บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์น้ำพริกหนุ่ม

น้ำพริกหนุ่ม เป็นอาหารที่สำคัญของคนในภาคเหนือ เป็นอาหารที่ปรุงขึ้นง่าย มีรสชาติเผ็ดโดยจะมีวัตถุดิบหลัก คือ พริกชี้ฟ้าสีเขียว นำไปอบหรือเผา ลอกเอาเปลือกออกบดผสมให้เข้ากับกระเทียม หอม ที่เผาหรืออบแล้วเข้ากัน ปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรส เช่น น้ำปลา เกลือ ผสม มะเขือเทศ เนื้อปลาสุก น้ำปลาร้าต้มสุก เป็นต้น ปัจจุบันน้ำพริกหนุ่มได้กลายเป็นของฝากที่มีชื่อเสียงของทางภาคเหนือโดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ พริกหนุ่มมีคุณค่าทางโภชนาการหลายอย่าง เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินซี และวิตามินเอ เป็นต้น แต่ปัญหาสำคัญของน้ำพริกหนุ่ม คือ มีอายุการเก็บรักษาสั้น ยกตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บรักษาได้เพียง 1 วัน แต่ถ้าเก็บไว้ในตู้เย็น จะสามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 2-3วัน และปัญหาอีกประการคือ การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จากกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นลง และยังก่อให้เกิดปัญหาท้องเสียในผู้บริโภคอีกด้วย จากปัญหาดังกล่าว ทำให้ผู้ผลิตน้ำพริกหนุ่มนิยมใส่สารกันเสียลงไปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น วัตถุกันเสียที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดเบนโซอิก (จรีย์พร, 2549)ผู้ผลิตส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ในการใช้สารกันเสีย และมักใช้ในปริมาณที่มากเกินพอ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค (ศิวาพร, 2546)

2.2 จุลินทรีย์ที่พบในภาชนะปิดสนิท

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) บรรจุกระป๋องที่สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ โดยเฉพาะกลุ่มที่มีอยู่ในดิน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

2.2.1 มีโซไฟล์ (Measophile) เป็นแบคทีเรียพบในดิน อยู่ในสภาพที่ไม่มีอากาศ แต่ชอบเจริญในช่วงอุณหภูมิปานกลาง ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Clostridium sporogenes, C. butyricum, C. pasteurianum* และ *C. botulinum*โดยเฉพาะ*C. botulinum*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นสาเหตุของโรค botulism ซึ่งทำให้ผู้บริโภคตายได้ ดังนั้น จึงใช้เป็นเชื้อที่ทดสอบประสิทธิภาพในการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อแต่เชื้อ *C. sporogenes* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ไม่เป็นโทษแก่ผู้บริโภค เหมือนกับ *C. botulinum* อีกทั้งยังสามารถทนความร้อนได้สูงกว่า *C. botulinum* จึงได้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในอาหารกระป๋องด้วยความร้อน (วราวุฒิ, 2538)

คลอสตริเดียมโบทูลินัม (*Clostridium botulinum*)

โรคอาหารเป็นพิษจากแบคทีเรียชนิดนี้ต่างจาก *C. perfringens* คือในกรณีของ *C. perfringens* เกิดจากการบริโภคเซลล์ที่มีชีวิตเข้าไปเป็นจำนวนมาก แต่ในกรณีของ *C. botulinum* ผู้บริโภคจะต้องบริโภคอาหารที่มีสารพิษ (exotoxins) ซึ่งแบคทีเรียนี้เจริญและขับออกมาปนกับอาหาร สารพิษมีความเป็นพิษสูงกว่าสารพิษของ *C. perfringens* มาก

C. botulinum เป็นแบคทีเรียแกรมบวกเคลื่อนที่ได้โดยมีแซ่รอบตัว(peritrichous flagella) ไม่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต รูปร่างเป็นท่อนตรงหรือโค้งเล็กน้อย สร้างสปอร์รูปไข่จนถึงรูปกลมตรงส่วนปลายหรือใกล้กับปลายข้างใดข้างหนึ่งของเซลล์ สร้างสารพิษ 8 ชนิด (types) ที่สามารถจำแนกออก โดยอาศัยเทคนิคทางซีโรวิทยา คือ A, B, C1, C2, D, E, F และ G สารพิษแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ย่อยโปรตีน (proteolytic type) และประเภทที่ไม่ย่อยโปรตีน (non-proteolytic) ตามปกติ *C. botulinum* สายพันธุ์หนึ่งจะผลิตสารพิษออกมาเพียงชนิดเดียว แต่อาจมีข้อยกเว้นอยู่บ้าง ในปี ค.ศ. 1985 ได้พบว่ามีคลอสตริเดียมสปีชีอื่นอย่างน้อย 2 สปีชี คือ *C. baratii* และ *C. butylicum* ทำให้เกิดโบทูลิซึมในทารกที่มีอายุต่ำกว่า 1 ขวบ ซึ่งเพิ่งหย่านม และจุลินทรีย์เจ้าถิ่นในทางเดินอาหารยังมีจำนวนน้อย ต่อมาเรียกคลอสตริเดียมที่ทำให้เกิดอาการดังกล่าวขึ้นกับทารกว่า infant botulism จากการศึกษาพบว่าแบคทีเรียทั้งสองสร้างสารพิษที่มีผลต่อระบบประสาทคล้ายๆ กับโบทูลิซึมในผู้ใหญ่ (adult botulism) ต่างกันตรงที่ infant botulism ไม่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ

สารพิษที่ *C. botulinum* สร้างขึ้น สามารถจำแนกแบคทีเรียนี้ออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

Group I ประกอบด้วย type A และ type B กับ F ที่เป็น proteolytic type

Group II ประกอบด้วย type E และ type B กับ F ที่เป็น non-proteolytic type

Group III ประกอบด้วย type C1, C2 และ D ซึ่งทำให้เกิดโบทูลิซึมเฉพาะในสัตว์และนก

Group IV ประกอบด้วย type G

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารพิษ types A, B, G และ F ทำให้เกิดโบทูลิซึมในมนุษย์ แต่โอกาสเกิดจาก types A, B และ E มีมากกว่า Type A เป็นชนิด proteolytic ส่วน type E เป็นชนิด non-proteolytic สำหรับ types B และ F มีทั้งชนิด proteolytic และ non-proteolytic

แม้ว่าแบคทีเรียชนิดนี้บางสายพันธุ์จะพบในทางเดินอาหารของนกและสัตว์เลือดอุ่น แต่แหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของ *C. botulinum* ได้แก่ ดิน น้ำ และปุ๋ยคอก จากการสำรวจพบว่า type A มีในดินมลรัฐแถบตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา ในขณะที่ type B พบในดินมลรัฐฯ แถบตะวันออกและในยุโรป ดินและปุ๋ยจากประเทศต่าง ๆ มีรายงานว่าพบสปอร์ของ type A ร้อยละ 18 และ type B ร้อยละ 7 ส่วนการตรวจตัวอย่างดินที่ใช้เพาะปลูกต้นไม้ ปรากฏว่าเป็น type A และ B ร้อยละ 7 และ 6 ตามลำดับ สำหรับสปอร์ของ type E มีแนวโน้มที่จะจำกัดอยู่เฉพาะในน้ำ โดยเฉพาะในน้ำทะเลมากกว่า

ด้วยเหตุที่ *C. botulinum* อาศัยอยู่ในดินจึงมีจำนวนต่ำมาก ไม่เกิน 1 CFU/g *C. botulinum* ชนิด non-proteolytic อยู่ในน้ำมากกว่าในดิน และแพร่กระจายมากในช่วงปี ค.ศ. 1960-1969 *C. botulinum* type E ไม่ทนความร้อน สารพิษถูกทำลายด้วยความร้อนปกติที่ใช้ในการปรุงสุกหรือใช้แปรรูปอาหาร ปัจจุบันยังไม่ปรากฏว่า type G เป็นสาเหตุให้เกิดการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษขึ้นทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าสารพิษ type G แสดงผลทางระบบประสาทอ่อนกว่าสารพิษ type A มาก

การเจริญเติบโตของ *C. botulinum* สายพันธุ์ที่เป็น proteolytic type สามารถย่อยเคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนในนม ให้ก๊าซไข่เน่า ส่วนสายพันธุ์ที่เป็น non-proteolytic type ใช้น้ำตาลแมน-โนสโดยการหมักซึ่งเป็นสมบัติทางเคมีที่สำคัญสำหรับจำแนกสายพันธุ์ทั้งสอง นอกเหนือจากสมบัติทางซีโรวิทยา การจำแนกสายพันธุ์ของ *C. botulinum* สามารถจำแนกได้จาก

(1) อาหาร ในการจำแนกสปีชีส์ *C. botulinum* นั้น ต้องการอาหารที่มีสายอาหารหลายชนิดทั้งกรดอะมิโน วิตามินบี และเกลือแร่อาหารสังเคราะห์ที่ใช้เพาะเชื้อ *C. botulinum* ในห้องปฏิบัติการเหมาะสมที่แบคทีเรียจะเจริญและสร้างสารพิษโบทูลิซึมได้ทุกชนิดพวก proteolytic type มีแนวโน้มที่จะไม่ชอบเจริญในอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง ส่วนพวก non-proteolytic type กลับชอบสภาวะดังกล่าว และมีแนวโน้มที่จะใช้คาร์โบไฮเดรตโดยกระบวนการหมักมากกว่าพวก proteolytic type

(2)อุณหภูมิ แบคทีเรียพวก proteolytic type ตามปกติไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12.5 °C และอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 50 °C ส่วนพวก non-proteolytic type เคยมีรายงานว่าเจริญที่อุณหภูมิต่ำสุดที่ 3.3 °C และอุณหภูมิสูงสุดที่ 45 °C อย่างไรก็ตามอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบคทีเรียจะเจริญได้นั้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยร่วมอื่น ๆ ด้วย อาทิ pH, a_w และเกลือ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

(3) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) แม้ว่าจะทราบกันทั่วไปแล้วว่า *C. botulinum* ไม่เจริญที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.5 (ซึ่งเทคนิคการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องใช้ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับนี้เป็นเกณฑ์ในการจำแนก) ก็ตาม แต่เนื่องจากพบการเจริญของ *C. botulinum* ในอาหารกระป๋องที่เป็นกรดซึ่งทำขึ้นภายในครัวเรือนด้วย ดังนั้น ในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาการเจริญของ *C. botulinum* ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 4.2 กันมากขึ้นตัวอย่างเช่นในการศึกษาครั้งหนึ่งพบว่า *C. botulinum* type A และ B ไม่เจริญในน้ำมะเขือเทศที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.8 แต่ถ้าเพาะเชื้อ *Apergillus gracilis* ลงไปในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวด้วย กลับปรากฏว่าตรวจพบสารพิษของ *C. botulinum* type A และ B ในกลุ่มเส้นใยของเชื้อราที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.2 (Odlaug and Pflug, 1979)

ในอาหารที่ประกอบด้วยกุ้งทั้งตัว กุ้งบด มะเขือเทศบด และกุ้งในมะเขือเทศบดที่ปรับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 4.2 และ 4.6 ด้วยกรดน้ำส้มและกรดซิตริก ปรากฏว่า *C. botulinum* type E ทั้งสามสายพันธุ์ไม่เจริญและไม่เกิดสารพิษขึ้นที่ 26°C ใน 8 สัปดาห์ (Post *et al*., 1985) อย่างไรก็ตาม Tsang *et al*., (1985) แสดงให้เห็นว่า *C. botulinum* สามารถเจริญและสร้างสารพิษ type E ณ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.2 ที่อุณหภูมิ 26 °C ใน 8 สัปดาห์ ในกรณีที่ใช้กรดซิตริกปรับ pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่ถ้าใช้กรดน้ำส้มปรับ ค่าความเป็นกรด-ด่างกลับไม่พบการเจริญและสารพิษของแบคทีเรีย จึงสรุปได้ว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดที่ *C. botulinum* ทั้งสายพันธุ์ proteolytic type และ non-proteolytic เจริญได้นั้นอยู่ที่ระดับใกล้เคียงกัน

Imai *et al.* (1990) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเป็นกรด-ด่าง เกลือแกง และอุณหภูมิของอาหาร คือ ก๋วยเตี๋ยวแบบญี่ปุ่นกับสปอร์ของ type A และ B พบว่าไม่เกิดสารพิษในสภาวะต่อไปนี้

ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5 เกลือแกงร้อยละ 4 ที่อุณหภูมิ 20 °C

ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.0 เกลือแกงร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 30 °C

ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.5 เกลือแกงร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 30 °C

ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.0 เกลือแกงร้อยละ 4 ที่อุณหภูมิ 30 °C

4) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_W) ต่ำสุดที่สปอร์ของแบคทีเรีย *C. botulinum* type A และ B เจริญได้นั้นอยู่ที่ 0.94 และค่านี้เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปซึ่งถูกนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้วย ส่วนค่าวอเตอร์แอคติวิตี ต่ำสุดของ type E อยู่ที่ 0.97 กระนั้นก็ตามสารที่ใช้ปรับค่าวอเตอร์-แอคติวิตีนับว่ามีผลต่อค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำสุดที่แบคทีเรียจะเจริญได้เช่นเดียวกับกรดที่ใช้ปรับค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเป็นกรด-ด่าง ตัวอย่างเช่น การใช้กลีเซอรอลเป็นฮิวเมคแตนซ์ (humectant) ค่าวอเตอร์แอคติวีตีต่ำสุดจะต่ำกว่ากรณีที่ใช้เกลือแกงหรือน้ำตาลซูโครสอยู่เล็กน้อย (Sperber, 1983) เกลือแกงร้อยละ 10 หรือซูโครสร้อยละ 50 สามารถยับยั้งการเจริญของ type A และ B ได้ และเกลือแกงที่ร้อยละ 3-5 เคยพบว่ายับยั้งการสร้างสารพิษในปลารมควัน (smoked fish chubs) (Christiansen *et al*., 1968) และพบว่าปริมาณเกลือที่ต้องการใช้เพื่อยับยั้งการเจริญและการสร้างสารพิษของ *C. botulinum* จะลดลง ถ้าหากใช้ดินประสิวร่วมด้วย

โบทูลิซึมที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษจะปรากฏอาการขึ้นประมาณ 12-72 ชั่วโมงหลังบริโภคอาหารที่มีสารพิษ โดยสารพิษจะมีผลทางระบบประสาทเริ่มจากอาการคลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย มึนงง ปวดหัว รู้สึกแห้งบริเวณผิวหนัง ปาก และลำคอ ท้องผูก ไม่มีไข้ ต่อมาจะเกิดอาการกล้ามเนื้อเคลื่อนไหวไม่สะดวก มองเห็นภาพซ้อน หายใจติดขัด และเสียชีวิตในที่สุด อาการป่วยเป็นอยู่ราว 1-10 วันหรืออาจมากกว่า ขึ้นอยู่กับสุขภาพของผู้ป่วยที่จะทนต่อสารพิษได้มากน้อยเพียงใดอัตราการตายอยู่ที่ร้อยละ 30-65 (สุมณฑา, 2549)

2.2.2 เทอร์โมไฟล์ (Thermophile) เป็นจุลินทรีย์ที่ทนต่ออุณหภูมิที่สูงกว่า 45 °C แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

(1) Facultative anaerobic เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญในที่อุณหภูมิสูง ภายใต้สภาพกึ่งมีอากาศและไม่มีอากาศ ตัวอย่างของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่ *Bacillus* ชนิดต่าง ๆ เช่น *B. coagulans* ทำให้น้ำในมะเขือเทศกระป๋องเสีย โดยทั่วไปมี Bacillus หลายชนิดผลิตกรดโดยไม่ให้ก๊าซในอาหารโดยเฉพาะ *B. stearothermophilic* และ *B. pepo* ซึ่งทนความร้อนได้ดี ซึ่งสามารถเจริญในอาหารกระป๋องได้โดยที่ปริมาณของสปอร์ชนิดนี้ที่มีอยู่ในดินจะมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศแต่จะเจริญในอาหารไม่ได้ถ้าไม่เก็บอาหารไว้ที่อุณหภูมิสูง และส่วนประกอบด้านแร่ธาตุที่มีอยู่ภายในดิน จะมีผลทำให้สปอร์ของแบคทีเรียชนิดนี้มีค่อนข้างสูง และมีลักษณะการเสียที่เรียกว่า การเสียแบบแฟลตซาวร์ คือ กระป๋องจะยังคงมีลักษณะแบนเหมือนปกติในขณะที่ภายในมีรสเปรี้ยว เนื่องจากการผลิตกรดแลคติกของแบคทีเรีย ดังนั้นการเสียแบบนี้จึงไม่สามารถสังเกตจากลักษณะภายนอกได้แต่ต้องเปิดภาชนะนำมาเพาะเชื้อจึงจะทราบ

(2) Anaerobic เป็นพวกออปลิเกตเทอร์โมไฟล์ (Obligate thermophile) สร้างสปอร์และไม่ต้องการออกซิเจน ย่อยน้ำตาลในอาหารที่มีกรดต่ำและปานกลางแล้วให้กรดกับก๊าซ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ทำให้อาหารที่เก็บที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานเกิดการบวมจนอาจเกิดการระเบิดได้อาหารที่เสียมักมีรสเปรี้ยว (สุมาลี, 2541)ได้แก่ สปอร์ของแบคทีเรีย *C. thermosaccharolyticum* ซึ่งพบในดิน แต่พบในปริมาณที่น้อยกว่าแบคทีเรียพวก thermophilic facultative anaerobic

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 กระบวนการให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์

การสเตอริไลส์เป็นกระบวนการถนอมอาหาร โดยการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ในภาชนะปิดสนิททั้ง กระป๋อง ขวด และถุงรีทอร์ทเพาซ์ ที่อุณหภูมิสูงและเวลานานเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ เป็นผลทำให้อาหารที่ผ่านการสเตอริไลส์มีอายุการเก็บรักษานานอย่างน้อย 6 เดือน การให้ความร้อนที่รุนแรง และเวลาที่มากเกินไประหว่างการสเตอริไลส์อาหารในภาชนะบรรจุก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพทางโภชนาการ และประสาทสัมผัสของอาหาร เช่น สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ดังนั้น การพัฒนาเทคโนโลยีของการแปรรูปอาหารในปัจจุบันมีเป้าหมายหลักเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดต่อคุณภาพด้านโภชนาการ และประสาทสัมผัสโดยการลดเวลาในการให้ความร้อนแก่อาหารก่อนบรรจุหรืออาหารในภาชนะบรรจุ

หลังจากการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีในอาหารแล้ว สิ่งสำคัญตามมาคือการทำอย่างไรให้อาหารอยู่ในสภาวะปลอดเชื้อจุลินทรีย์นานที่สุด การใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมจึงเป็นการสร้างเกราะป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ภายนอกเข้ามาปนเปื้อนในอาหารที่ทำการฆ่าเชื้อนั้นได้อีก อาหารที่ได้จาก การสเตอริไลส์ถือได้ว่า เป็นอาหารที่ปลอดเชื้อ (commercial sterilized food) สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่ต้องผ่านห้องเย็น เช่น การทำอาหารกระป๋อง การสเตอริไลส์น้ำนมโดยกระบวนการ UHT สำหรับการผลิตน้ำนม UHT นิยมใช้อุณหภูมิ 135-150 $^{\circ}$C เป็นเวลา 1- 4 วินาที (วิไล, 2546)

2.3.1 ผลของการสเตอริไลส์ต่ออาหาร

การสเตอริไลส์มีจุดประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้นานขึ้นและพยายามให้มีคุณค่าทางอาหารและคุณภาพการบริโภคเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ความแตกต่างระหว่างค่า D-value และค่า Z-value ของจุลินทรีย์ เอนไซม์ และองค์ประกอบของอาหาร จะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลทำให้เหลือคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสมากที่สุดผลของการสเตอริไลส์ต่ออาหารได้แก่

(1) สี การเปลี่ยนสีของอาหารบรรจุกระป๋อง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ร่วมกันในระหว่างการแปรรูป ซึ่งจะมีผลต่อสีตามธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหาร ในผักผลไม้ที่มีคลอโรฟิลล์จะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ส่วนแคโรทีนอยด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไอโซเมอร์ได้เป็น 5, 6-อีพอกไซด์ (epoxide) ซึ่งมีสีจางกว่า 5, 8-อีพอกไซด์และสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) จะสลายตัวเป็นสารสีน้ำตาล การสูญเสียสีธรรมชาติแก้ไขได้ด้วยการเติมสีสังเคราะห์ลงไป การเปลี่ยนสีของอาหารระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดขึ้น เมื่อมีเหล็กและดีบุกจากกระป๋องทำปฏิกิริยากับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอนโทไซยานินได้เป็นสีม่วง หรืออาจเกิดจากสารลูโคแอนโทไซยานิน (leucoanthocyanin) ซึ่งเป็นสารไม่มีสีจะปลี่ยนเป็นสีชมพูของสารแอนโทไซยานินเชิงซ้อน (anhocyanin complex) การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นในสาลี่ ลิ้นจี่ และ quinces บางพันธุ์

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำสเตอริไลส์ถั่วเขียวฝักสด พบว่า อุณหภูมิระหว่าง 125-135 ^{0}C ไม่ทำให้สี และเนื้อสัมผัสเปลี่ยนไปมากนัก (Avila *et al*., 2006) โดยค่า a* จะเป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสีเขียวของผลิตภัณฑ์ (Garrote *et al*., 2006) ต่อมา Leadley *et al*. (2007) พบว่า การให้ความร้อนกับถั่วเขียว โดยใช้ วิธี high pressure sterilized และ วิธี thermal sterilized พบว่าวิธี high pressure sterilized ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่เข้มกว่าวิธี thermal sterilized เนื่องจาก ความร้อนในการสเตอริไลส์ทำให้สีมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกิดจาก คลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็น pheophytin โดยมีการสูญเสียแมกนีเซียมในโครงสร้าง (Haya kawa and Timbers.,1977) และยังพบว่า สีและเนื้อสัมผัสเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในด้านอุตสาหกรรมจะสนใจวิธีการใหม่ๆ ที่สามารถเก็บรักษาอาหารที่เป็น low acid ให้ได้ระยะเวลาได้ยาวนาน และมีการกระทบต่อเนื้อสัมผัส คุณภาพน้อยที่สุด เช่นในพวกผักใบเขียว จะมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากคลอโรฟิลล์ a และ b จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมะกอกเมื่อผ่านความร้อน (Clydeesdale and Francis, 1976)

(2) กลิ่นและรสชาติ ในผักและผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัว การรวมตัวกัน และการเปลี่ยนเป็นสารระเหย ของแอลดีไฮด์ คีโตน น้ำตาล แล็กโทน กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์

(3) ลักษณะเนื้อและความหนืด การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารของผักผลไม้จะนิ่มลงเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสของเพกติน หรือเกิดเจลาตินไนเซชั่นของสตาร์ช และเฮมิเซลูโลสจะละลายได้บ้างเล็กน้อย รวมทั้งเซลล์สูญเสียความเต่งด้วยการเติมเกลือแคลเซียมลงในน้ำที่ใช้ลวก หรือในน้ำเกลือและน้ำเชื่อม เพื่อให้เกิดเป็นเกลือแคลเซียมเพกเทตที่ไม่ละลายน้ำ จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของลักษณะเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ได้ การทำ aseptic process ไม่มีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความหนืด แต่จะมีการนิ่มลง เนื่องจากการละลายของสารประกอบเพกทินและเซลล์สูญเสียความเต่ง

คุณภาพการสเตอริไลส์อาหารกระป๋อง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของรีทอร์ท ขนาดของกระป๋อง ความหนาของกระป๋อง คุณสมบัติทาง thermodynamic ของความร้อน (Chen and Rasmaswamy, 2002) และยังพบว่า สภาวะการให้ความร้อนที่ต่ำสุดเป็นตัวกำหนดความปลอดภัยของอาหารในการสเตอริไลส์ สามารถ รักษาสารอาหารที่ครบถ้วนและมีรสชาติที่ดี ทำให้มีคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์มีค่าที่สูง (Durance, 1997) ในขณะเดียวกัน การให้ความร้อนที่รวดเร็วและเวลาที่ไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นาน มีผลดีต่อระบบประสาทสัมผัสและคุณภาพของสารอาหาร และยังสามารถลดการสูญเสียของสารอาหารได้อีกด้วย (Smout *et al*., 2000)

(4) คุณค่าทางโภชนาการ การบรรจุอาหารใส่กระป๋องแล้วทำการสเตอริไลส์ ทำให้เกิดไฮโดรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตและลิพิด แต่คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่มีการปลี่ยนแปลง ในผักผลไม้จะสูญเสียวิตามินที่ละลายได้ในน้ำมากที่สุดโดยเฉพาะวิตามินซี (นิธิยา, 2544)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

2.3.2.1 ความทนทานความร้อนของจุลินทรีย์

แบคทีเรียแต่ละชนิดทนทานความร้อนได้แตกต่างกัน เช่น เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและทำให้เกิดโรคจะถูกทำลายได้ง่าย แต่พวก เทอร์โมไฟล์ จะต้องใช้ความร้อนที่สูงถึง 80-90 °C เป็นเวลานานหลายนาที เช่น *Clostridium botulinum* เชื้อที่มีความบริสุทธ์จะถูกทำลายด้วยความร้อนที่ 80 °C นาน 10 นาที แต่ถ้าอยู่ในอาหารจำเป็นต้องปรับสภาวะการฆ่าเชื้อให้เหมาะสม การทนทานความร้อนของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังนี้

(1) แบคทีเรียที่มีรูปร่างกลมจะทนต่อความร้อนได้ดีกว่ารูปร่างแท่ง

(2) แบคทีเรียชนิดเทอร์โมไฟล์เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงและทนทานต่อความร้อนได้ดีกว่าชนิดอื่น

(3) การเกาะกันเป็นกลุ่มหรือสร้างแคปซูลจะช่วยให้แบคทีเรียทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น

(4) เซลล์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบสูงจะทนต่อความร้อนได้ดีกว่าเซลล์ปกติ (สุมาลี, 2542)

เชื้อราและสปอร์ส่วนใหญ่ถูกทำลายด้วยความร้อนที่60 °C นาน5-10 นาทีแต่มีเชื้อ *Aspergillus, Penicillium* และ *Mucor* จะทนความร้อนได้ดีกว่าเชื้อราชนิดอื่น (สุมาลี, 2542) ส่วนเชื้อราที่ทนทานต่อความร้อนได้สูงมากและพบในผักและผลไม้ ได้แก่ *Byssochlamysfulva* (Ramaswamy and Abbatemarco, 1996) สปอร์ของราทนต่อความแห้งได้ดี จากรายงานพบว่าความร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 30 นาที ยังไม่สามารถทำลายสปอร์ของราที่ทนต่อความร้อนได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2.2 องค์ประกอบที่มีอยู่ในอาหาร

(1) ค่าความเป็นกรด - ด่าง

ค่าความเป็นกรด - ด่าง เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงในกระบวนการฆ่าเชื้อ ทั้งนี้ค่าความเป็น กรด - ด่าง มีผลโดยตรงต่อการให้ความร้อน ตามปกติจุลินทรีย์จะทนต่อความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อเจริญอยู่ในอาหารที่มีค่าที่เป็นกลาง ดังนั้นการเพิ่มค่าความเป็นกรด - ด่างให้กับอาหารจะทำให้ความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ลดลง

อาหารที่มีความเป็นกรด (Acid food) เป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 4.6 เช่น น้ำผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว อาหารในประเภทนี้เกิดการเน่าเสียโดยจุลินทรีย์ที่ชอบความเป็นกรด ได้แก่ *Saccharomyces, Candida, Tourulopsis, Aspergillu และ Rhizopus* ความเป็นกรดยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และทำให้จุลินทรีย์มีความทนทานต่อความร้อนได้น้อยลงจึงถูกทำลายได้ง่าย การฆ่าเชื้ออาหารประเภทนี้โดยทั่วไปจะมุ่งทำลายจุลินทรีย์พวกยีสต์และรา การให้ความร้อนโดยทั่วไปใช้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ 100 ^{o}C

อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low-acid food) เป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 4.5 เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเล ผัก ข้าวโพด อาหารในกลุ่มนี้มักเกิดการเน่าเสียได้ง่าย โดยเฉพาะแบคทีเรียที่เจริญได้ดีในค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง โดย *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสปอร์และมีความทนทานต่อความร้อน โดยเจริญและสามารถสร้างสารพิษเอ็กโซทอกซินได้ดีในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนในภาชนะปิดสนิท ดังนั้น อาหารกระป๋องจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญและสร้างสารพิษ จึงต้องใช้ความร้อนสูงถึง116-121 ^{o}C เพื่อทำลายสปอร์ของแบคทีเรียชนิดนี้ ซึ่งเชื้อนี้เองเป็นตัวบ่งชี้ของการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ แต่สามารถทำลายได้ด้วยความร้อนที่ 100 ^{o}C นาน 10 นาที และมีรายงานว่า F_{o} ที่มีค่าความปลอดภัยต่ำที่สุด จะใช้ที่ 3 นาที ที่ 121^{o}C และในปลา อาหารสด F_{o} ควรอยู่ระหว่าง 5 - 20 นาที (Frott and Lewis, 1994) นอกจากนี้ Ramaswamy and Marcotte (2006) ยังพบว่า *Clostridium botulinum* มีผลต่ออาหารที่เป็นกรดต่ำ และสภาวะที่ต่ำสุดที่เหมาะสมต่อการยับยั้งต่อ *Clostridium botulinum* คือ F_{o} = 12x0.21 เท่ากับ 2.52 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ค่าวอเตอร์แอคติวีตี (Water activity)

ค่าวอเตอร์แอคติวีตี เป็นตัวเลขที่บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ จุลินทรีย์สามารถทนต่อความร้อนได้มากขึ้นเมื่อ ค่าวอเตอร์แอคติวีตีในอาหารลดลง และสารประกอบต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบอาหารจะลดค่าวอเตอร์แอคติวีตี

ของอาหารลงได้ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลือและน้ำตาลที่เติมลงไป ซึ่งจะไปช่วยเพิ่มความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ (Fellow, 2003)

อาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะมีค่าวอเตอร์แอคติวีตีมากกว่า 0.98 ซึ่งมีโอกาสที่แบคทีเรียทุกชนิดสามารถเจริญได้ แต่ถ้าค่าวอเตอร์แอคติวีตีน้อยกว่า 0.80 โอกาสที่จะเจริญมีน้อยลง (สุมาลี, 2542) ดังแสดงในตาราง 2.1 ค่าวอเตอร์แอคติวีตี ที่มีค่ามากกว่า 0.9 จุลินทรีย์จะเจริญได้ดี แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.9 ยีสต์และราจะเจริญได้ดี

ตาราง 2.1 ค่า a_w ขั้นต่ำสุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้

ชนิดของจุลินทรีย์	**ค่า a_w ต่ำสุดสำหรับการเจริญ**
Pseudomonas sp.	0.97
Pseudomonas sp.	0.96
Bacillus subtilis	0.95
Enterobacter aerogenes	0.94
Clostridium botulinum	0.93
Many yeasts	0.88
Staphylococcus aureus	0.86
Many moulds	0.8
Halophilic bacteria	0.75
Xerophilic fungi	0.65
Osmophilic yest	0.6

ที่มา: สุมาลี (2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

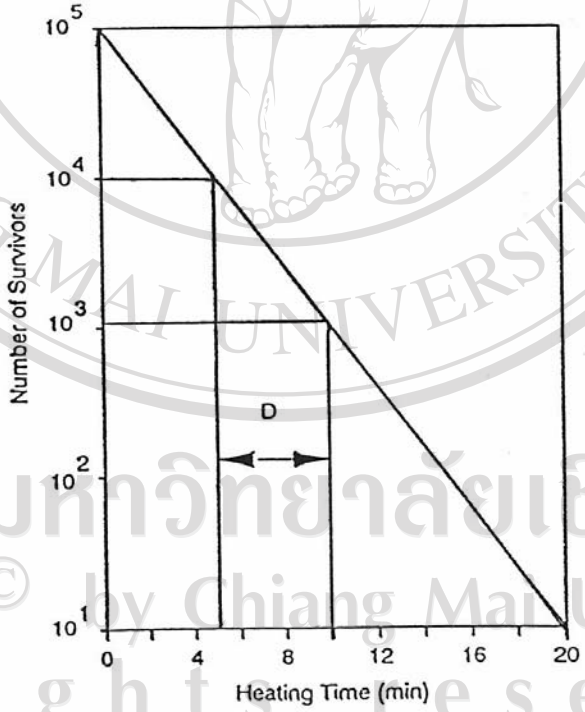
2.3.3 ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการวัดการทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์

ในการคำนวณเวลาในการฆ่าจุลินทรีย์ด้วยความร้อน (thermal destruction) ตามกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง มีสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ 3 ตัว คือ D, Z และ F ตัวแปรเหล่านี้ บอกให้ทราบถึงความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์แต่ละชนิดและบ่งชี้ว่าการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อนั้น ๆ มีประสิทธิภาพต่อการทำลายมากเท่าไร (วิไล, 2543)

(1) ค่า D (Decimal reduction time หรือ Death rate constant หรือ D value)

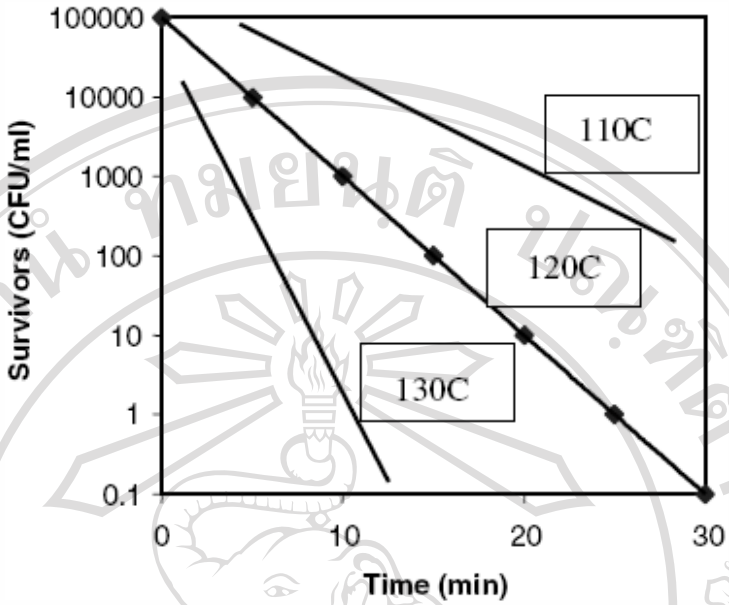
ค่า D หมายถึง เวลาในการให้ความร้อนเป็นนาทีที่อุณหภูมิคงระดับหนึ่งเพื่อทำลายจุลินทรีย์ลง 90% หรือ 1 log-cycle ของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ ไม่ว่าจะมีจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่าใด

จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่า D แตกต่างกันไป การหาค่า D ทำได้โดยการใส่สปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนแน่นอนลงในภาชนะบรรจุแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่โดยใช้เวลานานแตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้นำมาแสดงในรูปกราฟซึ่งเป็นกราฟความอยู่รอด (survivor curve) บนกระดาษเซมิล็อก โดยพลอทระหว่าง $\log_{10}$ ของจำนวนเชื้อที่อยู่รอด (survivor) บนแกนล็อก (แกน Y) และเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิหนึ่งๆ บนแกนธรรมดา (แกน X) กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง แสดงดังรูป 2.1 เมื่อให้ความร้อนแก่สปอร์จำนวน 10,000 สปอร์ที่อุณหภูมิ 204 °F และพบว่าต้องใช้เวลา 10 นาที เพื่อลดจำนวนสปอร์จาก 10,000 ให้เหลือ 1,000 หรือลดลง 90% (1 log cycle) ดังนั้นค่า D_{204} = 10 นาที ตัว subscript ที่อยู่ข้างล่างตัว D บอกอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า D ปัจจัยที่มีผลต่อค่า D คือ ชนิดของสปอร์หรือชนิดของอาหารที่สปอร์แขวนลอยอยู่ เป็นต้น



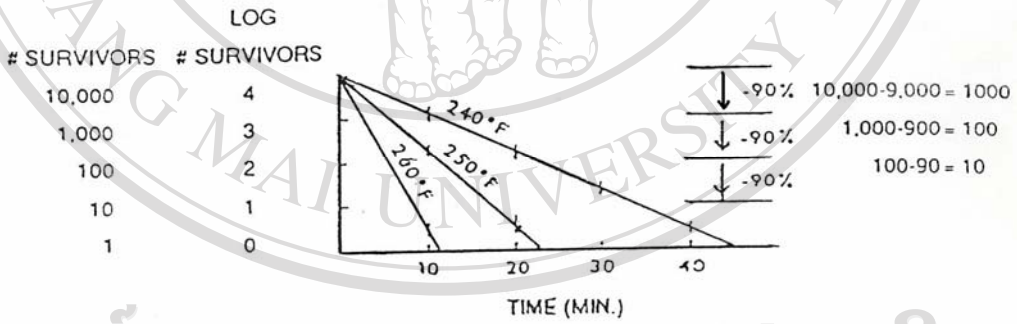
รูป 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสปอร์และเวลาในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ ที่มา Ramaswamy and Singh (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสปอร์ที่เหลือรอดและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ที่มา: Hosahalli Ramaswamy and Micholi Marcotte (2006)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสปอร์ที่เหลือรอดและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิคงที่ 3 อุณหภูมิ

ที่มา: ทิพาพร (2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 2.2 และ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสปอร์ที่เหลือรอด และเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิคงที่ 3 อุณหภูมิ log-scale บนแกน Y ทำให้ง่ายต่อการหาค่า D เพราะถ้านับลงมา 1 log cycle การลดลง 90 % ของจำนวนเริ่มต้น จุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์จะมีค่า D ไม่เท่ากัน จุลินทรีย์ที่มีค่าD สูงทำลายยากกว่าจุลินทรีย์ที่มีค่า D ต่ำกว่า เช่น *Clostridium thermosaccharolyticum* ซึ่งมี

ค่า D_{121} ในช่วง 3-4 นาที จะถูกทำลายได้ยากกว่า *Cl. botulinum* (type A และ B) ซึ่งมีค่า D_{121} = 0.10-0.20 นาทีค่า D ของจุลินทรีย์ชนิดเดียวกันอาจต่างกันในอาหารต่างชนิด

เนื่องจากค่า D จะแปรผันตามอุณหภูมิที่ใช้ อุณหภูมิยิ่งสูงอัตราการทำลายของสปอร์ยิ่งเพิ่มขึ้น และจากรูป 2.3 จะเห็นว่ายิ่งอุณหภูมิฆ่าเชื้อสูง อัตราการทำลายจะยิ่งสูงขึ้น slope ของกราฟมีความชันมากขึ้น นั่นคือใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีก็สามารถลดจำนวนแบคทีเรียลงได้ 90% จากรูป 2.1 ใช้เวลาเพียง 3 นาที ในการลดจำนวนจุลินทรีย์ลง 90% ที่อุณหภูมิ 260 ^{o}F ซึ่งมีค่า D_{260} = 3 นาที แต่เมื่อลดอุณหภูมิฆ่าเชื้อเป็น 240 ^{o}F และ 250 ^{o}F เวลาฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้นเป็น 10 และ 7 นาที ตามลำดับ นั่นคือมีค่า D_{240} = 10 นาที และ D_{250} = 7 นาที

ในทางทฤษฎีไม่สามารถทำลายแบคทีเรียให้เหลือ 0 ได้เลย เห็นได้จากกราฟแสดงการอยู่รอดไม่เคยลดลงถึง 0 สิ่งที่ทำได้ก็เพียงทำให้เหลือจำนวนใกล้เคียงศูนย์มากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ดังนั้นอาหารที่ผ่านการสเตอริไลส์จึงไม่ปลอดเชื้อโดยสมบูรณ์ไม่ว่าจะใช้เวลาในการให้ความร้อนนานแค่ไหนก็ตาม แต่สามารถทำนายความเป็นไปได้ที่จุลินทรีย์จะเหลือเพียง 1 สปอร์ จากอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน และเป็นที่มาของหลักการฆ่าเชื้อแบบเชิงการค้ายกตัวอย่าง เช่น ในกระบวนการที่ต้องการลดจุลินทรีย์ลง 8D สำหรับอาหารซึ่งมีสปอร์เริ่มต้นอยู่ 10^{5} สปอร์ต่อกระป๋อง จะสามารถลดจุลินทรีย์ลดเหลือ 10^{-3} สปอร์ต่อกระป๋อง หมายความว่าจะมีจุลินทรีย์อยู่ 1 สปอร์ในทุก 1,000 กระป๋อง จำนวนยกกำลังที่มีค่าติดลบเป็นการอธิบายโอกาสที่อาจเกิดขึ้นได้ (probability) ที่จะมีสปอร์เหลือรอดอยู่ได้ ค่า D-value นอกจากได้จากการทดลองและจากการนำค่าแบคทีเรียที่รอดชีวิต (log survivor) กับเวลาในการฆ่าเชื้อเป็นนาที มาพลอทกราฟหาความสัมพันธ์แล้ว ยังสามารถหาได้ตามสูตร

$$D = (t_2 - t_1)/(\log N_1 - \log N_2)$$

N_1 และ N_2 คือจำนวนแบคทีเรียที่เหลือรอด ที่เวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ (สุมณฑา ,2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 จำนวนสปอร์ที่เหลือรอดหลังจากผ่านกระบวนการ 12D

เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (นาที)	จำนวนสปอร์ที่เหลือรอด
0	$1,00,000 = 10^6$
D	$100,000 = 10^5$
2D	$10,000 = 10^4$
3D	$1,000 = 10^3$
4D	$100 = 10^2$
5D	$10 = 10^1$
6D	$1 = 10^0$
7D	$0.1 = 10^{-1}$ = 1 สปอร์ใน 10 กระป๋อง
8D	$1.01 = 10^{-2}$ = 1 สปอร์ใน 100 กระป๋อง
9D	$0.001 = 10^{-3}$ = 1 สปอร์ใน 1,000 กระป๋อง
10D	$0.0001 = 10^{-4}$ = 1 สปอร์ใน 10,000 กระป๋อง
11D	$0.00001 = 10^{-5}$ = 1 สปอร์ใน 100,000 กระป๋อง
12D	$0.000001 = 10^{-6}$ = 1 สปอร์ใน 1,000,000 กระป๋อง

หมายเหตุ: จำนวนยกกำลังที่มีค่าติดลบเป็นการอธิบายโอกาสที่อาจเกิดขึ้น (probability) เช่น 10^{-3} หมายถึง หลังให้ความร้อนนาน 9D โอกาสที่จะมีสปอร์เหลือรอดมีเพียง 1 ใน 1,000 กระป๋อง
ที่มา: ทิพาพร (2535)

การทราบว่าจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นจุลินทรีย์หลักที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องเกิดการเน่าเสีย เป็นสิ่งจำเป็นในการกำหนดเวลาการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ในกระบวนการฆ่าเชื้อ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าความร้อนที่ให้กับผลิตภัณฑ์เพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ปลอดเชื้อในเชิงการค้าชนิดของจุลินทรีย์ที่คาดว่าจะปนเปื้อนวัตถุดิบเป็นตัวกำหนดระดับความอยู่รอดของเชื้อในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้ “กระบวนการ 12D” หมายถึง การลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นลง 90% เป็นจำนวน 12 ครั้ง นั่นคือจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่มีจำนวน 10% ของ 10% 12 ครั้ง หรือ 10^{-12} ของจำนวนเริ่มต้น เช่น ถ้าจุลินทรีย์เริ่มต้นมี 10^6 (1 ล้าน) เมื่อผ่านกระบวนการ 12D เหลือจุลินทรีย์สุดท้ายเป็น 10^{-6} หรือ 1 ใน 1,000,000 กระป๋อง ดังตาราง 2.2 แสดงจำนวนสปอร์ที่เหลือรอดหลังผ่านกระบวนการ 12D

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ค่า D จากตาราง 2.3 ต้องระวังเพราะค่าเหล่านี้ได้จากการใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์แทนอาหารจริง ค่าในอาหารจริงจึงอาจแตกต่างกันไป เพราะคุณสมบัติและส่วนประกอบของอาหารที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ระดับความร้อนที่ต้องใช้ในแต่ละผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับการคาดหมายว่าน่าจะมีจุลินทรีย์ชนิดใดปนเปื้อนในวัตถุดิบ เช่น กระบวนการ 12D จะใช้ในกรณีที่คาดว่าน่าจะมี *Cl. Botulinum* แต่สำหรับจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเน่าเสียและทนทานต่อความร้อนน้อยกว่า *Cl. Botulinum* การนำกระบวนการ 12D มาใช้จะทำให้อาหารได้รับความร้อนมากเกินไปและทำให้คุณภาพลดลง ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้กระบวนการ 5D หรือ 8D ซึ่งจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการเน่าเสียของอาหารในเชิงเศรษฐศาสตร์เหมาะสมมากที่สุดการนำกระบวนการ 12D มาใช้จะประสบผลสำเร็จได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบเป็นสิ่งสำคัญจะต้องสามารถควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบให้อยู่ในระดับที่ต่ำด้วยวิธีการเตรียม ตัดแต่งวัตถุดิบ และการลวกโดยใช้หลักสุขาภิบาลที่เกี่ยวข้องก่อนนำไปสู่กระบวนให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์บางชนิดกระบวนการให้ความร้อนไม่ประสบผลสำเร็จจึงทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว พบเสมอว่าทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี incubation test ก่อน เพื่อความแน่ในว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในระดับที่เหมาะสม ก่อนนำผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายตามท้องตลาด (Fellow, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 ความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียในอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่าง ๆ

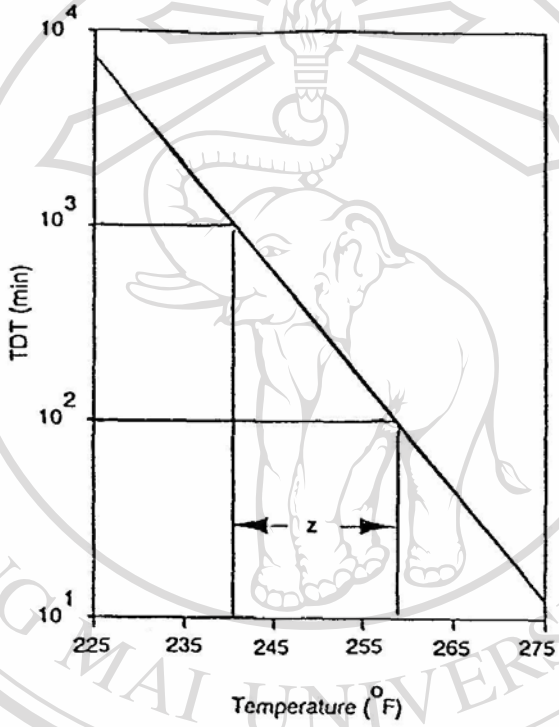
ชนิดของอาหารและแบคทีเรีย	**ช่วงความทนทานต่อความร้อน**	
Low-acid และ medium acid (ค่าความเป็นกรด-ด่าง > 4.5)		
Thermophiles (35-55 °C สร้างสปอร์ได้)	D_{250} หรือ D_{121} (นาที)	z (^oF)
Flat-sour (*B. stearothermophilus*)	4.0 - 5.0	14 - 22
Gaseous-spoilage (*Cl. thermosaccharolyticum*)	3.0 - 4.0	16 - 22
Sulfide stinders (*Cl. negrificans*)	2.0 - 3.0	16 - 22
Mesophiles (spore)	0.1 - 0.2	14 - 18
Cl. Botulinum (type A&B)	0.1 - 1.5	14 - 18
Cl. sporogenes (PA3679)		
Acid-food (ค่าความเป็นกรด-ด่าง4.0-4.5)		
Thermophiles (spores)		
B. coagulans (facultatively mesophilic)	0.01 - 0.07	14 - 18
Mesophiles (spores)	D_{212} หรือ D_{100} (นาที)	z (^oF)
B. polymyxa และ *B. macerans*	0.1 - 0.5	12 - 16
Butyric anaerobes		
Cl. pasteurianum	0.1 - 0.5	12 - 16
High-acid food (ค่าความเป็นกรด-ด่าง ≤ 4.0)		
Mesophilic non-spore forming bearing bacteria	D_{150} หรือ D_{65} (นาที)	z (^oF)
Lactobacillus spp, *Leuconostoc* sppและยีสต์และรา	0.5 - 1.0	8 - 10

ที่มา: Stumbo (1965)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ค่า z (z value)

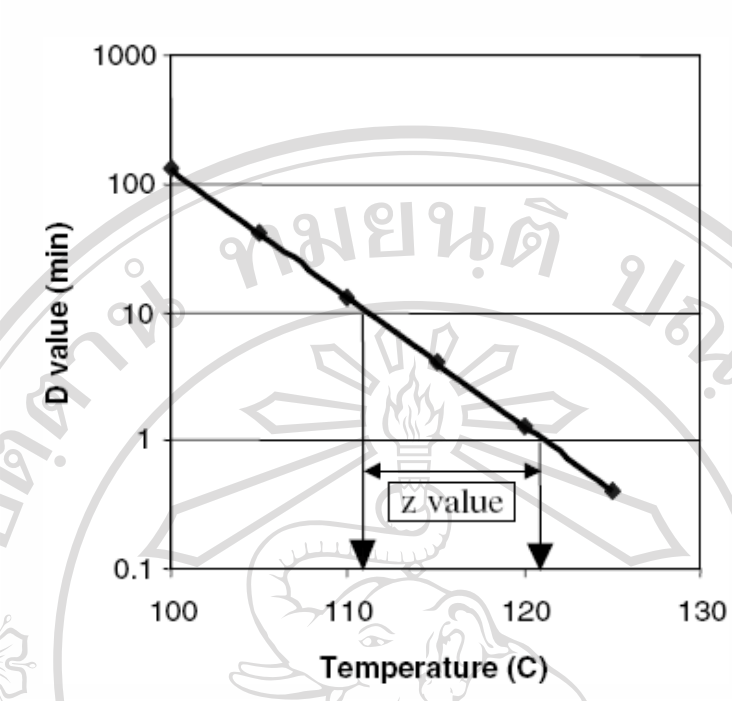
หมายถึง จำนวนองศาเซลเซียส หรือองศาฟาเรนไฮต์ ที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนไป 1 วงจรล็อก (log cycle) ค่า Z ได้จากการหาค่า D ของสปอร์สายพันธุ์เดียวกันที่หลายอุณหภูมิ แล้วแสดงข้อมูลที่ได้ในรูปของกราฟ โดยพลอทระหว่าง log ของค่า D กับอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า D แต่ละค่า จะได้ Thermal Death Time Curve (TDT)



รูป 2.4 Thermal death time curve

ที่มา: Ramaswamy and Singh (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.5 D-value and Z-value

ที่มา: Ramaswamy and Marcotte (2006)

ดังรูป 2.4 และ 2.5 การเปลี่ยนแปลง 1 log cycle (จาก 10 เป็น 1) จะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการฆ่าเชื้อไป 20 °F ตามลำดับ ดังนั้น ค่า Z = 20 °F ซึ่งเป็นตัวบอกว่า ถ้าอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น 20 °F เวลาในการฆ่าเชื้อสามารถลดลงมา 10 เท่า (1 log cycle) และถ้าใช้อุณหภูมิ 240 °F จะใช้เวลาฆ่าเชื้อ 10 นาที แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิอีก 20 °F เป็น 260 °F เวลาที่ใช้ฆ่าเชื้อจะลดลง 10 เท่า เหลือ 1 นาที โดยให้ผลการฆ่าเชื้อได้เท่าเดิม (ทิพาพร, 2535) หรืออาจคำนวณได้ตามสูตร

$$Z = (T_2-T_1)/(\log D_1-\log D_2)$$

ค่า Z มีประโยชน์ในการคำนวณกระบวนการให้ความร้อนที่ให้ผลเท่ากันที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ดังตารางที่ 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 การต้านทานความร้อนของแบคทีเรียชนิดต่างๆ

จุลินทรีย์	**D เป็น ^{o}C (นาที)**
จุลินทรีย์ไม่สร้างสปอร์ (ค่า z ประมาณ 5 ^{o}C)	
Salmonella spp.	D_{65} 0.02 – 0.25
Salmonella senftenberg	D_{65} 0.8 – 1.0
Staphylococus aureus	D_{65} 0.2 – 2.0
Escherichia coli	D_{65} 0.1
Yeast and moulds	D_{65} 0.5 – 3.0
Listeria monocytogenes	D_{60} 5.0 – 8.3
Campylobacter jejuni	D_{55} 1.1
จุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์(ค่า z ประมาณ 10^{o}C)	
B. stearothermophilus	D_{121} 4 – 5
C. thermosaccharolyticum	D_{121} 3 – 4
Dessulfotomaculm nigrificans	D_{121} 2 – 3
B. coagulans	D_{121} 0.1
C. botulinum type A&B	D_{121} 0.1 – 0.2
C. sporogenes	D_{121} 0.1 – 1.5
C. botulinum typeE	D_{80} 0.1 – 3.0, D_{110} < 1 วินาที

ที่มา: Adams and Moss (1995)

(3) ค่า F (F-value) หรือ Sterilizing value

หมายถึง ค่าความร้อนและเวลาที่จำเป็นต้องใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารให้เข้าถึงสภาวะปลอดเชื้อ การใช้ค่า F ต้องระบุอุณหภูมิที่ใช้และค่า Z ของจุลินทรีย์เป้าหมายด้วย เช่น F_{121} = 4 หมายถึงการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารต้องทำการฆ่าเชื้อที่ 121 ^{o}C หรือ 250 ^{o}F คงไว้เป็นเวลานาน 4 นาที โดยทำการวัดอุณหภูมิต่ำสุด ภายในกระป๋องที่บรรจุอาหารในเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (สุมณฑา, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัญลักษณ์ที่ใช้คือ F_t^Z ถ้า Z = 18 °F หรือ 10 °C และค่า t = 250 °F หรือ 121.1 °C จะได้ F_{250}^{18} หรือ F_{121}^{10} ใช้สัญลักษณ์ย่อแทนว่า F_o ซึ่งคือระยะเวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิ 250 °F ที่ใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ซึ่งมีค่า Z = 18 °F ลงจำนวนหนึ่ง เช่น

ค่า F เป็นความสามารถในการทำลายจุลินทรีย์ของกระบวนการ (Lethality) หรืออัตราการทำลาย (Lethal rate) ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะเมื่อต้องการหาประสิทธิภาพในการทำลาย (Lethal effect) ของช่วงอุณหภูมิที่กำลังให้ความร้อนแต่ยังไม่ถึงอุณหภูมิที่ต้องการและช่วงที่กำลังทำให้เย็นในรูปของความสามารถในการทำลายจุลินทรีย์ของกระบวนการที่จะใช้สำหรับเปลี่ยนเวลาในการฆ่าจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิต่างๆ ให้เป็นเวลาในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C นั่นคือสามารถแสดงค่า F ที่อุณหภูมิอื่นๆ (นอกเหนือจากอุณหภูมิ 121 °C) เช่น การให้ความร้อนแก่อาหารที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 13 นาที มีผลในการทำลายจุลินทรีย์ที่มีค่า Z = 10 °C เท่ากับ 1 นาที ที่อุณหภูมิ 12 °C (วิไล, 2543) ตัวอย่างค่า F_o ที่ต้องการใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.5 และสามารถคำนวณค่า F_o ได้จากสูตร

$$F_o = D_{121} (\log N_o - \log N)$$

F_o หมายถึง เวลาที่ต้องใช้เพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 121 °C หรือ 250 °F ให้ลดลงมาจนถึงสภาวะปลอดเชื้อในเชิงการค้า

D_{121} หมายถึง เวลาเป็นนาที ที่อุณหภูมิ 121 °C เพื่อทำลายแบคทีเรียให้ลดลงมา 1 log-cycle

$\log N_o$ หมายถึง จุลินทรีย์ที่รอดชีวิต

$\log N$ หมายถึง จุลินทรีย์เริ่มต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.5 ค่า F_o ที่ต้องการสำหรับการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ ด้วยความร้อน

อาหาร	F_o
Asparagus	2 - 4
Beans in tomato sauce	4 - 6
Carrots	3 - 4
Peas	4 - 6
Milking pudding	4 - 10
Meats in gravy	8 - 10
Potatoes	4 - 10
Mackerel in brine	3 - 4
Meat loaf	6
Chocolate pudding	6

ที่มา: Adams and Moss (1995)

2.3.4 อัตราการแทรกผ่านความร้อน (Rate of heat penetration)

อัตราความเร็วของไอน้ำหรือน้ำจะถูกแรงดันอัดผ่านภาชนะสู่อาหารที่ปริมาณความร้อนแพร่ผ่านไปยังจุดที่ร้อนช้าที่สุด (cold point) ของอาหารกระป๋องขึ้นกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารแต่ละชนิดซึ่งเกิดไม่เท่ากันในอาหารเหลว การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพาความร้อน จะเกิดได้รวดเร็วกว่าในอาหารแข็ง ที่เป็นการนำความร้อน ดังนั้นเวลาในการฆ่าเชื้อของอาหารกระป๋องประเภทของเหลวจึงสั้นกว่าอาหารกระป๋องที่เป็นของแข็ง การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหารกระป๋องจะเกิดได้ไม่เท่ากันทุกจุด ดังนั้น การกำหนดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อต้องนานพอเพียงที่จะฆ่าเชื้อที่จุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุดของอาหาร นอกจากนี้ขนาดของกระป๋องก็มีผลต่อการฆ่าเชื้อเพราะว่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหารกระป๋องขนาดใหญ่จะใช้เวลานานกว่ากระป๋องขนาดเล็ก ในการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องแต่ละครั้งจะต้องแน่ใจว่าอาหารกระป๋องเป็นชนิดเดียวกันและมีขนาดเท่ากัน (นิรมล และคณะ, 2537) และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการแทรกผ่านความร้อนมีดังนี้ (ดรุณี, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ของเหลวหรืออาหารบางชนิด จะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนมากกว่าการนำความร้อน เช่น เมล็ดถั่วลันเตาในน้ำเกลือซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนในอาหาร องค์ประกอบ และธรรมชาติของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ค่าความเป็นกรด - ด่าง ถ้ามีค่าต่ำจะต้องใช้ความร้อนที่มากกว่าอาหารที่มีกรดสูง ค่าวอเตอร์แอคติวีตีของอาหารที่มีค่า น้อยกว่า 0.95 เชื้อจุลินทรีย์ส่วนมากจะถูกยับยั้ง จะทำให้ความต้องการความร้อนในการฆ่าเชื้อน้อยลง

(2) น้ำหนักบรรจุ ถ้ามากเกินไปจะทำให้อัตราการแทรกผ่านความร้อนลดลง ปกติน้ำหนักบรรจุเพื่อหาการแทรกผ่านความร้อนมักจะบรรจุให้เกินน้ำหนักปกติ 5% ซึ่งถือว่าเป็น worst case ของการผลิต น้ำหนักบรรจุเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงโดยเฉพาะพวกพืชผักที่เป็นใบ จะต้องระบุน้ำหนักผักและน้ำหนักน้ำเกลือที่บรรจุชัดเจนเพราะถ้าบรรจุผักมากเกินไปจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการนำความร้อน นั่นหมายความว่าการถ่ายเทความร้อนภายในช้าลง

(3) ขนาด รูปร่าง และน้ำหนักของชิ้นอาหาร ชิ้นอาหารที่มีขนาดใหญ่จะให้เวลาในการฆ่าเชื้อนานกว่าชิ้นขนาดเล็ก

(4) การเปลี่ยนแปลงขนาดและการรวมตัวของของแข็งที่เป็นส่วนประกอบ ในขั้นตอนการฆ่าเชื้อที่เวลาต่างๆ องค์ประกอบของอาหารมีโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีผลต่ออุณหภูมิและตำแหน่งของจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ จึงมีผลต่อสภาวะที่ใช้

(5) วิธีการเตรียมวัตถุดิบก่อนการบรรจุ ควรปฏิบัติให้ใกล้เคียงการผลิตจริง เช่น มีการลวก หรือแช่ในน้ำหรือสารละลายก่อนหรือไม่ ควรกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลวกผักเพราะการลวกผักนานเกินไปทำให้ผักนิ่มและอาจจะทำให้บรรจุกระป๋องแน่นเกินไป เหลือพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำเกลือ การแทรกผ่านความร้อนจึงเกิดขึ้นไม่ดี

(6) ค่าความหนืด (Consistency หรือ Viscosity) ความข้นหนืดของสารมีผลอย่างมากต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน อาหารที่มีความหนืดสูงจะเคลื่อนที่ได้น้อย การถ่ายเทความร้อนจึงต่ำ ขณะที่อาหารที่มีความหนืดต่ำจะเคลื่อนที่ได้ง่าย การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ดี แต่สำหรับอาหารที่มีแป้งเป็นส่วนผสม เช่น ซุปข้าวโพด ขณะที่ยังไม่ได้รับความร้อนความหนืดจะต่ำการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพาความร้อนแต่เมื่อได้รับความร้อนมากขึ้นความหนืดของแป้งจะเพิ่มขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการนำความร้อน ดังนั้นแป้งจึงมีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนให้มีค่าที่ลดลง การใส่แป้งมากเกินไปหรือใช้แป้งผิดชนิดอาจทำให้เกิดปัญหาการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ

(7) การดูดคืนน้ำของของแข็งที่เป็นส่วนประกอบ (Rehydration) เนื่องจากความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์จะขึ้นกับสภาวะแวดล้อม ถ้าอยู่ในสภาพที่เปียกชื้น เช่น ในสารละลายความทนทานต่อความร้อนจะต่ำ แต่ถ้าจุลินทรีย์อยู่ในสภาพที่แห้ง ความทนทานต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความร้อนจะสูง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบเป็นของแข็งอยู่ด้วย ในขั้นตอนการเตรียมจะต้องแช่น้ำให้มีการดูดซึมสม่ำเสมอ เพื่อให้ส่วนผสมเหล่านี้มีความหนาแน่นและขนาดสม่ำเสมอ เมื่อได้รับความร้อนการฆ่าเชื้อภายในชิ้นอาหารจะได้เป็นไปอย่างทั่วถึง เพราะถ้ามีส่วนที่แห้งอยู่ อาจมีจุลินทรีย์หลงเหลืออยู่ในส่วนนั้นได้ในกรณีที่ได้เผื่อให้การดูดซึมน้ำเกิดขึ้นในระหว่างการให้ความร้อนจะต้องระวังเรื่องอุณหภูมิและเวลาที่ใช้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อลดเวลานั้น ถึงแม้ว่าจะได้ค่า F_0 ที่ต้องการแต่ถ้าเวลาที่ใช้สั้นเกินไปการดูดซึมน้ำไม่เพียงพอก็เป็นสาเหตุทำให้จุลินทรีย์เหลืออยู่ได้ (ดรุณี, 2545)

(8) ค่าวอเตอร์แอคติวีตี แสดงถึงปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้หรือเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ อาหารกระป๋องส่วนใหญ่มีค่าวอเตอร์แอคติวีตีมากกว่า 0.98 ดังนั้น จุลินทรีย์และสปอร์จึงสามารถเจริญดี ถ้าค่าวอเตอร์แอคติวีตีน้อยกว่า 0.95 จุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus* จะถูกยับยั้ง ทำให้ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการฆ่าเชื้อลดลง

(9) ค่าความเป็น กรด-ด่าง เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่จะตัดสินว่าควรใช้กระบวนการให้ความร้อนแบบใด เพื่อจะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยในเชิงการค้า เพราะค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่เจริญได้และปริมาณความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชื้อ อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.5) ปริมาณความร้อนที่ใช้จะต้องสามารถทำลายสปอร์ทั้งหมดของ *Cl. Botulinum* รวมทั้งของแบคทีเรีย และจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่ทนทานต่อความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค โดยอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจะต้องสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เน่าเสียในสภาพการเก็บธรรมดาที่ไม่ได้แช่เย็น สำหรับอาหารที่มีความเป็นกรดและอาหารที่ถูกปรับให้เป็นกรด ค่าความเป็นกรดด่างน้อยกว่า 4.5 ปริมาณความร้อนที่ใช้จะน้อยกว่า เพราะจุลินทรีย์ที่ต้องทำลายทนทานต่อความร้อนได้น้อยกว่าอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ

(10) วัตถุกันเสีย ทำให้เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อสั้นลง ได้แก่ ไนเตรท ไนไตรท์ เกลือ และน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.5 บรรจุภัณฑ์

(1) ชนิดของบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ทั่วไปได้แก่ กระป๋อง แก้ว พลาสติก และถุงรีทอร์ทเพาซ์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อนและการแทรกผ่านความร้อนของบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด เช่น การส่งผ่านความร้อนผ่านโลหะจะเร็วกว่าผ่านแก้วหรือพลาสติก เนื่องจากความแตกต่างเรื่องคุณสมบัติการนำความร้อน

(2) ความเป็นสุญญากาศและช่องว่างเหนืออาหารในกระป๋อง มีผลต่อการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ เพราะถ้ามีอากาศหลงเหลืออยู่ในกระป๋อง จะทำให้ตำแหน่งของจุดร้อนช้าที่สุด

(cold point) เปลี่ยนแปลงได้อาหารจะได้รับความร้อนเนื่องจากการหมุนเวียนของไอน้ำภายในกระป๋อง การรักษาความเป็นสุญญากาศให้ได้ค่าสูงๆ (ในกระป๋องมีอากาศหลงเหลือน้อย) ทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ดี แต่ถ้าความเป็นสุญญากาศน้อย (ในกระป๋องมีอากาศเหลืออยู่มาก) การถ่ายเทความร้อนจะเกิดได้ไม่ค่อยดี เพราะอากาศเป็นฉนวนของความร้อน

(3) ความหนาของบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงรีทอร์ทเพาซ์มีผลโดยตรงต่อจุดร้อนช้าที่สุดของบรรจุภัณฑ์ การศึกษาเพื่อหาการแทรกผ่านความร้อนควรระบุความหนาของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ด้วย

(4) การจัดเรียงบรรจุภัณฑ์ในตะกร้า ควรบรรจุเต็มตะกร้า (fully loaded) หรือวางตามการผลิตจริง (Orientation of can in basket) การจัดเรียงบรรจุภัณฑ์อาจวางในแนวตั้ง (vertical) วางแนวนอน (horizontal) หรือวางแบบไม่เรียงบรรจุภัณฑ์ (jumble load) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงวิธีการเรียงบรรจุภัณฑ์ในหม้อฆ่าเชื้อมีผลโดยตรงต่อการไล่อากาศ และ come-up time

(5) ตำแหน่งของบรรจุภัณฑ์ในตะกร้า ควรควบคุมให้เหมือนกับการผลิตจริง

(6) ขนาดของบรรจุภัณฑ์ ต้องเป็นขนาดเดียว เพราะถ้าใช้กระป๋องขนาดต่างกันเวลาฆ่าเชื้อก็จะต่างกัน โดยทั่วไปบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่จะใช้เวลานานกว่า การกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อของ บรรจุภัณฑ์ขนาดต่างๆ โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี คือ จากการคำนวณใหม่โดยอาศัยข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของบรรจุภัณฑ์ขนาดใดขนาดหนึ่ง หรือทำการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของบรรจุภัณฑ์ทุกๆ ขนาด ซึ่งวิธีการที่ถูกต้อง คือการหาการแทรกผ่านความร้อนของบรรจุภัณฑ์แต่ละขนาดใหม่เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องที่สุด ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ทำให้ช่องว่างภายในหม้อฆ่าเชื้อไม่เหมือนกัน การถ่ายเทความร้อนก็แตกต่างกันไปด้วย

2.3.6 หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)

หม้อฆ่าเชื้อที่ใช้ มีผลอย่างมากต่อการแทรกผ่านความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนจึงควรระบุด้วยว่าใช้หม้อฆ่าเชื้อชนิดใด เครื่องไหน รวมทั้งระบุสภาวะขณะทดสอบ โดยแบ่งหม้อนึ่งฆ่าเชื้อเป็น 2 ประเภทคือ

(1) หม้อฆ่าเชื้อแบบนิ่ง (Still batch retort) ระบบการทำงานของหม้อฆ่าเชื้อชนิดนี้ขึ้นอยู่กับตัวกลางความร้อน (heating medium) ได้แก่ ไอน้ำ ไอน้ำ/อากาศ น้ำแบบฉีดพ่นฝอยและน้ำแบบจุ่ม ชนิดของหม้อฆ่าเชื้อ เป็นแบบตั้งหรือแบบนอน

(2) หม้อฆ่าเชื้อแบบต่อเนื่อง (Continuous retort) การศึกษาการแทรกผ่านความร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลแทบจะทำไม่ได้ เนื่องจากระบบการทำงานของเครื่องหากต้องการศึกษาอาจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ process simulator หรือ self contained temperature measurement and data storage modules และปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง คือ

come-up time คือ เวลาที่นับตั้งแต่เริ่มต้นเปิดไอน้ำจนกระทั่งถึงอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อที่ต้องการ ควรเลือก come-up time ที่สั้นที่สุด ซึ่งหาได้จากผลการศึกษาการกระจายความร้อน (temperature distribution) การศึกษาการแทรกผ่านความร้อนในห้องปฏิบัติการทั่วไปหม้อฆ่าเชื้อที่ใช้มักมีขนาดเล็กกว่าที่ใช้ตามโรงงานทั่วไป ดังนั้น come-up time จึงสั้นกว่าและเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (cooling) ก็เร็วกว่า ฉะนั้นก่อนจะนำสภาวะที่ทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการไปใช้กับงานที่โรงงานจริง จำเป็นต้องปรับสภาวะให้เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้งานจริงๆ

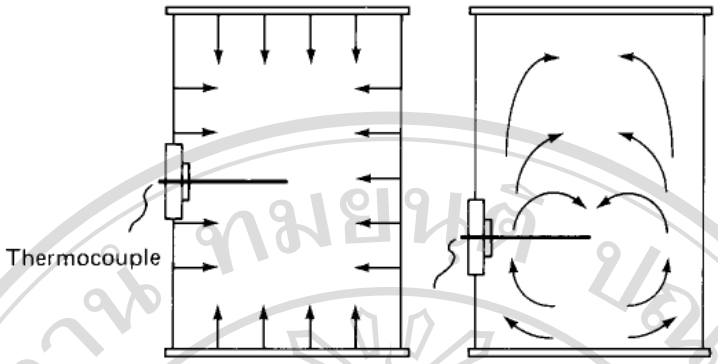
ถาด/ตะกร้า/ตะแกรง สำหรับวางภาชนะบรรจุ (Racking)ไม่ว่าจะเป็นกระป๋อง ขวด ถุงรีทอร์ทเพาซ์ ถาดแข็งทนความร้อน หรือภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด ความหนาของที่วางภาชนะบรรจุต้องไม่เกินกว่าที่ระบุไว้ใน scheduled process นอกจากนี้ตำแหน่งและวิธีการจัดวางก็มีผลต่อการแทรกผ่านความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์

2.3.7 การถ่ายเทความร้อนของอาหาร

อัตราเร็วที่ปริมาณความร้อนแทรกผ่านไปยังจุดร้อนช้าที่สุด ของอาหารกระป๋องขึ้นอยู่กับลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารแต่ละชนิด ซึ่งเกิดขึ้นไม่เท่ากัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

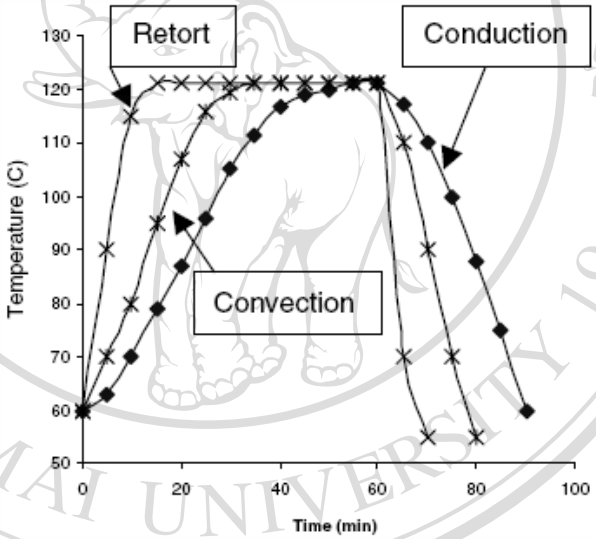
(1) อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน (Conduction heating curve) อาหารในกระป๋องจะได้รับความร้อนในทุกทิศทางผ่านผนังกระป๋อง แล้วผ่านจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง โดยมีทิศทางไปยังจุดร้อนช้าที่สุดของอาหาร ซึ่งอยู่ที่จุดกึ่งกลางกระป๋อง (geometric center) นั่นคือพลังงานความร้อนจะถูกถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง (อาหารที่อยู่ติดผนังกระป๋อง) ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ (จุดที่ร้อนช้าที่สุด) โดยผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแบบการนำนั้น อนุภาคอาหารไม่สามารถเคลื่อนที่ภายในกระป๋อง (Dennis and Richard, 1997) การถ่ายเทความร้อนจึงไม่รวดเร็วเหมือนกับการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (natural convection) สำหรับตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล แสดงดังรูป 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.6 ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล

ที่มา: Fellows (2000)



รูป 2.7 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารแบบ conduction และ convection

ที่มา: Hosahalli Ramaswamy and Micholi Marcotte (2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการพา (Convection heating curve) ถ้าเป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นโดยมีสาเหตุเกิดจากความหนาแน่นของตัวกลาง (อาหารเหลว) ที่แตกต่างกัน โดยโมเลกุลของอาหารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน ขณะที่โมเลกุลที่มีความหนาแน่นมากกว่า (หนักกว่า) จะเคลื่อนที่ลงมาแทนที่ ทั้งนี้เนื่องจากอาหารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่ามีอุณหภูมิสูงกว่า จึงเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า ทำให้เกิดการไหลเวียนของอาหารเหลวภายในกระป๋อง เป็นเหตุให้สมมาตรของอาหารกระป๋องเสียไป (Larousse and Brown, 1997) ลักษณะการถ่ายเทความร้อน แสดงดังรูป 2.7 ดังนั้นจุดร้อนช้าที่สุดของอาหาร

กระป๋องจะอยู่ที่ประมาณ $\frac{3}{4}$ นิ้ว นับจากขอบล่างของกระป๋องสำหรับกระป๋องขนาดเล็ก และสำหรับกระป๋องขนาดใหญ่ เช่น กระป๋องเบอร์ 10 จุดร้อนช้าที่สุดจะอยู่ประมาณ $1\frac{1}{2}$ นับจากขอบล่างของกระป๋องตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล แสดงดังรูป 2.6

อาหารนั้นมีการถ่ายเทความร้อยแบบพาบังคับ (forced convection) จะมีแรงภายนอกมาบังคับให้โมเลกุลของอาหารเหลวเคลื่อนที่ เกิดการผสมของของเหลวภายในกระป๋อง ทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้เร็วขึ้น เช่น การฆ่าเชื้ออาหารในเครื่องฆ่าเชื้อแบบหมุน (agitating cooker) ซึ่งจะมีการหมุนของกระป๋องระหว่างการฆ่าเชื้อ ในกรณีนี้มักไม่พบจุดร้อนช้าที่สุด หรือถ้ามีก็จะอยู่ที่จุดกึ่งกลางกระป๋อง อาหารที่มีการเคลื่อนที่แบบการพาความร้อนได้แก่ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มและน้ำผลไม้

(3) อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบผสม (Broken heating curve) อาหารในกลุ่มนี้ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งหรือสารให้ความหนืดเป็นส่วนประกอบ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดใหญ่ๆ ในของเหลว เช่น ข้าวโพดฝักอ่อน เห็ด ผักชิ้นใหญ่ ๆ ในน้ำเกลือ อาหารเหล่านี้จะมีการถ่ายเทความร้อนได้ทั้ง 2 แบบ คือ ในช่วงต้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดได้เร็วมากเป็นแบบ convection แล้วเปลี่ยนเป็นแบบ conduction เมื่อถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารที่เป็นของแข็งหรืออาหารที่มีความข้นหนืดมาก ตำแหน่งร้อนช้าที่สุดของการถ่ายเทความร้อนแบบน้ำไม่แน่นอน ดังนั้นจึงมีการกำหนดตำแหน่งร้อนช้าที่จุดต่างๆ กัน เช่น 2 เซนติเมตรนับจากขอบล่างของกระป๋อง หรือ $\frac{1}{3}$ ของความสูงกระป๋อง หรือจุดกึ่งกลางระหว่าง convection กับ conduction อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการทราบตำแหน่งที่แน่นอนสามารถหาได้จากการทดลอง โดยทำการวัดอุณหภูมิหลายจุดแล้วพิจารณาดูว่าจุดใดที่อุณหภูมิเปลี่ยนช้าที่สุด

2.3.8 วิธีใช้สูตร

วิธีนี้สามารถคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อในภาชนะบรรจุขนาดต่าง ๆ กัน โดยใช้สมมุติฐานที่ตั้งขึ้นมาจากลักษณะของกระบวนการให้ความร้อนตามทฤษฎีของ Ball เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเพราะให้ค่าที่เที่ยงตรงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณวิธีอื่น ๆ สามารถคำนวณหาค่า F_o ได้แต่ค่า F_o ที่ได้ไม่เที่ยงตรงเท่ากับวิธีทั่วไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) ขั้นตอนการสร้างกราฟ

(1.1) เส้นกราฟการให้ความร้อน (heating curve) ใช้กระดาษกราฟแบบ semilog (ชนิด 3 cycle) กลับหัวกระดาษกราฟ ให้ตัวเลขบนแนวดิ่งด้านขวามือเป็นสเกล log แสดงค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อกับอุณหภูมิกระป๋อง ($T_r - T$) และค่าในแนวดิ่งด้านซ้ายมือเป็นอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ แล้วพลอทค่าอุณหภูมิของกระป๋องบนสเกลlogเทียบกับเวลาบนสเกลปกติ เส้นกราฟของการให้ความร้อนที่มีส่วนของเส้นเดียวเรียกว่า “simple heating curve” แสดงดังรูป 2.8 และเส้นกราฟแบบ semilog heating แสดงดังรูป 2.11 ถ้าอาหารนั้นมีเส้นกราฟการให้ความร้อนส่วนที่เป็นเส้นตรงมากกว่า 1 เส้น เรียกว่า “broken heating curve” แสดงดังรูป 2.10

(1.2) เส้นกราฟทำให้เย็น (cooling curve) การพลอทข้อมูลไม่กลับกระดาษกราฟแต่จะแบ่งสเกลเป็น Tc+1 และเพิ่มเป็น Tc+10 และ Tc+100 ตามลำดับ จากนั้นพลอทค่าอุณหภูมิของกระป๋องที่เปลี่ยนไปในระหว่างทำให้เย็น แสดงดังรูป 2.9 และเส้นกราฟแบบ semilog cooling แสดงดังรูป 2.12

(2) สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

(2.1) กราฟที่พลอทได้ เป็นแบบ simple heating curve

การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ สมการที่ใช้คือ

สมการที่ 1

$$B = f_h \left(\log j_{ch} I_h - \log g\right)$$

เมื่อ B คือ เวลาในการให้ความร้อน (นาที)

f_h คือ เวลาเป็นนาทีที่ทำให้เส้นกราฟส่วนที่เป็นเส้นตรงเปลี่ยนไป 1 log cycle หรือ 90%

come-up time คือ เวลาเป็นนาทีที่ทำให้อุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ

corrected zero คือ เวลาเริ่มต้นของการฆ่าเชื้อที่แก้ไขแล้ว โดยคิดจาก 58% ของ come-up time

T_r คือ อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (°C)

T_o (I.T.) คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารก่อนเปิดไอน้ำ (°C)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

T_l (I' T') คือ เป็นจุดตัดของส่วนที่เป็นเส้นตรงกับแกนอุณหภูมิที่เวลาปรับสูตร corrected zero

J_{ch} (heating lag factor) เป็น lag time ก่อนที่ผลต่างของ (T_r – CT) จะเป็นเส้นตรง ซึ่งคำนวณได้จาก

$$J_{ch} = \frac{T_r - T_l}{T_r - T_0}$$

สมการที่ 2

$$g = T_r - CT_{steam\ off}$$

เมื่อ g คือ จำนวนองศา (°F หรือ °C) ของกระป๋องที่ต่ำกว่า T_r ณ จุดที่สิ้นสุดการให้ความร้อน

สมการที่ 3

$$F_i = 10^{(T-Tr)/z}$$

เมื่อ F (Process lethality) คือ เวลาเป็นนาทีที่ต้องการทำลายเชื้อปริมาณที่ต้องการที่อุณหภูมิ T ใด ๆ

F_i คือ เวลาเป็นนาทีที่ต้องใช้ทำลายจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งที่อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อเมื่อค่า F ที่อุณหภูมิอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 1

สมการที่ 4

$$U = FF_i$$

เมื่อ U (sterilizing value) คือ เวลาเป็นนาทีของอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อที่มีค่าความสามารถใน การทำลายเท่ากับกระบวนการที่กำหนดค่า F ไว้

f_h/U สามารถหาได้จากสมการหาได้จากสมการที่ 5

สมการที่ 5

$$f_h/U = \frac{f_h}{(F)x(F_i)}$$

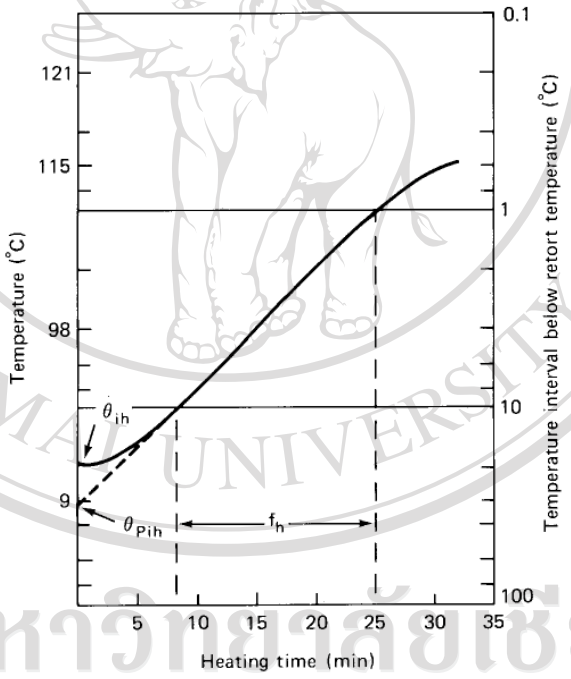
เมื่อ J_{cc} lag factor สำหรับ cooling curve คล้ายคลึงกับ J_{ch} แต่ต้องหาจากกราฟของช่วงหล่อเย็นแสดงดังรูป 2.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการที่ 6

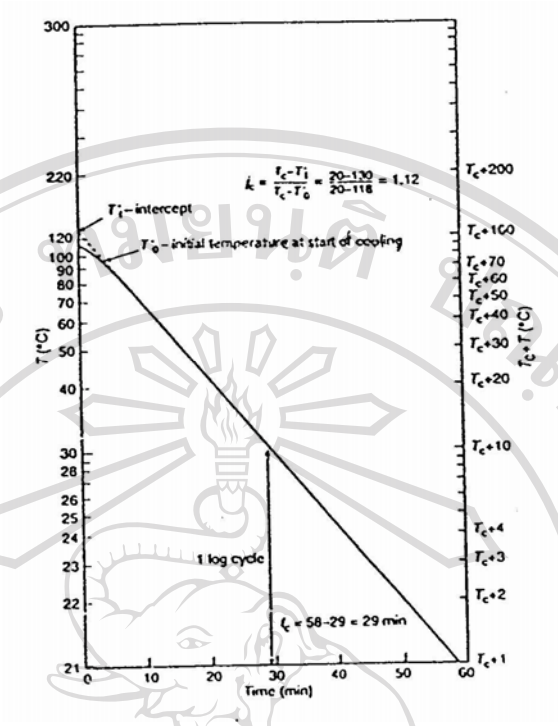
$$J_{cc} = \frac{T_c - T'_1}{T_c - T'_o}$$

จากนั้นสามารถคำนวณหาค่า g ได้จากการเปิดตารางหาค่า g โดยใช้ค่า f_h/U (สมการที่ 5) และค่า J_{cc} (สมการที่ 6) ดังตารางหาค่า g ในภาคผนวก ง แล้วนำค่า g ที่ได้ไปแทนค่าในสมการที่ 1 ก็จะสามารถหาเวลาฆ่าเชื้อ (process time) ได้นอกจากนี้เมื่อทราบเวลาฆ่าเชื้อแล้วสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปหาค่า F_o ได้



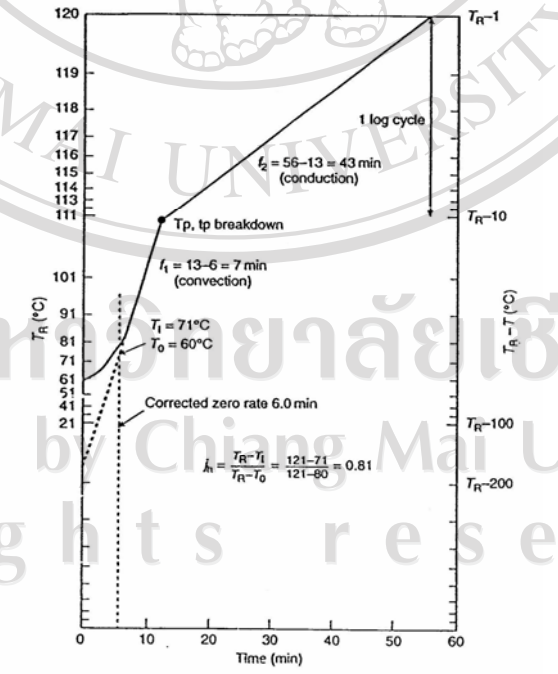
รูปที่ 2.8 กราฟแทรกผ่านความร้อนแบบ Simple heating curve
ที่มา: Fellows (2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.9 กราฟการแทรกผ่านความร้อนแบบ Cooling curve

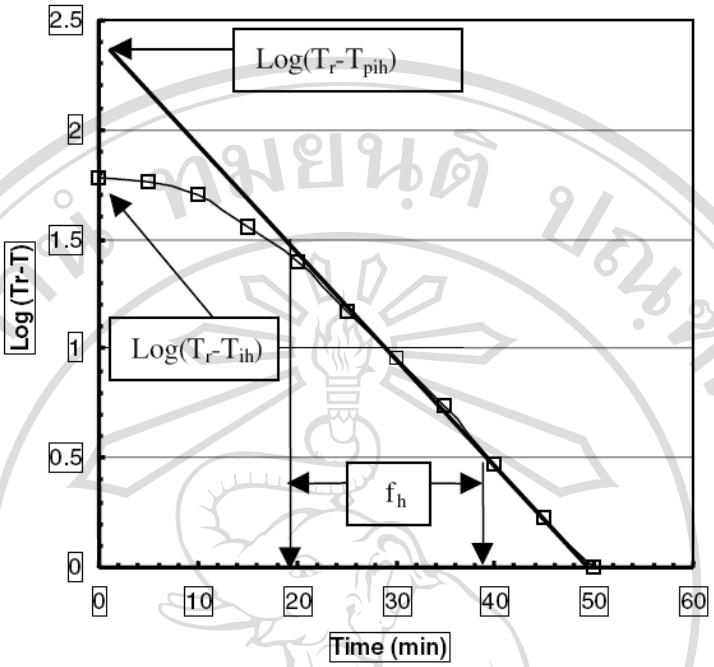
ที่มา: Holdsworth (1997)



รูปที่ 2.10 กราฟการแทรกผ่านความร้อนแบบ Broken heating curve

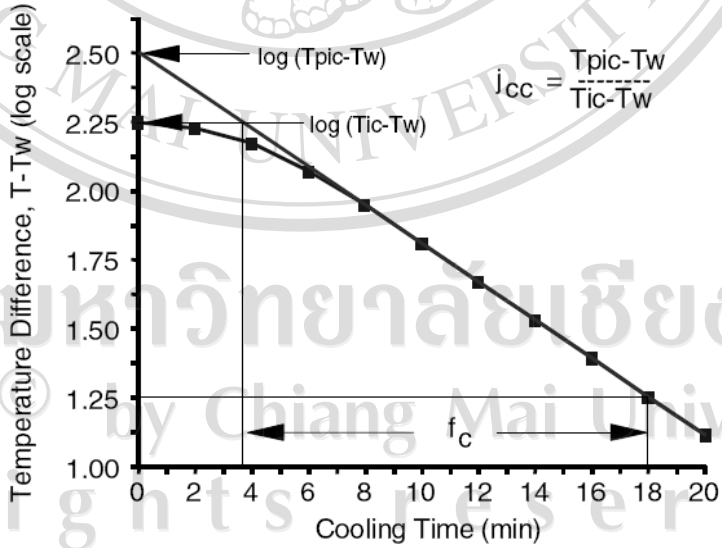
ที่มา: Holdsworth (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.11 Semilog heating curve และ heating parameter

ที่มา : Hosahalli Ramaswamy and Micholi Marcotte (2006)



รูปที่ 2.12 Semilog cooling curve และ cooling parameter

ที่มา: Hosahalli Ramaswamy and Micholi Marcotte (2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.) การคำนวณในกรณีที่กราฟเป็นแบบ broken Heating Curve

สามารถคำนวณได้จากสมการ

สมการที่ 7

$$B = f_h \log jI + (f_2 - f_h) \log g_{hh} - f_2 \log g_{h2} \quad (\text{เมื่อ } f_c = f_2)$$

X_{bh} คือ เวลาเป็นนาทีที่นับจากเส้นปรับสูตรถึงจุดหักของเส้นกราฟการให้ความร้อน

f_2 คือ เวลาเป็นนาทีที่ทำให้เส้นกราฟส่วนที่เป็นเส้นตรงส่วนที่ 2 เปลี่ยนไป 1 log cycle หรือ 90%

g_{hh} คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อกับอุณหภูมิภายในกระป๋อง ณ จุดที่ heating curve เริ่มเปลี่ยน slope สามารถหาได้จากกราฟ แต่เปลี่ยนจากค่า f_h/U เป็น f_h/U_2

r_{bh} เปิดจากตารางโดยใช้ค่า $\log_{bh}$

สมการที่ 8

$$\log g_{bh} = \frac{\log JI - X_{bh}}{f_h}$$

สมการที่ 9

$$f_h/U = \frac{f_2}{FF_i + r_{bh}(f_2 - f_h)/(f_h - U_{bh})}$$

2.4 รีทอร์ทเพาช์ (Retort pouch)

เนื่องจากกระป๋องเป็นภาชนะที่มีน้ำหนัก กินเนื้อที่ และบุบ หรือบวมในเวลาการเก็บรักษา นักวิจัยจึงคิดค้นบรรจุภัณฑ์ที่มีความอ่อนตัว ที่ทนทานความร้อนสูง เช่น เดียวกับกระป๋อง ให้ชื่อว่าบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว หรือ รีทอร์ทเพาช์ (retort pouch) เพื่อใช้บรรจุอาหารแทนกระป๋องหรือขวดแก้วได้เป็นอย่างดี และในปี ค.ศ. 1979 หน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลิตอาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภค โดยใช้บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวทนความร้อนสูง เพื่อเป็นเสบียงอาหารจำนวนมาก ทำให้อาหารที่บรรจุอยู่ในภาชนะดังกล่าวเป็นที่นิยมในการผลิตทางการค้าเพื่อประชาชนทั่วไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มากขึ้นโดยเฉพาะชาวญี่ปุ่นที่นิยมบริโภคอาหารบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์นี้เพิ่มขึ้นทุกปี แต่ละปีประมาณ 750 ล้านถุง (อรอนงค์, 2545)

รีทอร์ทเพาซ์ ซึ่งใช้ได้กับรีทอร์ท เป็นภาชนะบรรจุที่มีสารเคลือบหรือลามิเนทหลายชั้นมีความทนทานต่อความร้อนคล้ายคลึงกับกระป๋อง อาหารที่บรรจุในภาชนะเหล่านี้และผ่านความร้อนสูงจะมีอายุการเก็บรักษานานโดยไม่ต้องแช่เย็น นอกจากนั้นยังสามารถแช่เยือกแข็งได้รวมทั้งอุ่นร้อนในภาชนะได้เลย

โครงสร้างของรีทอร์ทเพาซ์ที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบันเป็นวัสดุ 3 ชั้น ลามิเนทให้ติดกัน คือ พอลิเอสเทอร์ (polyester) อะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil) และพอลิโพรพิลีน (poly-propylene) โดยพอลิเอสเทอร์ ป้องกันการขูดขีด มีความแข็งแรง คงทน อ่อนตัว และพิมพ์ลวดลายได้ จะอยู่ชั้นนอกสุด มีความหนาประมาณ 0.0005 นิ้ว (0.0127 มม.) ชั้นกลางเป็นอะลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันแสงแดด น้ำ และออกซิเจนไม่ให้ผ่านเข้าไปสัมผัสกับอาหารภายในได้ ทำให้คงทนต่อการเก็บรักษา มีความหนาประมาณ 0.00035 – 0.0007 นิ้ว (0.00889 มม.) ชั้นในสุดจะเป็นพอลิโพรพิลีน ให้ความแข็งแรงในการปิดผนึกร้อน มีความยืดหยุ่น แข็งแรง มีคุณสมบัติที่ดีในการทนสภาวะอาหารได้ทุกชนิด รีทอร์ทเพาซ์นี้ต้องทนความร้อนในเครื่องรีทอร์ทได้ 121 ^{o}C (275 ^{o}F) หรือน้อยกว่า หรือได้รับการรับรองจาก FDA (Food and Drug Administration) ของสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1977 (อรอนงค์, 2545) ได้มีการศึกษาเรื่องการแทรกผ่านภาชนะบรรจุของแบคทีเรีย พบว่า ชั้นลามิเนทของรีทอร์ทเพาซ์จะไม่ยอมให้แบคทีเรียแทรกผ่านได้นอกจากจะมีรอยแตกในชั้นลามิเนท สามารถตรวจสอบรอยแตกนั้นได้โดยการย้อมสี และรอยแตกในอะลูมิเนียมฟอยล์ไม่ยอมให้แบคทีเรียผ่านเข้าไปในอาหารได้ตราบใดที่รอยแตกนั้นไม่ทะลุผ่านชั้นพลาสติก (วิไล, 2545)

นอกจากวัสดุต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีการพัฒนาวัสดุอื่นๆ อีก ได้แก่ การใช้ฟิล์มที่สามารถป้องกันการแทรกผ่านของออกซิเจนสูง เช่น เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ (EVOH) และพอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ (PVDC) มีงานวิจัยจำนวนมากที่พัฒนาการผลิต รีทอร์ทเพาซ์ที่ไม่ใช้อะลูมิเนียมฟอยล์ รีทอร์ทเพาซ์ดังกล่าวที่มีการผลิตในเชิงการค้า ได้แก่ พอลิเอสเทอร์/กาวพอลิ-ยูเรเทน/พอลิเอทิลีน ซึ่งมีความหนาแน่นสูง โดยใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอายุการเก็บรักษาประมาณ 3 เดือน หรือน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ต้องแช่เย็น (วิไล, 2545)

Bindu and Srinivasa gopalb (2007) พบว่า รีทอร์ทเพาซ์มีโครงสร้างที่มีการกระจายตัวที่ดีกว่ากระป๋องทำให้มีการกระจายความร้อนที่เร็วและดีกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard) เกิดขึ้นน้อย ทำให้มีผลที่ดีต่อ สี รสชาติ คุณค่าทางอาหาร และยังพบว่า ถุงรีทอร์ทเพาซ์มีความเหนียว เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแทนกระป๋องดีบุกแบบเดิมได้ดี ทำจากวัสดุที่มีราคา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่แพง มีความเป็นมิติที่เหมือนกัน จึงสามารถแทรกผ่านความร้อนได้ไม่ว่าจะใช้สภาวะใดก็ตาม สำหรับการสเตอริไลส์ การส่งผ่านความร้อนเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเป็นอย่างมาก ดังนั้น ผนังภาชนะ ขนาดของการบรรจุ และกายภาพทางด้านความร้อน จึงขึ้นกับคุณสมบัติชนิดของอาหาร ในเชิงพาณิชย์ การสเตอริไลส์อาหารกระป๋องหรือถุงเพาซ์ต้องได้รับความดันจากไอน้ำ หรือน้ำร้อนที่สภาวะของอุณหภูมิและเวลาต่างๆ แต่การที่จะยับยั้งสปอร์ อาจเป็นสาเหตุของการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร ตลอดจนคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์เอง แต่ถึงอย่างไรการสเตอริไลส์ก็เป็นอีกทางเลือกที่มีคุณภาพสูงในการลดเชื้อจุลินทรีย์ (Terajima and Nonaka., 1996) และได้มีการประยุกต์ ถุงที่ใช้ต้ม(boil-in-bag) ใช้แทนกระป๋องโลหะเช่น polyester/aluminium และfoil/polypropylene (Gopakumar and Gopal., 1987)

Hu *et al.* (1955) พบว่า มีการใช้ถุงรีทอร์ทเพาซ์ในเชิงพาณิชย์ที่เกี่ยวกับการให้ความร้อนมากขึ้น เพราะมีคุณสมบัติที่ดีในการเก็บรักษา น้ำหนักเบา พื้นที่ในการเก็บรักษาน้อย ง่ายต่อการเปิดใช้เพิ่มการส่งผ่านความร้อน จึงมีผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และมีราคาถูก อีกทั้งผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของกุ้ง โดยใช้วัสดุ 2 ชนิด คือ กระป๋องและถุงรีทอร์ทเพาซ์โดยทำการใช้ระดับขนาด ของถุงรีทอร์ทเพาซ์ และกระป๋อง 2 ระดับ พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณของสารอาหารของถุงรีทอร์ทเพาซ์ดีกว่ากระป๋อง (Mohan *et al*., 2007) และยังพบอีกว่า ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อปลาซาดีน โดยใช้วัสดุ 2 ชนิดคือ กระป๋องและถุงรีทอร์ทเพาซ์ โดยทำการหา F_o ที่ 3 ระดับ (5, 7, 9) พบว่า การใช้ F_o ที่มีค่าสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในถุงรีทอร์ทเพาซ์ดีกว่าที่อยู่ในกระป๋อง (Ali *et al*., 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved