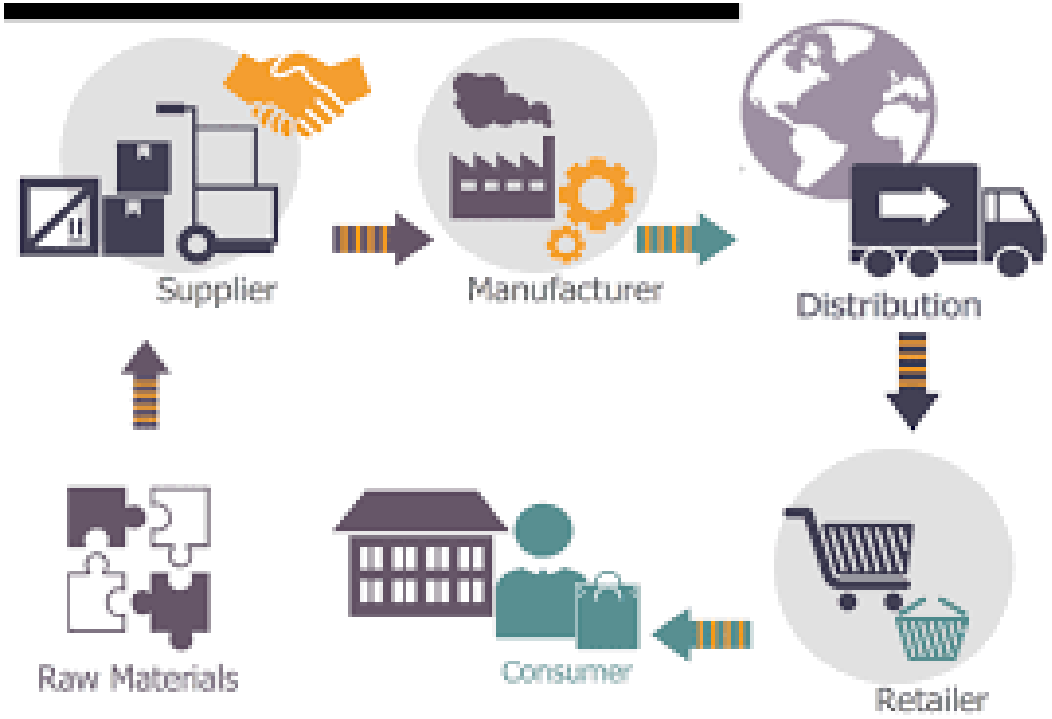
บทที่ 11

การควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร

(CONTROL OF MICROBIAL GROWTH IN FOOD)

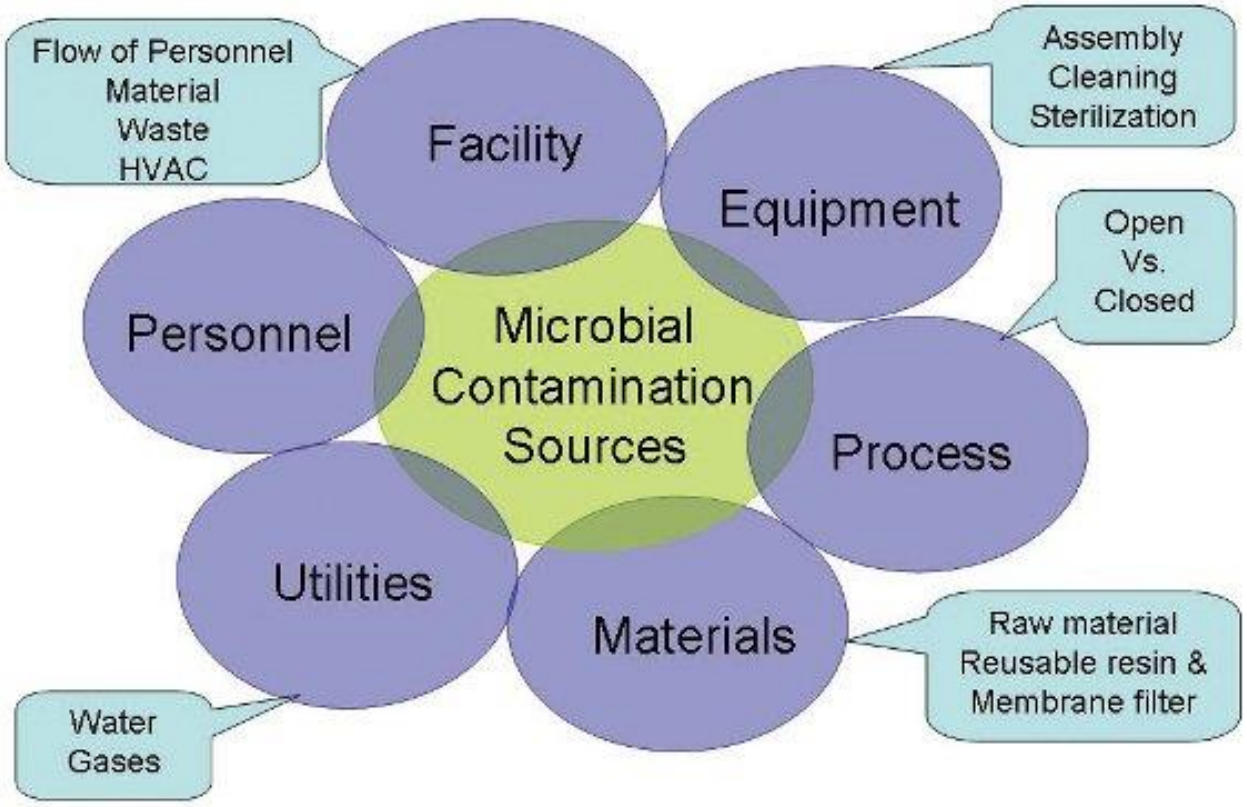
การควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมอาหาร

- การที่จะถนอมรักษาอาหารไม่ให้เน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์นั้น จะต้องควบคุมการปนเปื้อนและการเจริญของจุลินทรีย์ให้ได้ การควบคุมการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ลงในอาหารนั้น ต้องขยายขอบเขตจากการควบคุมที่ตัวอาหาร (จากวัตถุดิบจนเป็นผลิตภัณฑ์) ไปถึงการควบคุมจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมการผลิตอาหารด้วย เนื่องจากสภาพแวดล้อมการผลิตสามารถเป็นแหล่งสะสมของจุลินทรีย์และแหล่งของการปนเปื้อนข้ามของจุลินทรีย์มายังอาหารได้ การที่จะควบคุมจุลินทรีย์ให้ได้ผล เราจำเป็นต้องรู้ถึงรูปแบบการควบคุมและการตอบสนองของจุลินทรีย์ต่อสภาวะที่ใช้ในการควบคุมจุลินทรีย์ เพื่อเป็นพื้นฐานก่อนที่จะได้พิจารณาถึงวิธีการที่ใช้ในการควบคุมจุลินทรีย์ในอาหารในหัวข้อต่อไป

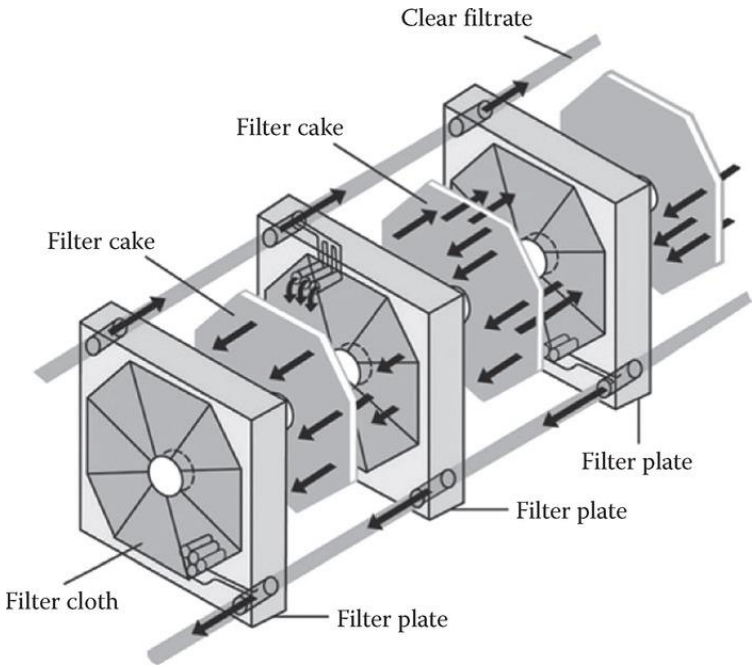


รูปแบบการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

- (1) การควบคุมการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอาหาร
- แนวทางหนึ่งที่จะควบคุมจุลินทรีย์ในอาหารได้ คือ การควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร แม้ว่าวัตถุดิบอาจมีจุลินทรีย์อยู่แล้วซึ่งปนเปื้อนมาจากแหล่งผลิตขั้นต้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่เราสามารถควบคุมไม่ให้มีเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นในอาหารในระหว่างกระบวนการผลิตและหลังการแปรรูป



- (2) การแยกเชื้อจุลินทรีย์ออกจากอาหาร การแยกเชื้อจุลินทรีย์ออกจากอาหาร เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมการเน่าเสียของอาหารที่เป็นของเหลวได้ โดยเฉพาะอาหารเหลวที่ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ หรืออาหารเหลวที่สามารถแยกเอาสารแขวนลอยที่ไม่มีผลต่อคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการออกไปก่อนได้ การแยกสามารถทำได้โดยการปั่นเหวี่ยงแยกจุลินทรีย์ออก เช่น ที่ใช้เพื่อแยกสปอร์ของแบคทีเรียออกจากนมโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของสปอร์ของจุลินทรีย์กับความหนาแน่นของอาหาร การใช้วิธีนี้จะทำให้สามารถลดระดับความร้อนในการทำลายจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่ยังหลงเหลืออยู่ในอาหาร อีกวิธีหนึ่งคือการกรองแยกจุลินทรีย์ออก โดยเยื่อกรองที่มีรูกรองขนาดเล็กกว่าเซลล์จุลินทรีย์ เช่น ที่ใช้ในการแยกเชื้อจุลินทรีย์ออกจากไวน์ก่อนการบรรจุ

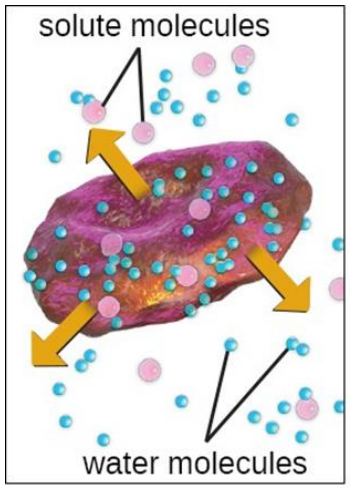


(3) การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร สำหรับอาหารบางชนิด การปรับสภาวะหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของจุลินทรีย์ให้อยู่นอกช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญนั้นทำได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการเก็บรักษานมที่อุณหภูมิห้องเราไม่สามารถเติมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใด ๆ ลงไปได้ หรือไม่สามารถเปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นโดยการลดค่าปริมาณน้ำอิสระหรือปรับค่าความเป็นกรด – ด่างได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องแปรรูปนมด้วยสภาวะที่เพียงพอที่จะสามารถทำลายเชื้อทุกชนิดให้หมดไปได้ ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้ความร้อนสูงแปรรูปนมดิบให้เป็นนมยูเอชที

ความแตกต่างของนมพร้อมดื่ม ทั้ง 3 อย่าง นมพาสเจอร์ไรซ์ นมสเตอริไลซ์ และนมยูเอชที

- 1.นมพาสเจอร์ไรซ์ คือ นมสด 100% ที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนต่ำแต่ใช้เวลานาน คือไม่ต่ำกว่า 63-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที หรือทำให้ร้อนไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานอย่างน้อย 16 วินาที เมื่อผ่านความร้อนครบตามเวลาที่กำหนดไว้แล้ว ก็ทำให้เย็นลงทันที ที่อุณหภูมิไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิตู้เย็น)
- 2.นมสเตอริไลซ์ คือนมสด 100% ที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลานาน 12 นาที ความร้อนสูงของระบบสเตอริไลซ์จะสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้นมเน่าเสีย นมชนิดนี้จึงสามารถเก็บได้นานกว่า 1 ปีโดยไม่ต้องแช่เย็น คุณภาพของน้ำนมเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่ปริมาณวิตามินบีต่าง ๆ อาจจะลดลง
- 3.นมยูเอชที คือ นมสดที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 135-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2-3 วินาที แล้วนำมาบรรจุด้วยขบวนการปลอดเชื้อ ระบบยูเอชทีจะใช้อุณหภูมิสูงแต่ระยะเวลาการฆ่าเชื้อที่สั้นมากเพื่อไม่ให้คุณภาพของน้ำนมเปลี่ยนแปลงไป เป็นระบบที่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้เกือบทั้งหมด สามารถเก็บได้นานถึง 6-9 เดือน โดยไม่ต้องแช่ตู้เย็น

(4) การยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ สำหรับอาหารบางชนิดซึ่งมีจุลินทรีย์อยู่ เช่น อาหารสด หรืออาหารที่ไม่สามารถกำจัดจุลินทรีย์ให้หมดไปได้นั้น ต้องอาศัยการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ยังคงมีชีวิตรอดไม่ให้สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งทำได้โดยการปรับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญให้อยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น การลดปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ (ค่ากิจกรรมของน้ำ) การปรับค่าความเป็นกรด – ด่างของอาหาร การปรับสัดส่วนของก๊าซในบรรยากาศแวดล้อมอาหาร การใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อในการเก็บรักษาอาหาร ตัวอย่างของหลักการนี้เห็นได้ชัดในการแปรรูปอาหารกระป๋องประเภทที่เป็นกรด ซึ่งแม้ว่าผ่านความร้อนไม่สูงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด แต่อาศัยความเป็นกรดช่วยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ยังเหลือรอดอยู่ หรือในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรส์ที่อาศัยการเติมวัตถุกันเสียลงไปเพื่อยับยั้งการงอกของสปอร์ของแบคทีเรียที่หลงเหลืออยู่ เป็นต้น



(a)

(b)

การตอบสนองของจุลินทรีย์ต่อสภาวะที่ใช้ในการควบคุมการเจริญ

- แม้ว่าการควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารนั้น สามารถทำได้โดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้หมดไป หรือยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ ซึ่งอาศัยการปรับปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่นอกช่วงที่เชื้อเจริญได้ อย่างไรก็ตาม การตอบสนองของจุลินทรีย์ต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสภาวะในการควบคุมการเจริญของเชื้ออาจมีความแตกต่างกันได้ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เชื้อเจริญได้ เชื้อโดยทั่วไปจะไม่ตายแต่จะหยุดชะงักการเจริญ ในขณะที่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าช่วงอุณหภูมิที่เชื้อเจริญได้ จะมีผลในการทำลายเชื้อ ส่วนในกรณีของค่าความเป็น กรด – ด่างนั้น ทั้งสภาพที่เป็นกรดมากเกินไปหรือเป็นด่างมากเกินไป ล้วนมีผลทำลายเชื้อทั้งสิ้น

6. Control by low pH and organic acids

- The major objective of using weak organic acids is to reduce the pH of the food to control microbial growth.
- As the pH drops below 5.0, some bacteria become injured or die.
- However the death rate in low pH is not predictable as in the case of heat.

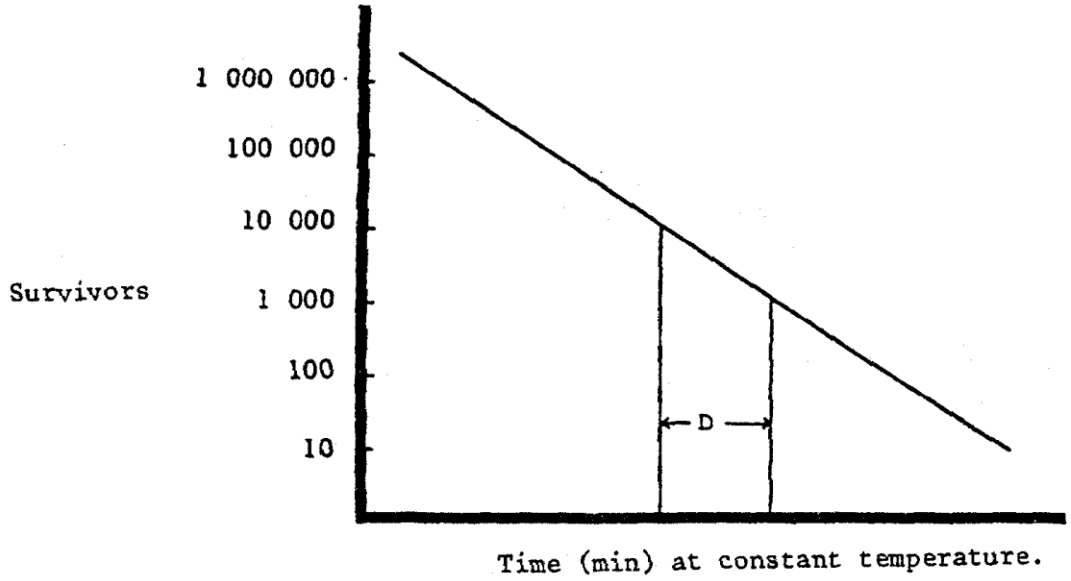
Acids used:

a) **Acetic acid**
b) **Propionic acid**
c) **Lactic acid**
d) **Citric acid**
e) **Sorbic acid**
f) **Benzoic acid**

-these acids are used in vigetable pickles, salad dressing, jam, carbonated drinks and ….etc.

แบบแผนการตายของเชื้อจุลินทรีย์

- การศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของการตายของจุลินทรีย์เมื่ออยู่ในสภาวะหนึ่ง ๆ ที่มีผลทำลายเชื้อนั้น พบว่าสำหรับเชื้อส่วนใหญ่แล้ว จำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ในประชากรจะลดลงแบบทวีคูณตามระยะเวลาที่เชื้ออยู่ในสภาวะนั้น ๆ เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเชื้อที่มีชีวิตรอดกับเวลาที่เชื้ออยู่ในสภาวะที่มีผลทำลายเชื้อนั้น จะสังเกตได้ว่าในระยะแรกเชื้อจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว (กราฟมีความชันมาก) แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นเชื้อจะลดลงด้วยอัตราที่ช้าลง (กราฟมีความชันน้อยลง) ซึ่งเมื่อนำค่าจำนวนจุลินทรีย์ที่ลดลงนั้นมาพล็อตในสเกลล็อก จะได้กราฟการลดลงของเชื้อที่มีลักษณะเส้นตรง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแบบแผนการตายของเชื้อในลักษณะนี้จะเป็นแบบแผนโดยทั่วไป แต่การนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรมอาหาร ยังคงต้องคำนึงว่าการตายของเชื้อบางชนิดอาจเบี่ยงเบนไปจากแบบแผนนี้ได้



Killing kinetics

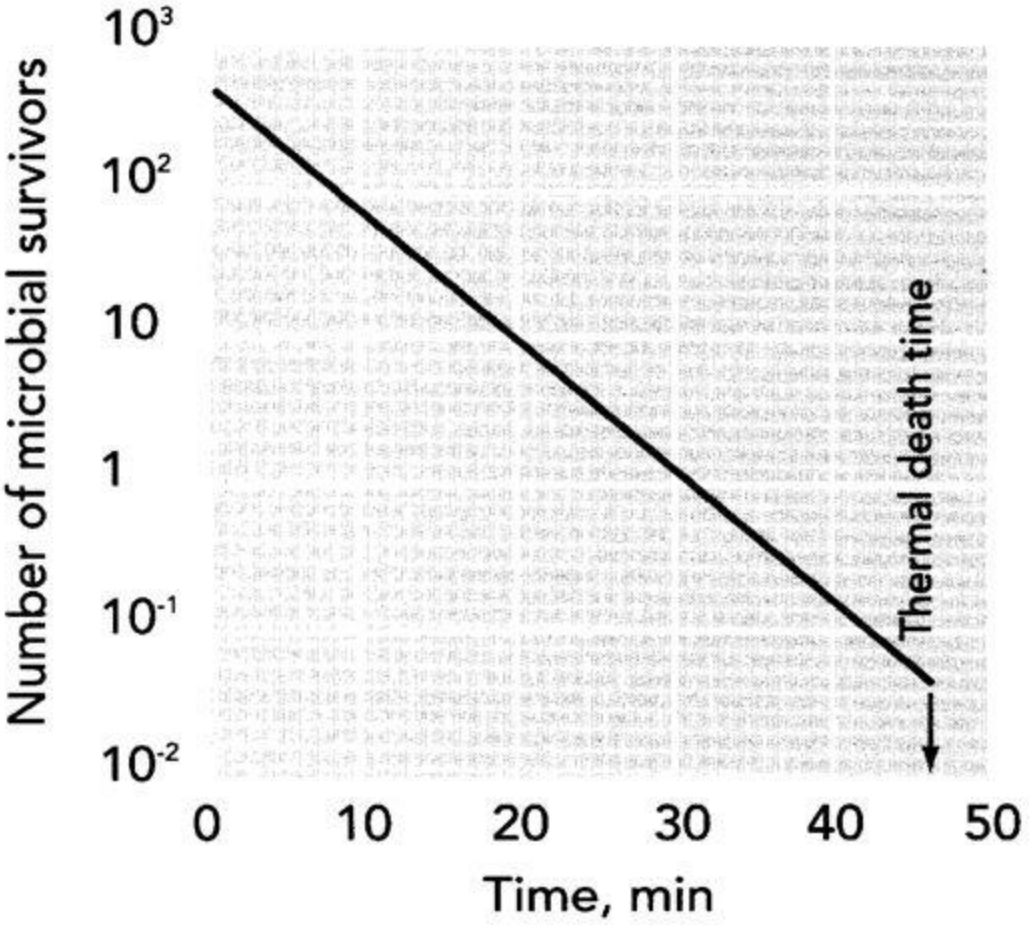
TDP – thermal death point:

- the lowest temperature at which all the bacteria in a population will be killed within 10 minutes

TDT – thermal death time:

- the length of time before all microorganisms in a population will be killed at a certain temperature

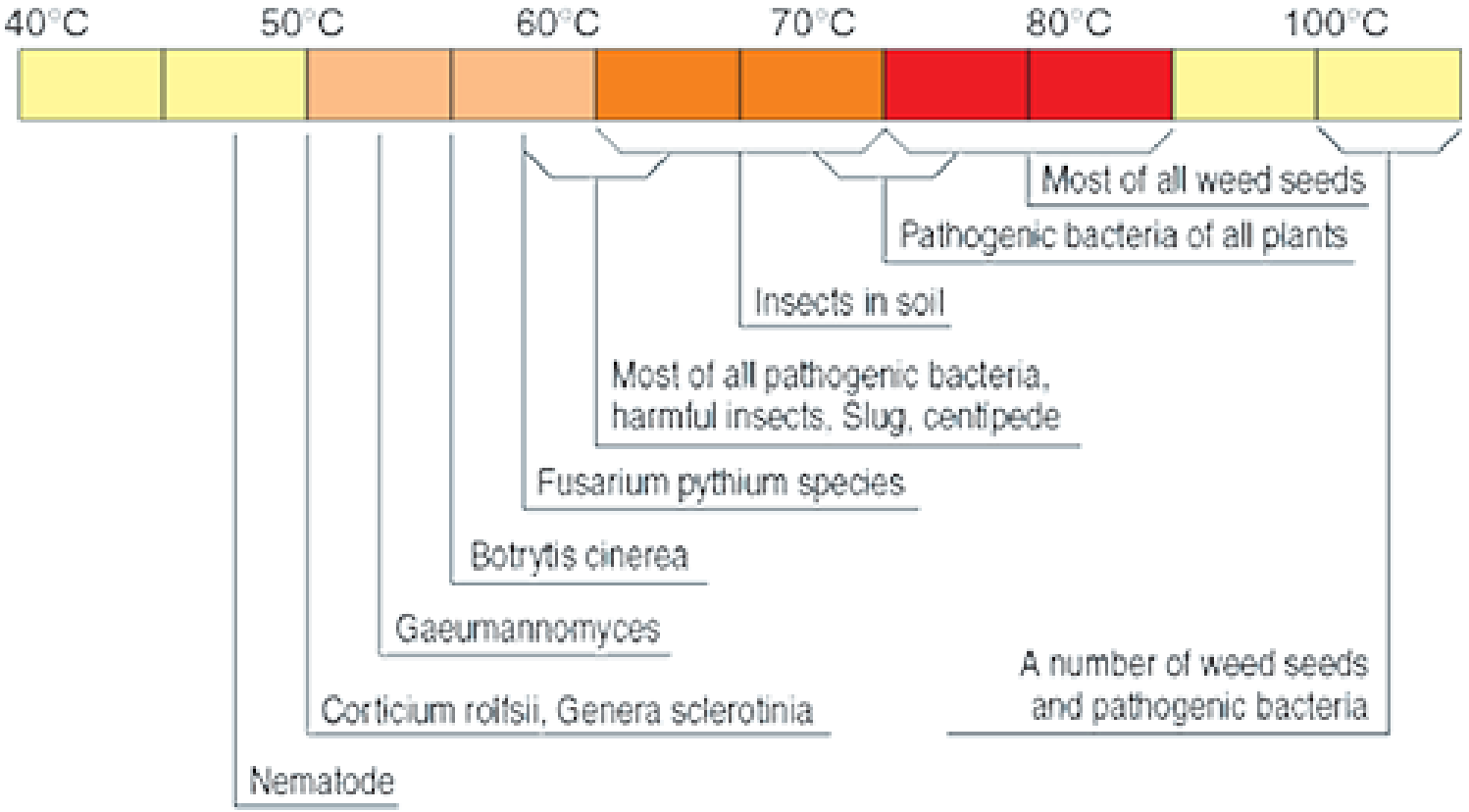
Thermal Death Time Curve



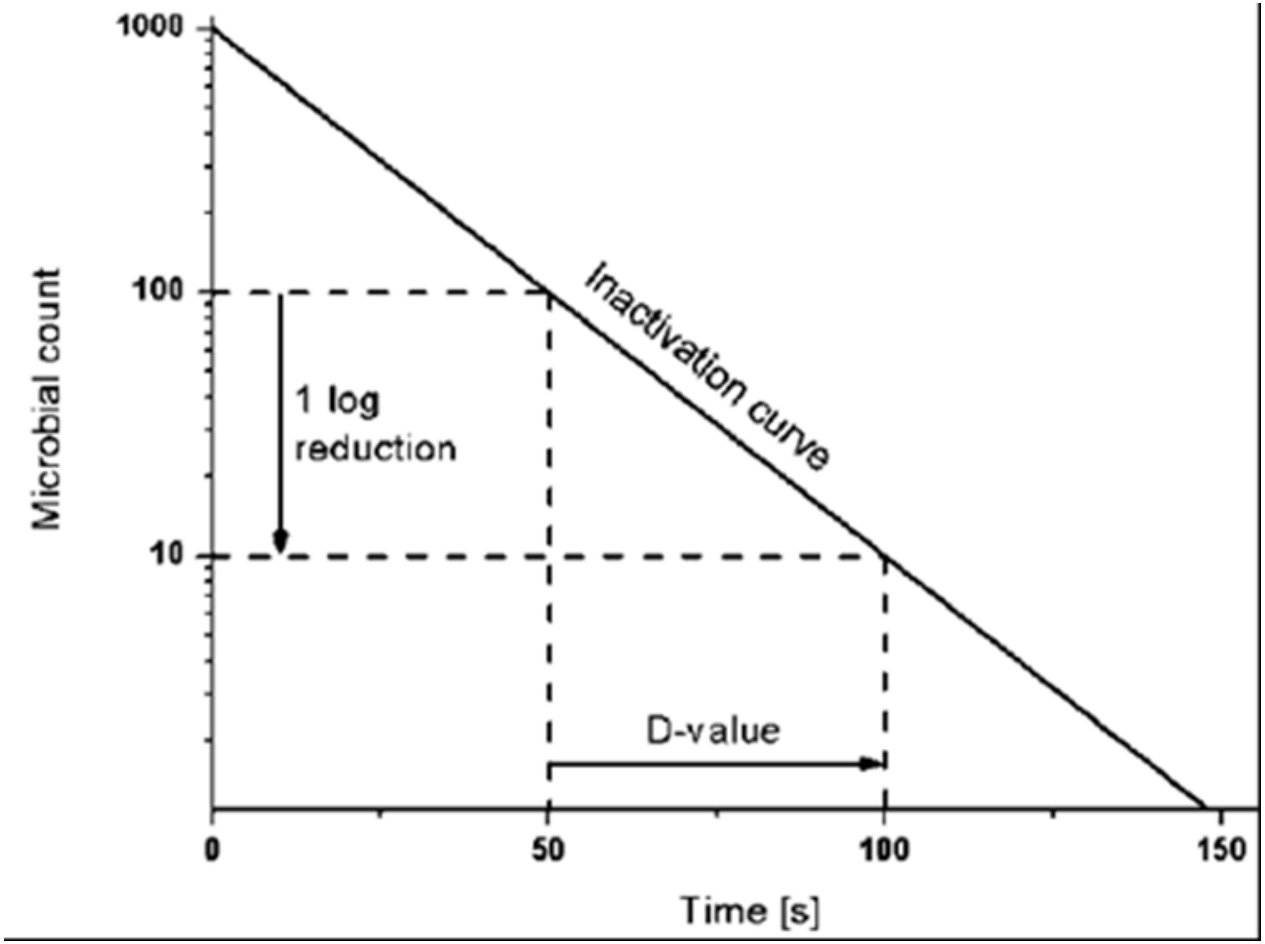
2.5 figure Thermal death time curve.

Thermal death point of pathogenic bacteria of garden crops

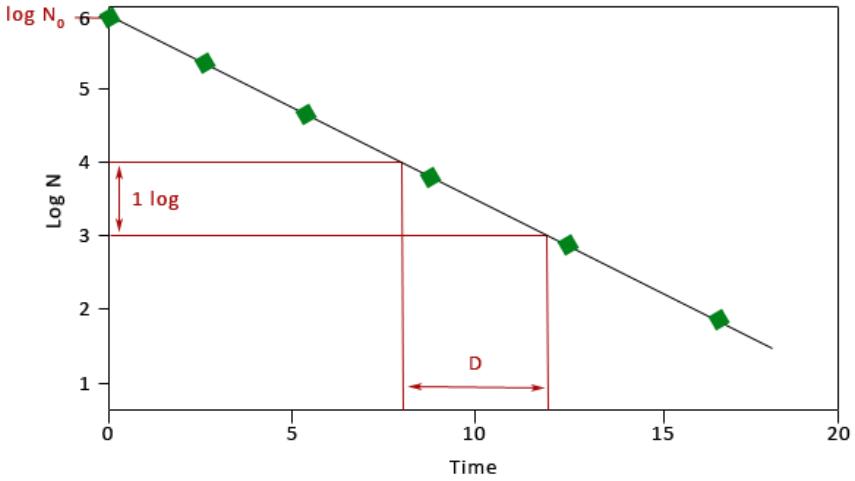
Most all of pathogenic bacteria, harmful insects, weed seeds in soil die at 60°C to 80°C within approximately 10 minutes.

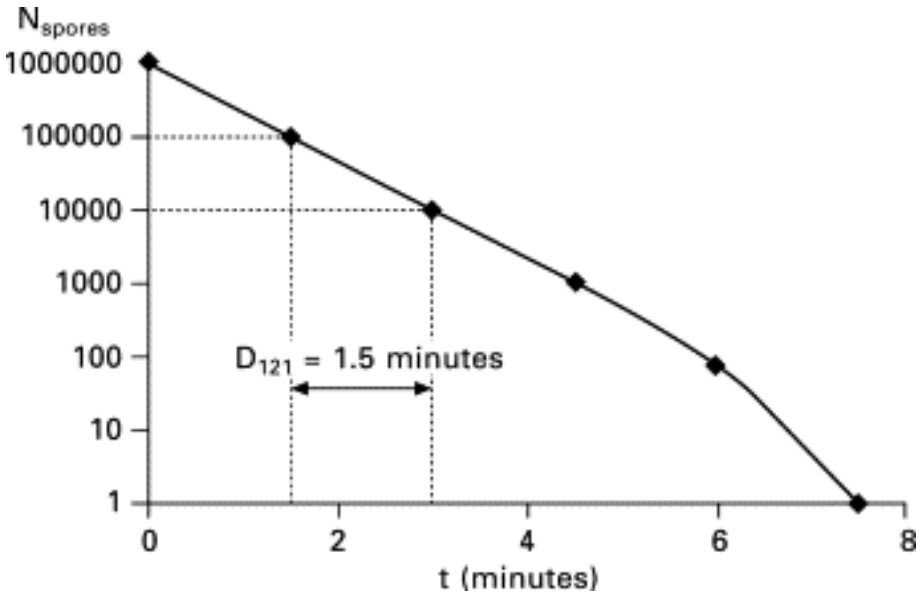


จากกราฟข้างล่างเมื่อได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยการพล็อตในสเกลกึ่งล็อก จะเห็นว่าช่วงเวลาที่ใช้ในการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ลง 1 ช่วงค่าล็อก **(log cycle)** หรือช่วงเวลาที่ใช้ในการลดจำนวนจุลินทรีย์ลง **90%** (เหลือรอด 10%) ที่สภาวะการทำลายเชื้อหนึ่ง ๆ จะมีค่าคงที่ ช่วงเวลาดังกล่าวเรียกว่า **“decimal reduction time” (D value)** การกล่าวถึงค่า **D** จะต้องระบุสภาวะที่ใช้ในการทำลายเชื้อนั้นด้วยเสมอ ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจเป็นอุณหภูมิ (ความร้อน) ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ความเข้มข้นของสารเคมี ปริมาณรังสี



- เนื่องจากค่า **D** สำหรับเชื้อแต่ละสายพันธุ์ที่ได้จากสภาวะใดสภาวะหนึ่งที่ใช้ในการฆ่าเชื้อนั้นเป็นค่าคงที่ ดังนั้น ค่า **D** ที่สภาวะการฆ่าเชื้อหนึ่ง ๆ จึงเป็นค่าที่สามารถใช้เปรียบเทียบการทนต่อสภาวะในการฆ่าเชื้อของจุลินทรีย์แต่ละสปีชีส์หรือแต่ละสายพันธุ์ได้ ที่สภาวะการทำลายเชื้อสภาวะหนึ่งจุลินทรีย์ที่มีค่า **D** มากจะมีความต้านทานการถูกทำลายมาก นั่นหมายความว่าเวลาที่ต้องใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์นั้น หรือทำให้เชื้อจุลินทรีย์นั้นลดลงระดับหนึ่งจะนานกว่าเวลาที่ต้องใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ที่มีค่า **D** น้อย ประโยชน์ของค่า **D** ในกรณีนี้ช่วยให้สามารถออกแบบกระบวนการแปรรูปอาหารได้ถูกต้อง โดยมุ่งทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทนต่อสภาวะที่ใช้ในการแปรรูปได้มากที่สุด นอกจากนี้การทราบค่า **D** ของเชื้อหนึ่ง ๆ ที่ต้องการทำลายด้วยสภาวะหนึ่ง ๆ (เช่น การใช้ความร้อน การใช้สารเคมี) ช่วยให้สามารถทำนายเวลาที่ต้องการในการใช้สภาวะดังกล่าวเพื่อฆ่าเชื้อหรือลดจำนวนเชื้อลงถึงระดับที่ต้องการได้


log N_0
6
5
4
3
2
1
Log N
1 log
D
0
5
10
15
20
Time


N_{spores}
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
D_{121} = 1.5 minutes
0
2
4
6
8
t (minutes)

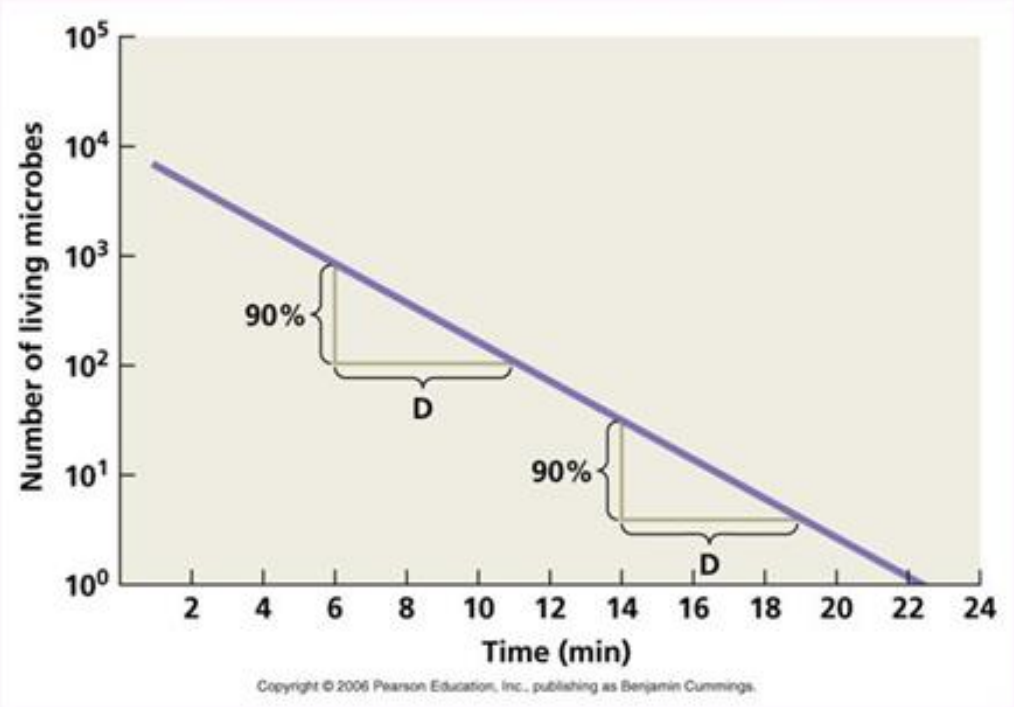
ภาพแสดง Standard measures ในการลดจำนวนจุลินทรีย์
ที่มา: Webster, C. (2015)

standard measures

thermal death point (TDP)

thermal death time (TDT)

Decimal Reduction Time (DRT = D value)



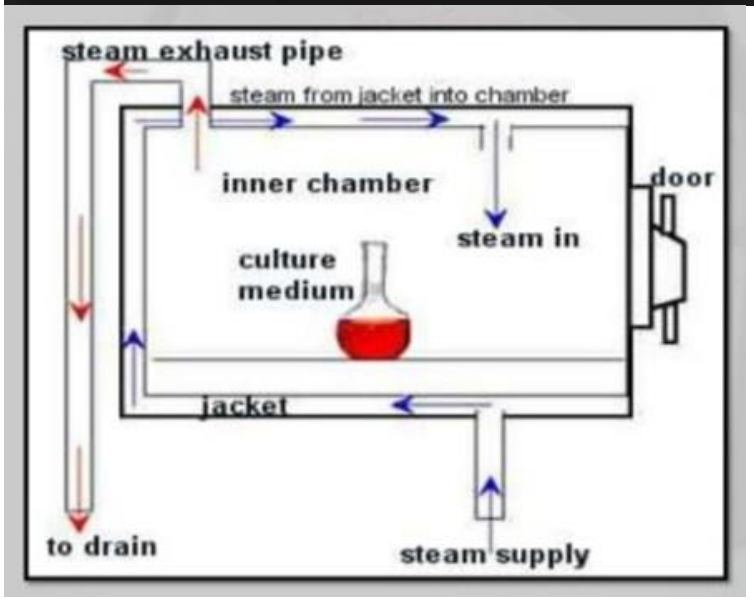
วิธีการที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์

- การใช้ความร้อน
- การใช้ความร้อนในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้ได้ใน 2 รูปแบบ คือ
- (1) ความร้อนชื้น **(wet heat)** คือ ความร้อนที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งอาจเป็นน้ำร้อนหรือไอน้ำความร้อนชื้นสามารถทำลายโมเลกุลที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ (เอนไซม์ ไรโบโซม โปรตีน) การใช้ความร้อนชื้นในการแปรรูปอาหาร ได้แก่ การลวก ต้ม นึ่งไอน้ำในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ผัก – ผลไม้และเนื้อสัตว์ การฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง การพาสเจอไรส์และสเตอริไลส์น้ำนม
- (2) ความร้อนแห้ง **(dry heat)** คือ ความร้อนที่ไม่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนประเภทนี้สามารถทำลายเซลล์ได้ โดยการทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ การใช้ความร้อนแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร พบในรูปของการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช สัตว์ และสัตว์น้ำ

Autoclave
VS
Dry Heat Sterilizer
Comparison Chart

Autoclave	Dry Heat Sterilizer
Autoclaving is a process of instrument sterilization that uses time, temperature and pressure to kill all forms of microbial life.	Dry heat sterilization is basically sterilizing using an oven that uses time and heat to kill all forms of microbial life.
Autoclaving requires a minimum of 121 °C or 250 °F with steam pressure of 15 PSIG, for 15 minutes.	Dry heat sterilization usually takes about an hour or so at 340 °F or 2 hours at 320 °F.
Autoclaves are relatively more expensive.	Dry heat sterilizers are generally less expensive.
Steam autoclave can process various materials simultaneously in less time possible.	Dry heat sterilization is relatively slower than autoclaving.
Initial purchase price and cost of ownership is higher than that of dry heat sterilizers.	Cost of ownership and purchase price is not more than that of steam autoclaves.

DB Difference Between.net



Autoclave and hot air oven

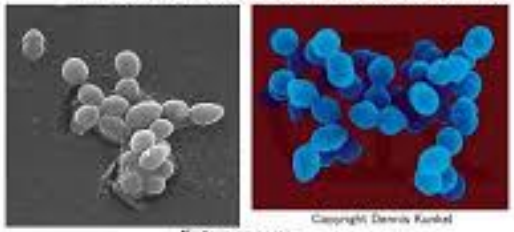
$$°C = (°F - 32) / 1.8$$

ผลของความร้อนต่อจุลินทรีย์

- การตอบสนองต่อความร้อนของจุลินทรีย์
- จุลินทรีย์สามารถถูกแบ่งตามการตอบสนองต่อความร้อนหรือการมีชีวิตรอดจากความร้อนได้เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ
- (1) จุลินทรีย์ที่ไวต่อความร้อน **(heat sensitive microorganisms)** ได้แก่ เซลล์ปกติที่ไม่มีสปอร์
- (2) จุลินทรีย์ที่ทนความร้อนปานกลาง **(thermoduric microorganisms)** ได้แก่ สปอร์ของยีสต์และรา รวมถึงเซลล์ปกติของแบคทีเรียบางชนิดที่ทนความร้อนสูงกว่าเซลล์ปกติของแบคทีเรียทั่วไป
- (3) จุลินทรีย์ที่ทนความร้อนสูง **(heat resistant microorganisms)** ได้แก่ สปอร์ของแบคทีเรีย

Thermoduric bacteria

- able to survive pasteurization temperature treatment.
  - Include some species from *Micrococcus*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Bacillus* (spores) and *Clostridium* (spores).



Enterococcus

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตายของเซลล์ในประชากรจุลินทรีย์จากการใช้ความร้อน

- (1) จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีในอาหาร หากในอาหารมีจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นอยู่มาก การให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ให้ลดลงเหลือระดับหนึ่ง จะต้องใช้เวลานานกว่าการให้ความร้อนสำหรับอาหารที่มีจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นอยู่น้อย
- (2) ส่วนประกอบของอาหาร เนื่องจากอัตราการส่งผ่านความร้อนขึ้นอยู่กับตัวกลาง ดังนั้น ส่วนประกอบของอาหารซึ่งเป็นตัวกลางในกรณีนี้ จึงมีส่วนอย่างมากในการกำหนดเวลาที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนเพื่อที่จะทำลายจุลินทรีย์ในอาหาร ตัวอย่างเช่น หากอาหารเป็นอาหารที่มีความหนืดสูงความร้อนจะถูกส่งผ่านได้ช้ากว่าอาหารที่มีความหนืดด้วย
- (3) ขนาดชิ้นของอาหารแข็ง ปริมาตรของอาหารเหลว หรือขนาดของภาชนะบรรจุ การทำลายจุลินทรีย์ในอาหารที่สภาวะการฆ่าเชื้อหนึ่ง ๆ ต้องพิจารณา ณ ตำแหน่งของอาหารที่ความร้อนเข้าถึงได้ช้าที่สุด ดังนั้น หากชิ้นอาหารมีขนาดใหญ่ หรือมีปริมาตรมาก จะใช้เวลาในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่งมากกว่าอาหารที่มีชิ้นเล็กหรือปริมาตรน้อย
- (4) ระยะการเจริญและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง ๆ ที่เจริญในระยะต่าง ๆ มีการทนความร้อนต่างกัน เช่น ในระยะต้นของการเจริญ หรือในระยะที่เซลล์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีการแบ่งตัว เซลล์จุลินทรีย์ยังพัฒนาไม่เต็มที่ การทนความร้อนจะน้อยกว่าเซลล์จุลินทรีย์ที่เจริญเต็มที่แล้วหรือประชากรของเซลล์ที่เข้าสู่ระยะที่เจริญเต็มที่แล้ว นอกจากนั้นจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ และแม้แต่สายพันธุ์ต่าง ๆ มีความสามารถในการทนความร้อนแตกต่างกัน รวมทั้งความสามารถในการสร้างสปอร์ด้วย
- (5) ปัจจัยแวดล้อมร่วมอื่น ๆ ในอาหาร หากสภาวะในการทำลายเชื้อไม่รุนแรง เช่น ความร้อนระดับต่ำ เซลล์จุลินทรีย์โดยปกติจะมีกลไกการซ่อมแซมเซลล์ที่ได้รับความเสียหายระดับหนึ่งในฟื้นสภาพและกลับมาเจริญเติบโตอีกได้ แต่หากมีปัจจัยอื่นในสภาวะการฆ่าเชื้อที่มีผลต่อเซลล์ร่วมด้วย เช่น สภาพที่เป็นกรดของอาหาร ปัจจัยดังกล่าวจะส่งเสริมให้เซลล์ได้รับความเสียหายได้มากขึ้นเกินกว่าที่จะสามารถซ่อมแซมได้ ซึ่งช่วยให้การให้ความร้อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
-

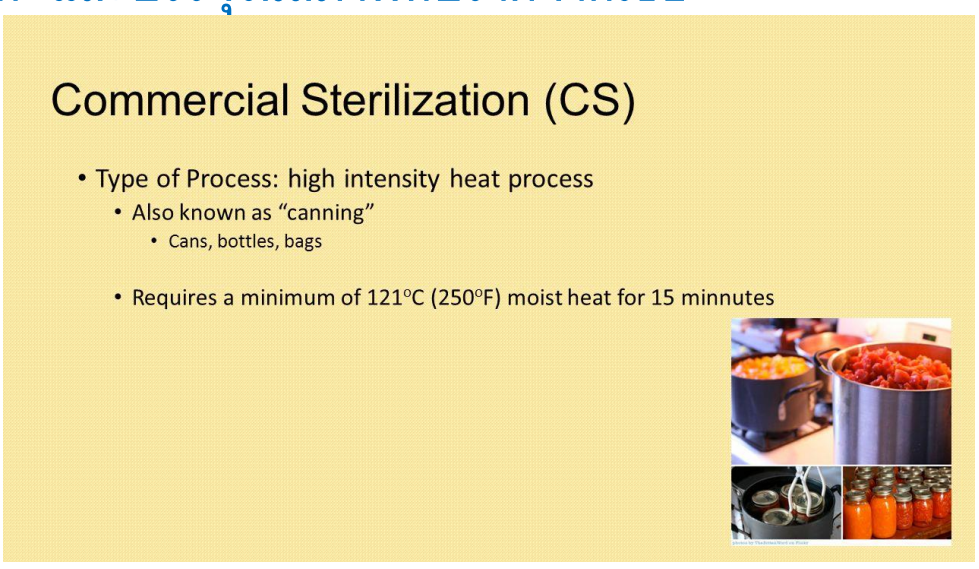
การทนความร้อนของจุลินทรีย์

- ตัวอย่างการทนความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญทางอาหารที่สภาวะการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งแสดงด้วยค่า **D** ถูกรวบรวมไว้ในตารางต่อไป อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาค่า **D** แม้ว่าจะเป็นที่อุณหภูมิเดียวกัน ยังคงต้องพิจารณาตัวกลาง (เช่น ในน้ำ น้ำเกลือ น้ำตาล หรือในอาหารชนิดหนึ่ง ๆ) ที่ใช้ในการสังเกตการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ในการทดลองหาค่า **D** ด้วยซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทนความร้อนของเชื้อ

เชื้อจุลินทรีย์	อุณหภูมิที่ใช้ (^{0} ซ)	ค่า **D** (นาที)	อาหารหรือตัวกลาง
Campylobacter jejuni	55	0.74 – 1.0	นมพร่องมันเนย
	55	0.96 – 1.26	เนื้อลูกแกะ
	55	2.12 – 2.25	เนื้อไก่สุก
Escherichia coli O157:H7	60	1.63	เนื้อไก่
	60	1.89	เนื้อไก่งวง
	60	2.01	เนื้อหมู
	60	3.2	เนื้อวัว
Listeria monocytogenes	60	1.6 – 4.5	เนื้อวัว เนื้อวัวย่าง
Staphylococcus aureus	50	10	นม
	55	3	นม
	60	0.9	นม
Bacillus cereus	95	1.8 – 19.1	นม
	95	2.9 – 36.2	ขนมปัง

การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนการใช้ความร้อนในการแปรรูปอาหารเพื่อจุดประสงค์ในการทำลายหรือลดเชื้อจุลินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระดับ (Garbutt, 1997) คือ

- (1) การใช้ความร้อนระดับสูงกว่า 100^0 ซ **(appertisation, commercially sterilization)** เช่น การใช้ความร้อนในการแปรรูปอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งมุ่งทำลายเชื้อ ***Clostridium botulinum*** กระบวนการให้ความร้อนน้อยที่สุดที่ต้องให้คือ 12 เท่าของค่า **D (12D)** สำหรับสปอร์ของ ***C. botulinum*** (เรียกว่า สภาวะการแปรรูปที่สามารถทำลาย ***C. botulinum*** หรือ **'botulinum cook')** ซึ่งที่อุณหภูมิ 121^0 ซ ค่า **D** ของ ***C. botulinum*** เท่ากับ 0.21 นาที ดังนั้น กระบวนการให้ความร้อนต่ำสุดที่จะต้องให้คือ 2.52 นาที ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับสภาวะการแปรรูปที่สามารถทำลายสปอร์ของ ***C. botulinum*** ได้ ในทางการค้าถือว่าปราศจากเชื้อ **(commercially sterile)** หรือมีความปลอดภัยต่อการบริโภค อีกตัวอย่างหนึ่งของการให้ความร้อนระดับนี้คือ การแปรรูปนมยูเอชที ซึ่งต้องทำลายเชื้อทั้งหมดที่มีชีวิตโดยใช้อุณหภูมิ 138 – 142^0 ซ เป็นเวลา 2 – 3 วินาที และบรรจุในสภาพที่ปราศจากเชื้อ



- (2) การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100^0 ซ **(Pasteurization)** โดยมากมักกระทำที่ 60 – 80^0 ซ เช่น การใช้ความร้อนในการพาสเจอไรส์นม กระทำที่ 71.7^0 ซ เป็นเวลาอย่างน้อย 15 วินาที ความร้อนระดับนี้สามารถทำลายเชื้อ ***Mycobacterium tuberculosis*** ซึ่งเป็นเชื้อที่ก่อให้เกิดวัณโรคที่ทนความร้อนสูงกว่าเชื้อก่อโรคอื่น ๆ รวมทั้งยังสามารถทำลายเชื้อก่อโรคอื่น ๆ ที่มักพบในนม เช่น เชื้อ ***Salmonella*** หรือ ***Shigella*** ได้ อีกตัวอย่างหนึ่งคือการให้ความร้อนกับไข่ **(bulk liquid egg)** ต้องใช้ความร้อนที่ 64.4^0 ซ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2.5 นาที ทั้งนี้เพื่อมุ่งทำลายเชื้อ ***Salmonella*** สายพันธุ์ที่ทนความร้อนสูงให้หมดไปได้ **(*Salmonella senftenburg* 775W)**

PASTEURIZATION VERSUS STERILIZATION

Sterilized products have a longer shelf-life	Pasteurized products have a shorter shelf life
Discovered by Nicolas Appert	Discovered by Louis Pasteur
Eliminates all forms of microorganisms	Only eliminates pathogenic microorganisms
Can be accomplished in many ways	Can be accomplished with heat
Applied in the food industry, medical surgery, Packaging industry, microbiology, etc.	Mainly applied in food industry

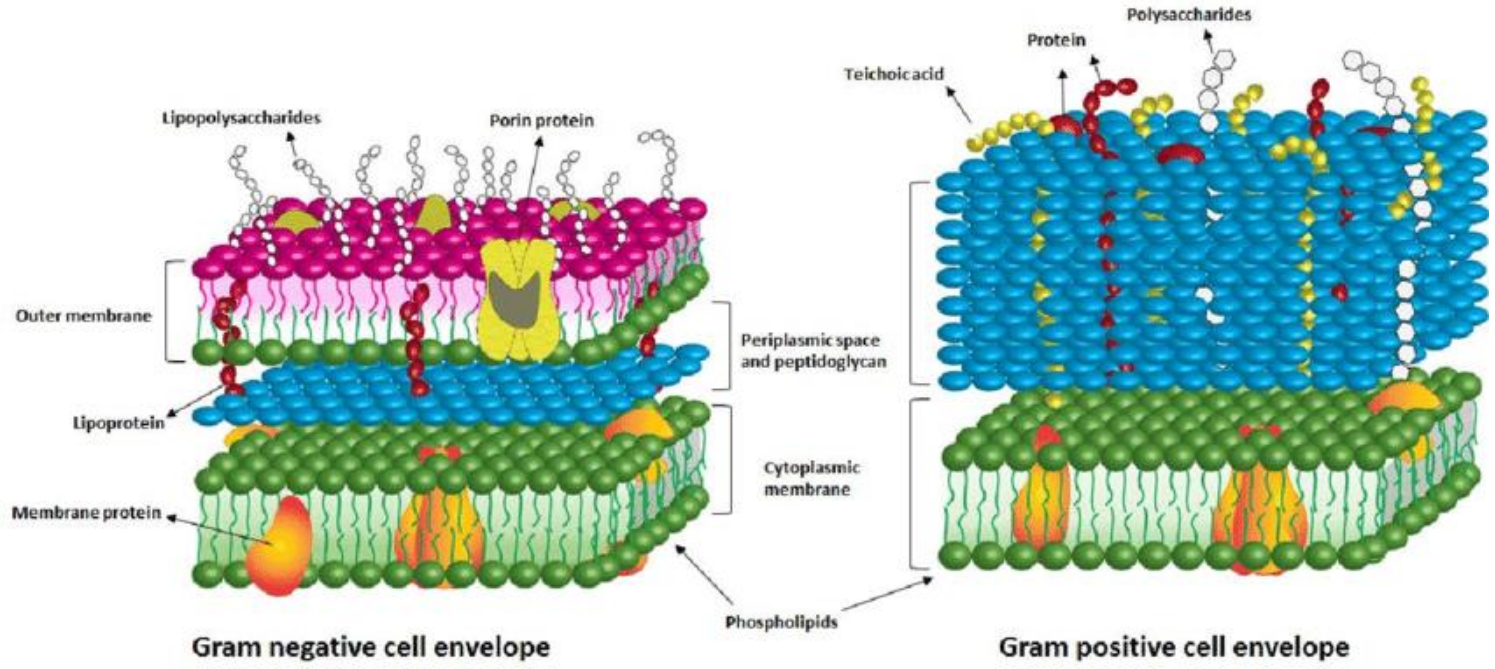
Pediaa.com

การใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

- การใช้สารเคมีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้มากในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งการใช้งานปรากฏใน 2 ลักษณะ คือ
- (1) ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์บนพื้นผิววัสดุ สารเคมีที่ใช้ได้แก่น้ำยาฆ่าเชื้อ **(disinfectants, sanitizers)** สารเคมีประเภทนี้ใช้ในการลดจำนวนจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมหนึ่ง ๆ ลงจนถึงระดับที่ยอมรับได้ มักใช้ในการฆ่าเชื้อหรือการทำความสะอาดพื้น ผนัง และพื้นผิวของสถานที่ และอุปกรณ์ในการผลิตอาหาร
- (2) สารเคมีที่ใช้ในอาหารเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์หรือวัตถุกันเสีย **(preservatives)** ซึ่งช่วยให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยยับยั้งการเจริญหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียหรือจุลินทรีย์ก่อโรค

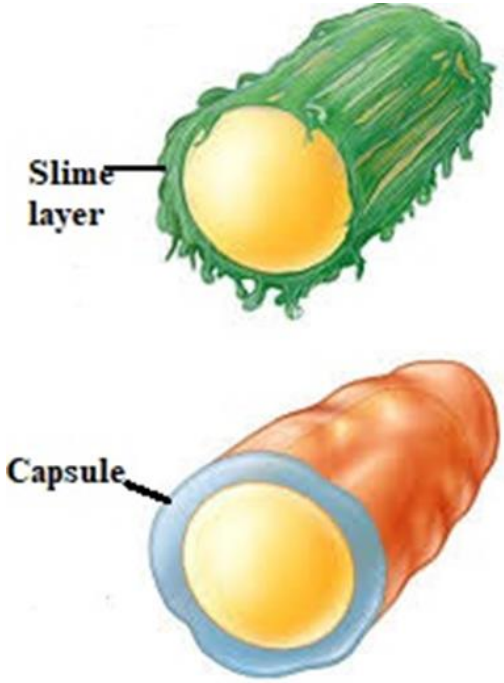
ผลของสารเคมีต่อเชื้อจุลินทรีย์

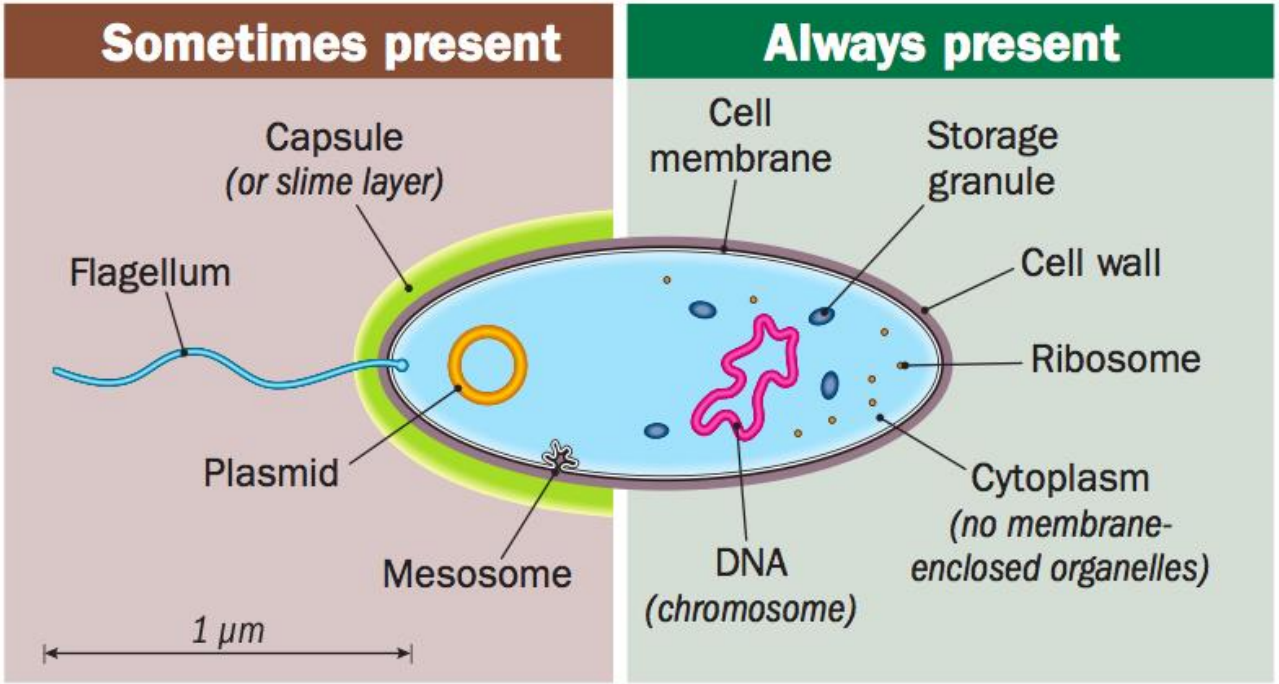
- ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของสารเคมีในการยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์
- (1) ชนิดของจุลินทรีย์
- เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีส่วนประกอบของเซลล์แตกต่างกัน เช่น โครงสร้างของผนังเซลล์ที่แตกต่างกันของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ หรือความแตกต่างระหว่างผนังเซลล์และส่วนประกอบของเซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ และรา แม้แต่จุลินทรีย์สปีชีส์หนึ่ง ๆ ก็อาจมีความแตกต่างกันในด้านสมบัติของชีวโมเลกุล ซึ่งความแตกต่างนี้ส่งผลให้การตอบสนองของจุลินทรีย์ต่างชนิดต่อสารเคมีแตกต่างกัน



(2) โครงสร้างของเซลล์

- โครงสร้างพิเศษ เช่น แคปซูล ชั้นเมือกหุ้มเซลล์ ช่วยป้องกันเซลล์จุลินทรีย์จากสารเคมีได้ ดังนั้น การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีโครงสร้างพิเศษหรือที่สามารถสร้างสารดังกล่าวอาจเป็นปัญหาใหญ่ในอุตสาหกรรมอาหาร ในกรณีนี้อาจต้องใช้วิธีกล (เช่น การขัดถู) ร่วมกับการใช้สารเคมีด้วย นอกจากนั้นสปอร์ของจุลินทรีย์ก็ตอบสนองต่อสารเคมีแตกต่างไปจากเซลล์ในสภาวะปกติ จุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถสร้างฟิล์มชีวภาพ ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทเซลล์ในสภาวะปกติ จุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถสร้างฟิล์มชีวภาพ ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากกระบวนการสร้าง – ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ทำให้ทนต่อการถูกทำลายด้วยสารเคมีอีกด้วย



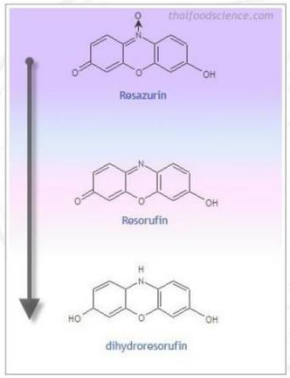


(3) จำนวนเซลล์จุลินทรีย์เริ่มต้น

- หากจุลินทรีย์เริ่มต้นมีปริมาณมาก การควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ให้ได้ถึงระดับหนึ่งโดยใช้สารเคมีที่ความเข้มข้นหนึ่ง ๆ จะต้องใช้เวลามากกว่าในสภาวะที่เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นมีปริมาณน้อยในอาหาร ปัจจัยของจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีอยู่ในอาหารก่อนการแปรรูปมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นไปอีก เพราะแม้ว่าการทราบจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น จะช่วยให้สามารถออกแบบกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถกำจัดจุลินทรีย์ลงถึงระดับที่ต้องการได้ แต่หากเชื้อเริ่มต้นมีปริมาณมากจนสามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางลบต่ออาหารถึงระดับที่สังเกตได้ การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ให้หมดไปจะไม่ได้ช่วยให้อาหารกลับมามีคุณภาพดังเดิมได้อีก นอกจากนั้นในด้านที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย หากเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารก่อนการแปรรูปมีปริมาณสูงจนสามารถสร้างสารพิษที่ปล่อยออกมาในอาหาร การกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ให้หมดไป หรือการที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกระบวนการแปรรูปอาจไม่สามารถกำจัดสารพิษให้หมดไปได้ โดยเฉพาะสารพิษที่ทนความร้อน

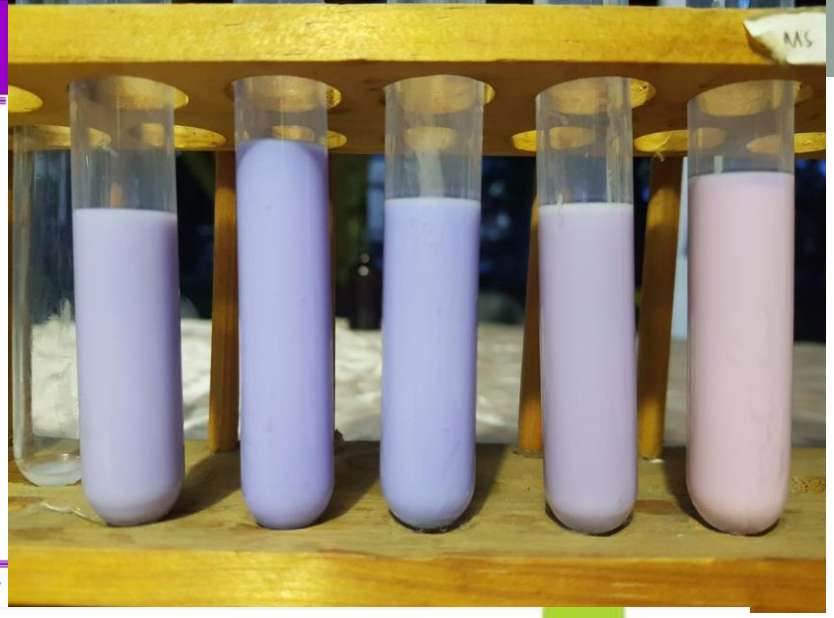
Reduction test

Resazurin reduction test



1	น้ำเงินม่วง
2	ลาเวนเดอร์
3	ชมพู
4	ใส ไม่มีสี

3-4 จัดเป็นนมดิบคุณภาพต่ำ



I. Receiving of Milk

- ✓ Milk may be delivered to the milk plant in **'cans' or 'tankers'** (Road/Rail).
- ✓ The milk in these containers has to be graded, emptied, measured by weight or volume, sampled and bulked to provide continuity of supply to the pasteurizing equipment.
- ✓ If milk is received from the **milk-chilling centers**, it has already been graded, weighed, sampled and cooled.
- ✓ Milk reception should be complete within **3-4hours**, especially in tropical countries

Nusrat Ali Bhat
Chinmai R Dastikop

(4) ชนิดของสารเคมีและกลไกการยับยั้งหรือทำลายเซลล์จุลินทรีย์

- สารเคมีแต่ละชนิดมีปฏิกิริยาต่อชีวโมเลกุลแตกต่างกัน ซึ่งอาจมีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ **(growth inhibitory activity)** หรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ **(lethal activity)** แตกต่างกันได้ สารเคมีบางชนิดใช้ได้ผลดีในการควบคุมการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย แต่อาจมีผลน้อยต่อเชื้อรา หรือกลับกัน ดังนั้น การทราบถึงคุณสมบัติของสารเคมีจึงช่วยให้สามารถใช้สารเคมีที่ถูกต้องเพื่อกำจัดเชื้อชนิดที่เป็นเป้าหมายในกระบวนการแปรรูปหรือในสภาพแวดล้อมการผลิตอาหาร อย่างไรก็ตาม การเลือกชนิดของสารเคมีเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมอาหารยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอีกหลายอย่างประกอบด้วย เช่น ผลต่อคุณภาพอาหาร ความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

Washing Treatment	Total bacteria (log CFU/g)	Mold and Yeast (log CFU/g)	*E. coli* (log CFU/g)	*L. monocytogenes* (log CFU/g)
Deionized water	0.52^{a}	0.31^{a}	0.80^{a}	0.95^{a}
Slightly acidic EW (SAEW) (5 mg/L ACC)	1.93^{b}	1.64^{d}	2.40^{d}	2.80^{d}
Strong acidic EW (StEW) (50 mg/L ACC)	1.94^{b}	1.57^{d}	2.30^{d}	2.70^{d}
Aqueous ozone (5.3 mg O_3/L water)	1.07^{c}	0.88^{bc}	1.22^{bc}	1.40^{b}
Citric acid (1 %)	1.39^{cd}	1.05^{cd}	1.50^{c}	1.70^{b}
NaOCl (100 mg/L ACC)	1.61^{db}	1.38^{cd}	2.01^{d}	2.20^{c}

$^{a-d}$ Different subscripts show statistical significance ($P<0.05$) on the same column

In another study, **Ding *et al.* (2011)** investigated the effects of the same sanitizers which were used in Rahman's research (Rahman et al., 2010a) on the inactivation for all microorganisms, there was no statistically significant the slightly acidic and strong acidic EW results (Table 6).

(5) เวลาที่สารเคมีสัมผัสกับจุลินทรีย์ (contact time) และความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้

- ประสิทธิภาพของสารเคมีในการฆ่าเชื้อหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์นั้นมีความสัมพันธ์ โดยตรงกับเวลาที่สารเคมีสัมผัสกับเซลล์ของจุลินทรีย์และความเข้มข้นของสารเคมี โดยทั่วไปประสิทธิภาพของสารเคมีในการฆ่าเชื้อหรือยับยั้งเชื้อจะสูงขึ้นเมื่อใช้เวลานานขึ้นหรือความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ในการใช้งานยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบ เช่นเดียวกับการเลือกชนิดของสารเคมี

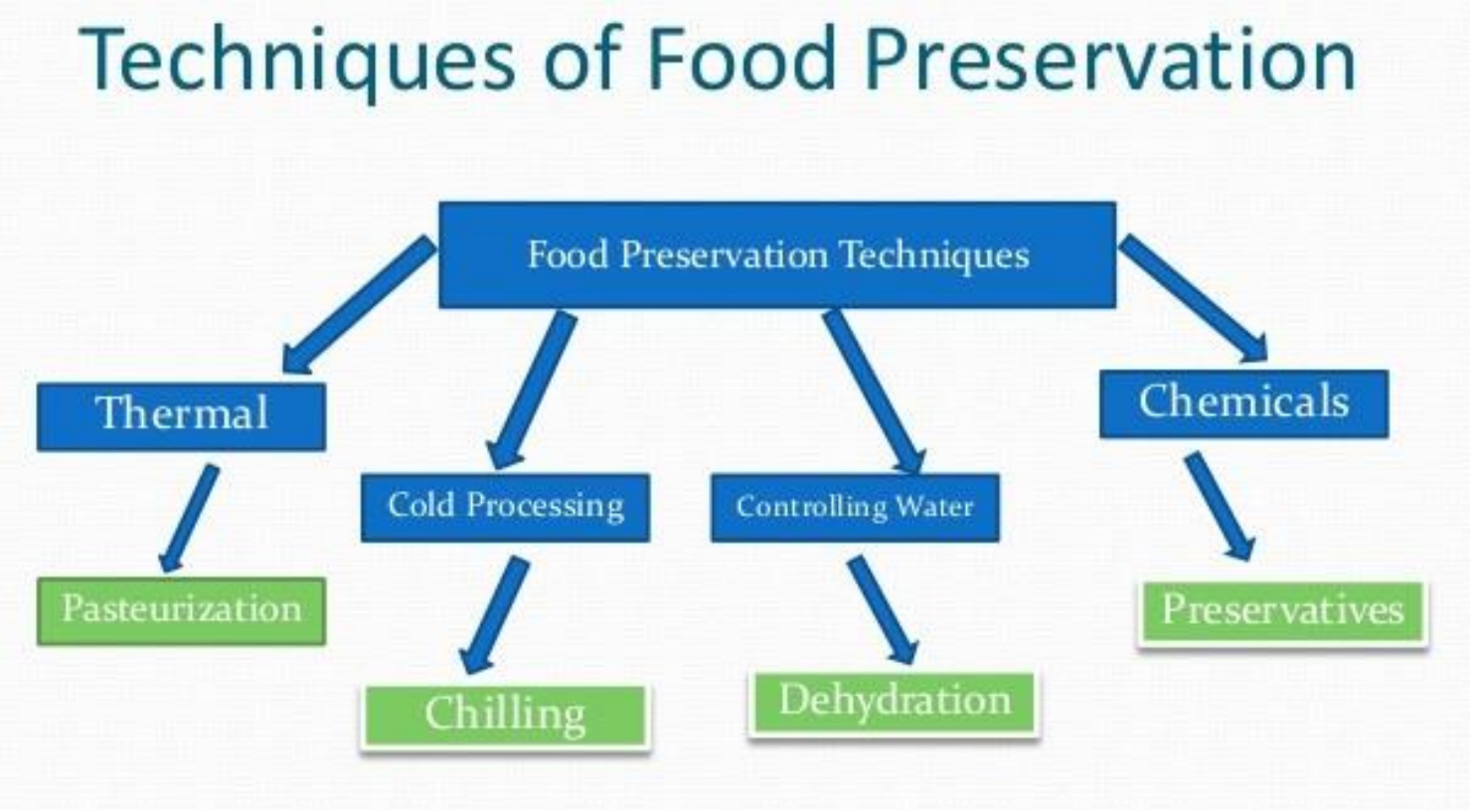
CONTACT TIME IN MINUTES	PART 2		PART 3	PART 4	
EN TESTS	HEALTHCARE HARD SURFACES	INSTRUMENTS BY IMMERSION OR FILLING	VETERINARY AND FARMING HARD SURFACES	FOOD INDUSTRY HARD SURFACES	INNER SURFACES
Bacteria – gram positive and negative including superbugs EN 1656, 13727, 14561, 16615, 14349	1 minute	1 minute	30 minutes	5 minutes	5 minutes
Viruses including envelope and non-envelope – Noro, Adeno, Polio, Bovine EN14476, 14675	2 minutes	2 minutes	30 minutes	2 minutes	2 minutes
Yeast – Candida Albicans EN1657, 13624, 13697, 14562, 16438	5 minutes	5 minutes	30 minutes	5 minutes	5 minutes
Mycobacteria including Terrae, Avium etc EN14348	10 minutes	10 minutes		10 minutes	10 minutes

- (6) ปัจจัยร่วมอื่น ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อของสารเคมี
- ปัจจัยหลายประการในสภาพแวดล้อมของเชื้อจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อของสารเคมี ปัจจัยดังกล่าว ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด – ด่าง สารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การทำงานของสารเคมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยร่วมเหล่านี้เป็นอย่างมาก เช่น สารเคมีบางชนิดมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสูงในสภาวะที่เป็นกรด และมีประสิทธิภาพลดลงในในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง หรือสารเคมีบางชนิดทำงานได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น ในการใช้งานจึงจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยร่วมเหล่านี้ให้อยู่ในสภาวะที่จะส่งเสริมประสิทธิภาพการทำงานของสารเคมีให้มากที่สุด

ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ใน

อุตสาหกรรมอาหาร

- (1) สารประกอบฟีนอล **(phenols, phenolic compounds)**
- สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อรุนแรง โดยทำให้โปรตีนและเยื่อหุ้มเซลล์เสียสภาพไป แต่เนื่องจากเป็นอันตรายสูงต่อมนุษย์ด้วย จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในสภาพแวดล้อมที่สัมผัสกับอาหาร อย่างไรก็ตาม สารประกอบฟีนอลพบในปริมาณน้อยในอาหารรมควัน (โดยเฉพาะควันจากการเผาไหม้) และมีบทบาทในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์



- (2) ธาตุฮาโลเจน **(halogens: Cl, Br, F, I)**
- สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ออกซิไดส์ที่รุนแรง ซึ่งสามารถทำลายเซลล์จุลินทรีย์ได้ดี แต่ธาตุฮาโลเจนบางชนิดโดยเฉพาะโบรไมด์และฟลูออกไรด์เป็นพิษสูงต่อมนุษย์ด้วย การใช้งานของสารกลุ่มนี้ในอุตสาหกรรมอาหารใช้ในรูปของสารประกอบคลอรีนและสารประกอบไอโอดีน สารประกอบคลอรีนถูกใช้อย่างกว้างขวางในน้ำยาฆ่าเชื้อที่ใช้ฆ่าเชื้อบนพื้นผิวของสถานที่ผลิตภายหลังจากการทำความสะอาด สามารถทำลายเซลล์ปกติได้ดีกว่าสปอร์ สารประกอบคลอรีนสามารถเกิดปฏิกิริยาในน้ำได้เป็นกรดไฮโพคลอรัส **(hypochlorous acid; HOCl)** และไอออนไฮโพคลอไรด์ **(OCl^-)**

Our products have been rigorously field and lab-tested, and are compliant with the EU Biocide Regulations.

Kill 99.99% of yeast, bacteria, spores, moulds and viruses. Especially effective against biofilms.

Fast acting

Spray, wipe and dry (no rinse required) reduces staff time & cost

Completely harmless for customers/children, animals & the environment

Non-hazardous, no special H&S precautions

Multi–purpose application: The same product can be used for many processes from water treatment, CIP, environmental fogging and surface disinfection

Can be used at ambient temperature, so no need for additional energy costs for heating the product

Available as packaged, ready to use or in-situ generation for the flexibility of an on site on demand system at point of use

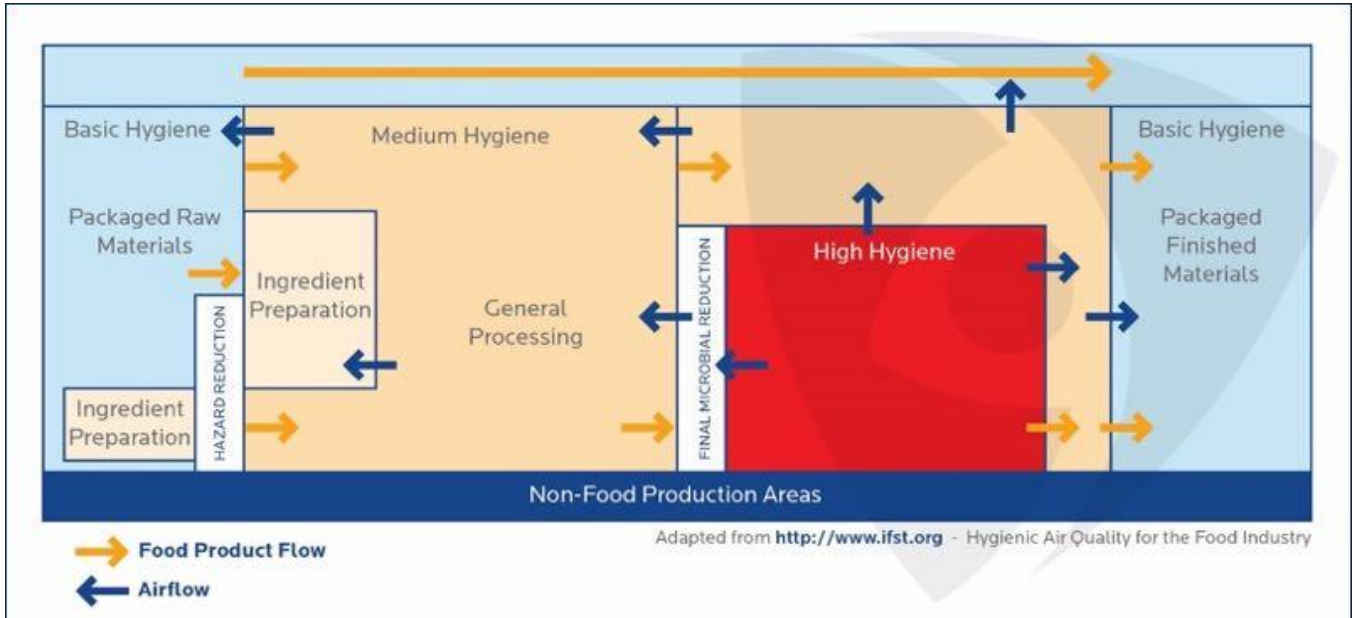
- (3) สารประเภทแอลกอฮอล์
- แอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ เช่น เอทานอล **(ethanol)** หรือไอโซโพรพานอล **(isopropanol)** เมื่อใช้ที่ความเข้มข้น 50 – 70% มีผลในการทำลายเซลล์ปกติที่ไม่สร้างสปอร์ได้ดี แต่แอลกอฮอล์ใช้ไม่ได้ผลมากนักกับสปอร์ แอลกอฮอล์สามารถทำให้โปรตีนและเอนไซม์เสียสภาพ ทำลายฟอสโฟลิพิดซึ่งเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ แอลกอฮอล์มีบทบาทในการป้องกันการเน่าเสียในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ สำหรับการใช้งานในสถานที่ผลิตอาหารไม่เป็นที่นิยมนักเนื่องจากมีราคาสูงเมื่อเทียบกับสารอื่นที่มีผลเท่าเทียมกัน แต่สามารถใช้แอลกอฮอล์เป็นส่วนหนึ่งของน้ำยาฆ่าเชื้อที่ใช้บนพื้นผิวในห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์อาหาร หรือบริเวณผลิตอาหาร หรือในการปฏิบัติงานที่ต้องการความสะอาดสูง

(4) สารประเภทแอลดีไฮด์ (Aldehydes)

- สารกลุ่มนี้มีผลทำลายโปรตีนและดีเอ็นเอ มีประสิทธิภาพการทำลายเชื้อสูง แต่เนื่องจากเป็นพิษมากต่อมนุษย์ จึงไม่ใช้ในอาหารหรือบนพื้นผิวที่สัมผัสกับอาหาร สารกลุ่มนี้พบในควันไม้ โดยเฉพาะฟอร์มาลดีไฮด์ (**formaldehyde**) ซึ่งมีผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารรมควัน สารกลุ่มนี้มีผลทำลายโปรตีนและดีเอ็นเอ มีประสิทธิภาพการทำลายเชื้อสูง แต่เนื่องจากเป็นพิษมากต่อมนุษย์ จึงไม่ใช้ในอาหารหรือบนพื้นผิวที่สัมผัสกับอาหาร

- (5) ดีเทอร์เจนต์ **(anionic detergents)**

- สารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติคล้ายสบู่ สามารถสลายไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลบนเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้สูญเสียความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร สารกลุ่มนี้มีผลมากต่อแบคทีเรียแกรมลบ นิยมใช้เป็นสารทำความสะอาดในอุตสาหกรรมอาหาร



(6) สารประกอบแอมโมเนียซึ่งภายในโมเลกุลมีธาตุต่างประจุสี่กลุ่ม (quaternary ammonium compounds; QACs, QUATs)

- สารกลุ่มนี้สามารถทำปฏิกิริยากับฟอสโฟลิฟิดที่เยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์และผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารเสียไป ถ้าใช้ในความเข้มข้นสูง ๆ สารกลุ่มนี้ยังทำให้โปรตีนเสียสภาพได้โดยทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ของกรดอะมิโน สารกลุ่มนี้ใช้ในการทำความสะอาดในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เบนซิลโคเนียมคลอไรด์ (benzylkonium chloride) ใช้ได้ผลดีกับเซลล์แบคทีเรีย แต่ได้ผลน้อยกับรายีสต์ และสปอร์ของ

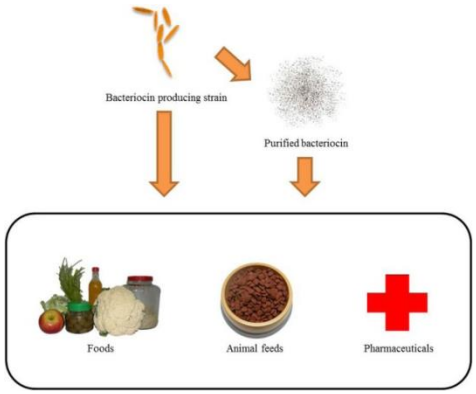
	Maximum time of inhibition of treated fibers with BAC solution (h)			
Microbe	0.5% BAC (w/v)	0.1% BAC (w/v)	0.05% BAC (v/w)	0.025% BAC (v/w)
Escherichia coli	264	168	72	24
Enterobacter	264	168	72	24
Staphylococcus	240	96	72	24
Pseudomonas	168	48	24	*-
Penicillum	240	72	-	-
Aspergillus	240	96	-	-
Fusarium	240	96	-	-
Mucor	216	72	-	-
Bacillus	48	24	12	-

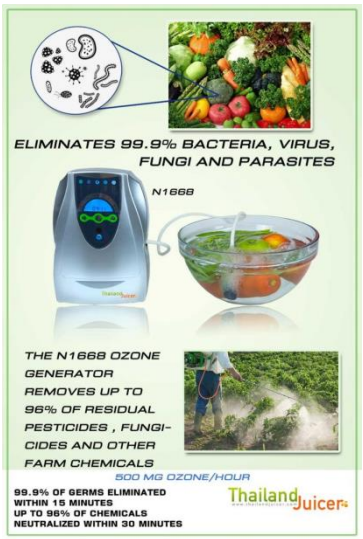
- (7) เพอร์ออกไซด์ **(peroxides)**
- สารที่ใช้มากคือไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ เป็นสารออกซิไดส์ **(oxidizing agent)** ที่มีฤทธิ์รุนแรงสารประเภทนี้สามารถออกซิไดส์หมู่ซัลฟ์ไฮดริล **(sulfhydryl groups)** ในโมเลกุลของโปรตีน ดังนั้น จึงมีผลทำลายโปรตีนที่เป็นโครงสร้างของเซลล์และทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ใช้ได้ผลดีในการฆ่าสปอร์ของแบคทีเรีย ในอุตสาหกรรมนมบางแห่งใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการรักษาคุณภาพน้ำนมดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูป แต่หากใช้วิธีนี้จะต้องกำจัดไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำนมออกก่อนโดยใช้เอนไซม์แคทาเลส นอกจากนั้นยังใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อบรรจุภัณฑ์ที่จะใช้บรรจุอาหารในกระบวนการบรรจุด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ
- (8) กรดอินทรีย์ **(organic acids)** และเกลือของกรด
- กรดอินทรีย์มีผลยับยั้งการเจริญของเซลล์แตกต่างกัน กรดบางชนิดสามารถทำลายเซลล์จากภายนอก โดยทำลายโปรตีนซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์และเยื่อหุ้ม นอกจากนั้นยังมีการใช้กรดในการฆ่าเชื้อบนพื้นผิวอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมอาหารด้วยที่ใช้มาก ได้แก่ กรดเพอร์ออกซีแอซีติก กรดแอซีติก กรดแลกติก กรดโพรพิโอนิก กรดฟอร์มิก กรดคาร์บอกซีลิก

- (9) ด่าง **(alkalis)**
- ด่างมีกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์คล้ายคลึงกับกรด สารละลายด่างที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ด่างแก่) หรือสารละลายด่างที่มีฤทธิ์อ่อนลงมา เช่น โซเดียมเมแทซิลิเกต **(sodium metasilicate)** โซเดียมไพโรฟอสเฟต **(sodium pyrophosphate)** โซเดียมคาร์บอเนต **(sodium carbonate)** ด่างถูกนำมาใช้มากในการทำความสะอาดในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งมีผลในการฆ่าเชื้อร่วมด้วย
- (10) กรดอนินทรีย์ **(inorganic acids)**
- ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้กรดอนินทรีย์ในการทำความสะอาด ซึ่งมีผลในการฆ่าเชื้อด้วย ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก **(hydrochloric acid)** กรดซัลฟิวริก **(sulphuric acid)** กรดไนทริก **(nitric)** และกรดฟอสฟอริก **(phosphoric acid)** นอกจากนั้นยังมีการใช้กรดฟอสฟอริก เกลือซัลฟิวรัส และเกลือไนตรัส เป็นวัตถุกันเสียในอาหาร

(11) โอโซน **(ozone)**

- โอโซนเป็นสารออกซิไดส์ที่มีฤทธิ์รุนแรง เนื่องจากโอโซนไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้ออาหาร จึงใช้ได้กับการฆ่าเชื้อที่ผิวนอกของอาหารหรือบนผิวหน้าของอาหารเหลว ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้โอโซนในการกำจัดเชื้อในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร ใช้ในการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำเชื่อม (หรือของเหลวอื่นที่ไม่มีส่วนประกอบที่จะถูกออกซิไดส์) ขณะที่เก็บในถังพักขนาดใหญ่ หรือใช้ในการฆ่าเชื้อที่ติดมาบนผิวนอกของผักผลไม้ที่จะเก็บรักษาในรูปผักผลไม้สด **(Kyzlink,** 1990)
- (12) แบคทีริโอซิน
- แบคทีริโอซินที่มีแนวโน้มว่าจะมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากที่สุดขณะนี้คือไนซิน **(nisin)** แบคทีริโอซินชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นจาก ***Lactococcus lactis*** สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกหลายชนิด รวมทั้ง ***Bacillus* spp.**, ***Clostridium* spp.**, ***Listeria* spp.** และ ***Staphylococcus aureus*** ไนซิน ถูกนำมาใช้ในการยับยั้งแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ในอาหารกระป๋อง ในเนยแข็ง ในน้ำผลไม้ โดยจะมีผลในการยับยั้งการงอกของสปอร์





การใช้รังสี (radiation) เพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมอาหาร

- รังสีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารมี 3 ชนิด คือ รังสีอัลทราไวโอเลต รังสีแกมมา และรังสีไมโครเวฟ ซึ่งมีช่องความยาวคลื่นที่ต่างกัน
- **รังสีอัลตราไวโอเลต**
- **รังสีอัลตราไวโอเลตทำลายโครงสร้างและการทำงานของสารพันธุกรรมในเซลล์ โดยเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างไทมีนในสายเดียวกันของสารพันธุกรรม (thymine dimers) ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการคัดเลือกดีเอ็นเอและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือมีผลทำให้เซลล์ตาย นอกจากนั้นยังมีผลทำลายโปรตีน โดยทำลายโครงสร้างของกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างเป็นวง (aromatic groups) ได้แก่ ทริปโทแฟน (tryptophan) ไทโรซีน (tyrosine) และฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) (Garbutt, 1997)สำหรับความต้านทานของจุลินทรีย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเลตนั้น พบว่าสปอร์ของราที่สร้างสี (pigment) มีความต้านทานต่อรังสีมากที่สุด ตามด้วยสปอร์ของแบคทีเรีย ยีสต์และรา แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ตามลำดับ (Garbutt, 1997)**
- **เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตไม่สามารถทะลุผ่านวัตถุได้ดี การใช้รังสีอัลตราไวโอเลตในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมอาหาร จึงมักใช้ฆ่าเชื้อที่มีอยู่ในอากาศภายในบริเวณการผลิตที่ต้องการความสะอาดสูงและบนพื้นผิวอุปกรณ์การผลิต เช่น ใช้ในการลดปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศในห้องบรรจุอาหารใช้ฆ่าเชื้อบนผิวของบรรจุภัณฑ์ก่อนการบรรจุ ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบเพื่อฆ่าสปอร์ของราในสภาพแวดล้อมการผลิต ใช้ในอุตสาหกรรมนมเพื่อฆ่าเชื้อบรรจุภัณฑ์สำหรับนมยูเอชทีโดยใช้ร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำดื่มและน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร**

GHT ENERGY IN FOOD PRESERVATION

Radiation

se to inactivate MOs on the surface of foods and thin films of liquid.

- Use extensively in disinfection of equipment, glassware, and air.
- The optimum wavelengths: 260 nm.

Use of UV light

UV light conveyer

รังสีแกมมา

- รังสีแกมมาเป็นรังสีที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้นและมีพลังงานสูง สามารถที่จะทำให้โมเลกุลของสารแตกออกเป็นไอออนได้ **(ionizing radiation)** ในการใช้เพื่อถนอมอาหารมักใช้รังสีแกมมาในช่วงความยาวคลื่น 0**.14 –** 0.0005 นาโนเมตร มีแหล่งกำเนิดรังสีจากธาตุ เช่น โคบอลต์ **–** 60 **(cobalt – 60**) และซีเซียม **–** 137 **(cesium – 137**) เนื่องจากรังสีแกมมาสามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ดี จึงสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการบรรจุแล้ว รังสีแกมมามีกลไกในการทำลายเซลล์ โดยทำลายโครงสร้างโมเลกุลของส่วนประกอบของเซลล์รวมทั้งสารพันธุกรรมด้วย ซึ่งแม้ว่าไอออนซึ่งแตกตัวจากโมเลกุลอาจจะกลับมารวมตัวกันได้อีกแต่อาจไม่เหมือนเดิม นอกจากนั้นโมเลกุลของน้ำยังสามารถดูดกลืนพลังงานจากรังสีได้และแตกตัวเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้น อนุมูลอิสระนี้สามารถที่จะรวมกันเองหรือรวมกับออกซิเจนและทำให้เกิดสารที่มีฤทธิ์ออกซิไดส์รุนแรงซึ่งจะมีผลทำลายเซลล์ จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ มีความต้านทานต่อรังสีแตกต่างกัน ไวรัสมีความต้านทานต่อรังสีมากที่สุด ถัดมาคือสปอร์ของแบคทีเรีย สปอร์ของเชื้อราที่มีสารสี **(pigmented mould spores)** เชื้อยีสต์และราตามด้วยแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ตามลำดับ
- รังสีแกมมาถูกใช้ในด้านที่เกี่ยวข้องกับอาหาร เช่น ใช้ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารลงจนถึงระดับที่ยอมรับได้ ใช้ในการถนอมผลไม้สดให้เก็บได้นานขึ้น ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค นอกจากนั้นยังสามารถใช้รังสีในการชะลอการงอกของพืชผักประเภทหัว เช่น มันฝรั่ง หัวหอม ใช้ในการทำลายไข่แมลงหรือหนอนที่ติดมากับพืชหลังการเก็บเกี่ยวได้อีกด้วย

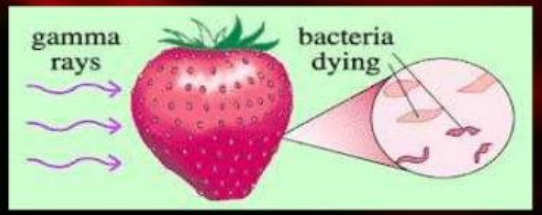
Sterilising

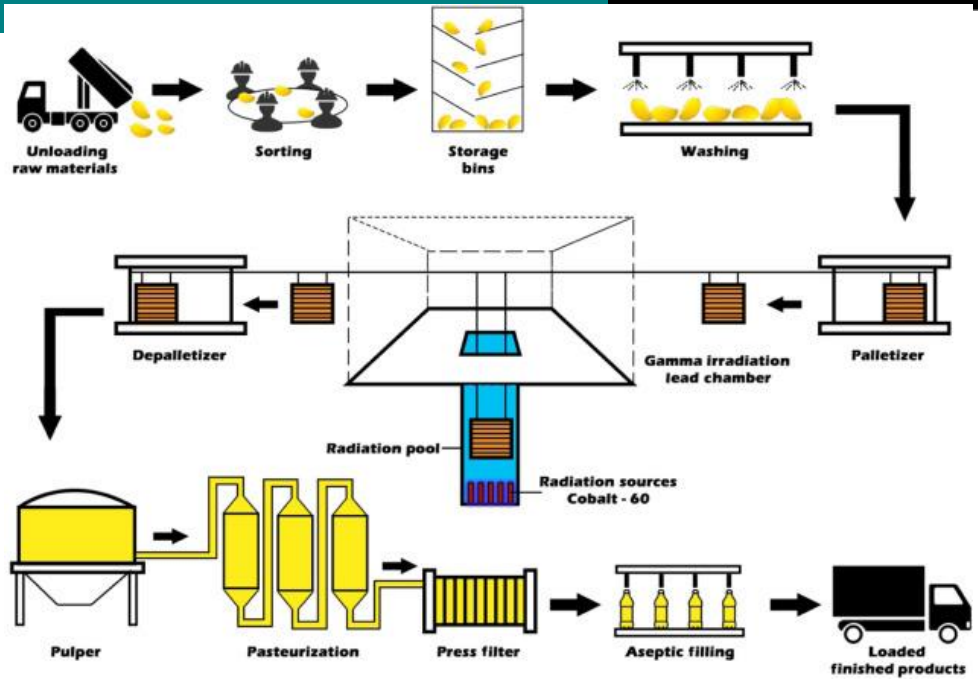
- Even after it has been packaged, gamma rays can be used to kill bacteria, mould and insects in food.
- This process prolongs the shelf-life of the food, but sometimes changes the taste.
- Gamma rays are also used to sterilise hospital equipment, especially plastic syringes that would be damaged if heated.

Gamma sterilization of food

Food sterilization by gamma irradiation is the process of exposing food to ionizing radiation to destroy microorganisms, bacteria, viruses, or insects that might be present in the food.

Irradiated food does not become radioactive, but in some cases there may be some chemical changes.





สำหรับการฉายรังสีเพื่อควบคุมเชื้อจุลินทรีย์นั้น ได้มีการกำหนดปริมาณรังสีเป็น 3 ระดับ คือ

- (1) ปริมาณรังสีที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ **(radappertation)** แม้ว่าโดยทฤษฎีแล้ว ปริมาณรังสีระดับนี้จะสามารถทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหารได้ แต่ในขณะเดียวกัน ปริมาณรังสีที่สูงนี้สามารถสลายโครงสร้างของโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่ออาหาร ทำให้อาหารเสียคุณภาพด้านประสาทสัมผัสไปได้
- (2) ปริมาณรังสีที่มุ่งทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดอาหารเป็นพิษซึ่งไม่สร้างสปอร์ **(radicidation)** การฉายรังสีระดับนี้ใช้ปริมาณรังสีปานกลาง เช่น ในการทำลายเชื้อ ***Salmonella*** ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเสี่ยงต่อเชื้อนี้ การฉายรังสีระดับนี้อาจเทียบได้กับการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรส์เพื่อทำลายเชื้อก่อโรคในนม

- (3) ปริมาณรังสีที่มุ่งทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหาร **(radurisation, radio – pasteuration)** ในกรณีนี้ใช้ปริมาณรังสีต่ำ ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพด้านอื่น ๆ ของอาหาร
- ตัวอย่างของปริมาณรังสีที่ใช้กับอาหารเพื่อจุดประสงค์ในการควบคุมจุลินทรีย์ แสดงดังตาราง อย่างไรก็ตาม การฉายรังสีอาหารต้องปฏิบัติตามกรอบที่กฎหมายของแต่ละประเทศกำหนดสำหรับประเทศไทย ได้มีการกำหนดปริมาณรังสีสูงที่สามารถใช้กับอาหารเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ ไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 297) พ.ศ.2549 เรื่อง อาหารฉายรังสี

จุดประสงค์ของการฉายรังสี	ตัวอย่างอาหาร	ปริมาณรังสี (KGy)*
การฉายรังสีเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ในอาหาร	เครื่องเทศ	10
การฉายรังสีเพื่อฆ่าเชื้อ **Salmonella**	เนื้อสัตว์ เนื้อไก่ กุ้ง ผลิตภัณฑ์ไข่ ปลาป่นและเนื้อป่นที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์	3 – **10**
การฉายรังสีเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา หรือเพื่อฆ่าเชื้อที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย	ผลไม้สด เช่น สตรอว์เบอร์รี มะม่วง มะละกอ อินทผลัม เนื้อสัตว์ดิบ เนื้อสัตว์ปีก และสัตว์น้ำที่เก็บรักษาในสภาพแช่เย็น ผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ	1 - 5

หมายเหตุ : *หน่วยวัดปริมาณรังสี คือ เกรย์ (Gray, Gy) เท่ากับพลังงานที่ดูดกลืน 1 จูล (joule) ต่อสารที่ถูกฉายรังสี 1 กิโลกรัม และ 1 กิโลกรัม (KGy) คือ 1000 เกรย์ (บางครั้งอาจใช้ หน่วย rad ซึ่ง 1 Gy เทียบเท่ากับ 100 rads)

- ไมโครเวฟมีผลทำลายเซลล์ โดยมีกลไกหลักคือทำให้เกิดความร้อนในสภาวะที่มีน้ำอยู่ **(Garbutt,** 1997) แต่มีผู้ตั้งข้อสันนิษฐานว่าอาจมีกลไกอื่นนอกเหนือจากความร้อนร่วมด้วยที่มีผลในการทำลายเซลล์ การใช้ไมโครเวฟในอุตสาหกรรมอาหารเริ่มมีมากขึ้นในปัจจุบัน ทั้งไมโครเวฟธรรมดาและไมโครเวฟสุญญากาศ โดยมากใช้ในการทำแห้งชา เครื่องเทศ และผลิตภัณฑ์ผัก – ผลไม้ โดยหลักการสามารถใช้ในการพาสเจอไรส์นม น้ำผลไม้ และอาหารอื่น ๆ ได้เช่นกัน

- การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยการควบคุมค่ากิจกรรมของน้ำ
- (1) การทำแห้ง อาจทำได้โดยการตากแห้งด้วยแสงแดด ซึ่งใช้กับธัญพืช ผลไม้ตากแห้ง เนื้อสัตว์และสัตว์น้ำ หรืออาจเป็นการทำให้แห้งด้วยวิธีอื่น เช่น สเปรย์ดราย ดรัมดราย การอบแห้ง ซึ่งใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ผัก – ผลไม้ ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ผลิตภัณพ์นม นอกจากนั้นยังมีวิธีการทำแห้งร่วมกับการแช่เยือกแข็ง (**freeze drying)** ใช้กับชา กาแฟ น้ำผลไม้
- (2) การรมควัน วิธีนี้ใช้กับปลา ไส้กรอก เนื้อสัตว์ ในการรมควันนี้ การยับยั้งเชื้อเป็นบทบาทร่วมระหว่างการลดค่ากิจกรรมของน้ำกับผลของสารต่าง ๆ ที่มีในควันไฟด้วย

- (3) การเติมเกลือ (โซเดียมคลอไรด์) หรือน้ำตาล กลไกหลักของการยับยั้งเกิดจากการที่เกลือหรือน้ำตาลไปจับกับโมเลกุลของน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ซึ่งเป็นการลดค่ากิจกรรมของน้ำลง กลไกการยับยั้งส่วนหนึ่งอาจเกิดจากผลของแรงดันออสโมติก การใช้เกลือเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์เป็นวิธีการถนอมอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งบางครั้งอาจใช้ร่วมกับอุณหภูมิต่ำหรือกรด การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำทันทีหลังจากเติมเกลือ สามารถป้องกันไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียเจริญและแทรกตัวเข้าไปในเนื้อเยื่อของอาหารก่อนที่เกลือจะแทรกเข้าไปและมีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ การถนอมอาหารด้วยวิธีนี้สามารถใช้กับผัก – ผลไม้ เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ในรูปของการดองเกลือ อาหารเชื่อม แช่อิ่ม เป็นต้น
- การลดค่ากิจกรรมของน้ำให้ต่ำกว่าค่าที่เชื้อจุลินทรีย์เจริญได้นั้น เป็นวิธีการยับยั้งการเจริญของเชื้อ ไม่ใช่การฆ่าเชื้อ เชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในสภาพแห้งหรือสภาพที่มีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำอาจไม่ตาย แม้ว่าในบางกรณีเซลล์อาจเสียหายได้ แต่หากค่ากิจกรรมของน้ำเปลี่ยนแปลงไปในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญ เซลล์ที่เสียหายอาจได้รับการซ่อมแซมให้ฟื้นคืนสภาพ และจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มจำนวนได้ ดังนั้น หลังจากการทำแห้ง รมควัน หรือดอง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเก็บรักษาอาหารในสภาพที่จะรักษาค่ากิจกรรมของน้ำให้มีสภาพคงที่เพื่อป้องกันการเน่าเสียของอาหาร

การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาอาหาร

- การใช้อุณหภูมิต่ำในการรักษาคุณภาพอาหารเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การแช่เย็น การแช่แข็ง การใช้อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้โดยกลไกต่อไปนี้
- (1) อุณหภูมิต่ำมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปเอนไซม์ของจุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิปานกลาง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารมากที่สุดนั้น จะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่เชื้อเจริญได้ดีด้วย เมื่ออุณหภูมิต่ำลง อัตราการทำงานหรือประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสร้าง – สลายสารอาหารของเซลล์ลดลงหรือหยุดชะงักไป ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญได้ช้าลงหรือหยุดการเจริญ

(2) ในกรณีของการแช่แข็ง น้ำจะอยู่ในรูปผลึกน้ำแข็งซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ได้

- (3) การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้สารละลายในเซลล์เข้มข้นขึ้นและทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างภายในเซลล์เปลี่ยนแปลง เกิดการแพร่ของเกลือแร่ออกนอกเซลล์ อีกทั้งทำให้เซลล์แห้ง และส่วนประกอบบางอย่างภายในเซลล์สูญเสียโครงสร้าง หรือเอนไซม์ถูกยับยั้งการทำงานไปได้ (โดยเฉพาะในกรณีแช่แข็งแบบช้า)
- (4) ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะภายในเซลล์สามารถทำลายโครงสร้างของเซลล์ได้ แม้ว่าการใช้อุณหภูมิต่ำอาจมีผลทำให้เซลล์ได้รับความเสียหายได้บ้าง (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิ อัตราการลดลงของอุณหภูมิ และปัจจัยร่วมอื่น ๆ) แต่การใช้อุณหภูมิต่ำไม่ได้เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อมุ่งทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้ได้ทั้งหมด

S. No	PARAMETER	FAST FREEZING	SLOW FREEZING
1.	Definition	The food products are exposed to such a low temperature which is well enough to inhibit oxidative and microbial changes which are responsible to change colour and flavour.	It refers to freezing in air with natural circulation or with electric fans
2.	Microbial growth	There is more prompt prevention of microbial growth	Prevention of microbial growth is not as prompt as in fast freezing
3.	Size of ice crystals	Small ice crystals are formed which does not lead to cell disruption.	Allow the formation of large disruptive ice crystals which damages the cell
4.	Vapor Pressure	Water vapor gradients are not formed hence minimum dehydration	Ice crystals have lower water vapor pressure than regions adjacent to cells hence water moves from cells to growing crystals hence cell becomes dehydrated and permanently damaged
5.	Time	Reduces processing time hence microbial contamination will be less.	Processing time is comparatively high than fast freezing
6.	Applications	Wide applications in industries. Freezing of fruits and vegetables meat and poultry products	Successfully employed for cryopreservation of meristems of peas, potato, cassava, strawberry etc

- วิธีการถนอมอาหารโดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีความหลากหลาย ตั้งแต่การแช่น้ำแข็งซึ่งใช้ในการถนอมรักษาอาหารสด โดยเฉพาะสัตว์น้ำ การแช่เย็น มักใช้อุณหภูมิ 0 – 4^0 ซ แต่สำหรับ ผัก – ผลไม้สดที่เสียหายได้ง่ายเนื่องจากความเย็นมักใช้อุณหภูมิประมาณ 7 – 15^0 ซ และการแช่แข็ง ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารมักใช้การแช่แข็งแบบรวดเร็วที่อุณหภูมิ -30 ถึง -40^0 ซ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่แข็งประมาณ -20 ถึง -30^0 ซ

การควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์โดยการปรับสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาอาหาร

- เนื่องจากปริมาณของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่กำหนดความสามารถในการเจริญและอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ดังนั้น การถนอมอาหารจึงได้นำหลักการนี้มาใช้โดยแปรความเข้มข้นระหว่างก๊าซ 3 ชนิด คือ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ก๊าซที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์คือออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซออกซิเจนจะเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบได้ดี โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรีย ***Pseudomonas*** ซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสียของเนื้อสัตว์และปลา นอกจากนั้นยังสามารถยับยั้งเชื้อราได้ดี ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างภายในเซลล์ลดลง ทำให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่อาศัยเอนไซม์หยุดชะงักลง และยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์อีกด้วย การประยุกต์ใช้หลักการนี้ในอุตสาหกรรมอาหารปรากฏในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่

(1) การบรรจุอาหารในสภาพสุญญากาศ **(vacuum packaging)**

- การบรรจุลักษณะนี้จะนำเอาอากาศออกจากบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด ช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะพวกที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ เช่น เชื้อรา แบคทีเรีย ***Pseudomonas*** ที่เป็นสาเหตุการเน่าเสียของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ การบรรจุแบบสุญญากาศสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ สมุนไพร ไส้กรอก ผัก – ผลไม้ดอง ผัก – ผลไม้อบแห้ง เป็นต้น

- (2) การเก็บรักษาอาหารในสภาพควบคุมบรรยากาศ **(controlled atmosphere packaging; CAP)**

- การเก็บรักษาอาหารในสภาพควบคุมบรรยากาศ อาศัยหลักการดัดแปลงสภาพบรรยากาศให้มีความเข้มข้นของก๊าซที่ไม่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ โดยพิจารณาจากความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์เป็นสำคัญ และรักษาให้สภาพนั้นคงอยู่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งอาจต้องอาศัยการเปลี่ยนถ่ายก๊าซเข้าและออกให้คงความเข้มข้นคงที่อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยเฉพาะหากใช้กับพืชผลสดที่ยังมีการหายใจอยู่ การเก็บรักษาในลักษณะดังกล่าวจะต้องพิจารณาว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียหรือเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่ต้องการยับยั้งนั้นเป็นเชื้อชนิดใด และเลือกใช้ความเข้มข้นของก๊าซต่าง ๆ ให้สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อชนิดนั้น ๆ ให้ได้มากที่สุด วิธีนี้ใช้มากในการเก็บรักษา ผัก – ผลไม้ หรือการขนส่งผัก – ผลไม้ ตัวอย่างเช่น การขนส่งมะนาว เนื่องจากมะนาวเกิดการเน่าเสียได้ง่ายจากเชื้อรา มะนาวที่ขนส่งทางเรืออาจส่งในตู้ที่ใช้สภาพควบคุมบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในความเข้มข้นสูงและออกซิเจนในปริมาณน้อย สภาพดังกล่าวช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อราซึ่งช่วยรักษาความสดได้นานขึ้น

Conventional packaging allowed some "breathing." A new covering keeps carbon monoxide and other gases in and adds a puffy appearance. A typical package contains:
30% Carbon dioxide
69.6% Nitrogen
0.4% Carbon monoxide
Sutton & Dodge
CHOICE ANGUS BEEF
USE OR FREEZE
MAR 16, 2006
The meat industry says consumers should pay attention to "use or freeze" dates, not just color.

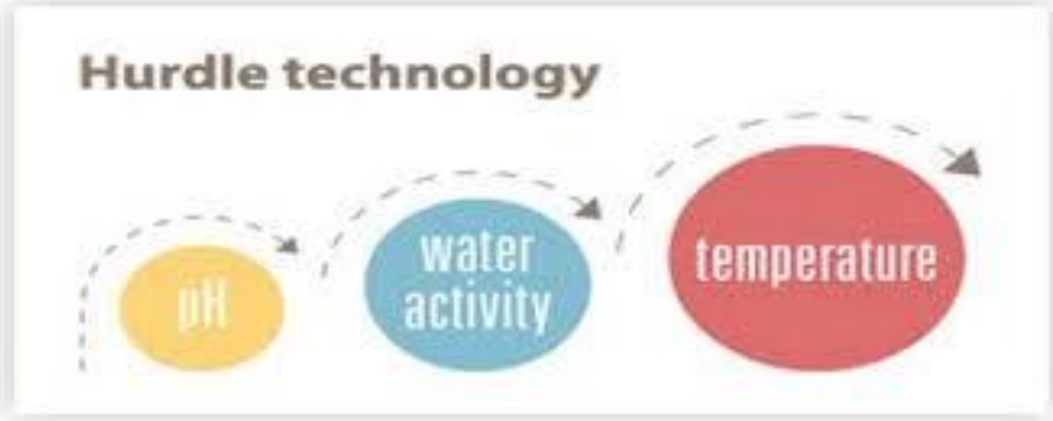
CONTROLLED ATMOSPHERIC
PACKAGING
(CAP)

(3) การบรรจุอาหารในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere packaging; MAP)

- การบรรจุอาหารในสภาพดัดแปลงบรรยากาศนั้นอาศัยหลักการปรับสภาพความเข้มข้นของก๊าซในบรรยากาศ เช่นเดียวกับที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหารในสภาพควบคุมบรรยากาศ แต่จะไม่มีการควบคุมสภาพบรรยากาศอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้น สภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์หลังจากการเก็บรักษาไประยะหนึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเวลาเริ่มต้นได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุบรรจุและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับอาหารที่บรรจุ ตัวอย่างอาหารที่ใช้วิธีนี้ในการยืดอายุการเก็บรักษา ได้แก่ เนื้อสัตว์ตัดแต่ง เนื้อสัตว์บดผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมปรุง สลัดผักสด ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผัก – ผลไม้

การใช้ปัจจัยร่วมเพื่อสร้างอุปสรรคต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร หรือ “เทคโนโลยีเฮอร์เคิล” (hurdle technology)

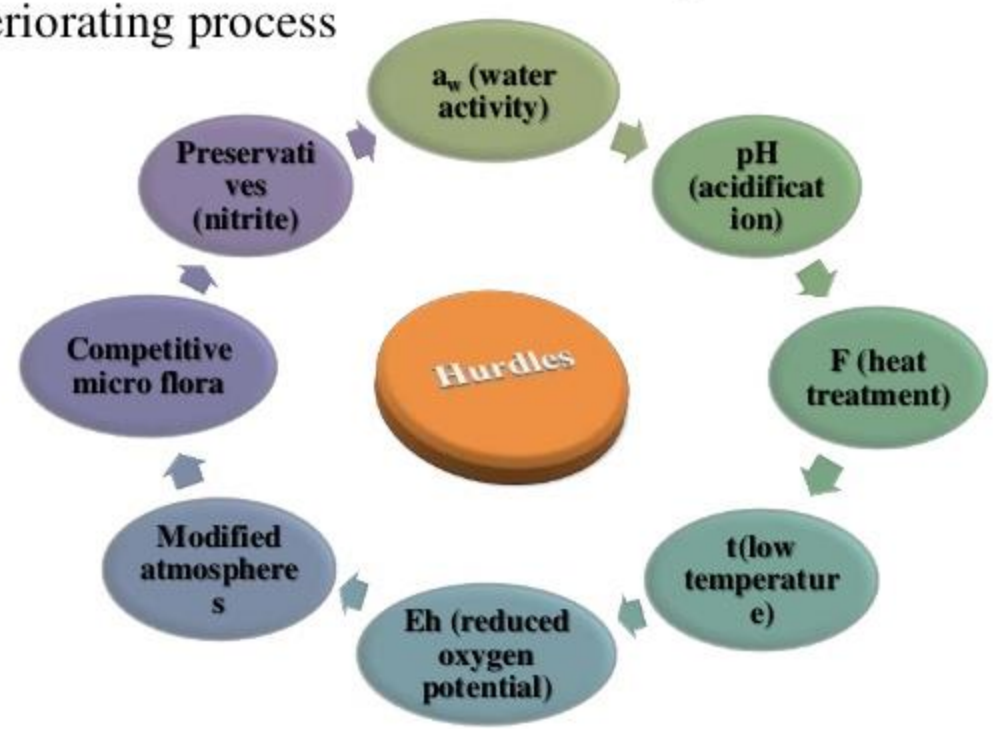
- การรวมปัจจัยที่มีผลในการยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์หลาย ๆ ปัจจัยเข้าด้วยกันในกระบวนการแปรรูปอาหารกระบวนการหนึ่ง ๆ นั้น นัยหนึ่งเป็นการสร้างให้เกิดอุปสรรคต่อการเจริญของจุลินทรีย์หรืออาจเรียกว่าเป็น “เทคโนโลยีเฮอร์เดิล” **(hurdle technology)** อุปสรรคหรือปัจจัยกีดขวางการเจริญของจุลินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้ร่วมกันนี้จะส่งผลให้สามารถยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ในที่สุด **(hurdle effect)** แท้จริงแล้วการใช้เทคโนโลยีนี้ได้มีการนำมาใช้นานแล้วในการถนอมอาหารหลายชนิด เช่น แยมผลไม้ มีการใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ส่วนหนึ่ง ร่วมกับกรดและน้ำตาลซึ่งมีผลในการลดค่ากิจกรรมของน้ำ เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทนความร้อน (จุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์) ที่ยังหลงเหลืออยู่ ส่วนผักดอง มีการใช้กรดแลกติกและเกลือร่วมกัน นอกจากนี้ไส้กรอกหมัก ที่ถนอมรักษาได้โดยการใช้เกลือที่เติมลงไปร่วมกับกรดแลกติกที่ได้จากการหมัก การรมควันเพื่อลดค่ากิจกรรมของน้ำ และการเติมสารกันเสีย เช่น ไนไทรต์ปริมาณเล็กน้อยเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ยังหลงเหลืออยู่



- ความรู้ถึงสมบัติด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ช่วยให้สามารถปรับปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญหลาย ๆ ปัจจัยเข้าด้วยกันเพื่อควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น การควบคุมการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคชนิดหนึ่งที่เจริญได้ที่อุณหภูมิ 2 – 5^0 ซ ทนเกลือได้ถึงร้อยละ 15 และทนค่าความเป็นกรด – ด่างที่ต่ำถึงประมาณ 4.1 ได้ หากนำเอาปัจจัยเหล่านี้มาพิจารณาร่วมกันเพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์นี้ ก็จะสามารถออกแบบกระบวนการแปรรูป – เก็บรักษาอาหารที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติที่จะสามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคชนิดนี้ และในขณะเดียวกันไม่กระทบต่อคุณภาพด้านอื่นของผลิตภัณฑ์จนเกินกว่าระดับที่จะยอมรับได้

ภาพการใช้เทคโนโลยีเฮอร์เคิล(hurdle technology)ในการถนอมอาหาร

- **Hurdle** in a food- Substance or process inhibition deteriorating process



THE END