วิชา การแปรรูปอาหาร
Food Processing
รหัส 07-412-204

อาจารย์ผู้สอน

ชมภูนุช เผื่อนพิภพ CHOMPOONUCH PHUENPIPOB

หน่วยที่ 4 การแปรรูปอาหารโดยการใช้ความร้อน

- การแปรรูปอาหารโดยการใช้ความร้อน หมายถึง พลังงานรูปแบบหนึ่งที่นำมาใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ตั้งแต่การอาศัยความร้อนจากแสงแดด ซึ่งเป็นการทำให้น้ำในอาหารและตัวอาหารร้อนขึ้น เกิดเป็นการแปรรูปอาหารหลากหลายรูปแบบ เช่น การทำแห้ง การทำให้ข้น และการพาสเจอไรซ์ (สมบัติ, 2555)

- ความร้อน นับว่าเป็นรูปแบบของพลังงานอย่างหนึ่ง คล้ายกับพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานเคมี แต่การแยกพลังงานแต่ละอย่างออกมาอาจไม่เด่นชัดนัก จึงมีการใช้สมดุลของพลังงานในการหาค่าต้นทุนและลักษณะคุณภาพของอาหารที่ผ่านการแปรรูปแทน ซึ่งพลังงานที่เกี่ยวข้องในการแปรรูป ได้แก่ ความร้อนแฝง (latent heat) และความร้อนสัมผัส (sensible heat) โดยความร้อนแฝงเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง หรือของเหลวเป็นก๊าซ หรือของแข็งเป็นก๊าซ ณ อุณหภูมิคงที่ ส่วนความร้อนสัมผัสเป็นปริมาณความร้อนที่เมื่อเพิ่มหรือเอาออกจากอาหารเหลวจะมีการเปลี่ยนอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น J.kg/°C (รุ่งนภา, 2555)

- ในอุตสาหกรรมอาหารใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเซลล์ปกติ และสปอร์ของจุลินทรีย์ จำพวก เชื้อรา ยีสต์ แบคทีเรีย ไวรัส และแบคเทอริโอฟาจ รวมทั้งทำลายเอนไซม์หรือลดกิจกรรมของเอนไซม์ลง ทำให้อาหารสามารถเก็บได้นานขึ้นที่อุณหภูมิห้อง (บุษกร, 2555)

ทั้งนี้สรุปได้ว่า การแปรรูปอาหารโดยการใช้ความร้อนเป็นการใช้ความร้อนที่เกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น สามารถลดปริมาณน้ำในอาหารที่เป็นส่วนองค์ประกอบในวัตถุดิบหรืออาหารนั้น และเป็นปัจจัยหลักในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และความร้อนยังทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ทำลายและยับยั้งการสร้างสารพิษ การทำงานของเอนไซม์ พยาธิ แมลงต่างๆ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อาหารสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น

ความสำคัญของการแปรรูปอาหารโดยการใช้ความร้อน

แบ่งกลุ่มของความสำคัญเป็น 2 กลุ่มหลักๆ ตามวัตถุประสงค์ของการแปรรูป

1. ความร้อนสามารถทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ในอาหาร ทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโต รวมถึงปฏิกิริยาต่างๆ ที่ไม่ต้องการจากเอนไซม์ สารพิษ แมลง พยาธิ และไข่พยาธิ ที่ก่อให้เกิดโรค และทำให้อาหารเน่าเสีย

2. ความร้อนสามารถลดปริมาณน้ำในวัตถุดิบหรืออาหารได้ หรือที่เรียกกันว่า “การทำแห้ง หรือการอบแห้ง” ซึ่งการอบแห้งเป็นวิธีการลดความชื้นในอาหาร หรือการลดค่า a_w ของอาหาร

วัตถุประสงค์ของการให้ความร้อน

- ป้องกันการเน่าเสีย ยืดอายุการเก็บรักษา
- ลดปริมาณความชื้น อยู่ในรูปที่ลดขนาดลง เช่น การตากแห้ง การอบแห้ง
- กำจัดจุลินทรีย์ เช่น การพาสเจอไรซ์ การสเตอริไลซ์ การใช้รังสีความร้อน
- ใช้ประกอบอาหาร สะดวกต่อการบริโภค ย่อยง่ายขึ้น
- ระเหยน้ำออก และทำให้ของเหลวเข้มข้นขึ้น
- ป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น
- กำจัดออกซิเจนหรือควบคุมบรรยากาศ
- เปลี่ยนคุณสมบัติอาหาร เช่น การเกิดเจลของแป้ง การปลดปล่อยไนอะซิน
- เปลี่ยนสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส เพิ่มความหลากหลายให้แก่ผู้บริโภค

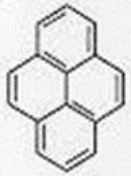
หลักการแปรรูปอาหารโดยการใช้ความร้อน

1. การให้ความร้อนโดยตรง (direct heating) หมายถึง การที่อาหารสัมผัสกับพลังงานความร้อนหรือสารที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น การย่างไฟ การตากแดด และการรมควัน

- สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon; PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในไขมัน
- สารพัยโรลัยเซต (pyrolysates) เป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเป็นวงแหวน แบบเฮตเตอโรซัยคลิกอะโรมาติก (heterocyclic aromatic ring) ของเอมีน ได้แก่ กรดแอมิโน เช่น ทริปโตเฟน ไลซีน กรดกลูตามิก และเฟนิลอะลานีน ถูกทำลายโดยความร้อนสูงจนกลายเป็นสารใหม่ที่มีโมเลกุลซับซ้อนมากขึ้น พบมากในส่วนที่ไหม้เกรียมของอาหารปิ้งย่าง จี่ ทอด

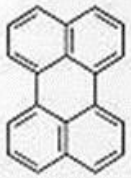
PAH Structures

Pericondensed
(More than one internal Carbon node)



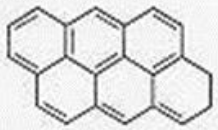
Pyrene
$C_{16}H_{10}$

Coronene
$C_{24}H_{12}$

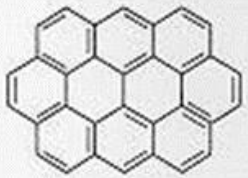


Perylene
$C_{20}H_{12}$

Benzo[ghi]perylene
$C_{22}H_{12}$

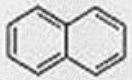


Antanthrene
$C_{22}H_{12}$

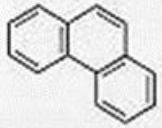


Ovalene
$C_{32}H_{14}$

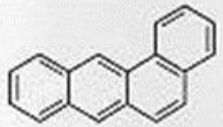
Catacondensed
(No internal Carbon vertices)



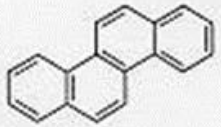
Naphthalene
$C_{10}H_8$



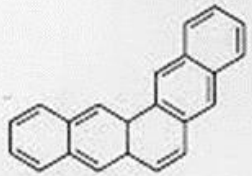
Phenanthrene
$C_{14}H_{10}$



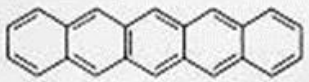
Tetraphene
$C_{18}H_{12}$



Chrysene
$C_{18}H_{12}$



Pentaphene
$C_{22}H_{14}$



Pentacene
$C_{22}H_{14}$

2. การให้ความร้อนโดยอ้อม (indirect heating) หมายถึง การที่อาหารไม่สัมผัสกับพลังงานความร้อน หรือเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้โดยตรง แต่จะมีตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

หลักเกณฑ์การถ่ายเทความร้อน; heat transfer

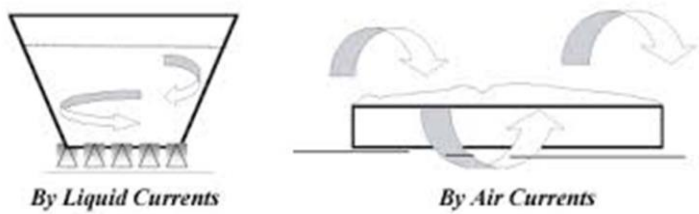
1. การพาความร้อน (convection) เกิดขึ้นระหว่างผิวของแข็งและของไหลในบริเวณใกล้เคียงกันที่มีอุณหภูมิต่างกัน ทั้งนี้ของไหลที่กล่าวถึง ได้แก่ ก๊าซ หรือ ของเหลว เป็นต้น ของไหลนี้เปรียบเสมือนตัวพาความร้อน

เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

1.1 การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนผ่านผิวของแข็งด้วยแรงภายนอก เช่น พัดลม เป็นต้น

1.2 การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนไหลผ่านผิวของของแข็งด้วยแรงลอยตัวที่เกิดขึ้น จากความแตกต่างของความหนาแน่นในของไหลเพราะมีอุณหภูมิต่างกัน

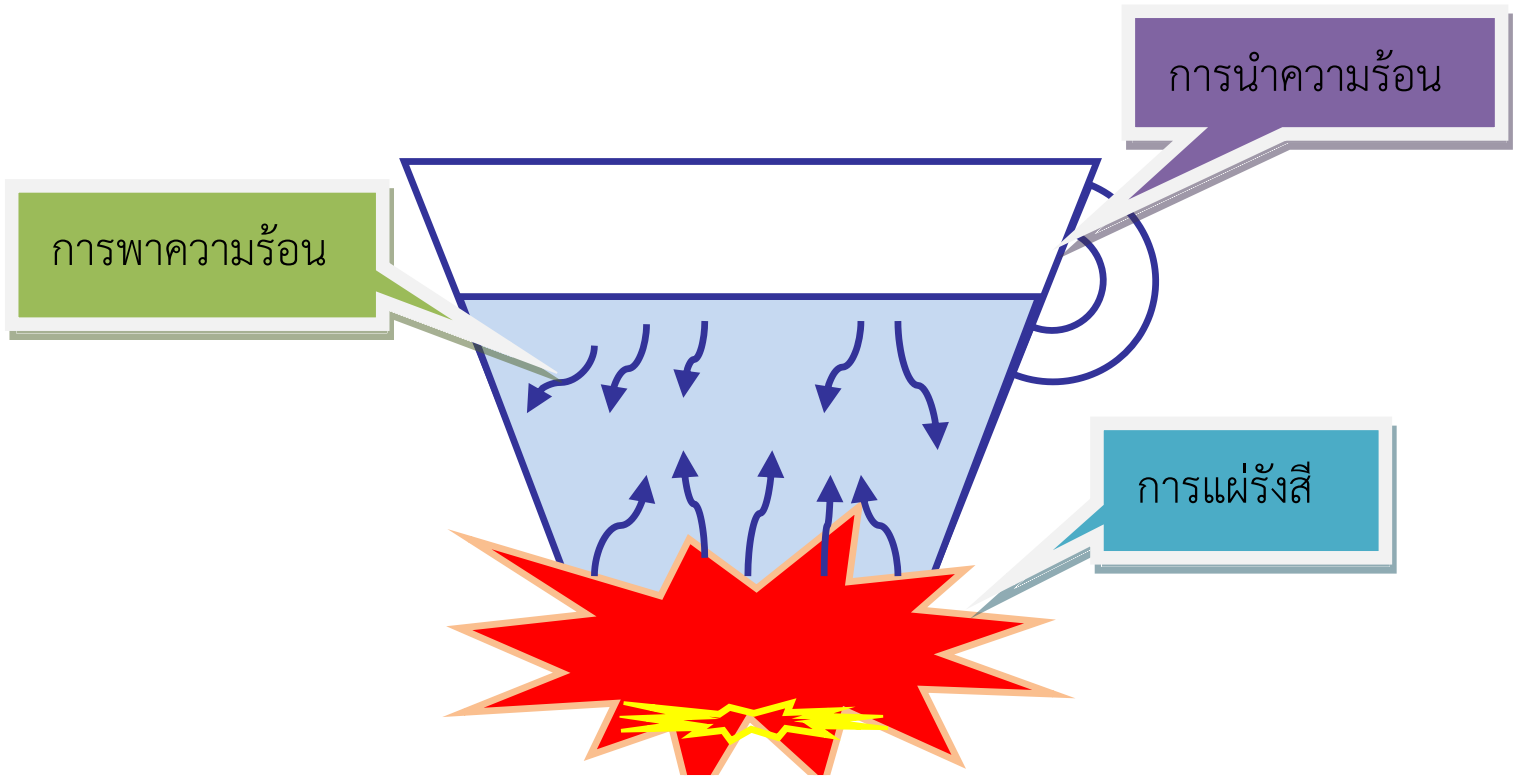
2. การนำความร้อน (conduction) เกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า



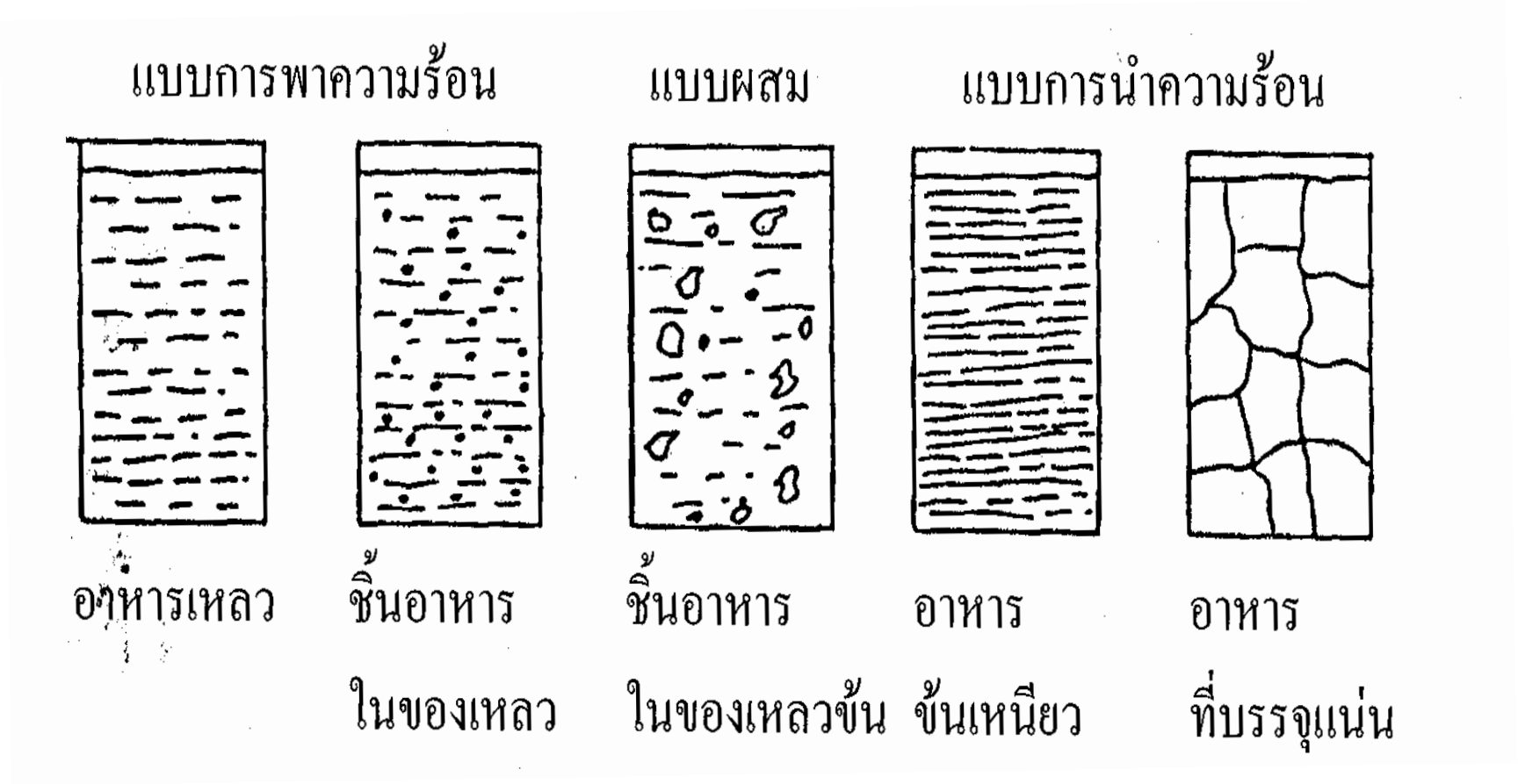
COOKING BY CONVECTION

3. การแผ่รังสี (radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง ไม่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทพลังงาน การแผ่รังสีเกิดในช่วงความยาวช่วงคลื่น 0.1-100 ไมโครเมตร

ลักษณะการถ่ายเทความร้อน



การถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ



การแบ่งประเภทของอาหารตามลักษณะการถ่ายเทความร้อน

1. ผลิตภัณฑ์ที่มีการถ่ายโอนความร้อนแบบพาความร้อนอย่างรวดเร็วตลอดกระบวนการ เช่น

- ✓ ผลไม้บรรจุในน้ำเชื่อม หรือน้ำ สำหรับผลไม้ชิ้นใหญ่การถ่ายเทความร้อนจะเกิดช้ากว่าชิ้นเล็ก
- ✓ ผักในน้ำเกลือ
- ✓ เนื้อและผลิตภัณฑ์จากอาหารทะเลที่บรรจุในน้ำเกลือ
- ✓ น้ำผัก น้ำผลไม้ที่มีความหนืดต่ำๆ
- ✓ ซุป และหัวน้ำซุปที่เจือจาง
- ✓ น้ำนม

2. ผลิตภัณฑ์ที่มีการถ่ายโอนความร้อนช้าแบบนำความร้อนตลอดกระบวนการ เช่น

- ✓ผักที่อัดแน่นในน้ำเกลือ เช่น กะหล่ำปลี
- ✓พิวเร หรือผักสับละเอียด ที่มีแป้งผสมน้อยบรรจุอัดในกระป๋อง
- ✓ผัก ผลไม้ ปลาชิ้นใหญ่ เช่น ทูนากระป๋อง ซาร์ดีนกระป๋อง
- ✓ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กเป็นแท่งๆ เช่น ข้าวโพดฝักอ่อน หน่อไม้ฝรั่ง

3. ผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนจากพาความร้อนไปเป็นแบบนำความร้อนในภายหลัง อาหารกลุ่มนี้มักจะเป็นอาหารที่มีแป้ง สตาร์ช หรือใช้วัตถุปรุงแต่งอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ เช่น

- ✓ซุปที่มีการเติมสตาร์ชเพื่อวัตถุประสงค์เพิ่มความข้นหนืด
- ✓กะทิกระป๋อง
- ✓มันเทศในน้ำเชื่อม

4. ผลิตภัณฑ์ที่มีการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อนโดยตลอด แต่มีการแพร่ความร้อนใกล้เคียงกับน้ำ เช่น

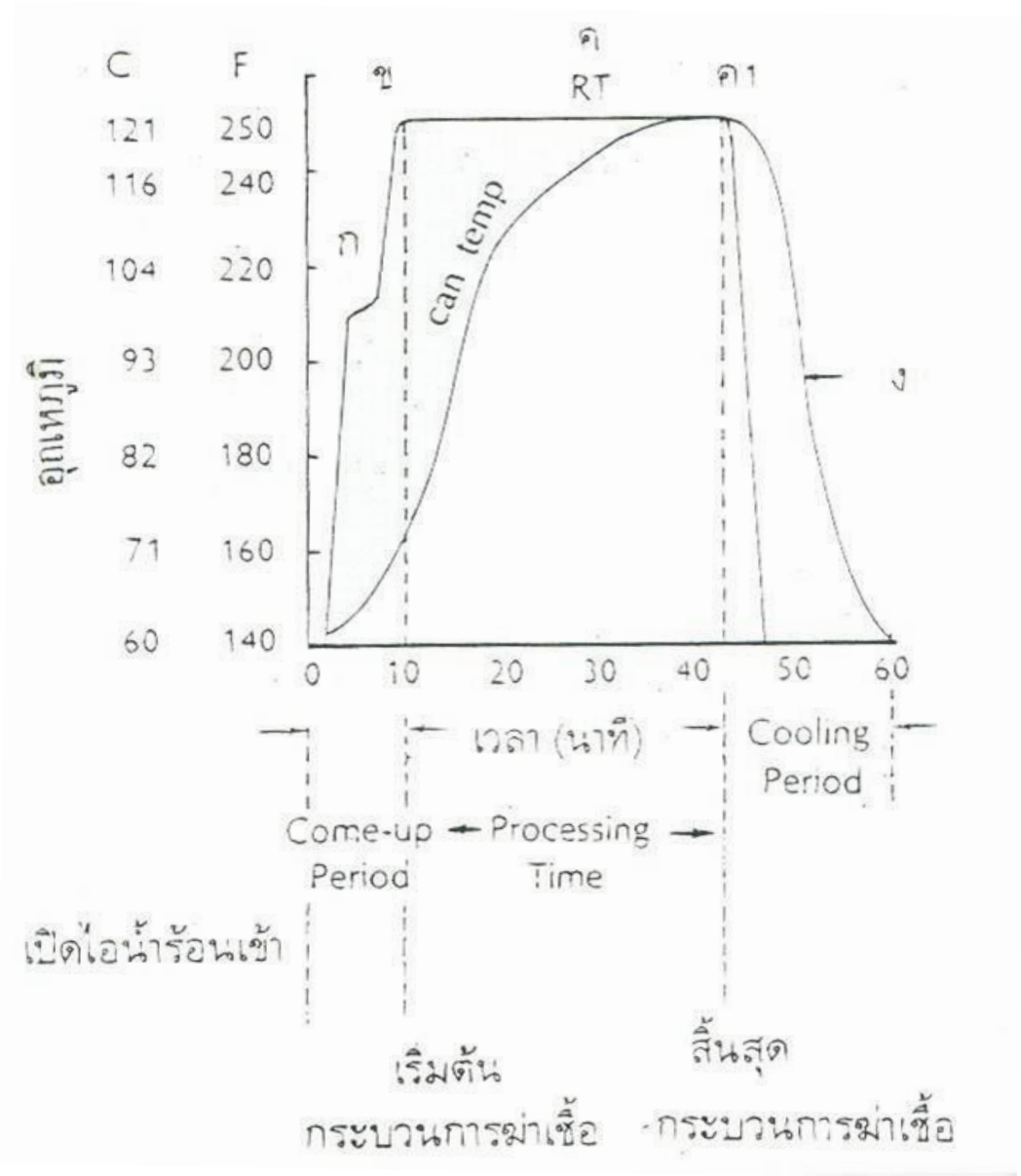
- ✓ผักที่มีความชื้นสูงๆ บรรจุโดยไม่มีของเหลวอยู่ หรือมีน้อยมาก เช่นครีมข้าวโพด ครีมสไตล์คอร์น ฟักทอง พิวเร่ผัก และสลัดมันฝรั่ง
- ✓แยม
- ✓เนื้อ ผัก ปลาในครีมซอส
- ✓ครีมซุป ซุปข้น
- ✓เนื้อและผักผสมในซอสข้น เช่น สตูเนื้อ
- ✓ผลิตภัณฑ์จากแป้ง เช่น มะกะโรนีผัดซอส
- ✓ผลิตภัณฑ์จากเนื้อและปลา เช่น คอร์นบีฟ แซนวิช สเปรด
- ✓น้ำมะเขือเทศบางชนิดที่บรรจุในกระป๋องเบอร์เล็ก

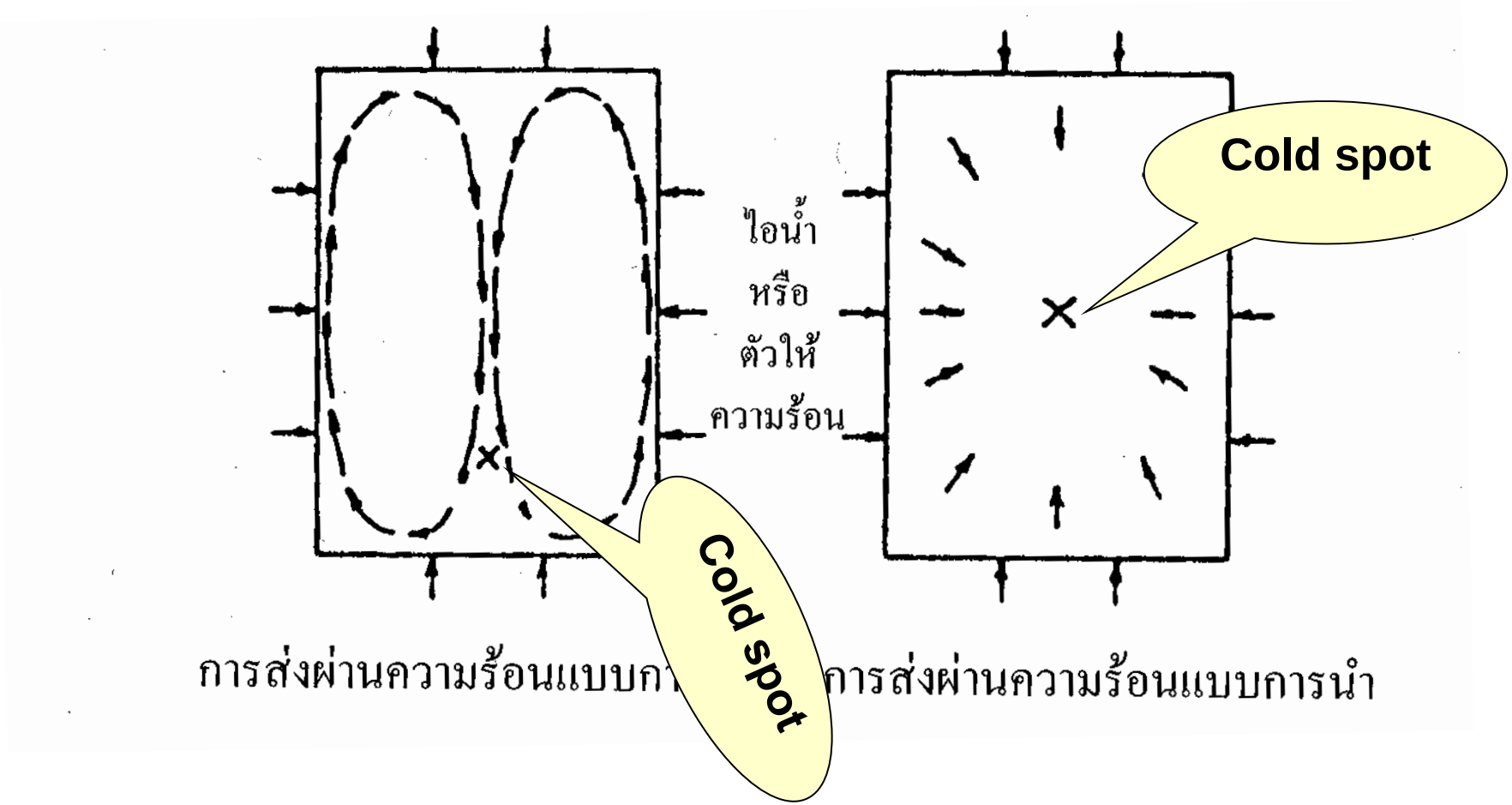
5. ผลิตภัณฑ์ที่มีการถ่ายโอนความร้อนแบบนำความร้อน แต่มีการแพร่ความร้อนต่ำกว่าน้ำ เช่น

- ✓ ผลิตภัณฑ์เนื้อบางชนิดที่มีไขมันมากกว่าน้ำ
- ✓ ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลสูงๆ

6. ผลิตภัณฑ์ที่เริ่มต้นด้วยการนำความร้อนแล้วเปลี่ยนเป็นการพาความร้อนในภายหลัง กลุ่มนี้พบน้อยมาก แต่อาจเกิดขึ้นได้กับผลิตภัณฑ์ที่เป็นเจล และเจลได้สลายไปเมื่อถูกความร้อน เช่น พุดดิ้ง และน้ำมะเขือเทศบางชนิด

การแทรกซึมของความร้อน (heat penetration) เป็นสิ่งสำคัญของอาหารกระป๋อง เพราะสามารถบ่งบอกถึงตำแหน่งภายในกระป๋องที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูปช้าที่สุด หรือที่เรียกว่าจุดเย็น (cold point) เป็นจุดที่มีอุณหภูมิเท่ากับที่กำหนดไว้



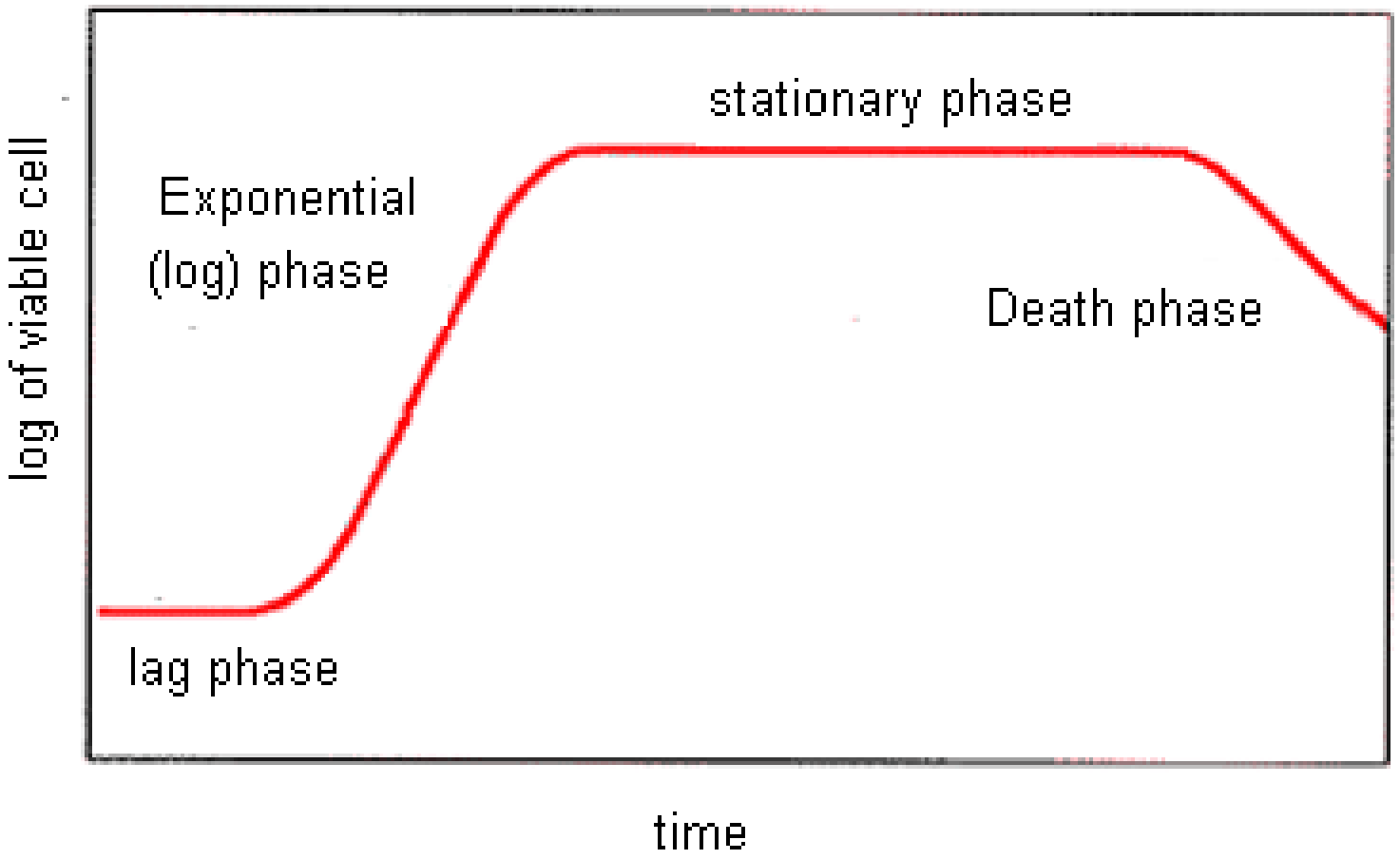

ไอน้ำ
หรือ
ตัวให้
ความร้อน
Cold spot
Cold spot
การส่งผ่านความร้อนแบบการนำ

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ต้องการ

ชนิด ปริมาณ และสภาพของจุลินทรีย์:

- ✓ชนิดของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ต่างชนิดกันสามารถทนความร้อนได้แตกต่างกัน เนื่องจากสายพันธ์ของแบคทีเรียมีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกัน จึงมีความสามารถในการต้านทานการถูกทำลายด้วยความร้อนที่ต่างกัน
- ✓ปริมาณของจุลินทรีย์ ในกรณีที่อาหารหรือวัตถุดิบมีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ตามธรรมชาติได้ง่าย ทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่จำนวนมาก จึงต้องใช้ความร้อนในการทำลายให้จุลินทรีย์หมดไปมากขึ้น
- ✓สภาพของจุลินทรีย์ กรณีที่มีเซลล์หรือสปอร์ของจุลินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นมีปริมาณมาก จำเป็นต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่งเป็นเวลาที่นานเพียงพอต่อการทำลายเซลล์หรือสปอร์ทั้งหมดได้

ระยะของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์



องค์ประกอบและธรรมชาติของอาหารขณะให้ความร้อน

1. ความเป็นกรด-ด่างของอาหาร: โดยทั่วไปจุลินทรีย์จะเจริญได้ดีที่ pH เป็นกลางและกรดอ่อน โดยที่ pH ต่ำกว่า 4.6 การเจริญของ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นเชื้อที่ทนความร้อนสูง และทำให้อาหารที่เป็นพิษหยุดชะงักได้

ตารางที่ 1 กลุ่มชนิดอาหารกระป๋องตามความเป็นกรดด่าง

<u>กลุ่มที่ 1 กลุ่มอาหารที่มีความเป็นกรด (acid food)</u> จะมีค่า pH ≤ 4.6 ตัวอย่างอาหาร เช่น น้ำผลไม้ มะเขือเทศ สับปะรด องุ่น มะนาว และผักบางชนิด นิยมใช้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแบบการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสก็เพียงพอแล้ว เพราะในสภาวะที่เป็นกรด สิ่งมีชีวิต จำพวก แบคทีเรีย และสปอร์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้
<u>กลุ่มที่ 2 กลุ่มอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food)</u> จะมีค่า pH >4.6 และ aw > 0.94 ตัวอย่างอาหาร เช่น พวก เนื้อสัตว์ อาหารสด อาหารทะเล นม ไข่ และผักและผลไม้บางชนิด ในสภาวะนี้จุลินทรีย์จะยังสามารถเจริญเติบโตได้ โดยเฉพาะ *Clostridium bolulinum* นิยมใช้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแบบการสเตอริไรซ์เซชันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที หรือมากกว่านั้น

ที่มา: Mutsunaga (2014)

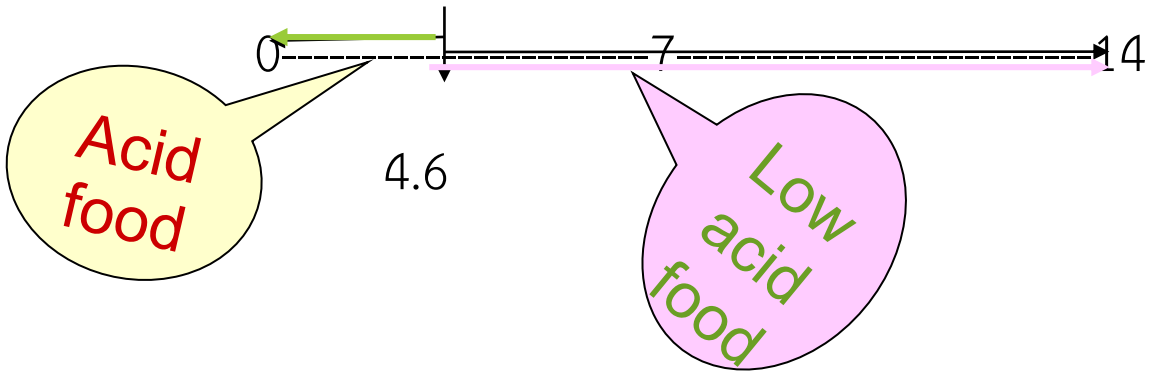
การแบ่งประเภทของอาหาร (ตามค่าpH)

1. อาหารที่เป็นกรด (Acid food)

   อาหารกลุ่มนี้มีค่าpH < 4.6 ตัวอย่างเช่น มะนาว ส้ม มะยม ฝรั่ง นมเปรี้ยว เป็นต้น

2. อาหารที่เป็นกรดต่ำ (Low acid food)

   อาหารกลุ่มนี้มีค่าpH > 4.6 ตัวอย่างเช่น เนื้อ นม ปลา ไข่ เป็นต้น



2. ชนิดของความร้อน ความร้อนชื้น

3. ปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโต (a_w)

ตารางที่ 2 การจัดกลุ่มอาหารตามค่า aw

กลุ่มอาหาร	**ตัวอย่างอาหาร**	**ความชื้น**	**a_w**
High moisture foods (HMF)	อาหารสดทุกชนิด	> 50%	$\geq$ 0.95
Intermediate moisture foods (IMF)	อาหารกึ่งแห้ง	15-50%	0.65-0.85
Low moisture foods (LMF)	อาหารแห้ง	$\leq$ 25%	$\leq$ 0.65

ที่มา: Ray,B (2004)

4. องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

5. วัตถุกันเสียและสารกันบูด

6. อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ก่อนเข้าเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดัน

7. ช่องว่างเหนืออาหารภายในกระป๋อง

กิจกรรมฮาเฮ

ถามได้ ตอบได้ ให้คะแนน....^-^

ในการทำต้มยำกุ้ง จะเกิดลักษณะการถ่ายเทความร้อนลักษณะใดบ้าง ?????

ในการผลิตต้มยำกุ้งบรรจุกระป๋อง จะเกิดลักษณะการถ่ายเทความร้อนลักษณะใดบ้าง ?????

ถาม - ตอบ