บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน

การใช้ความร้อนเป็นวิธีที่สำคัญที่สุดวิธีหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหาร นอกจากเพื่อให้อาหารมีคุณภาพการบริโภคตามที่ต้องการแล้วยังมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การยับยั้งการเน่าเสียของอาหารและการสร้างสารพิษจากจุลินทรีย์ในอาหาร รวมทั้งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในอาหาร (วิไล, 2543) โดยทั่วไปแล้วการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนจะมีขั้นตอนอยู่ 3 ขั้นตอน คือ การให้ความร้อน (heating) การคงอุณหภูมิ (holding) และการทำให้เย็น (cooling) โดยในขั้นตอนการทำให้อาหารร้อนขึ้นจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยกลไกใดกลไกหนึ่งหรือหลายกลไกร่วมกัน ดังนี้

1. การนำความร้อน (conductive heat transfer) เป็นการถ่ายเทพลังงานในระดับโมเลกุล โดยเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานความร้อนจะเกิดการสั่น (vibration) ขึ้น ซึ่งขนาดของการสั่นนี้จะเพิ่มมากขึ้นตามระดับของพลังงานความร้อนที่โมเลกุลได้รับและจะมีการส่งผ่าน (transmitted) การสั่นจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งโดยไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุล (อภิรักษ์, 2551)

2. การพาความร้อน (convective heat transfer) การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการการพาความร้อนเกิดขึ้น ระหว่างผิวของแข็งและของไหลในบริเวณใกล้เคียงกันที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยตัวกลางการถ่ายเทความร้อนมีการเคลื่อนที่ ทั้งนี้ของไหลที่กล่าวถึง ได้แก่ ก๊าซ หรือของเหลว เป็นต้น โดยของไหลเหล่านี้เปรียบเสมือนตัวพาความร้อน (พรพล, 2545)

3. การแผ่รังสีความร้อน (radiation) กลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี มีความแตกต่างจากการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำและการพาความร้อน กล่าวคือ การแผ่รังสีความร้อนไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ความร้อนจะถูกถ่ายเทในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า โดยรังสีในช่วงความยาวช่วงคลื่น 0.1 – 100 ไมโครเมตรนี้ จัดเป็นรังสีความร้อน (thermal radiation) (พรพล, 2545)

ตัวอย่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร (รุ่งนภา, 2535) คือ

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (plate heat exchanger)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น เป็นแผ่นเหล็กปลอดสนิมบางๆ หรือแผ่นไทเทเนียม ซึ่งทนต่อสนิมได้อย่างดี เอามาอัดให้เกิดส่วนนูน ส่วนเว้า เพื่อให้ของเหลวไหลแบบปั่นป่วน (turbulence) ซึ่งช่วยให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น แล้ววางประกบกันหลายๆ แผ่น ยึดแน่นด้วยปะเก็น (gaskets) ซึ่งทำจากยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ เพื่อป้องกันของเหลวผสมกัน ของไหลแต่ละชนิดจะไหลสลับกันไปตามช่องว่างที่เกิดจากการประกบเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งอาจจะไหลขนานกันหรือสวนทางกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นจะเหมาะสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำและถ้ามีอนุภาคของแข็งอยู่ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคควรน้อยกว่า 0.3 เซนติเมตร ถ้าอนุภาคใหญ่เกินไปอาจจะติดอยู่ระหว่างแผ่นก่อให้เกิดการไหม้ที่ส่วนให้ความร้อน ข้อควรระวังในการใช้เครื่องชนิดนี้คือ ของเหลวที่ตกค้างบนผิวของแผ่น เช่น โปรตีนนม อาจก่อให้เกิดตะกรันขึ้น ซึ่งทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงรวมทั้งความดันลดลงด้วย ซึ่งทำให้กระบวนการต้องหยุดชะงักลง เพื่อทำความสะอาดแผ่น

ข้อดีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น คือ สามารถถอดเป็นแผ่นๆ ออกมาทำความสะอาดได้ทั่วถึง การบำรุงรักษาก็ง่าย และสามารถปรับปริมาณการถ่ายเทความร้อนได้โดยการเพิ่มหรือลดแผ่นถ่ายเทความร้อน

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (tubular heat exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (double-pipe heat exchanger) เป็นแบบที่ง่ายที่สุด โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วยท่อ 2 ขนาดที่ซ้อนกันอยู่ โดยมีแกนกลางของท่อร่วมกัน ของไหลชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในท่อใน และของไหลอีกชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในช่องว่างระหว่างท่อทั้งสอง ของไหลทั้งสองอาจจะไหลในทิศขนานกันหรือสวนทางกันก็ได้

3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว (scraped surface heat exchangers)

ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ความต้านทานที่เกิดขึ้นนี้สามารถลดลงให้น้อยที่สุด ถ้าผิวภายในท่อถูกขูดออกไปอย่างต่อเนื่อง การขูดนี้ทำให้ถ่ายเทความร้อนได้เร็วขึ้น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิวเป็นเครื่องที่นิยมใช้กันมากในการแปรรูปอาหาร ถังทรงกระบอกของเครื่องที่สัมผัสอาหารสร้างจากเหล็กปลอดสนิม หรือวัสดุอื่นที่ไม่กัดกร่อน ตัวหมุน (rotor) ภายในมีใบมีดซึ่งหุ้มด้วยพลาสติกลามิเนทหรือพลาสติกหล่อ ที่หมุนด้วยความเร็วประมาณ 150-500 รอบต่อนาที ซึ่งความเร็วรอบที่สูงขึ้นจะช่วยให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นและมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารได้มีการนำกระบวนการให้ความร้อนมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยกระบวนการให้ความร้อนที่นำประยุกต์ใช้นั้นจะประกอบด้วย การลวก (blanching) การปรุงอาหาร (cooking) การระเหย (evaporation) การทำแห้ง (drying) กระบวนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัดพอง (extrution) การพาสเจอไรซ์ (pasteurization) การสเตอริไลซ์ (sterilization) เป็นต้น (Ramaswamy and Marcotte, 2006)

1. การลวก (blanching) เป็นการใช้ความร้อนที่ไม่รุนแรงเพื่อการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เกิดจากออกซิเจนในผักและผลไม้ นอกจากนี้ยังใช้การลวกวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การแปรรูปอาหารกระป๋อง (canning) การแช่เยือกแข็ง (freezing) และการทำแห้ง (dehydration) เป็นต้น มิฉะนั้นอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการที่ไม่ต้องการของผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์แล้ว การลวกยังทำให้เนื้อเยื่อสะอาดและในบางกรณีการลวกจะช่วยปรับปรุงสีและเนื้อเยื่อของผักสีเขียวได้อีกด้วย

2. การปรุงอาหาร (cooking) เป็นวิธีการใช้ความร้อนแบบดั้งเดิมซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้อาหารมีความอร่อยขึ้น โดยทั่วไปวิธีการปรุงอาหารหลายๆวิธีสามารถทำได้ในภายครัวเรือน เช่น การต้ม (boiling) การอบ (baking) การปิ้ง (broiling) การย่าง (roasting) การทอด (frying) และการตุ๋น (stewing) ซึ่งวิธีการปรุงอาหารทั้งหมดมีการประยุกต์ใช้ความร้อนที่แตกต่างกัน สามารถพิจารณาได้ว่าการปรุงอาหารเป็นวิธีการถนอมอาหารอีกวิธีหนึ่งเพราะโดยทั่วไปแล้วอาหารที่ถูกปรุงสุกแล้วจะสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานานในตู้เย็นเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ไม่ผ่านการปรุงให้สุก ถ้าสามารถป้องกันให้เกิดการการปนเปื้อนภายหลังน้อยที่สุด การปรุงอาหารมีผลในการทำลายหรือลดปริมาณจุลินทรีย์และยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ไม่ต้องการ ซึ่งทั้งสองอย่างเป็นสิ่งสำคัญของวิธีการถนอมอาหาร การปรุงอาหารทำให้อาหารย่อยได้ง่ายขึ้นและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นและเนื้อสัมผัสที่ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค

3. การระเหย (evaporation) เป็นวิธีการให้ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอแยกออกจากอาหารเหลว วัตถุประสงค์ของการระเหย คือ การทำให้อาหารมีความเข้มข้นขึ้นเพื่อให้การทำแห้ง การเก็บรักษาและการขนส่งทำได้สะดวกขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ลดค่า water activity (a_w) ของอาหาร และทำการเปลี่ยนแปลงสีหรือกลิ่นของอาหารให้ดีขึ้น

4. การทำแห้ง (drying หรือ dehydration) เป็นการประยุกต์ใช้ความร้อนภายใต้การควบคุมสิ่งแวดล้อมเพื่อกำจัดความชื้นออกจากอาหาร การทำแห้งมีผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารอย่างชัดเจนและสามารถลดค่า a_w ได้มาก ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นได้ โดยมีเงื่อนไขว่าต้องทำการเก็บรักษาในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและในภาชนะบรรจุที่ป้องกันความชื้นได้

5. กระบวนการอัดพอง (extrusion) เป็นกระบวนการที่มีหน่วยปฏิบัติการหลายหน่วยมารวมกัน เช่น การนวด (kneading) การตัด (shearing) การผสม (mixing) การรวมกันกับน้ำ (hydration) การเกาะกัน (agglomeration) การบีบอัด (compression) การบด (grinding) การขึ้นรูป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(shaping) และการทำให้เป็นรูปร่าง (forming) เทคโนโลยีการอัดพอง เป็นวิธีการแปรรูปอาหารที่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสและกลิ่นของอาหารได้

6. การพาสเจอไรซ์ (pasteurization) เป็นวิธีการให้ความร้อนแบบไม่รุนแรงกับอาหาร โดยการพาสเจอไรซ์มีจุดประสงค์ในการทำลายจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็น vegetative cell เช่น จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (pathogen) หรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์แต่การพาสเจอไรซ์เกือบจะไม่สามารถทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ได้ อาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ซึ่งมีการเติมหรือไม่มีการเติมวัตถุกันเสียจะต้องเก็บรักษาภายในตู้เย็นหรือเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่ดัดแปลงสภาพโดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญน้อยมากที่สุด อายุการเก็บรักษาของอาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์จะสามารถเก็บรักษาได้หลายวัน เช่น นม ไปจนถึงหลายเดือน เช่น น้ำผลไม้ โดยความรุนแรงของการให้ความร้อนและระยะเวลาการเก็บรักษาจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ ค่าพีเอช การทนต่อความร้อนของจุลินทรีย์หรือเอนไซม์และความไวของผลิตภัณฑ์

7. การสเตอริไลซ์ (sterilization) เป็นวิธีการให้ความร้อนแบบรุนแรงมากขึ้นกว่าการพาสเจอไรซ์ เนื่องจากมีวัตถุประสงค์ในการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและทำให้เกิดโรค ก่อนทำการบรรจุอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทซึ่งอากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนแบบสเตอริไลซ์สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อการจำกัดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อื่น เช่น thermophiles กระบวนการสเตอริไลซ์จะต้องทำการคำนวณการต้านความร้อนของสปอร์จุลินทรีย์ซึ่งมีความไวต่อออกซิเจน พีเอชและอุณหภูมิและเกิดการเจริญได้ การบรรจุภัณฑ์ในสภาวะสุญญากาศจะสามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการเจริญได้ อาหารที่มีสภาพเป็นกรด (pH 4.5) อาจจะมีการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค คือ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ทนความร้อน สร้างสปอร์และไม่ใช้ออกซิเจนในการเจริญ ซึ่งถ้า *C. botulinum* สามารถรอดชีวิตและเจริญได้จะผลิตสารพิษ botulism toxin ซึ่งทำให้ผู้บริโภคเสียชีวิตได้ แต่ *C. botulinum* ไม่สามารถเจริญและสร้างสารพิษ botulism toxin ได้ที่ pH < 4.5 ดังนั้นการสเตอริไลซ์อาหารที่มีกรดต่ำจะต้องใช้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (อุณหภูมิอยู่ในช่วง 115 ถึง 125 ^{o}C) ในขณะที่อาหารที่มีกรดสูงสามารถจะใช้ความร้อนที่ 100 ^{o}C (หรือต่ำกว่า) ก็เพียงพอสำหรับยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์หรือการทำลาย vegetative cell

8. การให้ความร้อนโดยอาศัยรังสีอินฟาเรด (infrared) คลื่นไมโครเวฟ (microwave) ความถี่ของคลื่นวิทยุ (radio frequency) และการให้ความร้อนแบบโอห์มิก (ohmic heating) เป็นวิธีการให้ความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด (infrared) จะเกิดระดับความถี่ของแถบแม่เหล็กไฟฟ้าที่กว้างมากและวัตถุดิบที่ได้รับรังสีอินฟาเรดจะสามารถดูดซับคลื่นความถี่ที่มีความเข้มข้นได้ ในขณะที่คลื่นไมโครเวฟจะสามารถใช้แถบความถี่เฉพาะที่เท่านั้น (2540

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ 915 MHz) ความถี่ของคลื่นวิทยุจะมีคลื่นที่กว้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟและคลื่นวิทยุจะทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดความร้อนขึ้นในอาหาร คลื่นไมโครเวฟและคลื่นวิทยุสามารถผ่านทะลุทะลวงเข้าไปในอาหารได้สูงและขอบเขตของความร้อนในอาหารจะขึ้นอยู่กับฉนวนของเครื่องและปริมาณความชื้นของอาหาร คลื่นไมโครเวฟสามารถนำไปใช้กับกระบวนการแปรรูปอาหารได้หลายอย่าง เช่น การอุ่นอาหาร (reheating) การปรุงอาหาร (cooking) การทำให้น้ำแข็งละลาย (thawing) การทำแห้ง (drying) การย่าง (roasting) และการทำให้กรอบ (crisping) ส่วนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกเป็นการประยุกต์ใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังอาหาร อาหารจะเกิดความร้อนขึ้นเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าของอาหาร

ความร้อนทำให้โปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์สูญเสียสภาพธรรมชาติมีผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย โปรตีนที่สำคัญในเซลล์จุลินทรีย์ คือเอนไซม์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์ การใช้ความร้อนชื้น เช่น การนึ่งจะทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้ความร้อนแห้ง เช่น การอบที่อุณหภูมิเดียวกัน

เซลล์ของแบคทีเรียจะมีความทนทานต่อความร้อนน้อยกว่าสปอร์ และเซลล์ของแบคทีเรียต้านทานความร้อนได้น้อยกว่าเซลล์ของยีสต์และรา ในขณะที่สปอร์ของแบคทีเรียต้านทานความร้อนได้ดีกว่าสปอร์ของยีสต์และรา ช่วงการเจริญของจุลินทรีย์มีผลต่อความทนทานต่อความร้อนแตกต่างกัน เซลล์ของแบคทีเรียจะต้านทานความร้อนได้มากที่สุด ในช่วงปลายของระยะพักตัว (lag phase) ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียขยายเซลล์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากเกิดเมตาบอลิซึมในเซลล์และจะมีความต้านทานความร้อนต่ำสุดในระยะการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (log phase) จุลินทรีย์ที่เจริญที่อุณหภูมิสูงจะต้านทานความร้อนได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่เจริญที่อุณหภูมิปกติ

การทำลายเซลล์และสปอร์ของยีสต์ด้วยความร้อนจะขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ โดยทั่วไปการใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C เป็นเวลา 10-15 นาทีจะทำลายเซลล์ได้ ส่วนความร้อนที่อุณหภูมิ 65 ^{o}C นาน 10-15 นาทีจะทำลายสปอร์ของยีสต์ได้ เซลล์และสปอร์ของเชื้อราถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C นาน 10-15 นาทีในอาหารที่เป็นกลาง สปอร์ของแบคทีเรียถูกทำลายลงเป็นจำนวน 90 % ของจำนวนทั้งหมด ใช้เวลา 4-5 นาที ที่อุณหภูมิ 121 ^{o}C ส่วนเซลล์ของแบคทีเรียถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C ขึ้นไป

จุลินทรีย์จะถูกทำลายในอาหารที่มี a_w สูงได้ง่ายกว่าจุลินทรีย์ในอาหารที่มี a_w ต่ำ องค์ประกอบของอาหารก็มีผลต่อความต้านทานความร้อนเช่นกัน จุลินทรีย์ที่อยู่ในไขมันจะมีความต้านทานความร้อนสูงกว่าจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ในไขมันจะไม่เจริญ แต่ถ้าได้รับความชื้นหรือสัมผัสกับอาหารส่วนอื่น จุลินทรีย์จะเจริญได้ ส่วนอาหารที่มีความเป็นกรด จุลินทรีย์จะมีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทนทานต่อความร้อนน้อยลงกว่าอาหารที่เป็นกลาง การใช้ความร้อนควบคู่กับสารป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์จะเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าจุลินทรีย์ได้มากกว่าใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่ง

อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่อาหาร มีผลต่อความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์เช่นกัน การให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำลายสปอร์ได้ ถึงแม้ว่าจะใช้เวลานาน ก็ไม่สามารถทำลายสปอร์ได้ กลับเป็นการกระตุ้นสปอร์ให้มีการงอกและเจริญเร็วขึ้น ถ้าอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญ โดยทั่วไปการใช้อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพสูงทำให้ใช้เวลาน้อยลง ส่วนเวลาที่ให้ความร้อนจะขึ้นอยู่กับขนาดของบรรจุภัณฑ์ของอาหารมากกว่า (รังสินี, 2550)

ความร้อนสามารถทำลายวิตามินได้หลายชนิด เช่น วิตามินบี รวมทั้งสารให้กลิ่นและสารสี เช่น คลอโรฟิลล์ แต่การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้น (high temperature short time, HTST) จะมีผลกระทบต่อสารอาหารน้อย ดังนั้นควรจะเลือกใช้เวลาและอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อรักษาสารอาหาร สารสี และสารให้กลิ่นให้คงเหลืออยู่มากที่สุด (นิธิยา, 2544)

2.2 การพาสเจอไรซ์

การพาสเจอไรซ์ เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ (100 $^{\circ}$C) เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร การพาสเจอไรซ์จะทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์บางชนิดที่ไวต่อการถูกทำลายได้ด้วยความร้อนและก่อให้เกิดโรค เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา ความร้อนที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารน้อยมาก (นิธิยา, 2544) การพาสเจอไรซ์เป็นการทำลายจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในอาหารแต่ไม่ใช่จุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร ดังนั้น อาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์แล้วเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถเก็บได้นานขึ้น ความรุนแรงของการให้ความร้อนที่มีต่อการยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหารสามารถกำหนดได้โดยค่าพีเอชของอาหาร วัตถุประสงค์หลักในการพาสเจอไรซ์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (pH > 4.5) คือ การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ส่วนวัตถุประสงค์หลักในการพาสเจอไรซ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูง (pH < 4.5) คือ การทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (วิไล, 2543) การใช้ความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ทำได้ 2 ระบบ (พรพล, 2545) ดังนี้

1. ระบบช้า อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Long Time, LTLT) เป็นระบบที่ให้ความร้อนในขั้นต่ำกว่าจุดเดือด เช่น การพาสเจอไรซ์น้ำผลไม้ที่อุณหภูมิ 65 $^{\circ}$C นาน 30 นาที (นิธิยา, 2543) แล้วทำให้เย็นทันที นับว่าเป็นวิธีที่ง่ายสามารถทำได้ในระดับครัวเรือน โดยนำอาหารที่ต้องทำการพาสเจอไรซ์ใส่ในภาชนะที่เหมาะสม ตั้งไฟให้ร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จับเวลาตามที่กำหนด หรือจะบรรจุอาหารใส่ขวดแล้วนำไปตั้งในน้ำที่ต้มให้ร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการก็ได้

2. ระบบเร็ว อุณหภูมิสูง (High Temperature Short Time, HTST) เป็นระบบที่ให้ความร้อนระดับสูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลง เช่น การพาสเจอไรซ์น้ำนมที่อุณหภูมิ 71.5 °C นาน 15 วินาที (นิธิยา, 2543) แล้วทำให้เย็นโดยเร็ว ระบบนี้มักจะเป็นแบบต่อเนื่อง เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือที่มีการออกแบบเฉพาะ โดยปล่อยให้อาหารเหลวไหลผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงระยะเวลาที่กำหนด

ในการถนอมอาหารโดยการใช้ความร้อนระดับการพาสเจอไรซ์ มีจุดประสงค์โดยภาพรวมดังต่อไปนี้ (พรพล, 2545)

1. ต้องการหลีกเลี่ยงการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น ไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีในน้ำส้ม

2. ต้องการให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีคงเดิม เช่น ไม่ต้องการให้โปรตีนเกิดการจับตัวเป็นก้อนในน้ำนม

3. ต้องการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เช่น ทำลายเชื้อ *Coxiella burnetii* ที่ทำให้เกิดโรค Q-fever ในน้ำนม

4. ทำลายจุลินทรีย์ในอาหารส่วนใหญ่ที่ไม่สามารถทนความร้อนสูงๆได้ เช่น ยีสต์และราในน้ำผลไม้และน้ำผักดอง

5. เพื่อต้องการทำลายจุลินทรีย์บางชนิดที่ขัดขวางการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการ เช่น ในการทำไวน์จะต้องการทำลายจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการเพื่อทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการในการทำไวน์เจริญได้

การเลือกอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดนั้นมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณา ได้แก่

1. องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหาร มีปัจจัยที่ต้องพิจารณา คือ

1.1 ค่าพีเอชของอาหาร อาหารที่มีพีเอชต่ำ เช่น น้ำผลไม้ ผัก และผลไม้ดอง การใช้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ก็เพียงพอในการยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากค่าพีเอชที่ต่ำมีผลช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียอยู่แล้ว

1.2 ปริมาณเกลือในอาหาร เกลือมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่เติมหรือมีปริมาณเกลือสูง เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำปลา จึงสามารถใช้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์เพื่อการทำลายจุลินทรีย์เป้าหมายและยืดอายุการเก็บรักษาได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 ปริมาณน้ำตาลในอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง เช่น นม ข้นหวาน สามารถที่จะใช้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ในการทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์เป้าหมายได้ เนื่องมาจากผลของความดันออสโมติกที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้นจะทำให้ค่า a_w ของอาหารลดต่ำลง จึงมีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้มากยิ่งขึ้นด้วย (พรพล, 2545)

2. คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหาร อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น การพาสเจอไรซ์น้ำนมที่อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลานาน (LTLT) จะมีการสูญเสียวิตามินมากกว่าการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูง ระยะเวาลาสั้น (HTST) เป็นต้น (นิธิยา, 2544)

3. ความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์และสปอร์

ความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์สามารถอธิบายได้โดย thermal death time ซึ่งหมายถึง เวลาที่ใช้ในการทำลายเซลล์หรือสปอร์ที่อุณหภูมิที่กำหนดให้และภายใต้สภาพที่จำเพาะ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการทนต่อความร้อนของจุลินทรีย์มีหลายปัจจัยด้วยกัน คือ (นิธิยา, 2544)

3.1 ชนิดของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์มีหลายชนิด หลายสปีชีส์และหลายสายพันธุ์ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการทนต่อความร้อนได้แตกต่างกัน และสปอร์ของจุลินทรีย์จะทนความร้อนได้ดีกว่าตัวเซลล์ของจุลินทรีย์

3.1.1 ความทนทานต่อความร้อนของยีสต์และสปอร์ของยีสต์ ขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธ์ของเชื้อยีสต์ ตามปกติเซลล์ของยีสต์จะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 58 ^{o}C นาน 10 - 15 นาที สปอร์ของยีสต์ส่วนใหญ่จะถูกทำลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C นาน 10 – 15 นาที แต่ยังมีสปอร์ของยีสต์บางชนิดก็สามารถทนความร้อนดังกล่าวได้ ต้องใช้ความร้อนอุณหภูมิสูงถึง 100 ^{o}C จึงจะสามารถทำลายเซลล์และสปอร์ของยีสต์ทุกชนิดได้ (วราวุฒ, 2538)

3.1.2 ความทนทานต่อความร้อนของเชื้อราและสปอร์ของเชื้อรา เชื้อราส่วนใหญ่รวมถึงสปอร์สามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C นาน 5 – 10 นาที แต่ก็มีบางสายพันธุ์สามารถต้านทานความร้อนได้สูงกว่านี้ สำหรับสปอร์ที่ไม่มีเพศ (asexual spores) จะสามารถต้านทานความร้อนได้ดีกว่าเส้นใยของเชื้อราปกติและในการทำลายสปอร์ชนิดนี้จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าที่ใช้ทำลายเส้นใยประมาณประมาณ 5 – 10 ^{o}C ในช่วงเวลาที่กำหนด (วราวุฒ, 2538)

3.1.3 ความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียและสปอร์ของแบคทีเรีย ความต้านทานความร้อนของเซลล์ของแบคทีเรียมีความแตกต่างกันอย่างมากตามสายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรีย โดยลักษณะจำเพาะที่มีผลต่อความต้านทานของแบคทีเรียสามารถจะแยกออกได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) เซลล์แบคทีเรียที่มีรูปร่างกลม (cocci) สามารถทนทานต่อความร้อนได้สูงกว่าเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นท่อน (rod shaped)

(2) แบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงนั้นมีความสามารถในการทนทานต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีก

(3) แบคทีเรียที่จับกันเป็นกลุ่มหรือที่สร้างแคปซูล (capsule) ถูกทำลายได้ยากกว่ากลุ่มที่ไม่มีการจับตัวหรือไม่สร้างแคปซูล

(4) เซลล์แบคทีเรียที่มีองค์ประกอบเป็นไขมันสูงจะถูกทำลายได้ยากกว่าเซลล์ปกติ ในขณะที่สปอร์ของแบคทีเรียนั้น สภาพในระหว่างการสร้างสปอร์ (sporulation) ก็มีผลต่อความสามารถในการทนความร้อน ซึ่งอาจทำให้ความทนทานต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}$C มีความแตกต่างกันตั้งแต่ 1 นาทีจนถึง 20 ชั่วโมงก็เป็นได้ โดยทั่วไปแล้วสปอร์ของแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการทนทานต่อความร้อนได้สูงกว่าสปอร์ของแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (วราวุฒ, 2538)

3.2. อุณหภูมิในการเจริญของจุลินทรีย์

สปอร์ที่ถูกสร้างเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความทนทานต่อความร้อนมากกว่าสปอร์ที่ถูกสร้างที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นสปอร์ที่ถูกสร้างจากจุลินทรีย์พวก thermophile มีแนวโน้มจะทนทานต่อความร้อนได้มากกว่าสปอร์ที่ถูกสร้างจากพวกมีโซไฟล์และไซโครไฟล์ (นวพร, 2549)

3.3. อายุของเซลล์จุลินทรีย์

เซลล์แบคทีเรียที่แก่ (อยู่ในระยะ stationary phase) จะทนทานต่อความร้อนได้ดีกว่าเซลล์แบคทีเรียที่อ่อนกว่า (อยู่ในระยะ logarithmic phase) เซลล์แบคทีเรียจะมีความทนทานต่อความร้อนสูงในระยะเริ่มแรกของระยะ lag phase แต่จะลดลงต่ำสุดเมื่อเซลล์เจริญเข้าสู่ระยะ log phase ในขณะที่สปอร์ที่อายุน้อยจะทนทานต่อความร้อนได้น้อยกว่าสปอร์ที่อายุมาก (นวพร, 2549)

3.4. สารละลายอาหาร

ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของสารละลายอาหารที่มีจุลินทรีย์เจริญอยู่จะมีอิทธิพลต่อความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ การให้ความร้อนกับสปอร์ที่อยู่ในน้ำกลั่น สปอร์จะทนทานต่อความร้อนมากกว่าสปอร์ที่อยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยที่น่าจะมีความสำคัญที่สุดที่มี อิทธิพลต่อการทนทานความร้อนของเซลล์และสปอร์ก็คือ พีเอชของสารละลาย นอกจากนี้ยังมีค่า a_w และตัวถูกละลายอื่นๆ ที่มีในสารละลายอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีนเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อความร้อนของจุลินทรีย์ (นวพร, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.1 ค่าพีเอชของอาหาร แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและทำให้อาหารเน่าเสียจะทนความร้อนได้ดีเมื่อค่าพีเอชของอาหารมีค่าใกล้เป็นกลาง (pH 7.0) ได้ดีกว่าเมื่อค่าพีเอชของอาหารมากกว่า 8.0 หรือต่ำกว่า 6.0 (นวพร, 2549) ส่วนยีสต์และราสามารถทนต่อสภาวะที่มีความเป็นกรดได้ แต่ทนความร้อนได้น้อยกว่าสปอร์แบคทีเรีย (นิธิยา, 2544)

3.4.2 ค่า a_w ของอาหารมีอิทธิพลต่อการทนความร้อนของ vegetative cell ของจุลินทรีย์ และการใช้ความร้อนชื้นจะมีประสิทธิภาพดีกว่าความร้อนแห้งสำหรับการทำลายสปอร์ (นิธิยา, 2544)

3.4.3 คาร์โบไฮเดรต สารประกอบอินทรีย์ชนิดนี้มีอิทธิพลต่อความทนทานความร้อนของจุลินทรีย์จากการศึกษาพบว่า ความทนทานต่อความร้อนของสปอร์ *C. botulinum* จะเกี่ยวข้องโดยตรงต่อความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในสารละลายอาหาร เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเพิ่มมากขึ้นการทนทานต่อความร้อนของสปอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ เช่น แป้ง และเพคตินที่สูงกว่าจะเพิ่มความทนทานต่อความร้อนของเซลล์และสปอร์ (นวพร, 2549)

3.4.4 โปรตีน อาหารที่มีโปรตีนสูง จะพบว่ามีส่วนช่วยให้จุลินทรีย์มีความทนทานต่อความร้อนได้ดี เพปโทน สารสกัดจากยีสต์ (yeast extract) และไข่ขาวสามารถป้องกันความร้อนให้กับเซลล์จุลินทรีย์บางชนิดได้ (นวพร, 2549)

3.4.5 ไขมัน จุลินทรีย์ที่อยู่ในสารละลายที่มีไขมันหรือน้ำมันจะถูกทำลายได้ยากเพราะน้ำมันสามารถนำความร้อนได้ไม่ดี ดังนั้นจุลินทรีย์จึงมีความทนทานต่อความร้อนมากขึ้นโดยเฉพาะในสารอาหารที่มีกรดไขมันหลายๆ ตัวต่อกันเป็นสายโซ่ยาว (long-chain fatty acid) จะป้องกันอันตรายให้เซลล์มากกว่าพวกที่มีสายโซ่สั้นของกรดไขมัน (short-chain fatty acid) (นวพร, 2549)

3.4.6 เกลือ ผลของเกลือที่มีผลต่อความทนทานความร้อนของจุลินทรีย์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือ ความเข้มข้นที่ใช้และปัจจัยอื่นๆ เกลือบางชนิดจะช่วยให้จุลินทรีย์ทนทานต่อความร้อนได้ดี แต่เกลือบางชนิดจะทำให้เซลล์ไวต่อความร้อนซึ่งถูกทำลายได้ง่าย เกลือจะช่วยลดค่า a_w และในขณะเดียวกันจะช่วยเพิ่มความต้านทานความร้อนด้วย มีรายงานว่า การใส่สาร $CaCl_2$ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *Bacillus megaterium* จะทำให้สปอร์ของแบคทีเรียชนิดนี้ทนต่อความร้อนได้ดี แต่ถ้าใช้สาร แอล-กลูตาเมต (L-glutamate), แอล-โพรลีน (L-proline) หรือการเพิ่มปริมาณฟอสเฟตในอาหาร ทำให้เซลล์ถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่ายขึ้น (นวพร, 2549)

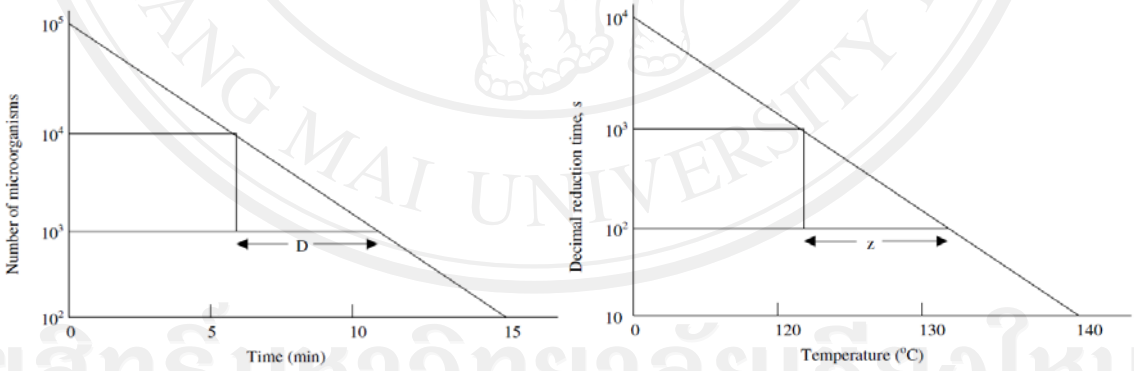
3.5. จำนวนของจุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ยิ่งมาก ระดับการทนทานต่อความร้อนยิ่งสูง มีรายงานว่า กระบวนการป้องกันความร้อนโดยจุลินทรีย์ส่วนมากเกิดจากการผลิตสารที่ต้านทานความร้อนโดยหลั่งออกมาจากเซลล์ และสารประกอบที่พบนอกเซลล์ในอาหารเลี้ยงเชื้อส่วนใหญ่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเป็นโปรตีนธรรมชาติที่พบในจุลินทรีย์ ซึ่งช่วยในการปกป้องความร้อนให้กับเซลล์ ซึ่งจัดเป็นความทนทานต่อความร้อนตามธรรมชาติของจุลินทรีย์ (นวพร, 2549)

3.6. Decimal reduction time (D-value) และ thermal death time (Z-value)

D-value คือ เวลา (นาที) ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ให้ลดลง 90 % หรือ 1 log cycle ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดภายใต้ระดับอุณหภูมิที่กำหนดจำเพาะ (ภาพ 2.1a) D-value เป็นตัวกำหนดถึงระดับการให้ความร้อนเพื่อให้อาหารมีความคงตัวด้านจุลินทรีย์ เช่น การพาสเจอไรซ์น้ำนมจะใช้ D-value = 60 และ 12 log cycle reduction ในการลดจำนวนเชื้อ *Coxiella burnetii* จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมี D-value แตกต่างกัน หาก D-value สูง แสดงว่าจุลินทรีย์นั้นทนทานต่อความร้อนได้ดี จึงต้องใช้เวลาในการทำลายนาน การทำลายจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญ เซลล์ของจุลินทรีย์ถูกทำลายได้เร็วขึ้นเมื่อเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น D-value ที่อุณหภูมิต่างกันก็จะแตกต่างกันด้วย ที่เรียกว่า thermal death time curve (TDT) (ภาพ 2.1b) ค่าความลาดชัน (slope) ของ TDT curve เรียกว่า Z-value ซึ่งหมายถึง จำนวนองศาเซลเซียสของอุณหภูมิที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเวลาของ D-value ลง 10 เท่า (decimal reduction time) ดังนั้นทั้ง D-value และ Z-value จึงมีประโยชน์ในการบ่งชี้สถานะความคงทนต่อความร้อนของเอนไซม์ จุลินทรีย์และสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบของอาหาร (นิธิยา, 2544)



(a) **(b)**

ภาพ 2.1 (a) Thermal death rate curve (D-value) (b) thermal death time curve (Z-value) (ที่มา : Ahmed and Shivhard, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การพาสเจอไรซ์อาหารสามารถที่จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การพาสเจอไรซ์อาหารที่ผ่านการบรรจุแล้ว

การพาสเจอไรซ์อาหารเหลวบางชนิด เช่น เบียร์ หรือน้ำผลไม้ จะทำการพาสเจอไรซ์หลังจากการบรรจุอาหารลงในภาชนะบรรจุแล้ว อาหารเหลวบรรจุในภาชนะที่เป็นแก้ว การใช้ความร้อน

อาจจะเกิด thermal shock ทำให้ขวดแตกได้ ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนและภาชนะบรรจุไม่ควรเกิน 20 °C สำหรับอาหารที่บรรจุในภาชนะที่เป็นพลาสติกหรือโลหะสามารถทำการพาสเจอไรซ์โดยการใช้ไอน้ำผสมอากาศ (steam-air mixture) หรือใช้น้ำร้อนก็ได้และจะเกิดปัญหา thermal shock น้อยมาก หลังจากนั้นทำการลดอุณหภูมิของอาหารให้ลดลงเหลือ 40 °C เพื่อระเหยเอาน้ำที่ผิวนอกของภาชนะออกจนแห้ง ทำให้ภาชนะบรรจุไม่เกิดเป็นสนิมที่ฝาขวดหรือกระป๋องและช่วยให้ติดฉลากได้ง่ายด้วย (นิธิยา, 2544) กระบวนการนี้มีการทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่อง เครื่องมือที่ง่ายที่สุดจะประกอบด้วยอ่างน้ำร้อนซึ่งจะให้ความร้อนแก่อาหารที่บรรจุแล้วและวางในภาชนะที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นจะมีการปล่อยน้ำเย็นเข้าไปเพื่อทำให้อาหารเย็นลง สำหรับในระบบต่อเนื่องจะมีสายพานเพื่อลำเลียงอาหารที่บรรจุแล้วเข้าไปในหน่วยให้ความร้อนและลำเลียงต่อไปในหน่วยให้ความเย็น (วิไล, 2543)

2. การพาสเจอไรซ์อาหารเหลวก่อนการบรรจุ

การพาสเจอไรซ์อาหารเหลวบางชนิดในปริมาณไม่มากนักอาจใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดปาดผิวหรือใช้หม้อเปิดในการต้มก็ได้ ในขณะที่การพาสเจอไรซ์ของเหลวที่มีความหนืดต่ำก่อนการบรรจุในปริมาณมาก เช่น นม ผลิตภัณฑ์นม น้ำผลไม้ ไข่เหลว เบียร์ และไวน์ นิยมใช้เครื่องที่ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น สำหรับน้ำผลไม้ ไวน์ ผลิตภัณฑ์บางอย่างจำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดอากาศออกเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา และข้อดีของการพาสเจอไรซ์โดยใช้การแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับการพาสเจอไรซ์อาหารที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุพอสรุปได้ดังนี้ คือ (วิไล, 2543)

1) เป็นการให้ความร้อนที่มีความทั่วถึงกว่า

2) เป็นเครื่องมือที่ใช้ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาน้อยกว่า

3) ต้องการพื้นที่และแรงงานน้อยกว่า

4) มีความยืดหยุ่นกว่า กล่าวคือ อุปกรณ์สามารถประยุกต์ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด

5) สามารถควบคุมเงื่อนไขหรือสภาวะในการพาสเจอไรซ์ได้ดีกว่า

เนื่องจากการพาสเจอไรซ์เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ดังนั้นจึงมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามอายุการเก็บรักษาของอาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ก็สั้นเพียง 2 – 3 วันเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อนซึ่งสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานหลายเดือน การพาสเจอไรซ์มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่ออาหาร (นิธิยา, 2543) ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ผลต่อสี กลิ่น และรสชาติ น้ำผลไม้บางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยเอนไซม์โดยเฉพาะเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase, PPO) ซึ่งจะเกิดได้เร็วขึ้นในภาวะที่มีออกซิเจน แต่โดยปกติแล้วมักจะมีการไล่อากาศออกจากน้ำผลไม้ก่อนการพาสเจอไรเซชัน ซึ่งจะช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ ส่วนน้ำนมที่มีสีขาวขึ้นเป็นผลเนื่องจากการโฮโมจิไนซ์ ส่วนการพาสเจอไรซ์ไม่มีผลใดๆ ต่อสีของน้ำนม สารสีในผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์มักไม่ค่อยได้รับกระทบจากการพาสเจอไรซ์ สำหรับสารให้กลิ่นอาจมีการสูญเสียบ้าง และอาจเกิด cooked flavour ได้ ผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดมีการเติมกลิ่นสังเคราะห์ลงไปทดแทนกลิ่นที่หายไป สำหรับน้ำนมเมื่อได้รับความร้อนจะมีการสูญเสียสารระเหยบางชนิด ซึ่งจะช่วยกำจัดกลิ่นหญ้าแห้งหรือกลิ่นที่ผิดปกติของน้ำนมให้ลดน้อยลงได้

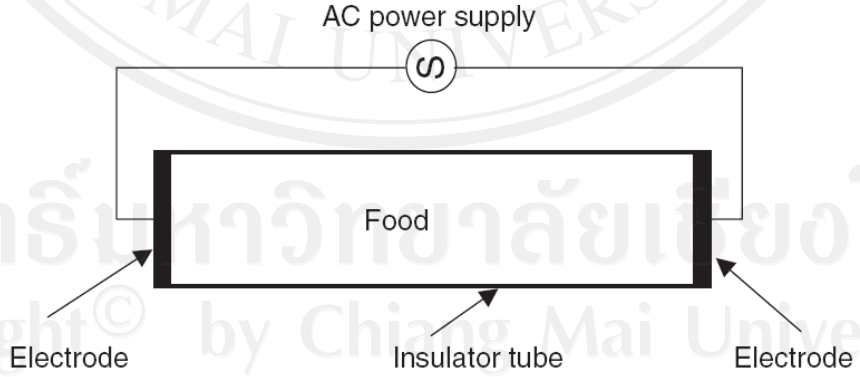
2. การพาสเจอไรซ์น้ำผลไม้จะทำให้สูญเสียวิตามินซีและบีต้า-แคโรทีน การสูญเสียวิตามินบางชนิดอาจลดน้อยลงได้ หากมีการไล่อากาศออกเสียก่อนการพาสเจอไรซ์เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สำหรับน้ำนมจะมีการสูญเสียซีรั่มโปรตีน คือ แลคโตอัลบูมินและแลคโตกลอบูลิน ประมาณ 5 % และมีการสูญเสียวิตามินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (นิธิยา, 2543)

2.3 การให้ความร้อนแบบโอห์มิก (ohmic heating)

การให้ความร้อนแบบโอห์มิก เป็นวิธีการทำให้อาหารร้อนโดยการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating electrical current, AC) ผ่านโดยตรงไปยังผลิตภัณฑ์อาหารผ่านทางอิเล็คโทรด (electrodes) อาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไฟฟ้า ทำให้อาหารที่ได้รับกระแสไฟฟ้าเกิดความร้อนขึ้น การให้ความร้อนแบบโอห์มิกมีความแตกต่างจากวิธีการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าแบบอื่น คือ (1) การให้ความร้อนแบบโอห์มิกนั้น อาหารจะสัมผัสกับอิเล็คโทรดโดยตรงแต่ถ้าเป็นวิธีอื่น เช่น การให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ อาหารจะไม่มีการสัมผัสกับอิเล็คโทรดแต่การทำให้เกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ อาหารจะถูกทำให้ร้อนด้วยการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟ (2) การให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะใช้ความถี่ของกระแสไฟฟ้าได้ไม่มีขีดจำกัด ในขณะที่การใช้รังสีหรือการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟมีการกำหนดระดับความถี่ (Vicente *et al*., 2006) โดยหลักการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถแสดงได้ดังภาพ 2.2 กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนั้นมีความแตกต่างกับกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมโดยการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เช่น การใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้ออาหารบรรจุกระป๋อง ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูงสุดระดับหนึ่งในระบบ ในขณะที่กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจะไม่มีขีดจำกัด ทำให้กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกมีข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการให้ความร้อนวิธีอื่น (ธีรพร, 2550) การให้ความร้อนแบบโอห์มิกไม่ได้เป็นเทคโนโลยีใหม่ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในอุตสาหกรรมของการพาสเจอร์ไรซ์น้ำนมใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอนต้นของศตวรรษที่ 20 อย่างไรก็ตามในระหว่างปี ค.ศ.1930 – 1960 ได้มีการยกเลิกใช้ เนื่องจากการให้ความร้อนแบบโอห์มิกถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีต้นทุนในการผลิตที่สูง นอกจากนั้นยังมีการจำกัดการใช้กระแสไฟฟ้าและการขาดแคลนวัตถุดิบที่เหมาะสมในการสร้างอิเล็กโทรด และยังพบว่าการใช้กระแสไฟฟ้าในการฆ่าเชื้อในอาหารในช่วงเวลาก่อนหน้านี้แต่เดิมจะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current, DC) จากแหล่งไฟฟ้า (D.C. supply) ทำให้เกิดปฏิกิริยาอิเลคโตรไลซิส (electrolysis) บนอิเล็คโทรด และยังต้องใช้อิเล็คโทรด ชนิดที่มีราคาแพงเกินไปอีกด้วย (ธีรพร, 2550) ต่อมาในปี ค.ศ.1980 การให้ความร้อนแบบโอห์มิกได้รับการสนใจอีกครั้งหนึ่ง เมื่อมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาการสเตอริไลซ์อาหารผสมที่มีชิ้นอาหารขนาดใหญ่กับอาหารเหลวโดยการให้ความร้อนแบบโอห์มิกซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง(Lima, 2007) ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มิกกลับมาได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกมีคุณภาพที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนตามวิธีปกติ เช่น การพาความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นเครื่องให้ความร้อนของระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถต่อเชื่อมร่วมกับอุปกรณ์ของกระบวนการสเตอริไลซ์หรือการแปรรูปอาหารอื่นๆได้ ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มิกอย่างกว้างขวางมากในหน่วยปฏิบัติการของกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การลวก การระเหย การทำแห้ง การหมัก การพาสเจอไรซ์ และ การสเตอริไลซ์ เป็นต้น การให้ความร้อนแบบโอห์มิกนิยมใช้แพร่หลายกันมากทั้งในยุโรป เอเชียและอเมริกาใต้ โดยเฉพาะการผลิตอาหารประเภทอาหารเสริม อาหารที่มีกรดต่ำและสูง เป็นต้น (Vicente *et al*., 2006)



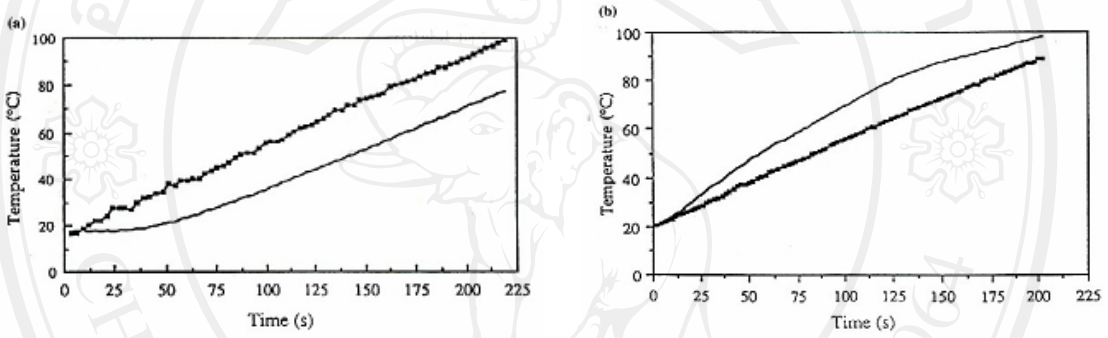
ภาพ 2.2 หลักการของการทำให้เกิดความร้อนแบบโอห์มิก

(ที่มา : Ruan *et al*., 2002)

หลักการและส่วนประกอบพื้นฐานของการให้ความร้อนแก่อาหารโดยกระบวนการโอห์มิกแสดงในภาพ 2.2 เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังอาหารจะทำให้อาหารร้อนขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระแสไฟฟ้าที่ใช้เป็นกระแสไฟฟ้าสลับความถี่ต่ำ (low frequency alternating current) ประมาณ 50 – 60 เฮิร์ตซ์ (Hz) โดยผ่านจากอิเล็คโทรดที่ถูกออกแบบและผลิตขึ้นโดยเฉพาะเพื่อการให้กระแสไฟฟ้าแก่อาหารโดยไม่มีการปนเปื้อนจากวัสดุที่ใช้ทำอิเล็คโทรด เมื่ออาหารที่เป็นของแข็งและของเหลวสัมผัสได้รับกระแสไฟฟ้าจะทำให้อาหารนั้นร้อนขึ้นเนื่องจากความต้านทานของอาหาร (electrical resistance) ซึ่งตามทฤษฎีแล้วถ้าอาหารทั้งสองเฟส(ของแข็งและของเหลว) มีความต้านทานไฟฟ้าเท่ากันจะทำให้อัตราการเกิดความร้อนเท่ากัน จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการเกิดความร้อนในชิ้นอาหารที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนตามวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป (conventional) และแบบโอห์มิก (ธีรพร, 2550) ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพ 2.3



ภาพ 2.3 การเกิดความร้อนในชิ้นอาหารของแข็ง (เส้นบาง) และในของเหลว (เส้นหนา)ในกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (a) และแบบโอห์มิก (b)
(ที่มา : ธีรพร, 2550)

จากกราฟในภาพ 2.3 จะเห็นว่าเมื่อทำการให้ความร้อนแก่อาหารตามวิธีที่ใช้โดยทั่วไป อุณหภูมิของชิ้นอาหารที่เป็นของแข็ง จะเพิ่มขึ้นช้ากว่าอุณหภูมิของส่วนที่เป็นของเหลว ในขณะที่เมื่อทำการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนั้นพบว่าอุณหภูมิของส่วนที่เป็นของชิ้นอาหารที่เป็นของแข็งจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าในส่วนที่เป็นของเหลว ดังนั้น จึงสามารถนำหลักการนี้ไปใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารที่มีลักษณะเป็นอาหารเหลวที่มีชิ้นอาหารที่เป็นของแข็งปนอยู่ด้วยได้เป็นอย่างดี

ปัจจัยที่มีสำคัญในการให้ความร้อนแบบโอห์มิก คือ

1. สมบัติของผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการให้ความร้อนแบบโอห์มิกแก่อาหารก็คือ สมบัติการนำไฟฟ้าของอาหารและส่วนผสมของอาหาร โดยค่าการนำไฟฟ้าของอาหารนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\sigma = \frac{L}{A} \bullet \frac{1}{R}$$

โดยที่ σ คือ ค่าการนำไฟฟ้า (S/m) A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m^2) L คือ ความยาวของตัวอย่าง (m) และ R คือ ความต้านทานไฟฟ้า (ohm) (Lima, 2007)

องค์ประกอบของอาหารจะมีบทบาทต่อสภาพการนำไฟฟ้าของอาหาร เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่ออาหารมีสารประกอบพวกไอออนิก (เกลือ) กรดและความชื้น ในขณะที่สภาพการนำไฟฟ้าของอาหารจะลดลงเมื่ออาหารมีไขมัน น้ำมันและแอลกอฮอล์ โดยสภาพการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและสภาพการนำไฟฟ้าจะลดลงเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสภาพการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำและรูปแบบของคลื่นไฟฟ้ามีอิทธิพลต่อค่าการนำไฟฟ้าของอาหาร กล่าวคือ คลื่นไฟฟ้าแบบฟันเลื่อยสามารถทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ในบางกรณี ในขณะที่คลื่นไฟฟ้าแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง อัตราการให้ความร้อนของการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้าของอาหารและชนิดของอาหาร โดยที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถควบคุมได้ด้วยการปรับช่องว่างระหว่างอิเล็คโทรดหรือการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าของอาหารเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด อย่างไรก็ตามสามารถจะปรับสมบัติการนำไฟฟ้าของอาหารได้โดยการการเติมสารพวกอิเล็กโทรไลต์ (electrolytes)(Ruan *et al*., 2002)

Sarang *et al*. (2008) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพการนำไฟฟ้าระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มิกของผลไม้สด 6 ชนิด คือ แอปเปิ้ลแดง มะตูม ท้อ สาลี่ สับปะรด และสตรอเบอรี่ รวมทั้งเนื้อสัตว์ 3 ชนิด คือ เนื้อไก่ เนื้อหมู และเนื้อวัว โดยทำการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิในการสเตอริไลซ์ (25 – 140 ^{o}C) พบว่าสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างผลไม้สดและเนื้อสัตว์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยผลไม้จะมีสภาพการนำไฟฟ้าต่ำกว่าสภาพการนำไฟฟ้าของเนื้อสัตว์ ในตัวอย่างผลไม้ พบว่า ท้อและสตรอเบอรี่มีสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่า แอปเปิ้ล สาลี่ และสับปะรด ในขณะที่ สภาพการนำไฟฟ้าของเนื้อสัตว์ที่ไม่มีไขมันมีสภาพการนำไฟฟ้ามากกว่าเนื้อสัตว์ที่มีไขมันแทรกอยู่

Icier *et al*. (2006) ศึกษาผลของอุณหภูมิและสภาพนำไฟฟ้าในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มิกของซุปผลไม้ 2 ชนิด คือ ซุปเอพริค็อทและซุปท้อ พบว่า อุณหภูมิของซุปผลไม้จะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าของซุปผลไม้ ซึ่งซุปเอพริค็อทจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงกว่าซุปท้อในทุกระดับความเข้มสนามไฟฟ้าและซุปผลไม้เกิดฟองขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 ^{o}C ที่ความเข้มสนามไฟฟ้าระดับสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Shirsat *et al*. (2004) ศึกษาสภาพการนำไฟฟ้าของเนื้อหมูที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ พบว่า เนื้อหมูที่ไม่มีไขมันมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหมูที่มีไขมัน ในขณะที่ เนื้อหมูที่มีไขมันแทรกอยู่นั้น ถ้าเปอร์เซ็นต์ของไขมันมีค่าสูงสภาพการนำไฟฟ้าก็จะลดลงตามเปอร์เซ็นต์ของไขมันที่เพิ่มขึ้น

Castro *et al*. (2004) ศึกษาค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มิกของเนื้อสตรอเบอรี่และผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี่ (strawberry topping , strawberry filling และ strawberry-apple sauce) พบว่า อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าของทุกผลิตภัณฑ์ โดยเนื้อสตรอเบอรี่และ strawberry filling จะมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ปนิธัตถ์ (2545) ศึกษาการให้ความร้อนแบบโอห์มิกเพื่อทำการพาสเจอไรซ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มผสมเนื้อสับปะรด โดยศึกษาชนิดของวัสดุที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กปลอดสนิมเบอร์ 304, 316 และไทเทเนียม ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 และ 40 โวลต์/ซม. พบว่า วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรดไม่มีผลต่อสภาพนำไฟฟ้าของนมเปรี้ยวแต่ความเข้มสนามไฟฟ้ามีผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าของนมเปรี้ยว โดยสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และปริมาณเนื้อสับปะรดมีผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าของนมเปรี้ยวผสมเนื้อสับปะรด โดยที่สภาพการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นในช่วง 5 – 20 % (w/w)

สำหรับสมบัติอื่นของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นอาจมีผลต่อการกระจายของอุณหภูมิ ได้แก่ ความหนาแน่นและ specific heat ของผลิตภัณฑ์อาหาร เมื่อส่วนของของเหลวและของแข็งมีสภาพการนำไฟฟ้าที่เหมือนกัน สภาพการนำความร้อนจะต่ำลงเมื่อความหนาแน่นและ specific heat มีค่าสูง ในขณะที่ความหนืดของของเหลวมีอิทธิพลต่อการให้ความร้อนแบบโอห์มิก คือ อาหารที่มีความหนืดของของเหลวที่สูงจะเกิดการร้อนที่เร็วกว่าอาหารที่มีความหนืดของของเหลวต่ำเมื่อนำไปให้ความร้อนแบบโอห์มิก (Lima, 2007)

2. เนื้อสัมผัสของอาหาร

อาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปจำเป็นต้องมีการประเมินค่าสมบัติทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพดีขึ้นนั้นมาจากการลดระยะเวลาในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ มีผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการจำนวนมากที่ชี้ให้เห็นว่า เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มิกมีศักยภาพที่จะรักษาคุณภาพตลอดจนอายุการเก็บรักษาของอาหารได้ (shelf-stable food)

Ozkan *et al*. (2004) แสดงให้เห็นว่าแฮมเบอร์เกอร์ที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการพาความร้อนร่วมกับการให้ความร้อนแบบโอห์มิกมีคุณภาพและสมบัติไม่แตกต่างกับแฮมเบอร์เกอร์ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบพาความร้อนตามวิธีการดั้งเดิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. เจลาติไนเซชัน (gelatinization)

เจลาติไนเซชันของสตาร์ชมีอิทธิผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านนั้น แสดงให้เห็นว่า การลดลงของค่าการนำไฟฟ้าของอาหารจะขึ้นอยู่กับระดับของเจลาติไนเซชัน (degree of gelatinization) และยังพบว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถทำให้เกิดเจลที่มีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าการให้ความร้อนแบบพาความร้อน (วิธีการให้ความร้อนแก่อาหารดั้งเดิม) เนื่องจากการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถทำให้อาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้อีกด้วย (Lima, 2007)

4. การสร้างความร้อน (heat generation)

ในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะมีความร้อนถูกสร้างขึ้นภายในอาหาร ซึ่งไม่สามารถรู้ถึงรูปแบบที่แน่ชัดได้ ดังนั้นการทำนายสมการเพื่อประมาณค่า heat generation จึงมีความสำคัญเพื่อต้องการตอบคำถามที่เป็นปัญหาในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิก โดยคำถามที่ต้องหาคำตอบคือ (1) cold spot ตรงใจกลางของผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ตรงไหน (2) วิธีไหนที่มีความรุนแรงเพียงพอที่จะส่งผ่านเข้าไปใน cold spot ได้ (3) แน่ใจได้อย่างไรว่าวิธีนั้นมีความรุนแรงเพียงพอ โดยคำตอบของปัญหาเหล่านั้นคือ อัตราการสร้างความร้อน (rate of heat generation) สภาพการนำไฟฟ้าของส่วนประกอบของอาหารและทิศทางการไหลของอาหารผ่านเข้าในส่วนให้ความร้อนของกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิก (Lima, 2007)

ข้อดีของการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่สามารถเห็นได้ชัด คือ ระยะเวลาการให้ความร้อนสั้นกว่าวิธีอื่น อาหารจะได้รับความร้อนค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งอาหารที่เป็นของแข็งหรือของแข็งผสมรวมอยู่กับของเหลวหรืออาหารที่มีความข้นหนืดสูงและสามารถจะปรับเปลี่ยนอัตราการให้ความร้อนได้ง่ายโดยการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (นิธิยา, 2544) ข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือ การให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนที่ผิว จึงลดโอกาสที่จะเกิดคราบที่ผิว (deposit formation) ทำให้ลดการส่งถ่ายอนุภาคที่ไหม้ไปยังผลิตภัณฑ์สุดท้ายและไม่จำเป็นต้องอาศัยการกวนที่ทำให้เกิดการสูญเสียลักษณะเฉพาะของชิ้นอาหาร (สมบัติ, 2550) และเมื่อนำกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกมาเปรียบเทียบกับกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมนั้น พบว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกมีข้อได้เปรียบหลายอย่างด้วยกัน ได้แก่ (สมบัติ, 2550)

- สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารซึ่งมีรสชาติสดกว่าและมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่า
- สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เพิ่มมูลค่าสูงขึ้นได้ (high added value)
- ให้ความร้อนในระบบการไหลต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้พื้นผิวในการถ่ายเทความร้อน
- เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อการเคลื่อนที่มีแรงเฉือนเกิดขึ้น (shear sensitive)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ความร้อนเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ของแข็งโดยไม่ขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนผ่านของเหลว

- การเดินเครื่องในระบบมีความเงียบ ต้นทุนในการบำรุงรักษาต่ำ

- กระบวนการง่ายต่อการควบคุมและสามารถเปิดหรือปิดได้ทันที

- ประหยัดต้นทุนในการแปรรูปและการบรรจุ

- ประยุกต์ใช้กับภาชนะบรรจุได้หลายประเภท

ผลกระทบของการให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่มีต่อองค์ประกอบของอาหาร (Rahman, 1999)

1. ผลที่มีต่อจุลินทรีย์และเอนไซม์

ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้โดยทำให้เกิดรูหรือเรียกว่า electroporation ที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ในขณะที่ ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้แต่ต้องใช้เวลานานขึ้น

Sastry (1994) พบว่า ภายใต้สภาวะของการให้ความร้อนแบบโอห์มิก ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงหรือระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำและใช้เวลานานเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อการทำให้เกิดรูที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ต้องใช้ร่วมกับอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจึงจะมีผลทำให้จุลินทรีย์ตายได้

Mizrahi *et al*. (1975) ศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการให้ความร้อนจากกระแสไฟฟ้ากับซังข้าวโพด พบว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มิกที่เวลาน้อยกว่า 3 นาที สามารถยับยั้งปฏิกิริยา peroxidase ได้สมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้การลวกในน้ำเดือดนาน 17 นาที

Icier *et al*. (2006) ศึกษาการให้ความร้อนแบบโอห์มิกเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสและการเปลี่ยนแปลงของสีในระหว่างการลวกถั่วในการทำซุปถั่ว แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับการลวกด้วยวิธีดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C พบว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มิกเพื่อทำการลวกถั่วที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 30 โวลต์/ซม. และมากกว่าสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสและใช้เวลาน้อยกว่าการลวกด้วยวิธีดั้งเดิม ในขณะที่ ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 โวลต์/ซม. สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสโดยใช้เวลาน้อยที่สุดและมีคุณภาพสีดีที่สุด

Icier *et al*. (2008) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มิกกับน้ำองุ่น (grape juice) พบว่า ที่อุณหภูมิ 60 ^{o}Cหรือต่ำกว่าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 40 โวลต์/ซม. และที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 20 และ 30 โวลต์/ซม. กิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. Electroosmosis

Schreier *et al.* (1993) พบว่า การแพร่ของเบตานีนจากบีทรูทในระหว่างการให้ตวามร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ 50 Hz ดีกว่าในระหว่างการให้ความร้อนแบบปกติ การแพร่ที่เพิ่มขึ้นในการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าอาจจะมีผลทำให้การขนส่งผ่านทางเซลล์เมมเบรนที่เพิ่มขึ้นและจากสารละลายที่บรรจุอยู่และไอออนในสารละลายที่ทำหน้าที่เหมือนกับกระแสไฟฟ้า การให้ความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเนื้อเยื่อพืชเพื่อทำให้เกิดรูของเซลล์เมมเบรนและทำให้การซึมผ่านเพิ่มขึ้น ในบางกรณีการสูญเสียของแข็งที่สามารถละลายได้ในระหว่างการลวกส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลวกโดยการใช้น้ำร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานาน ดังนั้นผักที่มีขนาดใหญ่จะทำการตัดแต่งให้เป็นรูปสีเหลี่ยมลูกเต๋าก่อนการนำไปลวกซึ่งทำให้พื้นที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่จะสัมผัสกับน้ำร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อพื้นที่ผิวหน้าของอาหารเพิ่มขึ้น การสูญเสียของของแข็งที่สามารถละลายได้ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

Mizrahi (1996) รายงานว่า การสูญเสียของแข็งที่สามารถละลายได้จะลดลงได้เมื่อทำการลวกอาหารด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มิก เนื่องจากการลวกอาหารโดยวิธีโอห์มิกไม่จำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนแก่อาหารและเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาสั้น

3. ผลที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties)

Yongsawatdigul *et al.* (1995) พบว่า สมบัติเจลของ Pacific whiting surimi จะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิก ส่วน Surimi ที่ไม่มีตัวยับยั้งเอนไซม์หลังจากเก็บรักษาที่ 55 ^{o}C และนำมาให้ความร้อนที่ 90 ^{o}C อย่างช้าๆใน water bath จะมีคุณภาพเจลที่ต่ำลง ในขณะที่ เจลที่ไม่มีตัวยับยั้งเอนไซม์หลังจากเก็บรักษาที่ 55 ^{o}C เช่นกัน และนำมาผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สมบัติของเจล (shear stress และ strain) เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับเจลที่ถูกให้ความร้อนแบบปกติ ซึ่งการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะทำให้ไมโอซินและแอคตินเกิดการเสื่อมเสียน้อยมาก

Bansal and Chen (2006) ศึกษาการเกิด fouling ของนมในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มิก พบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โปรตีนในนมเสียสภาพและไหลมารวมกัน ทำให้เกิด fouling ได้ แต่เมื่อใช้ความถี่ที่สูงขึ้น (10 kHz) จะสามารถลดการ fouling ของนมได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความถี่ตามปกติ (50 Hz)

4. ผลที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ปัจจุบันการให้ความร้อนแบบโอห์มิกเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการสเตอริไลซ์และการพาสเจอไรซ์ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ทั้งที่มีค่าพีเอชต่ำและค่าพีเอชสูง จะถูกเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และพบว่า ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่น และสารอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ใกล้เคียงกับของสด ซึ่งคุณสมบัติของอาหารที่แปรรูปโดยผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถเทียบเคียงหรืออาจจะดีกว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการแบบวิธีดั้งเดิม เช่น การแช่เยือกแข็ง การกลั่น และกระบวนการทำให้ปลอดเชื้อ เป็นต้น

Imai *et al*. (1995) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแข็งในหัวไชเท้าขาวที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิก พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการต้มด้วยน้ำร้อนจะมีความนุ่มทั้งข้างในและข้างนอก ในขณะที่ ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนั้น ข้างนอกของตัวอย่างจะมีความแข็งเกือบจะเหมือนตัวอย่างสดตามธรรมชาติ แต่ข้างในของตัวอย่างจะนุ่ม

กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการฆ่าเชื้ออาหารได้หลายรูปแบบ (ธีรพร, 2550) ได้แก่

1. ใช้ร่วมกับกระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (aseptic processing) สำหรับอาหารที่มีมูลค่าสูงและอาหารพร้อมบริโภคโดยสามารถเก็บรักษาและขนส่งที่อุณหภูมิห้อง
2. ใช้เพื่อการพาสเจอไรซ์อาหารเหลวที่มีชิ้นอาหารปนอยู่เพื่อใช้เป็นไส้ใน (hot filling) ของอาหาร
3. ใช้เพิ่มระดับอุณหภูมิของอาหารก่อนนำอาหารนั้นไปฆ่าเชื้อต่อโดยวิธีการแบบดั้งเดิม (อาหารบรรจุกระป๋อง)
4. ใช้ในการพาสเจอไรซ์อาหารพร้อมบริโภคที่มีความสะอาดและมีมูลค่าสูง โดยสามารถเก็บรักษาและขนส่งโดยการแช่เย็น

เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาและความคงตัวสูง (shelf-stable product) ซึ่งเป็นคุณภาพที่ไม่สามารถหาได้จากกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม การให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภทด้วยกัน (Vicente *et al*., 2006) เช่น

1. ผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อ

ในประเทศฟินแลนด์ ปี ค.ศ. 1970 มีการทดลองการใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มิกในผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อเป็นแห่งแรกแต่เกิดความยุ่งยากในการใช้ทำให้โครงการถูกยกเลิกไป ต่อมาภายหลังในปี ค.ศ. 1990 ประเทศฝรั่งเศสประสบความสำเร็จในโครงการการที่มีการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสำหรับการปรุงอาหารประเภทตับ (liver pate) และแฮมโดย The Meat Institute Development Association (ADIV) และ Electricite de France (EDF) โดยการประยุกต์ใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มิกครั้งแรกในกระบวนการการละลายน้ำแข็งของอาหารแช่เยือกแข็งซึ่งวิธีการละลายน้ำแข็งแบบดั้งเดิมไม่สามารถรักษาคุณค่าทางอาหารของอาหารไว้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Wang *et al.* (2000) ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มิกกับตัวอย่างเนื้อแช่แข็งเพื่อทำการละลายน้ำแข็งซึ่งผลที่ได้คือสามารถละลายน้ำแข็งได้สม่ำเสมอและรวดเร็ว ดังนั้นสมบัติของผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น สีและพีเอชจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงและผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพดีเนื่องมาจากอัตราการละลายน้ำแข็งที่สูง

Piette and Brodeur (2001) ได้ใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มิกในการปรุงอาหารประเภทผลิตภัณฑ์เนื้อ (ไส้กรอกและแฮม) พบว่าการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถลดเวลาในการปรุงอาหารประเภทผลิตภัณฑ์เนื้อที่ใช้เกลือในการถนอมอาหารลงได้ เช่น แฮม 1 กิโลกรัมจะใช้เวลาในการปรุงอาหารน้อยกว่า 2 นาที แต่อย่างไรก็ตามการปรุงอาหารที่ใช้เวลาอย่างรวดเร็วจะไม่สามารถลดปริมาณแบคทีเรียได้จนถึงระดับที่ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยได้

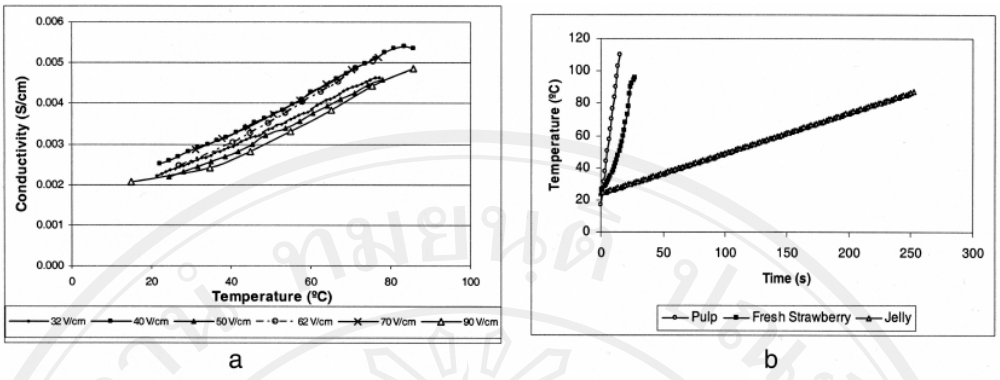
2. ผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้และผัก

Castro *et al.* (2003) ได้ทดสอบการให้ความร้อนแบบโอห์มิกกับผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี่หลายชนิด จากผลการทดลองพบว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มิกสามารถทำให้อัตราการให้ความร้อนสูงขึ้นได้แต่อัตราการให้ความร้อนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ ยิ่งไปกว่านั้น ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นสามารถทำให้อัตราการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นได้ (ดูจากภาพ 2.4a และ b) และจากภาพ 2.5a ความเหมาะสมของการให้ความร้อนแบบโอห์มิกสำหรับผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี่มีความแตกต่างกันที่ความเข้มข้นของของแข็งหรือค่า Brix อัตราการให้ความร้อนจะลดลงพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมทั้งของแข็งและของเหลวแต่อัตราการให้ความร้อนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากการสังเกตผลการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งที่สูง (>20 % w/w) และปริมาณน้ำตาลที่มี ^{o}Brix มากกว่า 40 ^{o}Brix จะมีอัตราการให้ความร้อนลดต่ำลงเมื่อใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มิก (ดูจากภาพ 2.5b)

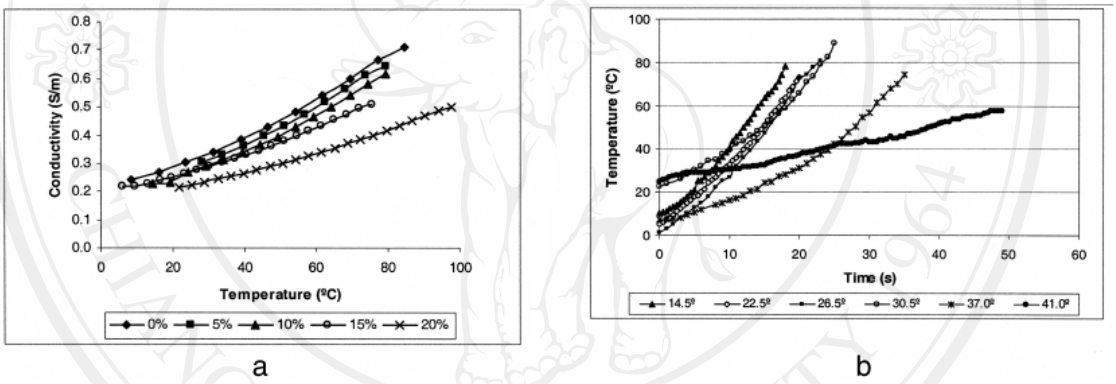
อุณหภูมิและกระบวนการให้ความร้อนมีอิทธิผลต่อเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ ความแข็งแรงของผัก (เช่น ต้นดอกกระหล่ำกระป๋อง หน่อไม้ฝรั่งกระป๋อง) ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนสามารถจะปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยใช้อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลานานในการลวก

Eliot *et al.* (1974) ได้ทำการศึกษาอิทธิผลของการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในการลวกก่อนการปรุงอาหารต่อความแข็งแรงของต้นกะหล่ำ จากผลการทดลองนั้นพบว่า การลวกต้นกะหล่ำด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มิกร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำในสารละลายน้ำเกลือก่อนการสเตอริไลซ์จะสามารถป้องกันการสูญเสียความแข็งแรงได้เมื่อเปรียบกับการลวกแบบวิธีดั้งเดิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.4 (a) ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีอิทธิผลต่อการนำไฟฟ้าของเนื้อสตรอเบอรี่ (b) ความแตกต่างของอัตราการให้ความร้อนของผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี่ 3 ชนิด (ที่มา : Castro *et al*., 2003)



ภาพ 2.5 (a) ความเข้มข้นของของแข็งที่มีอิทธิผลต่อการนำไฟฟ้าของเนื้อสตรอเบอรี่ (b) ความแตกต่างของอัตราการให้ความร้อนของเนื้อสตรอเบอรี่กับความแตกต่างของค่าBrix (ที่มา : Castro *et al*., 2003)

3. ผลิตภัณฑ์อาหารทะเล

งานตีพิมพ์ทางวิทยาศาสตร์ของผลิตภัณฑ์อาหารทะเลจำนวนมากจะเกี่ยวข้องกับซูริมิ โดยซูริมิเป็น stabilized myofibrillar protein จากกล้ามเนื้อของปลาซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลายในประเทศญี่ปุ่น การให้ร้อนแบบโอห์มิกกับผลิตภัณฑ์ซูริมินั้นพบว่า ผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ผ่านการให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 ^{o}C และทำให้ shear stress และ shear strain ของเจลซูริมิเพิ่มขึ้นอีกด้วยซึ่งจะส่งเสริมทำให้คุณภาพของเจลดีขึ้นด้วย และอัตราการให้ความร้อนที่สูงไม่เป็นประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์ซูริมิ ในขณะที่อัตราการให้ความร้อนที่ช้าจะทำให้เจลซูริมิมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการให้ความร้อนแบบโอห์มิกนั้น มีคุณภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (canning processing) กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิก ทำให้ผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมอาหารสามารถผลิตผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ที่มีคุณภาพและมีความปลอดภัยสูง รวมทั้งสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เป็นเวลานานที่อุณหภูมิปกติ และสามารถนำมาใช้ในการให้ความร้อนโดยเฉพาะการฆ่าเชื้ออาหารที่มีชิ้นของแข็งอยู่ในปริมาณที่สูงและใช้ร่วมกับกระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องและนำมาใช้ในเชิงการค้าในหลายประเทศทั่วโลก (ธีรพร, 2550) ในปี ค.ศ. 2001 FDA ของสหรัฐอเมริกา รายงานว่า ในอนาคตจะมีนำกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มิกมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ประกอบด้วย การลวก (blanching) การระเหย (evaporation) การทำแห้ง (dehydration) การหมัก (fermentation) และการสกัด (extraction) (Lima, 2007)

1. การลวก (blanching)

Mizrahi (1996) รายงานว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มิกมีประสิทธิภาพที่ดีในการลวก เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้เวลาสั้น เร็ว และไม่จำเป็นต้องหั่นผักเป็นสีเหลี่ยมลูกเต๋าซึ่งสามารถลดการสูญเสียของแข็งที่สามารถละลายได้ Sensoy and Sastry (2004) พบว่า เห็ดที่ผ่านการลวกด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มิกจะเกิดการหดตัวและสูญเสียน้ำน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการลวกด้วยน้ำร้อนแบบปกติ

2. การระเหย (evaporation)

Wang and Chu (2003) ได้ทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนแบบโอห์มิกในการระเหยน้ำส้มในสภาวะสุญญากาศ และพบว่า อัตราการระเหยจะเพิ่มขึ้น 3 เท่าเมื่อใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มิกและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็ดีขึ้นอีกด้วย

3. การทำแห้ง (dehydration)

Wang and Sastry (2000) รายงานว่า มันเทศที่ผ่านการให้ร้อนแบบโอห์มิกก่อนนำไปทำแห้งอย่างรวดเร็วด้วยการทำแห้งแบบอบลมร้อนมีลักษณะที่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบตัวอย่างที่ให้ความร้อนแบบดั้งเดิมและการทำแห้งด้วยไมโครเวฟอย่างมีนัยสำคัญ Zhong and Lima (2003) รายงานว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มิกก่อนนำไปทำให้แห้งในสภาวะสุญญากาศจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น 24 %

4. การหมัก (fermentation)

Cho *et al.* (1996) พบว่า การใช้กระแสไฟฟ้าที่ไม่รุนแรงสามารถทำให้ระยะ lag time ของ *Lactobacillus acidophilus* ลดลงได้ โดยที่กระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดรูที่เซลล์เมมเบรน ทำให้การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนส่งซับสเตรตข้ามผ่านเซลล์เมมเบรนทำได้ดีขึ้น ซึ่งในภายหลังได้มีการนำกระแสไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

5. การสกัด (extraction)

Lima and Sastry (1999) และ Wang and Sastry (2002) พบว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มิกกับเนื้อแอปเปิ้ลก่อนนำไปทำการสกัดจะทำให้ปริมาณน้ำแอปเปิ้ลที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อแอปเปิ้ลที่ได้ไม่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มิกก่อนนำไปสกัด Lakkakula *et al.* (2004) ศึกษาการประยุกต์ใช้การให้ความร้อนแบบโอห์มิกเพื่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดข้าว พบว่า ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

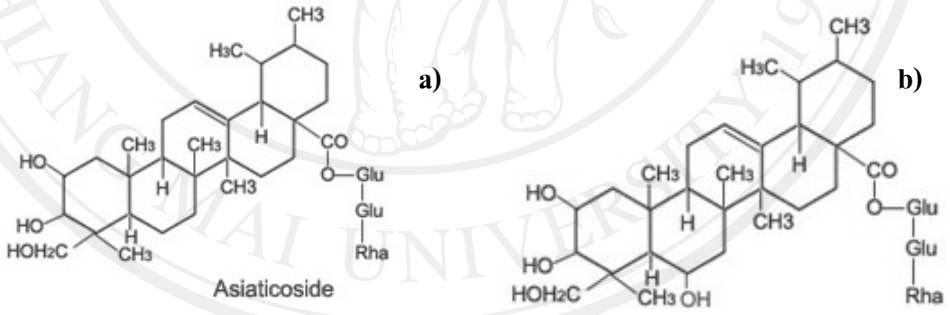
2.4 บัวบก

บัวบก หรือ ผักหนอก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Centella asiatica* Urb มีทั่วไปหลายชื่อ คือ Tiger Herbal Indian Hydrocotyle Asiatic Pennywort หรือ Hydrocotyle บัวบกเป็นวัชพืชในเขตร้อน พบตามที่ชื้นแฉะทั่วไป ถิ่นกำเนิดเดิมพบในอินโดนีเซีย อินเดีย ศรีลังกา ส่วนในประเทศไทยพบได้ทุกภาค บัวบกเป็นพืชล้มลุกอายุหลายปี ลำต้นทอดเลื้อยไปตามพื้นดิน เรียกว่าไหล (stolen) ชอบเลื้อยแผ่ตามพื้นดินที่ชุ่มชื้นแฉะ ๆ มีรากฝังลงในดินและงอกปลายยอดใหม่ชูขึ้น รากจะออกตรงใบที่ชูสูงขึ้นทุก ๆ ข้อ ใบเดี่ยวออกเป็นกระจุกตรงข้อ 2 – 6 ใบ ก้านใบยาวมากชูสูงตั้งฉากกับดินตรงทุกๆ ข้อ ใบรูปไต ขอบใบหยัก ใบกว้าง 1 - 5 ซ.ม. ยาว 2 - 4 ซ.ม.(ภาพ 2.6) ดอกช่อเป็นกระจุกสีแดงอมเขียว ออกระหว่างซอกก้านใบกับลำต้นที่แผ่ติดดิน ผลมีขนาดเล็กเป็นรูปเกือบกลมแบน ๆ แตกได้ บัวบกเป็นพืชที่ขึ้นง่าย ปลูกได้ทั่วไป ชอบดินที่มีความชุ่มชื้นสูงมากและชอบร่มเงา สามารถปลูกได้ตลอดปี ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดและไหล แต่นิยมการปักชำไหล โดยตัดแยกไหลที่มี ต้นอ่อนและมีรากงอก นำไปปลูกในที่ชื้นแฉะ ไม่ช้าก็จะขยายพันธุ์ไปอย่างรวดเร็ว สามารถปลูกได้ในกระถางและภาชนะอื่นๆ

ภาพ 2.6 ลักษณะใบและก้านของบัวบก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัวบกมีสรรพคุณทางยาหลายอย่าง ได้แก่ รักษาโรคเรื้อน วัณโรค ซิฟิลิส แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก โรคผิวหนังบางชนิด รักษาแผลสด ลดความดันโลหิตสูง แก้ไข้ แก้ปวดศีรษะ รักษาอาการเป็นบิด เนื่องจากบัวบกมีสารไกลโคไซด์ ชื่อ asiaticoside และ madecassoside ซึ่งเป็นสารพวก triterpenoid สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และสาร triterpenoids ก็ยังมีฤทธิ์กล่อมประสาท และสารบางตัวยังมีฤทธิ์กดประสาทอย่างอ่อนทำให้ช่วยแก้ปวดได้อีกด้วย (พเยาว์, 2537) และสาร triterpenoid มีโครงสร้างดังแสดงในภาพ 2.7 ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างคอลลาเจน ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเซลล์ในส่วนต่างๆของร่างกาย และยังเป็นผนังที่หุ้มล้อมรอบหลอดเลือดอีกด้วย ดังนั้นใบบัวบกจึงสามารถลดความดันเลือดได้เนื่องจากจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่เส้นเลือด ใบบัวบกจึงมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้เป็นเบาหวานเพราะจะช่วยเพิ่มการไหลเวียนผ่านเส้นเลือดฝอย การแลกเปลี่ยนออกซิเจนผ่านเส้นเลือดฝอยจึงช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดการบวม เส้นประสาทเสื่อม เหน็บชา แขนขาอ่อนแรง การศึกษาการนำสารสกัดจากบัวบกมาป้อนให้หนูทดลอง พบว่าในหนูทดลองที่เป็นความดันเลือดสูงแบบเรื้อรัง สารสกัดบัวบกมีฤทธิ์ลดความดันเลือดใน renal clip stenosis และสารสกัดบัวบกยังมีฤทธิ์ป้องกันกระเพาะอาหารบาดเจ็บได้ดีในหนูทดลองที่เป็นกระเพาะบาดเจ็บจากภาวะขาดเลือด (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2543)



ภาพ 2.7 โครงสร้างของ (a) asiatic acid และ (b) madecassic acid

นอกจากนี้ใบบัวบกทำให้ผิวหนังเต่งตึงและมีความยืดหยุ่นขึ้น ตลอดจนช่วยป้องกันการเกิดแผลเป็นและช่วยในขบวนการหายของแผล เนื่องจากใบบัวบกจะควบคุมไม่ให้เกิดการสร้างคอลลาเจนบริเวณแผลมากจนเกินไป และบัวบกยังแก้ร้อนในกระหายน้ำ และช่วยให้ผ่อนคลายจากความเครียดได้ เนื่องจากในใบบัวบกประอบด้วยวิตามินบี 1 บี 2 และบี 6 ในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังทำให้ร่างกายหลั่ง gamma-aminobutyric acid (GABA) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทชนิดหนึ่งในปริมาณที่มากขึ้นด้วย จากการศึกษายังพบว่า การรับประทานใบบัวบกจะทำให้มีความสามารถในการจดจ่อกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งได้นานขึ้น มีสมาธิมากขึ้น ความจำดีขึ้น และใบบัวบกยังช่วยกำจัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารพิษซึ่งสะสมในสมองและระบบประสาท ตลอดจนช่วยกำจัดสารพิษตกค้างในร่างกายได้เป็นอย่างดี (goodhealth, 2549) คุณค่าทางโภชนาการของบัวบกแสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของบัวบกในสัดส่วน 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน	44.00 แคลอรี่
ความชื้น	86.00 กรัม
โปรตีน	1.80 กรัม
ไขมัน	0.90 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	7.10 กรัม
เส้นใยอาหาร	2.60 กรัม
แคลเซียม	146.00 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	30.00 มิลลิกรัม
เหล็ก	3.90 มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	10,962.00 หน่วย
วิตามินบี1 (thiamine)	0.24 มิลลิกรัม
วิตามินบี2 (riboflavin)	0.09 มิลลิกรัม
ไนอะซีน	0.80 มิลลิกรัม
วิตามินซี	4.00 มิลลิกรัม
เบต้า-แคโรทีน	238.23 RE (ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล)

(ที่มา : สมพร , 2542)

นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์บำรุงสมอง และกระตุ้นการเจริญของเดนไดรท์ ฤทธิ์ป้องกันเซลล์ประสาทความจำเสื่อม และการเกิดอนุมูลอิสระจากความเครียด ฤทธิ์ในการเร่งการสร้างเซลล์ประสาท และฤทธิ์คลายกังวลอีกด้วย (กลุ่มงานเภสัชกรรม, 2551) การศึกษาปริมาณรวมสารประกอบฟีนอล และมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันในลำต้น ราก และใบของบัวบก พบว่า ในรากและใบของบัวบกมีสมบัติต้านออกซิเดชันสูง นอกจากนี้ปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลยังมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ซึ่งผลการทดลอง ชี้ให้เห็นว่า สารประกอบฟีนอลเป็นตัวเสริมสมบัติต้านออกซิเดชันของใบบัวบก (Zainol *et al*., 2003) การศึกษาสมบัติการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากใบ ลำต้น และรากที่ได้มาจากสกัดโดยใช้สารละลาย 3 ชนิด คือ เอทานอล น้ำ และน้ำมันปิโตรเลียม จากการพบว่า สารสกัดจากใบ ลำต้น และรากที่ใช้เอทานอลในการสกัดมีสมบัติการต้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดจากน้ำ ในขณะที่สารสกัดจากน้ำมันปิโตรเลียมมีการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงเล็กน้อย และเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากเอทานอลและน้ำเพิ่มขึ้น (1,000-3,000 ppm) สมบัติการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Hamid *et al*., 2002)

เนื่องจากน้ำบัวบกเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนสีขึ้น ทำให้ไม่สามารถทำการแปรรูปน้ำบัวบกโดยการใช้ความร้อนแบบดั้งเดิมเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาได้ แต่ก็มีผู้ทำการศึกษาวิจัยการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำบัวบกโดยการใช้เทคโนโลยีอื่นๆ เช่น การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำใบบัวบกพร้อมดื่มด้วยการใช้ความดันสูงยิ่ง โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่ความดัน 400, 500 และ 600 MPa อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 °C ที่เวลา 20 และ 40 นาที พบว่า ทุกตัวอย่างมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำบัวบก มผช. 163/2546 ซึ่งน้ำใบบัวบกที่ผ่านการให้สภาวะความดัน 600 MPa อุณหภูมิ 50 °C เวลา 40 นาที มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์และราน้อยที่สุด และ โดยที่น้ำใบบัวบกที่ผ่านความดันสูงยิ่งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C จะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพและเคมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำใบบัวบกที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ด้วยความร้อน 90 °C 15 นาที (ปิยะมาศ, 2550) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีในระหว่างการเก็บรักษาของเครื่องดื่มบัวบกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งเตรียมจากน้ำบัวบกสดไม่ใส่น้ำตาลและใส่น้ำตาล พบว่า น้ำบัวบกคืนรูปมีค่า pH เท่ากับน้ำบัวบกสด การใส่น้ำตาลช่วยรักษาคุณภาพสี ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิคและคลอโรฟิลล์ในระหว่างกระบวนการทำแห้ง โดยที่บัวบกผงที่ใส่น้ำตาลและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ40 ºC มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิค คลอโรฟิลล์ และค่าสี น้อยกว่าบัวบกผงที่ไม่ใส่น้ำตาล ซึ่งบัวบกผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 °C มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมากกว่าการเก็บรักษาที่ 25 ºC ตลอดระยะเวลา 5 สัปดาห์ (ธัญญรัตน์, 2550) และการศึกษาการพัฒนาสูตรไอศกรีมบัวบกโดยนำสูตรไอศกรีมพื้นฐาน 4 ชนิด คือ สูตรที่ใช้นำเป็นส่วนประกอบหลัก สูตรที่ใช้นมเป็นส่วนประกอบหลัก สูตรไอศกรีมกะทิ และสูตร sherbet มาผสมกับนน้ำบัวบก และทำการแต่งกลิ่น คือ กลิ่นครีมโซดา กลิ่นใบเตย กลิ่นชาเขียว และกลิ่นบัวบกตามธรรมชาติ (ไม่แต่งกลิ่น) แล้วทำการประเมินด้วยประสาทสัมผัสโดยวิธีการจัดลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า ไอศกรีมบัวบกกลิ่นโซดาได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด รองลงมาคือ ไอศกรีมบัวบกกลิ่นใบเตยและไอศกรีมบัวบกไม่แต่งกลิ่น ส่วนไอศกรีมบัวบกกลิ่นชาเขียวได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด (รัชนกและวัชรี, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 จุลินทรีย์ในอาหาร

จุลินทรีย์มีทั้งคุณประโยชน์และโทษต่อผลิตภัณฑ์อาหาร คุณประโยชน์ของจุลินทรีย์ในอาหาร คือ การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ การเปลี่ยนน้ำนมเป็นเนยแข็ง เป็นต้น ส่วนโทษของจุลินทรีย์ในอาหาร คือ การทำให้สีและรสชาติของอาหารเปลี่ยนไป อาหารมีกลิ่นเหม็น จุลินทรีย์บางชนิดไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหารโดยตรง แต่จะไปทำลายจุลินทรีย์ที่ต้องการในอาหารชนิดนั้นๆ จึงเป็นสาเหตุของอาหารเสีย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการของผู้บริโภค (รังสินี, 2550)

จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับอาหารเป็นได้ทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิด และไม่ก่อให้เกิดการเจ็บป่วยกับร่างกาย จุลินทรีย์มีความสำคัญต่ออาหารและแบ่งได้ดังนี้

1. จุลินทรีย์ที่บ่งชี้ถึงสุขลักษณะของอาหาร ได้แก่ โคลิฟอร์ม และ *Escherichia coli*

2. จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในอาหารหมัก ทำให้ได้อาหารรสชาติใหม่และยืดอายุการเก็บ จุลินทรีย์นี้เป็นพวกที่ใช้ในการผลิตนมเปรี้ยว ผักดอง แหนม

3. จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค คือ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดอาหารเป็นพิษ เนื่องจากสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น หรือทำให้เกิดอาการผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร คลื่นไส้ ท้องเดิน หรืออาเจียน แล้วแต่ชนิดของเชื้อ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกาย

จุลินทรีย์ที่สำคัญในอาหารแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีบทบาทที่แตกต่างในอาหารต่างชนิดกัน (รังสินี, 2550) คือ

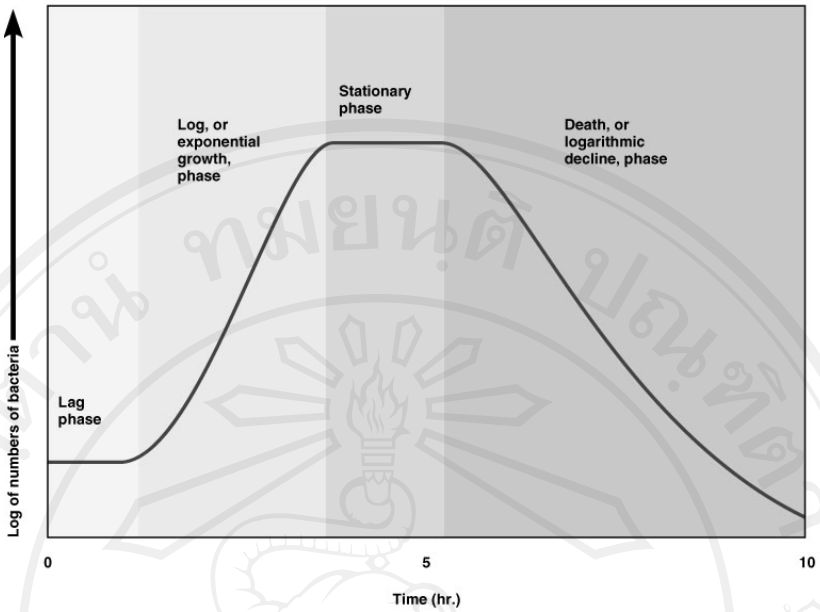
1. แบคทีเรีย (bacteria)

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์แบบโปรคาริโอต (prokaryote cell) มีขนาดเล็กมาก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ไมครอน ยาว 2.0-5.0 ไมครอน มีรูปร่าง 3 แบบ คือ แบบทรงกลม (cocci) อยู่เดี่ยวๆ หรือ เรียงเป็นคู่ๆ (diplococci) เป็นสายเดี่ยว (streptococci) และพวกที่อยู่เป็นกลุ่มเรียก staphylococci ส่วนแบบแท่งหรือท่อน (bacillus, rod) อยู่เดี่ยวๆ หรือเรียงเป็นสาย (streptobabilli) และแบบเกลียว (spirilla) แบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนโดยแบ่งตัวของนิวเคลียสและแบคทีเรียจะแบ่งเซลล์จาก 1 เป็น 2 เรียกว่า binary fission โดยการสร้างผนังกั้น ช่วงเวลาในการเจริญของแบคทีเรียหลังการแบ่งเซลล์แล้วแบ่งเซลล์อีกครั้งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่แบคทีเรียเจริญอยู่

การเจริญของแบคทีเรีย (growth of bacteria)

รูปแบบการเจริญของแบคทีเรียแสดงได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า log ของจำนวนแบคทีเรียกับเวลา ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง เรียกว่า growth curve (ภาพ 2.8) แบ่งได้เป็น 4 ระยะ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.8 รูปแบบการเจริญของแบคทีเรีย (growth curve)
(ที่มา : www.microvet.arizona.edu/.../05Ex2key.htm)

ระยะพักตัว เป็นระยะที่แบคทีเรียกำลังปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อม ระยะนี้เรียกว่า lag phase

ระยะเจริญ หลังจากแบคทีเรียปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี แบคทีเรียจะเจริญเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เส้นการเจริญมีลักษณะชัน (exponential growth) ระยะนี้เรียกว่า log phase

ระยะคงที่ เป็นระยะหลังจากที่แบคทีเรียเจริญเต็มที่แล้ว ปริมาณแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นทำให้อาหารเหลือน้อยลง จำนวนแบคทีเรียจะคงที่ เรียกว่า stationary phase

ระยะตาย อาหารที่เหลือน้อยลง ในขณะที่แบคทีเรียเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก รวมทั้งอาจเกิดสารพิษที่เป็นผลจากการเกิดเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย สารพิษอาจเป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียค่อยๆ ตายลง เส้นโค้งมีลักษณะต่ำลง เป็นระยะที่แบคทีเรียตาย เรียกว่า death phase

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย ได้แก่

1. น้ำ แบคทีเรียต้องการน้ำมากกว่ารา และยีสต์ ค่า a_w ที่เหมาะสมในการเจริญของแบคทีเรีย คือ 0.98–0.99 โดย a_w ของอาหารที่แบคทีเรียเจริญได้คือ 0.86–0.97

2. อุณหภูมิ สามารถใช้ในการจำแนกแบคทีเรียได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.1 แบคทีเรียประเภทไซโครไฟล์ (psychrophiles) คือ แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ < 15 ^{o}C

2.2 แบคทีเรียประเภทมีโซไฟล์ (mesophiles) คือ แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 15-45 ^{o}C

2.3 แบคทีเรียประเภทเทอร์โมไฟล์ (thermophiles) คือแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 45 ^{o}C หรือสูงกว่า อาหารที่ใช้ความร้อนต่ำในการปรุงอาหาร จะไม่สามารถทำลายแบคทีเรียชนิดนี้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ออกซิเจน สามารถใช้ในการจำแนกชนิดแบคทีเรียได้เป็น 3 ประเภท คือ

3.1 แบคทีเรียประเภทแอโรบิกแบคทีเรีย หรือแอโรบ (aerobic bacteria หรือ aerobe) คือ แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน ในการออกซิไดส์สารเพื่อให้ได้พลังงานออกมาใช้ในเซลล์

3.2 แบคทีเรียประเภทแอนแอโรบิกแบคทีเรีย หรือแอนแอโรบ (anaerobic bacteria หรือ anaerobe) คือ แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการสร้างพลังงาน แต่จะใช้สารอนินทรีย์รับไฮโดรเจนแนออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดนี้ แบคทีเรียประเภทนี้จะเจริญได้ดีในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ

3.3 แบคทีเรียประเภทแฟคคัลเตทีฟ แอนแอโรบิก หรือแฟคคัลเตทีฟแอโรบิก แบคทีเรีย (facultative anaerobic หรือ facultative aerobic bacteria) คือ แบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งในที่มีและไม่มีออกซิเจน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่ใช้ในกระบวนการหมัก

4. ความเป็นกรด (acidity) ส่วนใหญ่แบคทีเรียจะเจริญได้ดีที่สภาวะเป็นกลาง pH 6.5-7.5 โดยที่ pH ต่ำกว่า 4.6 จะไม่มีการเจริญของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค

5. ชนิดของอาหาร เป็นตัวกำหนดชนิดของแบคทีเรียที่จะเจริญได้ แบคทีเรียจะเจริญได้ดีในอาหารที่มีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง เช่น เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม และมั่นฝรั่ง

6. ระยะเวลา แบคทีเรียทั่วไปจาก 1 เซลล์จะสามารถแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนแบคทีเรียได้มากกว่า 1 ล้านเซลล์ภายในเวลา 5 ชั่วโมง

2. ยีสต์ (yeast)

ยีสต์เป็นฟันไจ (fungi) ที่เป็นเซลล์เดี่ยวๆ แบบยูคาริโอต (eukaryote) มีรูปร่างทั้งแบบกลม รูปไข่ รูปทรงกระบอก รูปสามเหลี่ยม มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ยีสต์สร้างไมซีเลียมแท้ โดยการแบ่งเซลล์แบบผนังเทียมเกิดจากยีสต์แตกหน่อ (budding) เซลล์ไม่แยกจากกัน เห็นรอยคอดระหว่างเซลล์ ยีสต์มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และการผลิตเอนไซม์บางชนิด แต่ยีสต์ก็ทำให้อาหารเสียได้เช่นกัน เช่น ในผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ลดความชื้นไม่ดีพอ (รังสินี, 2550)

การเจริญของยีสต์ (growth of bacteria)

การสืบพันธ์ของยีสต์จะมี 3 วิธี คือ การแตกหน่อ (budding), การแบ่งตัวของเซลล์จากหนึ่งเป็นสอง (fission) และการแตกหน่อและการสร้างผนังกั้นแบ่งเซลล์ร่วมกัน (bud fission) แต่เมื่อสภาวะที่ไม่เหมาะสม ยีสต์จะสร้างสปอร์ ที่เรียกว่า แอสโคสปอร์ (ascospore)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของยีสต์ มีดังนี้

1. น้ำ ยีสต์เจริญได้ดีที่ a_w ต่ำกว่าแบคทีเรียแต่มากกว่ารา คือ a_w 0.88-0.94

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. อุณหภูมิ ยีสต์เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 25-33 °C แต่พบยีสต์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำที่ 0 °C จึงทนต่ออุณหภูมิแช่แข็งได้ดี หรือทนความร้อนสูงที่ 35-47 °C

3. pH ยีสต์เจริญที่ pH 4-4.5

4. ออกซิเจน ยีสต์เจริญได้ในสภาพที่มีออกซิเจนเท่านั้น แต่ถ้าไม่มีออกซิเจนจะเกิดการหมัก ในสภาวะที่มีออกซิเจน ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือสภาพการหมัก ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์

5. ชนิดของอาหาร น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานที่ดีที่สุดของยีสต์ แต่ก็ยังใช้อาหารที่มีไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย ยูเรีย กรดอะมิโน ได้

3. รา (mold)

ราเป็นจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไป ประกอบด้วยหลายเซลล์ (multicellular) เซลล์ของรามีรูปร่างติดต่อกันเป็นเส้นใยที่เรียกว่า ไฮฟา (hypha) เป็นรูปทรงกระบอกโปร่งใสและบาง ภายในมีโปรโตปลาสซึม (protoplasm) ซึ่งเส้นใยจะมี 2 ชนิด คือ เส้นใยชนิดไม่มีผนังกั้นและเส้นใยชนิดที่มีผนังกั้น เชื้อราเจริญโดยสร้างกลุ่มเส้นใยเรียกว่า ไมซีเลียม (mycelium) กลุ่มเส้นใยนี้มาจากกิ่งก้านสาขาของเส้นใยเรียกว่า hypha ไมซีเลียมจะอยู่บนผิวหน้าอาหารหรือกระจายทั่วไปหรือแทงทะลุลงไปในผนังเซลล์ของพืชหรือสัตว์ที่ใช้เป็นอาหาร เส้นใยของรา แบ่งตามหน้าที่ได้ 2 พวก คือ เส้นใยที่ยึดเกาะอาหาร กับเส้นใยที่ทำหน้าที่สืบพันธุ์และสร้างอวัยวะสืบพันธุ์คือ สปอร์ (spore) รามีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร เช่น การผลิตอาหารหมักพวกซีอิ้ว เต้าเจียว เต้าหู้ยี้ และเนยแข็ง แต่ราที่ให้โทษก็เป็นสาเหตุทำให้อาหารเสื่อมเสีย โดยทำให้อาหารมีสีและกลิ่นเปลี่ยนไป หรือสร้างสารพิษในอาหาร (รังสินี, 2550)

การเจริญของรา (growth of bacteria)

ราเจริญเติบโตได้ช้ากว่ายีสต์และแบคทีเรีย ราจะสร้างสปอร์ขึ้นในอาหารและใช้สารอาหารเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้อาหารเน่าเสีย ราทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่ายีสต์และแบคทีเรีย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของรา มีดังนี้

1. น้ำ อาหารที่มีน้ำมากจะเกิดการเน่าเสียเร็วกว่าอาหารที่มีน้ำน้อย ราเจริญได้ในที่ที่มีความชื้นต่ำกว่ายีสต์และแบคทีเรีย

2. อุณหภูมิ ราส่วนใหญ่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิห้องคือ 25-32 °C เช่น อาหารที่วางตามท้องตลาดหรือในครัวที่อับชื้น แต่ราบางชนิดก็สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำถึง 5 °C

3. pH ราเจริญได้ในอาหารที่มี pH 2.0-8.5 แต่ส่วนใหญ่เจริญได้ดีในอาหารที่ค่อนข้างเป็นกรดและอาหารที่มีรสเปรี้ยว เช่น มะเขือเทศ ส้ม และผักดองเปรี้ยว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ออกซิเจน ราต้องการออกซิเจนในการเจริญและจะเกิดขึ้นที่ผิวของอาหารที่มีความชื้นสูง ชนิดของอาหาร ราสามารถใช้อาหารได้หลายชนิด เนื่องจากรามีเอนไซม์หลายชนิด เช่น อะมิเลส โปรตีเนส ไลเปส และเพกติเนส เชื้อราจึงย่อยสลายอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และผลไม้ที่มีเพกติน แล้วนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญได้

การเน่าเสียของอาหารจากจุลินทรีย์

อาหารมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและทางกายภาพ ส่งผลต่อคุณลักษณะของอาหาร เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ สี และคุณค่าทางอาหารเปลี่ยนไป ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมคุณภาพและเกิดการเน่าเสียของอาหารและมีลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ

อาหารแต่ละชนิดจะเน่าเสียได้เร็ว-ช้าต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งอาหารตามความยากง่ายในการเน่าเสียได้เป็น 3 ประเภท คือ (รังสินี, 2550)

1. อาหารที่เน่าเสียยาก คือ อาหารที่มีความคงตัวดี มีปริมาณน้ำน้อย สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานเป็นเวลาหลายเดือนหรือเป็นปี เช่น ธัญชาติ ถั่วเมล็ดแห้ง น้ำตาลและแป้ง

2. อาหารที่เน่าเสียเร็วปานกลาง คือ อาหารที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก เช่น ผักและผลไม้ที่แก่เต็มที่ ถึงแม้ว่าอาหารเหล่านี้จะมีปริมาณน้ำมาก แต่มีเนื้อเยื่อยึดเกาะติดกันแน่น และบางชนิดมีเปลือกหุ้มไว้ ทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลาค่อนข้างนานประมาณ 1-2 สัปดาห์

3. อาหารที่เน่าเสียเร็ว คือ อาหารที่มีปริมาณน้ำมากทำให้เน่าเสียได้ง่าย เช่น เนื้อสัตว์ ไก่ นมสด และอาหารทะเล จะเกิดการเน่าเสียภายใน 1-2 วัน

อาหารที่เน่าเสียจะมีลักษณะนิ่ม เหี่ยว เน่า มีกลิ่นเหม็น มีเชื้อราขึ้น ทำให้อาหารมีกลิ่นรสเปลี่ยนไป ยีสต์จะทำให้น้ำผลไม้ที่มีน้ำตาลเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนแบคทีเรียทำให้อาหารสด เช่น นมสด ปลา และกุ้งเน่าเสียได้ง่าย ส่วนผลไม้เน่าเสียเนื่องจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหารและที่มาจากจุลินทรีย์

แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคจากการบริโภคอาหาร

โรคอาหารเป็นพิษ หมายถึง โรคที่เกิดจากการบริโภคอาหาร ซึ่งส่วนมากมีสาเหตุจากจุลินทรีย์ อาการของโรคอาหารเป็นพิษที่รู้จักกันทั่วไป คือ ปวดท้อง ท้องเสีย และบางครั้งมีอาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน และ/หรืออาจมีอาการเป็นไข้ร่วมด้วย การระบาดของโรคอาหารเป็นพิษ ตามปกติจะต้องมีผู้ป่วยที่อยู่ในเหตุการณ์เดียวกัน บริโภคอาหารอย่างเดียวกันและเกิดอาการป่วยคล้ายๆ กัน ตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป ยกเว้นโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากสารพิษของเชื้อ *C. botulinum* หากมีผู้ป่วยเพียงคนเดียว ก็ถือว่าเกิดการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษขึ้น (สุมณฑา, 2549) โดยโรคที่เกิดจากการบริโภคอาหารซึ่งมีแบคทีเรียเป็นสาเหตุมี 3 ประเภทได้แก่ (บุษกร, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. โรคที่เกิดจากการบริโภคอาหารซึ่งมีสารพิษซึ่งสร้างโดยแบคทีเรียโดยผู้ป่วยไม่จำเป็นต้องได้รับเชื้อที่ยังมีชีวิตอยู่เข้าไป (food intoxication หรือ food poisoning)

1.1 โรคที่เกิดจากสารพิษที่สร้างโดยเชื้อ *Staphylococcus aureus*

S. aureus เป็นแบคทีเรียรูปกลม จัดเรียงเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น ติดสีแกรมบวก ไม่สร้างสปอร์ เจริญได้ที่อุณหภูมิ 10-45 °C ทนเกลือที่ความเข้มข้น 10-15 % เชื้อนี้พบได้ตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น จมูก มือ ผิวหนัง เชื้อจะแพร่กระจายระหว่างการจามและการไอหรืออาหารที่มีการสัมผัสกับมือของผู้ประกอบการที่ไม่ได้ทำการฆ่าเชื้อ จะมีโอกาสเกิดอาหารเป็นพิษสูง เมื่อ *S. aureus* ปนเปื้อนในอาหาร และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ และมีระยะเวลานานเพียงพอต่อการเจริญ จะสร้างสารพิษ (enterotoxin) ภายในเซลล์ แล้วปล่อยออกนอกเซลล์ลงสู่อาหาร เมื่อผู้บริโภครับประทานอาหารที่มีสารพิษเข้าไปเป็นเวลานาน 1-6 ชั่วโมง จะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง และท้องเดิน อาการป่วยจะดีขึ้นในเวลา 8-24 ชั่วโมง อาหารที่พบเชื้อ *S. aureus* ได้บ่อย คือ อาหารที่ทำด้วยแป้ง ขนมปังที่มีครีมหรือคัสตาร์ด ขนมหวานต่างๆ แฮม และสัตว์ปีก เป็นต้น (บุษกร, 2550)

1.2 โรคที่เกิดจากสารพิษที่สร้างโดยเชื้อ *C. botulinum*

C. botulinum เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อนตรง โค้งเล็กน้อย ปลายมน สร้างสปอร์ที่ทนความร้อน เมื่อมีอายุมากขึ้นจะติดสีแกรมลบ เคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลลาที่อยู่รอบเซลล์ เป็นเชื้อที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเนื่องจากออกซิเจนเป็นพิษต่อเซลล์ *C. botulinum* ที่ปนเปื้อนและเจริญในอาหาร จะสร้างสารพิษออกมา 7 ชนิด ได้แก่ A B C D E F และ G โดยสารพิษชนิด A พบมากในมนุษย์และไก่ สารพิษชนิด B พบมากที่สุดในม้า สารพิษชนิด C ทำให้เกิดโรคในสัตว์ปีก สารพิษชนิด D ทำให้เกิกโรคในวัว ควาย สำหรับสารพิษชนิด E และ F เป็นพิษกับมนุษย์ เมื่อผู้บริโภครับประทานอาหารที่มีสารพิษเข้าไป จะมีอาการของโรคเกิดขึ้นดังนี้ อาการจะเริ่มด้วยตาพร่า มองเห็นภาพซ้อน เนื่องจากกล้ามเนื้อตาเป็นอัมพาต จากนั้นจะกลืนอาหารลำบาก พูดลำบาก ปากแห้ง คอแห้ง เสียงแหบ ลิ้นคับปาก แขนขาไม่มีแรง ถ้ารักษาไม่ทัน ผู้ป่วยจะถึงแก่ความตายด้วยระบบทางเดินหายใจล้มเหลว โดยพบว่าสารพิษชนิด A มีพิษมากที่สุดและอาจทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตได้ภายใน 1-2 วัน อาหารที่พบเชื้อ *C. botulinum* คือ อาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ (บุษกร, 2550)

2. โรคที่เกิดจากการบริโภคอาหารที่มีเชื้อก่อโรคทางเดินอาหารซึ่งยังมีชีวิตเข้าไป (food infection)

2.1 โรคซัลโมเนลโลซิส (Salmonellosis)ซึ่งเกิดจากการบริโภคอาหารที่มีเชื้อ *Salmonella* spp.

เชื้อ *Salmonella* spp. ทุกชนิดมีรูปท่อนติดสีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ สามารถเจริญได้ทั้งที่มีและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่มีออกซิเจน เป็นเชื้อที่เคลื่อนที่ได้ (motile) ถ้าบริโภคอาหารที่มีเชื้อ *Salmonella* spp. จำนวนมากจะเกิดการเจ็บป่วยภายในเวลา 6-36 ชั่วโมง โดยจะมีอาการ คือ เป็นตะคริวที่ท้อง ท้องเสีย คลื่นไส้อาเจียน ตัวเย็น มีไข้ สำหรับเด็กทารกและคนชราจะมีอาการรุนแรง ซึ่งอาจทำให้ตายได้ อาหารที่พบเชื้อ *Salmonella* spp. คือ อาหารที่ทำจากเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อวัว เนื้อไก่ เนื้อหมู ไข่ น้ำนม และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำจากเนื้อและนม เป็นต้น (บุษกร, 2550)

2.2 โรคลิสเตอริโอซิส (Listeriosis) ซึ่งเกิดจากการบริโภคอาหารที่มีเชื้อ *Listeria monocytogenes*

เชื้อ *L. monocytogenes* เป็นแบคทีเรียรูปท่อน แกรมบวก ไม่สร้างสปอร์ เคลื่อนที่ได้ ชอบเจริญในที่มีอุณหภูมิต่ำ สามารถเจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน ผู้ที่มีสุขภาพแข็งแรง เมื่อรับประทานอาหารที่มีเชื้อ *L. monocytogenes* เข้าไป อาจมีหรือไม่มีอาการป่วยเกิดขึ้น ถ้ามีอาการป่วยเกิดขึ้น จะพบภายหลังจากการรับประทานอาหารที่มีเชื้อ *L. monocytogenes* เข้าไประหว่าง 1-7 วัน โดยมีอาการคล้ายไข้หวัด มีไข้ เป็นตะคริวที่ท้อง และท้องเสีย อาการเหล่านี้จะลดลงภายใน 2-3 วัน อาหารที่พบเชื้อ *L. monocytogenes* คือ น้ำนมดิบ นมพาสเจอร์ไรซ์ และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ของนม เนื้อไก่ที่ปรุงไม่สุก และเนื้อรมควัน เป็นต้น (บุษกร, 2550)

2.3 โรคที่เกิดจากการบริโภคอาหารที่มีเชื้อ *E. coli*

เชื้อ *E. coli* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน ไม่สร้างสปอร์ เคลื่อนที่ได้ สามารถเจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน มีถิ่นที่อยู่ในลำไส้ของมนุษย์ สัตว์เลือดอุ่น และสัตว์ปีก โดยเชื้อ *E. coli* เป็นเชื้อจุลินทรีย์ดัชนีบงชี้การปนเปื้อนของอุจจาระในอาหารและน้ำ เชื้อกลุ่ม enteropathogenic *E. coli* (EPEC) เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้ทารกท้องเสีย ในขณะที่เชื้อกลุ่ม enterohaemorrhagic *E.coli* (EHEC) เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดเลือดออกในทางเดินอาหาร เชื้อกลุ่มนี้ได้แก่ *E. coli* 0157:H7 ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการกระบาดของโรคอาหารเป็นพิษในหลายประเทศทั่วโลก ผู้ป่วยที่ติดเชื้อจะมีเลือดออกในลำไส้ใหญ่ ปัสสาวะมีเลือด และต่อมน้ำเหลืองอักเสบ อาการของโรคจะเกิดขึ้นภายหลังจากรับประทานอาหารที่มีเชื้อเข้าไป 3-9 วัน โดยจะมีอาการอยู่ 4 วัน โดยเป็นตะคริวที่ท้อง ถ่ายเหลว (35-75 % อุจจาระเป็นเลือด) อาเจียน อาจมีไข้ต่ำหรือไม่มีไข้ ผู้ติดเชื้ออาจไม่แสดงอาการของโรคแต่สามารถถ่ายทอดเชื้อให้ผู้อื่นได้ อาหารที่พบเชื้อ *E. coli* 0157:H7 คือ ไส้กรอกที่ไม่ผ่านการปรุงสุก เนื้อวัวบด เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อแกะ และน้ำนมดิบ เป็นต้น (บุษกร, 2550)

3. โรคทางเดินอาหารที่เกิดจากการบริโภคอาหารที่มีแบคทีเรียซึ่งยังมีชีวิตและสามารถสร้างสารพิษได้เข้าไป (food toxic infection)

3.1 โรคทางเดินอาหารที่เกิดจากเชื้อ *Clostridium perfringens*

เชื้อ *C. perfringens* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน สร้างสปอร์ได้ ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ เซลล์ปกติจะถูกทำลายได้โดยใช้ความร้อนต่ำ เช่น อุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์ แต่ไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อได้ *C. perfringens* จะผลิตสารพิษออกมา 5 ชนิด โดยสารเอนเทอโร-ทอกซินจะถูกสร้างภายในระบบทางเดินอาหาร สารเอนเทอโรทอกซินจะทำให้เกิดโรคทางเดินอาหาร โดยมีอาการเกิดขึ้นภายหลังการรับประทานอาหารที่มีเชื้อที่ยังมีชีวิตจำนวนมากเข้าไป 8-24 ชั่วโมง อาการที่พบคือ ท้องเสีย ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน มีไข้ อัตราการตายต่ำ ถ้ามีการตายจะพบในเด็กทารก คนชรา และคนป่วยด้วยโรคอื่นที่มีร่างกายอ่อนแอ อาการต่างๆ จะหายได้เองภายใน 24 ชั่วโมง อาหารที่พบเชื้อ *C. perfringens* คือ เนื้อดิบทุกชนิด อาหารที่ทำจากเนื้อสัตว์ (บุษกร, 2550)

3.2 โรคทางเดินอาหารที่เกิดจากเชื้อ *Bacillus cereus*

เชื้อ *B. cereus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน สร้างเอนโดสปอร์บริเวณกลางเซลล์ เซลล์ถูกทำลายได้ด้วยความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ แต่สปอร์สามารถทนความร้อนสูงได้ ชอบออกซิเจนในการเจริญแต่สามารถเจริญได้ในที่ไม่มีออกซิเจน ผู้บริโภคที่รับประทานอาหารที่มีเชื้อที่ยังมีชีวิตอยู่เข้าไปในปริมาณ 10^6-10^7 เซลล์ต่อกรัม จึงจะทำให้เกิดโรคทางเดินอาหาร และมีการสร้างสารพิษ 2 ชนิด ที่ทำให้อาการของโรคต่างกัน คือ สารพิษชนิดที่ทำให้มีอาการท้องเสีย เกิดจากพิษที่เป็นโปรตีนที่ไม่ทนความร้อน ผู้ป่วยจะมีอาการท้องเสียเกิดขึ้น ภายหลังการรับประทานอาหารที่มีเชื้อที่ยังมีชีวิตเข้าไป 6-12 ชั่วโมง อาการอื่นๆ คือ ปวดท้อง ท้องเสีย คลื่นไส้ แต่ไม่อาเจียนหรือมีไข้ ผู้ป่วยจะหายได้เองภายใน 24 ชั่วโมง โดยมีอาการคล้ายกับผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อ *C. perfringens* และสารพิษที่ทำให้มีอาการอาเจียน เกิดจากพิษที่เป็นโปรตีนซึ่งทนความร้อนได้ ผู้ป่วยจะอาเจียนภายหลังการรับประทานอาหารที่มีเชื้อที่ยังมีชีวิตเข้าไป 1-5 ชั่วโมง โดยพิษชนิดนี้จะทนความร้อนได้ ผู้ป่วยจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย อาการป่วยของสารพิษชนิดนี้จะคล้ายกับการป่วยที่เกิดจากเชื้อ *S .aureus* (บุษกร, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved