บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์น้ำพริกหนุ่ม

น้ำพริกหนุ่ม หมายถึง ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคที่ทำจากพริกพันธุ์พริกหนุ่ม บดผสมให้เข้ากันกับกระเทียม หอม ที่เผาหรืออบให้สุกแล้ว ปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรส เช่น เกลือ น้ำปลา อาจปรุงแต่งด้วยมะเขือเทศส้ม เนื้อปลาสุก น้ำปลาร้าต้มสุกที่กรองแล้ว หรือปลาร้าสับที่ทำให้สุก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำพริกหนุ่ม, 2547)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำพริกหนุ่ม (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำพริกหนุ่ม, 2547)

น้ำพริกหนุ่มทั่วไปควรมีส่วนประกอบที่ใช้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ สี กลิ่น และรสชาติ ต้องดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่น รสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ รวมทั้งลักษณะเนื้อสัมผัสต้องมีเนื้อหยาบ มีความนุ่ม ชุ่มฉ่ำ และต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ นอกจากนี้ต้องไม่มีการใช้วัตถุกันเสียและสีสังเคราะห์ทุกชนิด สำหรับคุณภาพทางจุลินทรีย์ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดดังต่อไปนี้

1. จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x\ 10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
2. *Salmonellae* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม
3. *Staphylococcus aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม
4. *Clostridium perfringens* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม
5. *Escherichia coli* โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม
6. ยีสต์และรา ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์น้ำพริกหนุ่ม

2.1.1 พริก

พริกชี้ฟ้าเป็นพืชล้มลุกอยู่ในวงศ์ *Solanaceae* (สรจักร, 2539) ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum frutescens* L. var. *longum* Bail. (รุ่งรัตน์, 2540) พริกเป็นพืชที่มีความสำคัญและมีความผูกพันกับชีวิตของคนไทย ดังจะเห็นได้จากอาหารที่รับประทานกันในแต่ละมื้อนั้นจะนิยมมีพริกเป็นส่วนประกอบในการปรุงแต่งรสอาหารแทบทุกครัวเรือน ดังนั้นจึงมีการปลูกพริกโดยทั่วไปในทุกภาคของประเทศ พริกชี้ฟ้าหรือพริกหนุ่มเป็นพริกที่คนไทยรู้จักกัน โดยเฉพาะคนไทยทางภาคเหนือซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับใช้ประกอบการทำอาหารขึ้นชื่อของชาวเหนือที่เรียกว่า น้ำพริกหนุ่ม เนื่องจากพริกชนิดนี้มีรสไม่เผ็ดจัด

พริกเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นแหล่งของวิตามินเอ ซี และอี โดยเฉพาะวิตามินซีพบว่ามีมากกว่าผักชนิดอื่น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของพลังงานและแร่ธาตุ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เหล็ก แคลเซียม (จงรักษ์, 2545) พริกยังมีสารที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสเผ็ดร้อน คือ แคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ประกอบด้วยสารต่างๆ คือ แคปไซซิน (capsaicin) 46-47 เปอร์เซ็นต์ ไดไฮโดรแคปไซซิน (dihydrocapsaicin) 21-40 เปอร์เซ็นต์ นอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน (nordihydrocapsaicin) 2–11 เปอร์เซ็นต์ โฮโมแคปไซซิน (homocapsaicin) 0.6-2.0 เปอร์เซ็นต์ โฮโมไดไฮโดรแคปไซซิน (homodihydrocapsaicin) 1-2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในผลพริกมีปริมาณสารให้ความเผ็ดแตกต่างกันไป (บัญญัติ, 2527) ซึ่งจะเห็นได้ว่า แคปไซซิน (capsaicin) เป็นสารที่มีปริมาณสูงจึงเป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสเผ็ดร้อน

แคปไซซินมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{18}H_{27}NO_3$ ชื่อทางการค้าที่เรียกว่า 8-methyl-N-vanillyl-6-nonenamide (นิจศิริ, 2542) ปริมาณแคปไซซินจะแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์พริก ความแก่อ่อน สถานที่ และฤดูกาลเพาะปลูก สารนี้มีคุณสมบัติทนทานต่อการปรุง หรือการแปรรูปอาหารได้ดี (โครงการหนูรักผักสีเขียว และมูลนิธิโตโยต้าแห่งประเทศไทย, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารโดยเฉลี่ยของพริกชี้ฟ้า (ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม)

ส่วนประกอบ	พริกชี้ฟ้า
พลังงาน (Kcal)	53.00
โปรตีน (g)	3.00
ไขมัน (g)	1.10
คาร์โบไฮเดรต (g)	8.00
แคลเซียม (mg)	14.00
ฟอสฟอรัส (mg)	75.00
เหล็ก (mg)	1.10
เบต้า-แคโรทีน (RE)	31.09
วิตามินบี 1 (mg)	0.11
วิตามินบี 2 (mg)	0.01
วิตามินซี (mg)	90.00
ไนอาซีน (mg)	0.00

ที่มา : โครงการหนูรักผักสีเขียว และมูลนิธิโตโยต้าแห่งประเทศไทย (2541)

2.1.2 มะเขือเทศ

มะเขือเทศเป็นพืชผักที่อยู่ในตระกูล Solanaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum* Mill. โดยผลมะเขือเทศอาจใช้บริโภคสดหรือทำให้สุก (มณีฉัตร, 2538) ซึ่งให้พลังงาน 22 กิโลแคลอรี แคลเซียม 9 มิลลิกรัม เหล็ก 0.48 มิลลิกรัม เส้นใย 1.7 กรัม เบต้า-แคโรทีน 65.30 ไมโครกรัม วิตามินบี 1 0.09 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.04 มิลลิกรัม วิตามินซี 32 มิลลิกรัม (นิดดา และคณะ, 2548)

2.1.3 หัวหอม

หอมเล็กเป็นพืชที่ใช้หัวหรือต้น โดยชื่อสามัญ Shallot ชื่อวิทยาศาสตร์ *Allium ascalonicum* Linn. วงศ์ Amaryllidaceae โดยในหัวหอมจะพบ coumarins ซึ่งเป็นน้ำมันหอมระเหย มีรสขม เผ็ดร้อน ทำให้เกิดความรู้สึกระคายเคืองตา แสบจมูก (รุ่งรัตน์, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 กระเทียม

กระเทียมเป็นได้ทั้งพืชเครื่องเทศและสมุนไพร โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Allium sativum* Linn. วงศ์ Alliaceae ซึ่งสารที่พบในกระเทียม ได้แก่ allicin, coumarins, allyl propyl disulphide, diallyl disulphide, peroxidase และmyrosinase (รุ่งรัตน์, 2540) ซึ่ง allicin เป็นสารสำคัญในกระเทียม โดยสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ต่างๆ ได้ เนื่องจากมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจหรือการเจริญของเซลล์จุลินทรีย์ (นิจศิริ, 2542) ซึ่งกระเทียมให้พลังงาน 140 กิโลแคลอรี โดยมีน้ำ 63.1 กรัม โปรตีน 56 กรัม แคลเซียม 5 มิลลิกรัม เส้นใย 0.9 กรัม วิตามินเอ 5 IU วิตามินบี 1 0.17 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.02 มิลลิกรัม วิตามินซี 15 มิลลิกรัม (นิดดา และคณะ, 2548)

2.1.5 ปลาร้า

ปลาร้าเป็นผลิตภัณฑ์หมักดองพื้นบ้านที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งปลาร้าที่ผลิตกันในปัจจุบันจะผลิตทั้งปลาน้ำจืด เช่น ปลากระดี่ ปลาสร้อย ปลาช่อน ปลานิล ปลาตะเพียน ปลาดุก และปลาแขยง ส่วนปลาทะเล ได้แก่ ปลาจวด ปลาปากคม และปลาเป็ดรวม จากนั้นนำมาคลุกเคล้ากับเกลือ แล้วจึงเอาไปคลุกเคล้ากับข้าวคั่วที่บดละเอียด แล้วนำไปใส่ในภาชนะ เช่น ไห กดตัวปลาให้แน่นขณะที่บรรจุลงภาชนะ ปิดปากภาชนะให้แน่นและหมั่นดูอย่าให้แมลงวันมาไข่ใส่ หมักทิ้งไว้ประมาณ 1–3 เดือน จึงสามารถนำมารับประทานได้ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของปลาร้า ประกอบด้วย โปรตีน 7-21 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2-7 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 11-16 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 1,500-2,500 มิลลิกรัม/100 กรัม ฟอสฟอรัส 600-1,000 มิลลิกรัม/100 กรัม และค่า pH อยู่ในช่วง 4.5-6.0 (Nontawong, ม.ป.พ.)

2.2 การดัดแปลงบรรยากาศ

อาหารที่เน่าเสียได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพบรรยากาศปกติ เช่น เนื้อสัตว์ ปลา ผัก ผลไม้ และเบเกอรี่ มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ผลกระทบที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประเภทที่ต้องการอากาศซึ่งทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย (Parry, 1993) ดังนั้นอากาศจึงเป็นตัวการหลักหนึ่งที่ทำให้อาหารเสีย เทคนิคการถนอมอาหารจึงพยายามที่จะไล่อากาศ ได้มีการนำความรู้พื้นฐานมาใช้ดัดแปลงบรรยากาศในการเก็บรักษาอาหาร โดยพบว่าการดัดแปลงบรรยากาศสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ประเภทที่ต้องการอากาศ ซึ่งเป็นปัญหากับอาหารที่เน่าเสียได้ง่าย (perishable food)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเทคนิคการดัดแปลงบรรยากาศ อาศัยการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์ที่ดูดอากาศออกซิเจนออกและป้องกันความชื้นจากภายนอก จึงต้องใช้วัสดุที่มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและความชื้นที่สามารถปิดผนึกได้ง่าย โดยทั่วไปนิยมใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่อัดเป็นชั้นๆ เรียกว่า ลามิเนต (laminate packing) (สุมณฑา, 2545) นอกจากนี้การใช้ก๊าซในบรรจุภัณฑ์มีวัตถุประสงค์หลัก คือ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารไม่ให้เสื่อมเสียคุณภาพก่อนเวลาอันสมควร (งามทิพย์, 2538)

การดัดแปลงบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์อาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. Vacuum Packaging

การดัดแปลงบรรยากาศที่ง่ายที่สุด ทำโดยการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สุญญากาศ ซึ่งจะมีการดึงอากาศภายในภาชนะและหรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไป และไม่มีการพ่นก๊าซใดๆ เข้าไปแทนที่ จึงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกภาชนะ สังเกตได้จากการหดรัดตัวของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว (flexible form) หรือการยุบตัวของภาชนะประเภทกึ่งคงรูป (semi-rigid form) โดยทั่วไปความดันภายในภาชนะจะมีค่าประมาณ 0.5 – 8.0 ทอร์ (Torr) ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์และระบบการบรรจุ นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในกระบวนการบรรจุแบบสุญญากาศจะต้องมีการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำ โดยมีการลดระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนให้น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และมีการปิดผนึกหลังจากการไล่อากาศออก (งามทิพย์, 2538; Parry, 1993)

2. Gas Packaging หรือ Modified Atmosphere Packaing (MAP)

เป็นกระบวนการที่มีการกำจัดอากาศภายในบรรจุภัณฑ์และแทนที่โดยใช้ก๊าซชนิดเดียวหรือก๊าซที่มีอัตราส่วนผสมของก๊าซชนิดต่างๆ ซึ่งการใช้ก๊าซผสมจะขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ อัตราส่วนของก๊าซนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลาการเก็บรักษาเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น การหายใจของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์ และการซึมผ่านเข้า - ออกของก๊าซที่บรรจุภัณฑ์ (Parry, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณสมบัติของก๊าซที่นิยมใช้กันมากในบรรจุภัณฑ์อาหาร (งามทิพย์, 2538)

1. ก๊าซออกซิเจน

เป็นก๊าซที่มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ และการหายใจของพืช รวมทั้งยังมีความสำคัญในปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไมโอโกลบิน เพื่อให้เนื้อมีสีแดงของออกซิไมโอโกลบิน นอกจากนี้ก๊าซออกซิเจนยังสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับสารประกอบต่างๆ ในอาหาร เช่น ไขมัน วิตามิน และสารให้รสชาติ ดังนั้นการบรรจุอาหารในสภาพไร้ก๊าซออกซิเจน หรือมีก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารจากการกระทำของจุลินทรีย์ และยังสามารถรักษาคุณภาพด้านสีของอาหารเนื่องจากไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction)

2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สามารถชะลออัตราการหายใจของพืช ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของก๊าซในบรรยากาศเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจของพืชลดลง ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้สด นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด เช่น แบคทีเรียแกรมลบ และแบคทีเรียที่ต้องการอากาศและทำให้อาหารเน่าเสีย ดังนั้นจึงเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ว่าเป็น Bacteriostatic หรือ Fungistatic agent คือ จะยับยั้งการเจริญเติบโตเท่านั้นมิได้ทำลายหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายได้ดีในน้ำและไขมัน และการละลายนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการยุบตัวของภาชนะบรรจุ เนื่องจากความดันภายในต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งหากมีการละลายสูงมากพอ จะทำให้เกิดกลิ่นรสของกรดในผลิตภัณฑ์อาหารได้ จึงต้องจำกัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมกับประเภทของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุ

3. ก๊าซไนโตรเจน

เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส จึงสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก จึงมักใช้ในการแทนที่ก๊าซออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นโดยเฉพาะไขมัน หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร นอกจากนี้ยังนิยมใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อรักษาระดับความดันภายในภาชนะบรรจุ ป้องกันการยุบตัวของภาชนะและการแตกหักเสียรูปทรงของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสามารถเป็นทางเลือกนอกเหนือจากการบรรจุแบบสุญญากาศ ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ก๊าซเพื่อการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร (งามทิพย์, 2538)

1. สมบัติของผลิตภัณฑ์ (Nature of the Product)

เช่น องค์ประกอบสำคัญ ความเป็นกรด-เบส (pH) Water activity (a_w) อัตราการหายใจ ลักษณะทางกายภาพ การเติมสารเคมี เช่น สารกันบูด สารกันหืน เชื้อจุลินทรีย์ทั้งชนิดที่ทำให้อาหารเน่าเสียและเป็นพิษที่มักตรวจพบ เป็นต้น คุณสมบัติดังกล่าวทำให้ทราบถึงสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถเลือกใช้ชนิดของก๊าซที่เหมาะสมในการบรรจุ

2. ชนิดและความเข้มข้นของก๊าซ (Gaseous Environment Inside the Package)

คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุ และสภาวะการเก็บรักษา จะเป็นปัจจัยกำหนดชนิดและความเข้มข้นของก๊าซ เช่น ผักและผลไม้สดต้องบรรจุในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนบ้าง ในขณะที่การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจะใช้ก๊าซไนโตรเจนเพียงชนิดเดียว ส่วนขนมปังจะใช้ทั้งก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. สมบัติของวัสดุบรรจุและภาชนะบรรจุ (Nature of the Packaging Meterial)

เช่น อัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ ความต้านทานไขมัน ความโปร่งใส อุณหภูมิที่ใช้ในการปิดผนึกถุงหรือซอง ความแข็งแรงของรอยปิดผนึก เป็นต้น ในการบรรจุผักและผลไม้สดต้องคำนึงถึงค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ เพราะผักและผลไม้สดต้องการก๊าซออกซิเจนในการหายใจและคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา วัสดุที่ใช้ต้องยอมให้ก๊าซทั้ง 2 ซึมผ่านได้บ้าง ในขณะที่การบรรจุข้าวเกรียบทอดต้องใช้วัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้มากที่สุด

4. ระบบการบรรจุ (Packaging System)

โดยทั่วไปมี 2 ระบบที่สำคัญ คือ ระบบสุญญากาศ-พ่นก๊าซ (Vacuum-Reinjection System) และระบบพ่นก๊าซแทนที่อากาศ (Gas Flushing System)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. ระบบการกระจายผลิตภัณฑ์ (Distribution System)

ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาเก็บรักษา การขนส่ง และจำหน่ายผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และอัตราการซึมผ่านของก๊าซจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ระยะเวลา

การเก็บรักษา และการขนส่งจะมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้ก๊าซ วัสดุบรรจุ และอุณหภูมิในการเก็บรักษา

ข้อดีและข้อเสียของการดัดแปลงบรรยากาศ (Sivertsvik และคณะ, 2002)

ข้อดี

1. ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้มากถึง 50 – 400 เปอร์เซ็นต์
2. สามารถลดการสูญเสียด้านเศรษฐกิจเนื่องจากมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น
3. ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง โดยสามารถให้การขนส่งได้ระยะทางที่มากขึ้น
4. ทำให้สินค้ามีคุณภาพดี
5. ผลิตภัณฑ์ที่ถูกหั่นเป็นแผ่นบางๆ สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย
6. สามารถควบคุมอัตราส่วนของภาชนะได้
7. สามารถนำเสนอสินค้าได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้มีความโปร่งใส ทำให้เห็นสินค้าได้ชัดเจน
8. ทำให้มีการใช้สารกันเสียน้อยหรือไม่มีการใช้เลย
9. บรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกแล้ว สามารถป้องกันการปนเปื้อนซ้ำ
10. ทำให้เกิดความสะดวกสบาย

ข้อเสีย

1. ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น
2. การควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญ
3. ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ใช้ส่วนประกอบของก๊าซแตกต่างกัน
4. ใช้อุปกรณ์ที่มีความจำเพาะและต้องมีการฝึกก่อนลงมือปฏิบัติงาน
5. ขนาดที่เพิ่มขึ้น นำไปสู่การเพิ่มต้นทุนและเพิ่มพื้นที่ในการแสดงสินค้า
6. บรรจุภัณฑ์ที่มีการรั่วหรือปิดไม่สนิทจะก่อให้เกิดปัญหา
7. การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถทำให้บรรจุภัณฑ์ยุบตัวและเพิ่มการไหลซึมออกของของเหลวในผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 กระบวนการความดันสูง

นิยมใช้ความดันสูงในการถนอมอาหาร ตัวอย่างเช่น ความดันระหว่าง 300 – 600 MPa สามารถทำลายยีสต์ รา แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ รวมทั้งแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค นอกจากนี้ทำให้โปรตีนและโพลิแซคคาไรด์ในอาหารเกิดการเสียสภาพ ซึ่งระดับความดันดังกล่าวสามารถกระทำได้ในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นความดันจึงเป็นทางเลือกสำหรับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน เนื่องจากความดันทำให้สารโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น สารประกอบที่ให้รสชาติและวิตามินไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปสปอร์ของแบคทีเรียสามารถถูกทำลายเมื่อใช้ความดันที่สูงกว่า 1,000 MPa (Krebbers และคณะ, 2002; Smelt, 1998)

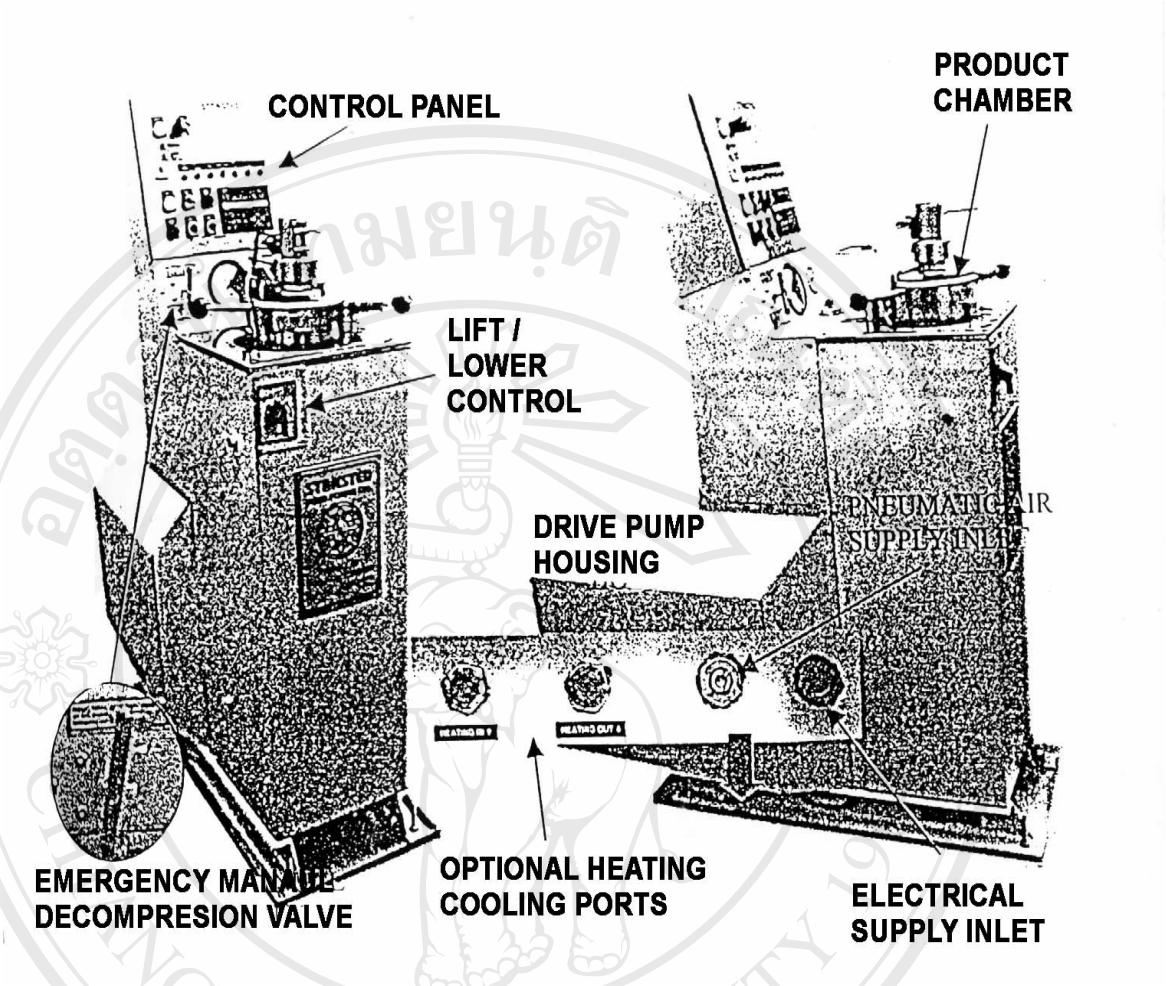
หลักการของกระบวนการความดันสูง (Smelt, 1998)

1. หลักการของ Le Chatelier กล่าวว่า ปริมาตรจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มความดัน สำหรับความร้อนจะให้ผลตรงข้าม เพราะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
2. ความดันเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดไม่มีแบบแผน ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงของอาหาร

เครื่องมือและหลักการทำงานของเครื่องมือ

หลักการพื้นฐานของการใช้ความดันสูงกับอาหารคือ การบีบอัดน้ำที่อยู่ล้อมรอบอาหาร ซึ่งการลดปริมาตรของน้ำที่ความดันสูงขึ้นถือว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ เช่น น้ำจะมีปริมาตรลดลงประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ที่ 100 MPa 7 เปอร์เซ็นต์ ที่ 200 MPa 11.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ 400 MPa ที่ 22 องศาเซลเซียส และน้ำจะเปลี่ยนเป็นของแข็งที่ความดันสูงกว่า 1,000 MPa ณ อุณหภูมิห้อง การเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปของวัตถุชีวภาพที่ความดันสูงกว่า 100 MPa เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ย้อนกลับ ดังนั้นการประยุกต์ใช้ความดันที่ 100-1,000 MPa กับอาหารจึงมีประโยชน์มาก โดยอาจใช้ความดันไม่เกิน 200 MPa สำหรับผลที่ย้อนกลับได้ (วิไล, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.1 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการความดันสูง

ที่มา : คู่มือประกอบการใช้เครื่องความดันสูง Mini Foodlab FPG 5620 (ม.ป.พ.)

ผลจากกระบวนการความดันสูงต่ออาหาร

ผลต่อจุลินทรีย์

ผลกระทบจากกระบวนการความดันสูงที่มีต่อจุลินทรีย์ในอาหาร ถูกกำหนดโดยผลกระทบของความดันที่มีต่อน้ำ อุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างกระบวนการ ส่วนประกอบของอาหาร รวมทั้งคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของจุลินทรีย์ โดยความดันมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการซึมผ่านเข้าออกของสาร เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความดันและการลดลงของอุณหภูมิจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป (fluidity) ของเยื่อหุ้มเซลล์ลดลง เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ประสิทธิภาพการต้านทานต่อความดันที่แตกต่างของคาร์โบไฮเดรตภายในเยื่อหุ้มเซลล์ ถูกจัดลำดับจากประสิทธิภาพสูงสุดไปต่ำสุด ได้แก่ trehalose, sucrose, fructose, glucose และ glycerol ดังนั้นเซลล์จุลินทรีย์ที่มีการปนเปื้อนของ propidium iodide หรือ ethidium bromide รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของ extracellular ATP (Adenosine- triphosphate) และโปรตีนถูกแยกออกจากพลาสมาเมมเบรนมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเยื่อหุ้มเซลล์นั้นถูกทำลาย นอกจากนี้ความดันยังมีผลต่อ DNA และ RNA โดยเมื่อเพิ่มความดันมีผลทำให้ DNA และ RNA เกิดการแยกตัว

โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ในช่วง exponential phase มีความต้านทานต่อความดันน้อยกว่าจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ในช่วง stationary phase นอกจากนี้แบคทีเรียแกรมบวกมักจะต่อต้านความร้อนและความดันมากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เนื่องจากโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์มีความแตกต่างกัน ส่วนแบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลาง (Psychrotrophic bacteria) จะมีความไวในการตอบสนองต่อความร้อนและความดัน นอกจากนี้ยังพบว่าความดันระหว่าง 200-300 MPa สามารถทำลาย vegetative form ของ Prokaryotes เช่น ยีสต์และราได้ อย่างไรก็ตามยีสต์และราจะถูกทำลายได้ง่ายที่ความดันประมาณ 400 MPa (Hendrickx และคณะ, ม.ป.พ.; Ledward และคณะ, 1995; Smelt, 1998; Tahiri และคณะ, 2006)

ผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี

ปฏิกิริยาที่ซับซ้อน เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ และปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน (lipid oxidation) ยากที่จะอธิบายถึงผลกระทบจากความดันที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวในอาหาร ซึ่งผลจากการทดลองในหลายงานวิจัยพบว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่สภาวะกรดอาจจะถูกยับยั้งโดยกระบวนการความดันสูง แต่เป็นเพียงผลกระทบเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ผลกระทบของความดันที่มีต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน ยากที่จะทำนายเช่นกัน อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ที่กระบวนการความดันสูงทำให้เกิดการเร่งของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในน้ำมัน (Ledward และคณะ, 1995)

ผลต่อโครงสร้างชีวโมเลกุล

กระบวนการความดันสูงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อพันธะนอนโควาเลนท์ ซึ่งได้แก่ พันธะไฮโดรเจน พันธะอิออนิก และพันธะไฮโดรโฟบิก โดยพันธะดังกล่าวอาจถูกทำลายหรือมีการสร้างพันธะขึ้นจากการที่ระบบมีปริมาตรลดลง ดังนั้นโครงสร้างของสารประกอบขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก แป้ง โพลิแซคคาไรด์ และไขมัน ซึ่งมีพันธะนอนโควาเลนท์เป็นองค์ประกอบจะถูกทำลายและสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานที่ความดันสูง เช่น เกิดการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เสียสภาพ ตกตะกอน เกิดเจล เป็นต้น ในขณะที่สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กซึ่งไม่มีพันธะนอนโควาเลนท์ เช่น วิตามิน กลิ่นรส ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ซึ่งทำให้อาหารยังคงมีสี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งลักษณะปรากฏได้ใกล้เคียงธรรมชาติ ดังนั้นกระบวนการความดันสูงจึงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับวัตถุดิบแต่มีอายุการเก็บรักษานาน (วิไล, 2546; Krebbers และคณะ, 2002; Ledward และคณะ, 1995)

2.4 สาเหตุของการเกิดเปลี่ยนแปลงของอาหาร

อาหารเน่าเสียมักเกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งหรือเกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่งทำให้คุณสมบัติของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือ อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่ม เน่า หรือมีกลิ่นรสที่ผิดปกติ การเน่าเสียของอาหารเกิดจากสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการ

1. การเปลี่ยนแปลงของอาหารเกิดจากสาเหตุทางเคมี

อาหารมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีส่วนใหญ่ มีสาเหตุมาจากเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารตามธรรมชาติภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการแปรรูปอาหารต่างๆ ที่ไม่มีการทำลายปฏิกิริยาของเอนไซม์จะมีผลนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

2. การเปลี่ยนแปลงของอาหารเกิดจากจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ช่วยขยายให้เห็นลักษณะรูปร่าง พบกระจัดกระจายทั่วไปในอากาศ ดิน น้ำ อาหาร และอุปกรณ์สำหรับใช้ประกอบอาหาร รวมทั้งตามมือ และทางเดินอาหารของคนและสัตว์ จุลินทรีย์จำแนกออกได้เป็น 6 ชนิด คือ แบคทีเรีย ยีสต์ รา โปรโตซัว สาหร่าย และไวรัส

ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์กับอาหาร

จุลินทรีย์เมื่อปนเปื้อนในอาหาร ก่อให้เกิดผลต่ออาหารจำแนกออกได้เป็น 3 ประการ

1. ทำให้อาหารเสีย

จุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดในการทำให้อาหารเน่าเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการนำเอาสารอาหาร (nutrient) ไปใช้เพื่อการอยู่รอด การเจริญ และการขยายพันธุ์ โดยการเปลี่ยนแปลงของอาหารเกิดขึ้นจากการกระทำของเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ เป็นผลให้อาหารมีกลิ่นรสและลักษณะเปลี่ยนไปในทางที่ไม่ต้องการ เพราะมีการสลายตัวหรือการสังเคราะห์สารประกอบเกิดขึ้นทำให้อาหารเสียได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น อาหารประเภท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีน ได้แก่ กุ้ง ปลา และเนื้อสัตว์ จะมีกลิ่นเหม็น ส่วนอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบสำคัญจะมีกลิ่นหมักและรสเปรี้ยว เพื่อป้องกันมิให้อาหารเปลี่ยนสภาพไป จึงต้องพยายามป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ปนเปื้อนกับอาหาร หรือขจัดจุลินทรีย์ออกจากอาหารให้มากที่สุด หรืออย่างน้อยที่สุดทำให้สภาพของอาหารไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนมา ซึ่งทำให้สามารถเก็บอาหารได้นานยิ่งขึ้น (สุมาลี, ม.ป.พ.; คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

2. ทำให้เกิดโรค

จุลินทรีย์บางชนิดเมื่อปนเปื้อนมากับอาหาร อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดโรคต่างๆ ได้ โดยเฉพาะแบคทีเรีย เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปเจริญในอาหาร (สุมาลี, ม.ป.พ.; สุมณฑา, 2545)

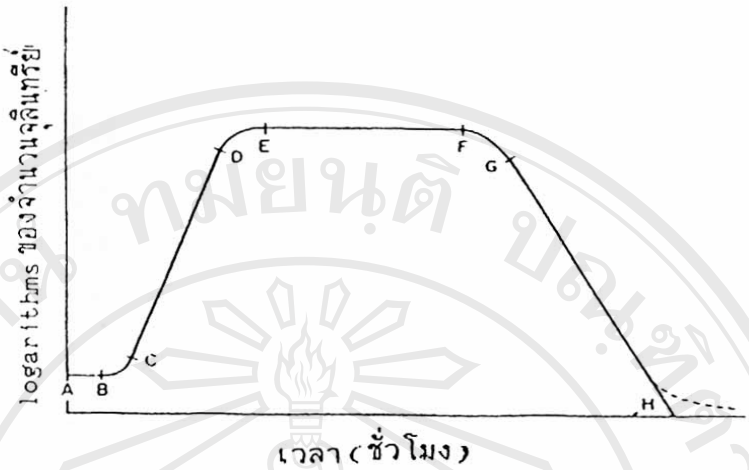
3. ใช้ผลิตอาหาร

เป็นการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ ตัวอย่างเช่น การใช้จุลินทรีย์เพื่อผลิตอาหาร ผลิตสารปฏิชีวนะ ชีวสารต่างๆ ใช้ในทางพันธุกรรม และย่อยสลายมลสารต่างๆ ทั้งที่เป็นพิษและที่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

กราฟการเจริญของจุลินทรีย์ (Growth curve of microbial culture) (สุมาลี, ม.ป.พ.)

เมื่อจุลินทรีย์เข้าไปในอาหารและสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่เหมาะสม จุลินทรีย์ก็จะเริ่มเพิ่มจำนวน เมื่อนับจำนวนของจุลินทรีย์ที่เจริญแล้วนำค่ามาแสดงในรูปของ logarithms ของจำนวนจุลินทรีย์และระยะเวลา จะได้กราฟการเจริญดังรูปที่ 2.2 กราฟการเจริญนี้แบ่งออกเป็นระยะ ๆ ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.2 กราฟการเจริญของจุลินทรีย์

ที่มา : สุมาลี (ม.ป.พ.)

1. Lag phase (A-B) เป็นระยะที่จำนวนของจุลินทรีย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากกำลังปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่
2. Positive acceleration phase (B-C) เป็นระยะที่อัตราการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นติดต่อกัน
3. Phase of logarithmic หรือ exponential of growth (C-D) เป็นระยะที่อัตราการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เป็นไปอย่างรวดเร็วและคงที่
4. Negative acceleration phase (D-E) เป็นระยะที่อัตราการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ลดลง
5. Maximum stationary phase (E-F) ระยะนี้จำนวนของจุลินทรีย์จะคงที่ เนื่องจากมีการแบ่งตัวลดลง ซึ่งอาจเป็นผลจากอาหารหมดหรือเกิดสารเป็นพิษในอาหาร
6. Accelerated death phase (F-G) เป็นระยะที่จำนวนจุลินทรีย์เริ่มลดอย่างรวดเร็ว
7. Death phase (G-H) เป็นระยะที่จำนวนจุลินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็วในอัตราที่คงที่

ในแบคทีเรียหลายชนิดรวมทั้งในจุลินทรีย์ชนิดอื่น พบว่าจำนวนของแบคทีเรียมิได้ลดลงจนถึงจุดศูนย์เช่นที่แสดงไว้ในภาพด้วยเส้นหนัก แต่จะยังคงมีแบคทีเรียที่ยังมีชีวิตอยู่บ้างเล็กน้อย ดังได้แสดงไว้ด้วยเส้นประและจะยังคงมีชีวิตอยู่ได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้ต้องอาศัยปัจจัยภายในและภายนอก ดังนี้

ปัจจัยภายใน (Intrinsic Factors)

ปัจจัยภายในเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยตรง

1. สารอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ สารอาหารทำให้เกิดพลังงานที่สิ่งมีชีวิตต้องการในการดำรงชีวิต จุลินทรีย์บางชนิดสามารถสังเคราะห์แหล่งพลังงานจากสารอนินทรีย์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่จุลินทรีย์ส่วนมากต้องอาศัยสารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหาร ซึ่งได้แก่ คาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะน้ำตาล สารประกอบไนโตรเจน รวมทั้งวิตามินต่างๆ เป็นต้น (สุมณฑา, 2545; Frazier and Westhoff, 1978)

2. ความชื้นของอาหาร

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญของจุลินทรีย์ มีความจำเป็นต่อการขนส่งสารอาหารและของเสีย รวมทั้งใช้ในปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ (มณธิดา, 2546) ปริมาณของน้ำที่จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการจะแตกต่างกันออกไป น้ำในที่นี้หมายถึงน้ำที่เป็นอิสระในอาหารซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ว่า a_w (สุมาลี, ม.ป.พ.) ซึ่งโดยทั่วไปแบคทีเรียต้องการ a_w ในการเจริญเติบโตสูงกว่าราและยีสต์ แม้แต่ในกลุ่มแบคทีเรียด้วยกันก็ยังต้องการ a_w ในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน คือ แบคทีเรียแกรมลบต้องการ a_w สูงกว่าแบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสียส่วนมากจะไม่เจริญถ้า a_w ต่ำกว่า 0.91 ในขณะที่ราสามารถเจริญได้ที่ a_w ประมาณ 0.80 (สุมณฑา, 2545)

3. ความเป็นกรด-ด่างของอาหาร

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หมายถึง ในสภาวะที่เป็นสารละลาย สารที่แตกตัวให้ H^+ เรียกว่า กรด และสารที่แตกตัวให้ OH^- เรียกว่า ด่าง หรือเบส ตามปกติอาหารที่มีสภาพ pH เป็นกลาง (ประมาณ 6.5-7.5) จุลินทรีย์มักจะเจริญได้ดี

ความเป็นกรด-ด่างของสิ่งแวดล้อม มีผลต่อกิจกรรมและความคงตัวของสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น เอนไซม์ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต้องอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ในการย่อยและการดูดซึมสารอาหารเพื่อผลิตพลังงาน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า pH มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียเจริญได้ดีในช่วง pH 6.0-8.0 ยีสต์เจริญได้ดีในช่วง pH 4.5-6.0 ส่วนเชื้อราที่สร้างเส้นใยเจริญได้ดีในช่วง pH 3.5-4.0 แต่มีแบคทีเรียบางชนิดที่เจริญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ที่ pH ต่ำกว่าค่าปกติที่แบคทีเรียอื่นๆ เจริญ (pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.0-6.0) เช่น แบคทีเรียที่ให้กรด

ความเป็นกรดของอาหารขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกตัวให้โปรตอน (H^+) เมื่อละลายน้ำ อาหารที่แตกตัวให้ H^+ น้อย จะมี pH สูง อาหารประเภทนี้จุลินทรีย์จะเจริญได้ดี ส่วนอาหารที่แตกตัวให้ H^+ มาก จะมี pH ต่ำ อาหารประเภทนี้จุลินทรีย์จะเจริญได้ไม่ดี (สุมณฑา, 2545)

4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนของอาหาร (ผลของอากาศ)

การให้และการรับอิเล็กตรอนของสารในอาหาร ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยน้ำในอาหารนับว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากทำให้เกิดระบบสารละลายของอิออนต่างๆ และเกิดปฏิกิริยาการถ่ายเทอิเล็กตรอนหรือปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น ปฏิกิริยานี้วัดออกมาเป็นค่าความต่างศักย์เรียกว่า redox potential (Eh) มีหน่วยเป็นมิลลิโวลท์ (mV)

แบคทีเรียบางชนิดต้องการสภาวะรีดิวซ์ (Eh เป็นลบ) ในการเจริญเติบโต ได้แก่ แบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ ขณะที่แบคทีเรียบางชนิดต้องการสภาวะออกซิไดซ์ (Eh เป็นบวก) ได้แก่ แบคทีเรียที่ต้องการอากาศ นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียบางชนิดที่เจริญเติบโตได้ในสภาวะรีดิวซ์เล็กน้อย เช่น มีอากาศประมาณร้อยละ 5 คือ แบคทีเรียในกลุ่มไมโครแอโรฟิลล์ (Microaerophiles) และยังมีแบคทีเรียบางชนิดที่เจริญได้ทั้งในสภาวะรีดิวซ์และสภาวะออกซิไดซ์ คือ สภาวะที่มีหรือไม่มีอากาศก็สามารถเจริญได้ ได้แก่ แบคทีเรียจำพวกแฟคคัลเททีฟอะนาโรปส์ (Facultative anaerobes) สำหรับยีสต์และราส่วนมากชอบสภาวะที่มีอากาศ (สุมณฑา, 2545)

5. สารยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหาร

สารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่พบมากมาจาก 3 แหล่งดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

1. สารยับยั้งชนิดที่แบคทีเรียสร้างขึ้นเองในระหว่างที่เจริญ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ เช่น สารปฏิชีวนะ เป็นต้น
2. สารยับยั้งที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ เช่น ไลโซไซม์ (lysozyme) และคอนแอลบูมิน (conalbumin) ซึ่งมีอยู่ในส่วนประกอบของไข่ขาว
3. สารยับยั้งที่เติมลงในอาหาร เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการ เช่น โพรพิโอเนตและเกลือซอร์เบต เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยภายนอก (Extrinsic Factors)

เป็นปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลทางอ้อมต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์

1. อุณหภูมิในการเก็บรักษาอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเพิ่มจำนวน ทำให้สามารถจำแนกจุลินทรีย์ออกได้เป็น 4 กลุ่ม (สุมณฑา, 2545) คือ

1) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Psychrophiles)
2) จุลินทรีย์ที่เจริญได้ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลาง (Psychrotrophs)
3) จุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophiles)
4) จุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิสูง (Thermophiles)

ยีสต์ รา และแบคทีเรียส่วนมากเจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสียและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค

2. ความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาอาหาร (Relative Humidity)

ความชื้นในบรรยากาศรบกวนสมดุลของความชื้นในอาหาร เพราะความชื้นในบรรยากาศมีค่าเป็น 100 เท่าของ a_w ถ้าหากความชื้นในบรรยากาศต่ำ จะมีผลทำให้น้ำในอาหารเกิดการเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ a_w ในอาหารลดลง (Frazier and Westhoff, 1978)

3. ก๊าซในสภาพบรรยากาศ

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เป็นสาเหตุของอาหารเน่าเสีย และอาหารเป็นพิษ จะเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการเจริญ โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

1) Aerobic bacteria คือ จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนสำหรับการเจริญ
2) Anaerobic bacteria คือ จุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน
3) Facultative bacteria คือ จุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 บรรรจุภัณฑ์พลาสติก

ในปัจจุบันมีพลาสติกหลายชนิดที่ใช้กัน ซึ่งพลาสติกที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุเหล่านี้มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างโมเลกุลสารที่ผ่านเข้า-ออก ความเป็นผลึกและความยาวของสายโพลีเมอร์ภายในเนื้อพลาสติก

โพลิเอทิลีน (Polyethylene-PE) (จันทร์สุดา, 2540; ปุ่น และสมพร, 2541)

PE เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากสำหรับเป็นภาชนะบรรจุผักและผลไม้สด ผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีชนิดและคุณภาพให้เลือกใช้มากมาย และราคาถูก เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ PE ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอไรเซชั่น (polymerisation) ของก๊าซเอธิลิน (ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงโดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (metal catalyst) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะโซ่สั้นและยาวจะส่งผลให้ PE ที่ได้ออกมามีความหนาแน่นแตกต่างกัน PE แบ่งเป็น 3 ประเภทตามความหนาแน่นคือ

1. Linear low-density Polyethylene (LLDPE)

เป็นโคโพลีเมอไรเซชั่นของเอทิลีนโมโนเมอร์ ($CH_2=CH_2$) กับบิวทีน เฮกซีน หรือออกทีนโมโนเมอร์ โดยมีการผลิตภายใต้สภาวะความดันต่ำ ซึ่งมีความหนาแน่นเหมือนกับ LDPE แต่มีโครงสร้างที่เป็นผลึกสูงถึง 50-55 เปอร์เซ็นต์ มีความเหนียวมากกว่าและมีความหนาน้อยกว่า LDPE โดยนิยมใช้เป็นชั้นป้องกันความชื้นโดยการเคลือบกับ PE นอกจากนี้ LLDPE สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อนและมีการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้น้อย

2. Low-density Polyethylene (LDPE)

เป็นพลาสติกที่ใช้มากและชื่อสามัญเรียกว่า ถุงเย็น สามารถยืดหดตัวได้ดี ทนต่อการฉีกขาดและทิ่มทะลุ พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมปิดผนึกได้ โดย LDPE เป็นโพลิเมอร์สายแขนงที่เกิดจากกระบวนการโพลีเมอไรเซชั่นของเอทิลีนโมโนเมอร์ ที่ระดับความดันประมาณ 1,000-3,000 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 150-350 องศาเซลเซียส โพลิเมอร์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 14,000-1,400,000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. High-density Polyethylene (HDPE)

มีโครงสร้างหลักเป็นสายยาว มีสายแขนงบ้างเล็กน้อย ผลิตจากเอทิลีนโมโนเมอร์ โดยกระบวนการโพลีเมอไรเซชั่นที่ความดันต่ำกว่า 102 บรรยากาศ อุณหภูมิ 70-250 องศาเซลเซียส ทำให้ HDPE มีความเหนียว แข็ง ทนต่อแรงดึง และทนต่อการซึมผ่านได้ดี

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้เป็นถุง Nylon ที่ laminate กับ LLDPE (Nylon/LLDPR) ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธี lamination โดยจะใช้พลาสติก 2 ชนิดหรือมากกว่ามารวมกันโดยอาศัยความร้อนและความดัน เนื่องจาก Nylon หรือ Polyamides เป็นพลาสติกที่มีราคาสูงกว่า แต่สามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของน้ำและอากาศได้ดี เมื่อนำมา laminate กับ LLDPE ซึ่งราคาถูกกว่า ทำให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่มีสมบัติด้านต่างๆ ตามต้องการ และราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับการใช้ Nylon เพียงอย่างเดียว (วรัญญา, 2542)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพลาสติกบางชนิดที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

Plastic material	Density (kg/m^2)	Water absorption (24 h) (%)	Water vapour transmission rate (38ºc, 90% R.H.) (g/25 μm/m^2d)	Oxygen transmission rate (23/25 ºc, 50% R.H.) (cm^2/25 μm/m^2d atoms)
LDPE/LLDPE	900-930	0.01	16-24	7,100-7,800
Polyamides (Nylon)	1,010-1,190	0.3-2.8	63-340	40-1,400

ที่มา : วรัญญา (2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

งานวิจัยที่ที่เกี่ยวข้อง

1. การดัดแปลงบรรยากาศ

González-Aguilar และคณะ (2004) ศึกษาผลกระทบของสภาวะสุญญากาศ (Vacuum packaging) และสภาวะที่มีอัตราส่วนผสมของก๊าซชนิดต่างๆ (Modified Atmosphere Packaging : MAP) ต่ออายุการเก็บรักษาพริกหวานสดที่ตัดเป็นชิ้น โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าพริกหวานสดที่เก็บรักษาใน MAP มีลักษณะปรากฏที่ดีกว่า มีการซึมของน้ำจากเนื้อเยื่อน้อยกว่า และลักษณะเนื้อสัมผัสดีกว่าเมื่อเทียบกับพริกที่เก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ นอกจากนี้ปริมาณจุลินทรีย์และคุณภาพการเก็บรักษาอยู่ที่ 14 และ 21 วัน เมื่อเก็บรักษาพริกที่อุณหภูมิ 10 และ 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า MAP สามารถรักษาคุณภาพของพริกหวานให้มีอายุการเก็บรักษาได้ 21 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Nguyen และคณะ (2004) ศึกษากล้วยไข่ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนผสมของก๊าซผสมต่างๆ (MAP) ซึ่งมีปริมาณออกซิเจน 12 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 4 เปอร์เซ็นต์ และบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มีการดัดแปลงบรรยากาศเป็นชุดควบคุม พบว่าการเก็บรักษากล้วยใน MAP ทำให้ปริมาณการเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ลดลง ส่วนปริมาณสาร phenolic อิสระในเปลือกกล้วยที่เก็บรักษาในชุดควบคุมมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับ MAP นอกจากนี้ปริมาณเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) และ polyphenol oxidase (PPO) ในเปลือกกล้วยชุดควบคุมมีค่ามากกว่ากล้วยที่เก็บรักษาใน MAP สำหรับความนุ่ม ความหวาน และรสชาติของกล้วยใน MAP จะมีคุณภาพที่ดีกว่า

Murcia และคณะ (2003) ศึกษาระดับความสม่ำเสมอของปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า รวมทั้งปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารที่สุกพร้อมรับประทาน เช่น ซุปถั่วแดง ซึ่งเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ และสภาวะที่มีอัตราส่วนผสมของก๊าซชนิดต่างๆ (MAP) ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 80 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 20 เปอร์เซ็นต์ และทำการเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่มีสภาวะบรรยากาศปกติ โดยเก็บรักษาเป็นเวลา 7 และ 29 วัน ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส พบว่าสภาวะสุญญากาศและ MAP มีประสิทธิภาพสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ถึง 29 วัน ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในส่วนประกอบของอาหาร สำหรับจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศและชอบอุณหภูมิปานกลาง (Aerobic mesophilic) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำและปานกลาง (Psychrotrophic microorganism) ยีสต์ และราปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยไม่ขึ้นกับชนิดของบรรจุภัณฑ์ แต่จุลินทรีย์เจริญอย่างรวดเร็วในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Alklint และคณะ (2004) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาน้ำแครอท พบว่าการดัดแปลงบรรยากาศโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลทำให้น้ำแครอทมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นถึง 250 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การแทนที่ด้วยก๊าซฮีเลียมและก๊าซไนโตรเจนไม่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

Alasalvar และคณะ (2005) ศึกษาแครอทสีส้มและแครอทสีม่วงที่พร้อมบริโภค โดยบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ (ชุดควบคุม) และภายใต้สภาวะการดัดแปลงบรรยากาศ (MAP) ซึ่งมีไนโตรเจน 90 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 5 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 95 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลา 13 วัน พบว่าสภาวะที่มีไนโตรเจน 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนประกอบ สามารถยืดอายุการเก็บรักษารวมทั้งรักษาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของแครอทสีม่วงได้มากกว่าวิธีการอื่น เนื่องจากมีผลทำให้ปริมาณ total antioxidant ปริมาณ anthocyanin และปริมาณ carotenoid ลดลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับแครอทสีส้ม ทุกสิ่งทดลองให้ผลการวิเคราะห์คุณภาพไม่แตกต่างกัน

Soliva-Fortuny และคณะ (2004) ศึกษาแอปเปิ้ลสดที่หั่นเป็นชิ้น และเก็บรักษาภายใต้สภาวะการดัดแปลงบรรยากาศ (MAP) พบว่าการเก็บรักษาแอปเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ที่มี 15 cm^3 O_2 m^{-2} bar^{-1} 24 h^{-1} และการแทนที่ด้วยไนโตรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ปริมาณจุลินทรีย์คงที่ได้นานที่สุด โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน ที่อุณหภูมิแช่เย็น มีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่า 5 log CFU/g นอกจากนี้สภาวะดังกล่าวไม่ทำให้ปริมาณกรดและปริมาณน้ำตาลของผลิตภัณฑ์เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

Kim และ Klieber (1999) พบว่าผักกาดขาวซึ่งผ่านการตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุลงในถุงพลาสติก แล้วทำการฉีดก๊าซที่อัตราส่วนผสมของออกซิเจน 2 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน 98 เปอร์เซ็นต์ เข้าไปในถุง จากนั้นปิดผนึกถุงให้สนิทสามารถเก็บรักษาผักกาดขาวได้นานที่สุด คือ 15 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Gil และคณะ (2002) พบว่าการเก็บรักษาคุณภาพของมะเขือเทศที่หั่นเป็นแผ่นบางๆ พร้อมบริโภค สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 7 และ 10 วัน ภายใต้อุณหภูมิ 0 และ 1 องศาเซลเซียส โดยใช้สภาวะการดัดแปลงบรรยากาศ 12 – 14 kPa O_2 และ 0 kPa CO_2

Ren และคณะ (2000) ศึกษาแอปเปิ้ลหั่นเป็นแผ่นและเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะสุญญากาศ และสภาวะการแทนที่ด้วยก๊าซไนโตรเจน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าสภาวะสุญญากาศและการแทนที่ด้วยก๊าซไนโตรเจน สามารถลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีได้และยังรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Allende และคณะ (2004) ศึกษาการเก็บรักษาผักกาดม่วง (Lollo Rosso Lettuce) ในถุง Polypropylene (PP) ที่มี 3 kPa O_2 และ 5 kPa CO_2 ที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถรักษาคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น การเกิดสีน้ำตาลที่ใบ และการเน่าเสีย รวมทั้งชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น จุลินทรีย์ที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลาง โคลิฟอร์มแบคทีเรีย เป็นต้น

Beltrán และคณะ (2005) พบว่าการเก็บรักษามันฝรั่งแผ่นในสภาวะสุญญากาศ สามารถรักษาลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการเก็บในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศ (MAP)

Rocculi และคณะ (2005) ศึกษาการเก็บรักษาผลกีวี (Kiwifruit) โดยการดัดแปลงบรรยากาศ ดังต่อไปนี้ 90 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน + 5 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน + 5 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 90 เปอร์เซ็นต์ อาร์กอน + 5 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน + 5 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 90 เปอร์เซ็นต์ ไนตรัสออกไซด์ + 5 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน + 5 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ และสภาพบรรยากาศปกติ พบว่าสภาวะที่มีไนตรัสออกไซด์ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นก๊าซผสมที่ดีสุดในการรักษาคุณภาพผลกีวี โดยสามารถรักษาความแข็งและสีของผลกีวีไม่ให้เกิดสีน้ำตาลเร็วเมื่อเทียบกับผลกีวีที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติที่ทำให้ผลกีวีเสื่อมคุณภาพเร็ว

Anh และคณะ (2005) พบว่าการเก็บรักษาผักคะน้า (Chinese cabbage) ภายใต้สภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ 99.999 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ 25 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ สามารถลดจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ (Total aerobic bacteria) และโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ แต่มีผลให้จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติคมีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบสภาวะบรรยากาศปกติ

Jamie และคณะ (2002) พบว่าสภาวะที่มีก๊าซอาร์กอน 90 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซออกซิเจน 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดเวลาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในบร็อคโคลีได้

Manurakchinakorn และคณะ (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิคปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่าสภาวะการดัดแปลงบรรยากาศที่มีออกซิเจน 5 เปอร์เซ็นต์ กับคาร์บอนไดออกไซด์ 9 เปอร์เซ็นต์ สามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิคและชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในมังคุดได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับสภาวะบรรยากาศปกติ แต่ไม่มีความแตกต่างของปริมาณกรดแอสคอร์บิค และการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างสภาวะการดัดแปลงบรรยากาศกับสภาวะสุญญากาศ อย่างไรก็ตามสภาวะดัดแปลงบรรยากาศสามารถรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดได้ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Blanchard และคณะ (1996) ศึกษาสภาวะดัดแปลงบรรยากาศ ที่มีปริมาณออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์) ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ (เปอร์เซ็นต์) ดังนี้ คือ 20/0, 2/0, 2/5, 2/10 และ 2/15 และปรับสมดุลบรรยากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน จากนั้นเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่าสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถรักษาคุณภาพหัวหอม (Yellow onion) ทั้งทางด้านสี การยอมรับทางประสาทสัมผัส และปริมาณน้ำตาลได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการเก็บหัวหอมในสภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้การดัดแปลงบรรยากาศสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในที่มีอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลาง

Perkins-Veazie และคณะ (2004) ศึกษาแตงโมที่มีเมล็ดและไร้เมล็ด ภายใต้สภาวะการดัดแปลงบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เก็บรักษาที่ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 7 และ 10 วัน พบว่าแตงโมที่มีเมล็ดและไร้เมล็ด มีปริมาณเบต้า-แคโรทีน และ *cis* lycopene 2 และ 6 mg kg^{-1} ตามลำดับ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ค่าสี L เพิ่มขึ้น แต่ค่า Chroma ลดลง แสดงว่าแตงโมยังคงความสว่าง แต่มีความเข้มสีลดลง

2. การแปรรูปด้วยความดันสูง

Krebbers และคณะ (2003) ศึกษาผลของความดันสูงต่อความสม่ำเสมอ ความหนืด สี ปริมาณ lycopene กิจกรรมของเอนไซม์ และปริมาณจุลินทรีย์ ในซุปมะเขือเทศ โดยมีการเปรียบเทียบกับวิธีการพาสเจอไรซ์และสเตอริไลซ์ พบว่าการใช้ความดันสูงที่อุณหภูมิปกติสามารถรักษาสีและความหนืดของซุปได้เหมือนการพาสเจอไรซ์ โดยเมื่อใช้ความดันที่ 700 MPa 20 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ให้มีจำนวนน้อยกว่าขีดจำกัด และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ซุปมีความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษาสามารถยับยั้งเอนไซม์ polygalacturonase ได้ (70 เปอร์เซ็นต์) แต่ทำให้เอนไซม์ pectin methylesterase เพิ่มขึ้น สำหรับการใช้ความดันสูงร่วมกับการใช้อุหณภูมิสูง ($\geq$80 องศาเซลเซียส) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพคงที่ โดยความดัน 700 MPa 30 นาที 90 องศาเซลเซียส สามารถลดระดับการปนเปื้อนของสปอร์ของ *B. stearothermophilus* ในซุปมะเขือเทศได้ต่ำสุด 4.5 log CFU/ml ยับยั้งเอนไซม์ polygalacturonase และ pectin methylesterase ได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดลดลง สีของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น และปริมาณ lycopeneยังคงมีอยู่เมื่อเทียบกับการสเตอริไลซ์ที่มีการสูญเสียสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Matser และคณะ (2000) ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ความดันสูง ซึ่งเป็นทางเลือกในการลวกเห็ด พบว่าระดับความดันมีความสำคัญในการยับยั้งเอนไซม์ polyphenol oxidase ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในเห็ด โดยที่ความดัน 600 MPa จะเร่งการทำงานของเอนไซม์ แต่เมื่อใช้ความดัน 950 MPa จะสามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ นอกจากนี้การใช้ความดันสูงมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของเห็ด โดยทำให้เกิดสีน้ำตาลดำในเห็ดสด อย่างไรก็ตามถ้าบรรจุเห็ดแบบสุญญากาศก่อนใช้ความดันสูง จะทำให้ค่าสี L, a* และb* ใกล้เคียงกับสีที่ได้จากการลวกเห็ดแบบธรรมดา

Krebbers และคณะ (2002) ศึกษาผลของความดันสูงที่มีต่อจุลินทรีย์ สี ปริมาณกรดแอสคอร์บิค และกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ในถั่วเขียว โดยเปรียบเทียบกับการถนอมอาหารแบบดั้งเดิม พบว่าหลังจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1 เดือน ไม่มีการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ความดันสูงยังช่วยรักษาความแข็ง ปริมาณกรดแอสคอร์บิคให้คงอยู่ได้เมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม ระหว่างการเก็บรักษาวิธีความดันสูงและวิธีดั้งเดิมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิค และสีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามหลังจากใช้ความดันทำให้ peroxidase เหลือ 76 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเริ่มต้นและลดลงตามระยะเวลาการเก็บ

Butz และคณะ (2002) พบว่าความดันสูงระดับมากกว่า 100 MPa สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ แต่ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงโดยปราศจากการเสื่อมสลาย นอกจากนี้ความดันสูงยังสามารถรักษายากลิ่น รส ของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งการใช้ความดันมากกว่า 600 MPa ร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิ และเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อน พบว่าการใช้ความดันไม่ทำให้เกิดการสูญเสียของสารที่มีประโยชน์ เช่น วิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ในแครอท มะเขือและบร็อคโคลี แต่ความดันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น การสลายตัวของน้ำตาลกลูโคสลดลง ปริมาณความชื้นคงที่

Butz และคณะ (1994) พบว่าการใช้ระดับความดันสูง 350 MPa ที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส สามารถลดจุลินทรีย์ในหัวหอมได้ แต่ไม่เพียงพอต่อการยับยั้งเอนไซม์ที่ไม่ต้องการ ซึ่งความดัน 300 MPa 30 นาที 25 และ 40 องศาเซลเซียส ทำให้กลิ่นของหัวหอมสดเปลี่ยนแปลงคล้ายกลิ่นหัวหอมทอด นอกจากนี้ระดับความดันมากกว่า 100 MPa ทำลายโครงสร้างเซลล์ของเยื่อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์ และกระตุ้นการปล่อยเอนไซม์ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) โดยสลาย polyphenol oxidase (PPO) อย่างไรก็ตามกิจกรรมของ PPO ในหัวหอมยังดำเนินได้แม้ใช้ความดันสูงถึง 700 MPa ก็ตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Butz และคณะ (2003) ศึกษาผลของระดับความดัน 800 MPa 44 องศาเซลเซียส 6 นาที ความดัน 600 MPa 44 องศาเซลเซียส 6 นาที และความดัน 600 MPa 25 องศาเซลเซียส 6 นาที ที่มีผลต่อ anti-mutagenic anti-oxidative ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรดแอสคอร์บิค และคาโรทีนอยด์ในส้ม แอปเปิ้ล ลูกพีช น้ำผลไม้รวม แครอท มะเขือเทศ สตรอเบอรี่ และราสเบอรี่ โดยเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส 4 นาที พบว่าการใช้ความดันสูงไม่ทำให้สารอาหารที่มีประโยชน์ในผักและผลไม้สูญหาย แต่ความดันไม่สามารถยับยั้งการสูญเสียของปริมาณน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาในราสเบอรี่ได้

Tahiri และคณะ (2006) ศึกษากระบวนการความดันสูงที่มีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและอาหารเน่าเสียในน้ำส้ม พบว่าประสิทธิภาพของการยับยั้งจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับระดับความดันและจำนวนครั้งที่ใช้ ซึ่งความดันมีประสิทธิภาพยับยั้งจุลินทรีย์แกรมลบมากกว่าแกรมบวก และการใช้ความดันที่ 200 MPa 5 นาที ประมาณ 3 ครั้ง ที่ 25 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้ง *E. coli Penicillium* ssp. *S. cerevisiae L. plantarum* และ *L. mesenteroides* ได้

Bayindirli และคณะ (2006) ศึกษาผลจากความดันสูงต่อ *Staphylococcus aureus* 485 *Escherichia coli* O157:H7 933 และ *Salmonella* ในน้ำผลไม้ ได้แก่ แอปเปิ้ล ส้ม ผลแอปปริคอท และเชอรี่ พบว่าจุลินทรีย์ถูกทำลายได้ผลดีที่ระดับความดัน 350 MPa 5 นาที 40 องศาเซลเซียส สำหรับเอนไซม์ polyphenol oxidase ในน้ำแอปเปิ้ลลดเหลือ 9±2.2 เปอร์เซ็นต์ หลังจากใช้ความดัน 450 MPa 60 นาที 50 องศาเซลเซียส และเอนไซม์ pectinesterase ในน้ำส้มเหลือ 7±1.6 และ 12±0.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความดัน 450 MPa 30 นาที 50 องศาเซลเซียส และความดัน 450 MPa 60 นาที 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งความดันมีผลทำให้เอนไซม์ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าเวลาจะผ่านไป กระบวนการความดันสูงจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ในน้ำผลไม้ และที่ระดับความดันมากกว่า 400 MPa ร่วมกับความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์

Houška และคณะ (2005) พบว่าการใช้ความดันระดับ 500 MPa 10 นาที สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำผักผลไม้สดได้มากกว่า 5 log CFU/ml นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังปราศจากโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ยีสต์ รา และ *Sallmonella* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน ที่ 5 องศาเซลเซียส

Quaglia และคณะ (1996) ศึกษาระดับความดัน 400 – 900 MPa 5 และ 10 นาที ที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาคงความดัน (holding time) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ peroxidase ปริมาณกรดแอสคอร์บิค และลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วเขียว แต่การเพิ่มระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดันมีผลให้เอนไซม์ peroxidase ถูกยับยั้งมากขึ้น อย่างไรก็ตามที่ระดับความดันสูงยังสามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิคได้

Baxter (2005) ศึกษาการยอมรับด้านประสาทสัมผัสของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง การใช้ความร้อน เปรียบเทียบกับน้ำส้มธรรมดา (ชุดควบคุม) โดยทำการเก็บรักษาที่ 4 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการความดันสูง เก็บที่ 4 และ 10 องศาเซลเซียส เวลา 12 สัปดาห์ มีกลิ่นและรสชาติไม่เปลี่ยนแปลงผู้ชิมยอมรับได้ เช่นเดียวกับน้ำส้มที่ผ่านความร้อนเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส แต่น้ำส้มที่ผ่านความร้อนและเก็บที่ 10 องศาเซลเซียส รวมทั้งชุดควบคุมผู้ชิมไม่ยอมรับกลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์

Polydera และคณะ (2005) พบว่าน้ำส้มที่ผ่านการถนอมด้วยความดันระดับ 600 MPa 4 นาที 40 องศาเซลเซียส สามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิค คุณภาพด้านสี กลิ่นรส และมีการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสมากกว่าน้ำส้มที่ถนอมด้วยการพาสเจอไรซ์

Bull และคณะ (2004) ศึกษาผลของความดันระดับ 600 MPa 20 องศาเซลเซียส 60 วินาที ต่อน้ำส้ม และเก็บรักษาที่ 4 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าที่ 0 สัปดาห์ ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ในน้ำส้ม แต่เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น โดยอุณหภูมิเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส ตรวจพบจุลินทรีย์มากกว่าอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ความดันไม่มีผลทำให้ปริมาณของกรดแอสคอร์บิค และเบต้า-แคโรทีนในน้ำส้มเกิดความแตกต่างกัน

Parish (1998) พบว่าน้ำส้มที่ผ่านการถนอมด้วยความดันสูงสามารถเก็บรักษานานถึง 15 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส โดยมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำส้มสดมากกว่าน้ำส้มที่ผ่านความร้อน

Voldrich และคณะ (2004) ศึกษาผลของความดันสูงที่มีต่อเซลล์ และสปอร์ของราชนิด *Talaromyces avellaneus* ในน้ำและซุปผลไม้ พบว่าเซลล์ของรามีความต้านทานต่อความดันน้อย โดยระดับความดัน 200 MPa 17 องศาเซลเซียส 60 นาที หรือระดับความดัน 300 MPa 17 องศาเซลเซียส 5 นาที สามารถทำลายเซลล์เริ่มต้นจาก 10^6 CFU/g ให้เหลือ 10 CFU/g ได้ อย่างไร ก็ตามการใช้ความดัน 600 MPa ที่ 17 หรือ 25 องศาเซลเซียส 60 นาที สปอร์ของรายังเหลือรอดประมาณ 10^2 - 10^3 CFU/g นอกจากนี้พบว่าการใช้ระดับความดัน เวลาคงความดัน และอุณหภูมิที่มากขึ้นมีผลทำลายราได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved