรูปอาหารด้วยวิธีที่ไม่ต้องใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อในอาหารโดยให้ผลการถนอมรักษาใกล้เคียงกัน จึงได้รับความสนใจจากบริษัทผู้ผลิตอาหารต่างๆ ปัจจุบันวิธีการแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูงได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการวิจัยและพัฒนาเทคนิคการใช้ความดันสูงเพื่อการใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา โดยเริ่มใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทแยม น้ำผลไม้ และในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้กับอาหารแปรรูปในภาชนะบรรจุด้วย (วิไล, 2545) จากการศึกษาผลของกระบวนการความดันสูงยิ่งในน้ำส้มต่อ Total antioxidant activity เปรียบเทียบกับการใช้ความร้อน พบว่าน้ำส้มที่ผ่านความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 600 MPa ที่อุณหภูมิ 40 $^{\circ}$C เป็นเวลา 4 นาที มีปริมาณ antioxidant activity เหลือมากกว่าน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$C เป็นเวลา 60 วินาที (Polydera *et al*., 2005)

2.3 การแปรรูปด้วยกระบวนการความดันสูงยิ่ง (high pressure processing)

กระบวนการใช้ความดันสูงยิ่งในการแปรรูปอาหาร จัดเป็นกระบวนการแปรรูปที่ไม่ใช้ความร้อน (nonthermal process) หรืออาจทำให้เกิดความร้อนขึ้นน้อยมาก ในระหว่างการให้ความดัน (pressurization) หรือที่เรียกว่า adiabatic heat ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้น (ประมาณ 3 $^{\circ}$C ต่อ 100 MPa) และขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร อย่างไรก็ตามความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะหายไปทันทีที่ลดความดันจนถึงระดับความดันบรรยากาศปกติ ข้อดีของกระบวนการนี้ คือ การไม่ทำให้เกิดความร้อนซึ่งเป็นผลทำให้คุณภาพอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เป็นการลดปัญหาที่เกิดเนื่องจากความร้อน โดยจะยังคงความสด กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส สี และลดการสูญเสียวิตามินซี (Martín, 2002) และยังเป็นกระบวนการที่สามารถทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย และสามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ ดังนั้นกระบวนการนี้จึงได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น สำหรับการฆ่าเชื้อในอาหารโดยใช้ความร้อนหรือการสเตอริไรซ์ถือว่าเป็นการแปรรูปอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานาน (ธีรพร, 2548)

Polydera *et al* (2003) ได้ทำการศึกษาใช้กระบวนการความดันสูงยิ่งที่ 600 MPa ที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 4 นาทีในน้ำส้ม พบว่า ยังคงมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคมากกว่าการให้ความร้อนแบบพาสเจอไรซ์ที่ 80 °C นาน 1 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำส้มที่อุณหภูมิ 0 - 30 °C นอกจากนี้ Kuo-chiang (2008) ได้ศึกษาผลของกระบวนการความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

300 - 500 MPa ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 10 นาที ต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ของน้ำมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °C เป็นเวลา 28 วัน เปรียบเทียบกับกระบวนการความร้อนแบบธรรมดา พบว่า กระบวนการความร้อนสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ และเอนไซม์ pectolytic ได้ แต่สีของน้ำมะเขือเทศ แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ และปริมาณไลโคพีน และวิตามินซี มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะเขือเทศสด ในขณะที่น้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการความดันสูงยิ่ง พบว่าสามารถรักษาปริมาณของแคโรทีนอยด์และไลโคพีน เมื่อเทียบกับน้ำมะเขือเทศสด นอกจากนี้ยังคงรักษาปริมาณของวิตามินซีในน้ำมะเขือเทศได้มากกว่าการใช้ความร้อนแบบธรรมดา

ความดันจะมีผลให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การสร้างหรือทำลายพันธะ non-covalent ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน พันธะเชิงอิออน และพันธะ hydrophobic ส่วนพันธะ covalent จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แม้จะใช้ความดันสูงยิ่งถึง 1,000 MPa ดังนั้น สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มีพันธะที่มีความสำคัญต่อโครงสร้าง และการทำงานจะถูกทำลายโครงสร้างทำให้สูญเสียประสิทธิภาพการทำงาน ในขณะที่สารประกอบโมเลกุลขนาดเล็กที่ไม่มีพันธะ non-covalent เช่น วิตามิน กลิ่นรส จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ (วิไล, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Butz *et al* (2003) ซึ่งได้ศึกษาผลของระดับความดัน 800 MPa ที่อุณหภูมิ 44 °C เป็นเวลา 6 นาที ความดัน 600 MPa ที่อุณหภูมิ 44 °C เป็นเวลา 6 นาที และความดัน 600 MPa ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 6 นาที ที่มีต่อ antimutagenic antioxidant ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรดแอสคอร์บิค และแคโรทีนอยด์ในส้ม แอปเปิ้ล ลูกพีช น้ำผลไม้รวม แครอท มะเขือเทศ สตรอเบอร์รี่ และราสเบอร์รี่ โดยเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนที่ 95 °C เป็นเวลา 4 นาที พบว่าการใช้ความดันสูงยิ่งไม่ทำให้สารอาหารที่มีประโยชน์ในผักและผลไม้สูญหาย แต่ความดันไม่สามารถยับยั้งการสูญเสียของปริมาณน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาในราสเบอร์รี่ได้

2.3.1 หลักการของกระบวนการความดันสูงยิ่ง

กระบวนการความดันสูงในอาหารโดยทั่วไปจะประยุกต์ใช้ isostatic และ hydraulic pressure ซึ่งใช้ความดันในช่วง 100 - 1000 MPa อาหารจะถูกแรงกดอัดสูงโดยตรงใน pressure vessel โดยความดันจะมีผลต่อโครงสร้าง ปฏิกิริยาเคมี และกระบวนการทางชีวเคมี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเป็นไปตามหลักการของ Le Chatalier ที่กล่าวว่าภายใต้สภาวะที่สมดุลเมื่อให้ความดันแก่ระบบจะทำให้ปริมาตรลดลงและจะเกิดขึ้นในทางกลับกัน นอกจากนี้ความดันจะเกิดขึ้นโดยทันทีและสม่ำเสมอโดยจะเกิดทั่วถึงเท่ากันทุกจุด (isostatic) (ธีรพร, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ความดันสูงจะช่วยทำลายจุลินทรีย์ และเอนไซม์รวมทั้งโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ในอาหารเสียสภาพ (Chapleau *et al*., 2006) หลักการพื้นฐานของการใช้ความดันสูงกับอาหาร คือ การบีบอัดน้ำที่อยู่ล้อมรอบอาหาร การลดปริมาตรน้ำที่ความดันสูงขึ้นถือว่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ น้ำจะมีปริมาตรลดลงประมาณ 4 % ที่ 100 MPa 7 % ที่ 200 MPa และ 11.5 % ที่ 400 MPa ที่อุณหภูมิ 22 ^{o}C และน้ำจะเปลี่ยนเป็นของแข็งที่ความดันสูงกว่า 1,000 MPa ที่อุณหภูมิห้อง (วิไล, 2545)

เมื่อสารละลายโปรตีนถูกบีบอัดตามที่ได้กล่าวมาแล้ว โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพอย่างย้อนกลับได้หรือย้อนกลับไม่ได้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโปรตีนนั้นรวมทั้งค่าความดันที่ให้ ทั้งนี้เนื่องจากพันธะ non-covalent จะถูกทำลายลงหรือมีการสร้างพันธะใหม่จากการที่ระบบมีปริมาตรลดลง พันธะ covalent จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะดังกล่าว โครงสร้างของสารประกอบขนาดใหญ่ เช่น กรดนิวคลีอิก แป้ง โพลีแซคคาไรด์ และไขมัน ซึ่งมีพันธะ non-covalent เป็นองค์ประกอบ จะถูกทำลายและสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานที่ความดันสูง เช่น เกิดการเสียสภาพ ตกตะกอน เกิดเจล ในขณะที่สารโมเลกุลเล็กๆ ซึ่งไม่มีพันธะ non-covalent เช่น วิตามิน กลิ่นรส ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ (วิไล, 2545)

ความดันจึงมีผลคล้ายคลึงกับความร้อนต่ออาหารและวัตถุทางชีวภาพ กล่าวคือ การใช้ความดันสูงให้ผลใกล้เคียงกับการใช้อุณหภูมิสูง แต่ข้อดีของความดันสูง คือ น้ำซึ่งเป็นของเหลวจะถูกอัดแต่จะไม่มีผลต่อพันธะ covalent ในการใช้ความดันสูงจะไม่พบผลอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นหากใช้ความร้อนในการแปรรูป เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดกลิ่นไหม้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้ความดันสูงในการถนอมอาหารโดยให้คงรักษากลิ่นรสธรรมชาติไว้ได้จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจ ผลจากการทดลองบีบอัดไข่ในน้ำด้วยความดันสูงหลายพันเท่าของบรรยากาศ พบการตกตะกอนของโปรตีนไข่ แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ไข่ขาวและไข่แดงจะตกตะกอนโดยสมบูรณ์ที่ 620 และ 400 MPa ตามลำดับ โปรตีนไข่ที่ตกตะกอนจะย่อยง่ายขึ้น โดยมีกลิ่นรสและสีตามธรรมชาติ และปริมาณวิตามินไม่ลดลง การใช้ความดันสูงโดยทั่วไปจะทำให้โปรตีนเสียสภาพ ซึ่งนับเป็นการทำลายเอนไซม์ และทำให้แป้งก่อเจล นอกจากนี้ยังทำลายจุลินทรีย์ต่างๆ โดยไม่ทำลายสารอาหาร (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 เครื่องความดันสูง

เครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงคล้ายคลึงกับการแปรรูปโดยการใช้ความร้อนซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปคือ เป็นระบบกะหรือต่อเนื่อง โดยทั่วไปเครื่องจะประกอบด้วยถังทนความดันสูงขนาด 10 - 50 ลิตร และเครื่องผลิตความดันสูง เมื่อวางอาหารใน

ภาชนะบรรจุลงในถังแล้วจะปิดฝาด้านบนเครื่อง ต่อจากนั้นจะเป็นการสูบตัวกลางในการให้ความดันซึ่งนิยมใช้น้ำเข้ามาทางใต้ถัง ความดันจะถูกส่งผ่านตัวกลางและอาหารอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร อาหารจะไม่เปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากได้รับความดันเท่ากันทุกด้าน รอบเวลาที่ใช้ทั่วไปเป็นเวลาสั้นๆ ไม่เกิด 15 นาที เมื่อได้ความดันตามที่ต้องการแล้ว ระบบปั๊มจะหยุด วาล์วปิด และความดันจะคงที่โดยที่ไม่จำเป็นต้องให้พลังงานแก่ระบบอีก (วิไล, 2545) ตัวถัง (pressure vessels) และฝาปิด (closures) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่องความดันสูง โดยทั่วไปตัวถังจะทำด้วยเหล็กหล่อครั้งเดียวและไร้รอยต่อเชื่อมเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งสามารถทนความดันสูง โดยความหนาของตัวถังจะขึ้นอยู่กับความดันสูงสุดที่ต้องการให้เกิดขึ้น ในส่วนของฝาปิดสำหรับถังความดันสูงนั้นอาจแบ่งตามลักษณะได้ 3 ประเภท ได้แก่ ฝาเกลียวแบบต่อเนื่อง (continuous thread closures) ฝาเกลียวแบบไม่ต่อเนื่อง (interrupted thread closures) และฝาแบบโครง (frame closures) การออกแบบฝาปิดถังนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการนำไปใช้งาน (ธีรพร, 2548)

2.3.3 ผลของความดันต่อจุลินทรีย์

ความดันสูงยิ่งสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ โดยทั่วไปแบคทีเรียที่อยู่ในระยะ log phase จะทนต่อความดันสูงได้น้อยกว่า เซลล์ที่อยู่ในระยะ stationary phase และระยะ death phase โดยระดับของการฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระดับของความดัน เวลาที่ให้ความดัน ชนิดของจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่ใช้ และชนิดของอาหาร งานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการใช้ความดันสูงที่ดำเนินอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้อาหารที่มีความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ (วิไล, 2545) จากการถนอมน้ำผลไม้ด้วยความดันสูงยิ่งโดย Houska *et al* (2006) โดยศึกษากระบวนการความดันสูงยิ่งในน้ำผักผลไม้ ซึ่งนำน้ำแอปเปิ้ล-บรอคโคลี่ไปผ่านกระบวนการความดันสูงยิ่งที่ความดัน 500 MPa เป็นเวลา 10 นาที พบว่าสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้มากกว่า 1×10^5 cfu/g ของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีอยู่ในน้ำผักผลไม้ดิบ และผลิตภัณฑ์ไม่พบเชื้อ *Coliform bacteria Salmonella* ยีสต์และราในช่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน Guan Dongsheng *et al* (2006) ได้ศึกษาการยับยั้ง *S. aureus* และ *Escherichia coli* O157:H7 ภายใต้สภาพ isothermal endpoint pressure โดยแปรผันอุณหภูมิภายใต้กระบวนการความดันสูงยิ่งในนม Ultra high temperature (UHT) ที่เพาะเชื้อ *Staphylococcus aureus* ATCC 12600 หรือ *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43895 โดยใช้ความดันสูงยิ่งที่ 600 MPa ที่ อุณหภูมิ 4 21 และ 45 °C ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิคงที่ในระหว่างการเพิ่มความดัน พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ *S. aureus* และ *E. coli* O157:H7 จะเหลือรอดมากกว่าที่อุณหภูมิสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการยับยั้งจุลินทรีย์ในกระบวนการความดันสูงยิ่ง คือ ความดัน อายุของเซลล์ ส่วนประกอบของอาหาร และระยะเวลาในการคงความดัน Dogan (2004) การใช้ความดันสูงยิ่งสามารถยับยั้งขบวนการทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีโมเลกุลอันซับซ้อนของพันธะ non-covalent ซึ่งทำให้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ (แต่สปอร์ของแบคทีเรียบางชนิดสามารถทนความดันสูงยิ่งได้) Voldich *et al* (2004) ได้ศึกษาผลของความดันสูงยิ่งต่อเซลล์ และสปอร์ของรา *Talaromyces avellaneus* ในน้ำผลไม้ พบว่าเซลล์ของรามีความต้านทานต่อความดันน้อย โดยระดับความดัน 200 MPa ที่อุณหภูมิ 17 °C เป็นเวลา 60 นาที หรือระดับความดัน 300 MPa 17 °C เป็นเวลา 5 นาที สามารถทำลายเซลล์เริ่มต้นจาก 10^6 cfu/g ให้เหลือ 10 cfu/g ได้ อย่างไรก็ตามการใช้ความดัน 600 MPa ที่อุณหภูมิ 17 °C หรือ 25 °C เป็นเวลา 60 นาที สปอร์ของรายังเหลือรอดประมาณ 10^2 - 10^3 cfu/g นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ระดับความดัน เวลาคงความดัน และอุณหภูมิที่มากขึ้น มีผลทำลายราได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าการรักษาระดับความดันที่ 500 MPa เป็นเวลา 15 นาทีจะสามารถช่วยลดแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดอาหารเป็นพิษ เช่น *Salmonella, Campylobacter* และ *Listeria* ในผลิตภัณฑ์และเนื้อสัตว์ได้ถึง 10,000 เท่า และสภาวะดังกล่าวยังสามารถทำลายแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียอีกด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นที่อุณหภูมิแช่เย็น พบว่าการใช้ความดันสูงร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงนัก (ไม่เกิน 60 °C) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น (วิไล, 2545)

2.3.4 ผลของความดันสูงยิ่งต่อเอนไซม์

ความดันสูงยิ่งสามารถทำลายหรือยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ การสูญเสียกิจกรรมของเอนไซม์นั้นมีสาเหตุมาจากผลของความดันสูงยิ่งที่ทำให้โครงสร้างภายในโมเลกุล (intramolecular structure) หรือ ทำให้บริเวณ active site เกิดการเปลี่ยนแปลง การใช้ความดันสูงยิ่งระหว่าง 1,000 - 3,000 atm ในการยับยั้งพบว่าเอนไซม์บางชนิดอาจคืนกิจกรรม (reversible) ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของเอนไซม์และการคืนกิจกรรมจะมีโอกาสเกิดน้อยถ้าใช้ความดันสูงเกิดกว่า 3,000 atm (ธีรพร, 2548) การทดลองของ Krebbers *et al* (2002) ศึกษาผลความดันสูงยิ่งที่มีต่อกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในถั่วเขียว พบว่าความดันสูงยิ่งทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ POD ลดลงเหลือ 76 % ของปริมาณเริ่มต้นและลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาตลอดระยะเวลา 1 เดือน ต่อมาในปี 2003 ได้ศึกษาผลของความดันสูงยิ่งในซุปมะเขือเทศ พบว่าการใช้ความดันสูงยิ่งที่ 700 MPa ที่อุณหภูมิ 20 °C ในระหว่างการเก็บรักษาสามารถยับยั้งเอนไซม์ polygalacturonase ได้ แต่ทำให้เอนไซม์ pectin methylesterase เพิ่มขึ้น สำหรับการใช้ความดันสูงยิ่งร่วมกับการใช้อุณหภูมิมากกว่า 80 °C ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพคงที่ โดยความดัน 700 MPa ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 30 นาที สามารถยับยั้งเอนไซม์ polygalacturanase และ pectin methylesterase ได้มากกว่า 99 % และ Bayindirli *et al* (2006) ได้ศึกษาผลจากความดันสูงยิ่งในน้ำผลไม้ ได้แก่ แอปเปิล ส้ม ผลแอปปริคอท และเชอรี่ พบว่าค่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในน้ำแอปเปิ้ลลดลงเหลือ 9 % หลังจากใช้ความดัน 450 MPa ที่ อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 60 นาที และเอนไซม์ pectinesterase ในน้ำส้มเหลือ 7 % เมื่อใช้ความดัน 450 MPa ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 30 นาที และเหลือ 12 % เมื่อใช้ความดัน 450 MPa ที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 60 นาที

2.3.5 ผลกระทบต่ออาหาร

การใช้ความดันสูงเป็นการทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ รวมทั้งทำให้โปรตีนและพอลิแซคคาไรด์เสียสภาพ ข้อดีของเทคนิคดังกล่าวคือ อาหารและกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนา การได้ใกล้เคียงธรรมชาติจึงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสใกล้ เคียงวัตถุดิบแต่มีอายุการเก็บรักษานาน ดังนั้นการใช้กระบวนการความดันสูงยิ่งในการแปรรูปอาหารจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการถนอมอาหาร เนื่องจากความดันมีผลจำกัดเฉพาะพันธะโควาเลนส์และมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาเพียงเล็กน้อย Oey *et al* (2008)

อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้ความดันสูงในการฆ่าเชื้อกับอาหารต่างๆ จำเป็นต้องมีการศึกษาเรื่องความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นปัญหาที่สำคัญอีกข้อคือ การใช้ความดันสูงเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เงินลงทุน ค่าดูแลรักษาสูงมาก (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved