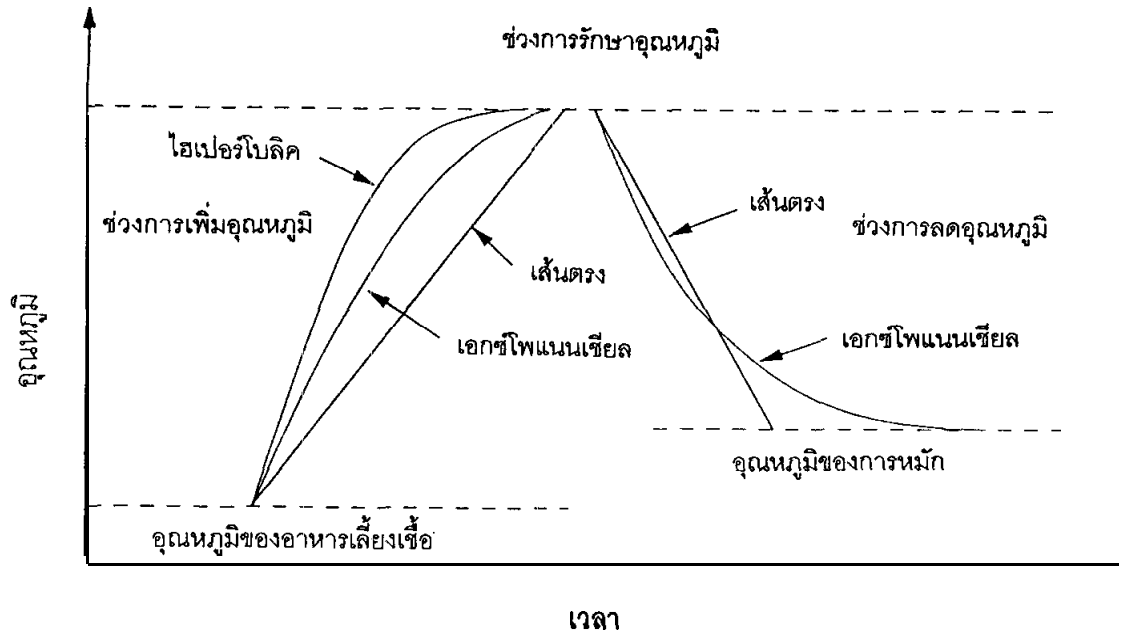


รูปที่ 51 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ ในกระบวนการทำลายเชื้อแบบเบชท์

<u>การให้ความร้อนโดยการพ่นไอน้ำโดยตรง</u>

การให้ความร้อนโดยการพ่นไอน้ำโดยตรงนั้น ความร้อนที่ใช้จะอยู่ในรูปของไอน้ำที่อิ่มตัวภายใต้ความดัน เนื่องจากอุณหภูมิของไอน้ำนี้ จะทำให้ได้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิของน้ำเดือด จึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ลดลง โดยท่อไอน้ำเข้า (stream inlet) สามารถติดตั้งที่ตรงส่วนบนหรือส่วนล่างของเครื่องได้ แต่ควรติดตั้งในตำแหน่งตรงข้ามกับช่องทางที่ใช้ระบายอากาศ เนื่องจากไอน้ำที่ป้อนเข้าไปในเครื่องนั้น สามารถสัมผัสได้โดยตรงกับของเหลว จึงอาจทำให้ความเข้มข้นของสารต่างๆลดลงได้ โดยปกติแล้วปริมาตรของไอน้ำที่ใช้จะทำให้ปริมาตรทั้งหมดเพิ่มขึ้นได้ประมาณร้อยละ 10

<u>การให้ความร้อนโดยผ่านขดลวดไฟฟ้า</u>

ปริมาณความร้อนที่ได้จากขดลวดไฟฟ้าจะมีปริมาณเท่ากับปริมาณความร้อนที่อาหารเลี้ยงเชื้อได้รับ ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ จะทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นลักษณะเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 51

<u>การให้ความร้อนผ่านผนังถังหมัก</u>

การให้ความร้อนผ่านผนังถังหมักจะเป็นความร้อนที่ได้จากไอน้ำที่หล่อโดยรอบถังหมักด้านนอก หรือเป็นท่อไอน้ำที่ขดอยู่ภายในถังหมักที่มีระบบการกวนที่ดี เพื่อการถ่ายเทความร้อน โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการเอกซ์โพเนนเชียลหรือสมการชี้กำลัง

<u>การหล่อด้วยน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ</u>

ในกระบวนการหมักนั้น หลังจากกระบวนการให้ความร้อนกับอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อทำลายเชื้อปนเปื้อนแล้ว จะต้องมีการลดอุณหภูมิของอาหารเลี้ยงเชื้อนั้นก่อนที่จะมีการเติมเชื้อตั้งต้นลงไป โดยปกติแล้วการลดปริมาณความร้อนจะเป็นการใช้น้ำหล่อเย็นโดยการผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้ลักษณะการลดลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆเป็นไปตามสมการเอกซ์โพเนนเชียล ดังแสดงในรูปที่ 51

ตัวอย่างที่ 42 ถ้าต้องการทำลายเชื้อ *Bacillus sterothermophlius* ที่ปนเปื้อนในอาหารเลี้ยงเชื้อ 10,000 ลิตร ที่อยู่ในถังหมัก ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆของการทำลายเชื้อ แสดงได้ดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ
ของการทำลายเชื้อ *Bacillus sterothermophilus*

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
54	100
61	105
69	110
79	115
91	120
101	120
104	115
107	110
114	100

1. จงคำนวณค่า ∇ ของระบบ

2. จงหาอัตราส่วนของการทำลายเชื้อ *Bacillus sterothermophilus* หรือ (N_o/N_t)

<u>วิธีทำ</u>

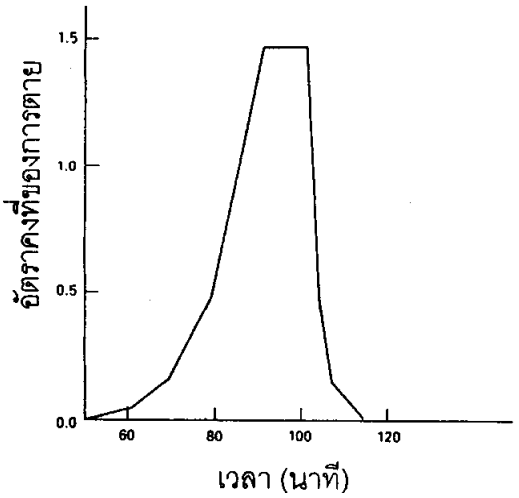
จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 31 สามารถคำนวณค่า k_d ที่อุณหภูมิต่างๆได้ จากสมการที่ 77 ดังแสดงในตารางที่ 32

เมื่ออุณหภูมิคงที่ $$\ln \frac{N_t}{N_o} = -k_d \; t$$ สมการที่ 77

ตารางที่ 32 แสดงค่า k_d ที่คำนวณได้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	k_d
54	100	0.0143
61	105	0.0477
69	110	0.154
79	115	0.483
91	120	1.47
101	120	1.47
104	115	0.483
107	110	0.154
114	100	0.0143

จากผลการคำนวณดังกล่าว เมื่อนำมาสร้างกราฟระหว่าง k_d กับเวลา ได้ดังแสดงในรูปที่ 52



รูปที่ 52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า k_d กับเวลาของเชื้อ *Bacillus sterothermophilus*

จากสมการ $\nabla = A \int \exp(-E/RT)\, dt$

เมื่ออินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟ จะได้เท่ากับ 34.00

ดังนั้น $V_{total} = 34.0$

$$\ln (N_o/N_t) = \nabla_{total}$$

$$= 34.0$$

$$N_o/N_t = 5.84 \times 10^{14}$$

Richards ได้พยายามปรับปรุงเพื่อให้การคำนวณดังกล่าวง่ายขึ้น โดยกำหนดให้ช่วงที่มีการให้ความร้อน หรือช่วงที่มีการลดลงของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิในกระบวนการนั้นมีค่ามากกว่า 100 องศาเซลเซียส มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็น 1 องศาเซลเซียสต่อนาที

ตัวอย่างที่ 43 จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 42 ถ้ากำหนดให้
ช่วงที่มีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 องศาเซลเซียส เป็น 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 37 นาที ส่วนช่วงที่มีการลดอุณหภูมิลงจากอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็น 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 13 นาที และช่วงของการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 10 นาที จงใช้วิธีของ Richards ในการคำนวณเวลาทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการ

<u>วิธีทำ</u> จากตารางที่ 33 เมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ อัตราคงที่ของการตาย และค่าการสะสมของเดลแฟกเตอร์ โดยการกำหนดให้ช่วงที่มีการให้ความร้อน หรือช่วงที่มีการลดลงของอุณหภูมิมีอัตราการเพิ่มหรืออัตราการลดลงของอุณหภูมิเป็น 1 องศาเซลเซียสต่อนาที

ก) เมื่อพิจารณาในช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิ จาก 100 องศาเซลเซียสเป็น 120 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 33 จะได้

$$\nabla_{heating} = 7.25$$

ตารางที่ 33 แสดงอุณหภูมิ อัตราคงที่ของการตาย และค่าการสะสมของเดลแฟกเตอร์

อุณหภูมิ (°C)	k	ค่าการสะสมของเดลแฟกเตอร์
100	0.0143	–
101	0.0182	0.325
102	0.0232	0.0558
103	0.0296	0.0854
104	0.0376	0.1229
105	0.0477	0.171
106	0.0604	0.231
107	0.0765	0.308
106	0.0967	0.404
109	0.122	0.526
110	0.154	0.681
111	0.194	0.875
112	0.244	1.12
113	0.307	1.43
114	0.385	1.81
115	0.483	2.29
116	0.605	2.90
117	0.757	3.66
118	0.945	4.80
119	1.18	5.78
120	1.47	7.25
121	1.83	9.08
122	2.20	11.36
123	2.83	14.19
124	3.51	17.70
125	4.35	22.05

อุณหภูมิ (°C)	k	ค่าการสะสมของเดลแฟกเตอร์
126	5.39	27.45
127	6.67	34.11
128	6.24	42.36
129	10.18	52.54
130	12.55	65.08

จากข้อกำหนดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส จะต้องใช้เวลา 20 นาที แต่เวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการนี้เป็น 37 นาที ไม่ใช่ 20 นาที ตามที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงต้องมีการคูณค่าชดเชยของเวลาดังกล่าว

โดยที่ $\nabla_{heating} = 7.25\ (37/20)$

$= 13.41$

เมื่อพิจารณาในช่วงที่มีการลดลงของอุณหภูมิจาก 120 องศาเซลเซียส เป็น 100 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 33

$\nabla_{cooling} = 7.25$

เมื่ออุณหภูมิที่ลดลงเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส แต่เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิในกระบวนการนี้เป็น 13 นาที ไม่ใช่ 20 นาที ตามที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงต้องมีการคูณค่าชดเชยของเวลาดังกล่าว

โดยที่ $\nabla_{cooling} = 7.25 \times (13/20) = 4.71$

เมื่อพิจารณาในช่วงที่อุณหภูมิคงที่ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที

$$V_{hold} = k_d\ t$$

$$= 1.47 \times 10$$

$$= 14.7$$

ดังนั้น $\nabla_{total} = \nabla_{heating} + \nabla_{hold} + \nabla_{cooling}$

$$= 13.41 + 4.71 + 14.7$$

$$= 32.82$$

ตัวอย่างที่ 44 ถ้าต้องการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีในอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที แต่ปรากฏว่าระหว่างการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียสนั้น ระบบการควบคุมเกิดทำหน้าที่ผิดปกติ โดยระบบดังกล่าวไม่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่กลับคงอุณหภูมิที่ 116 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 15 นาทีก่อนที่จะมีช่างมาแก้ไขให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 121 องศาเซลเซียสได้ จงคำนวณเวลาที่ต้องใช้เพื่อคงอุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียส

<u>วิธีทำ</u>

ในสภาวะปกติ $\nabla_{total} = \nabla_{heating} + \nabla_{hold} + \nabla_{cooling}$

ในสภาวะที่ระบบควบคุมทำหน้าที่ผิดปกติ

$$V_{total} = \nabla_A + \nabla_B + \nabla_C + \nabla_N + \nabla_{cooling}$$

เมื่อ ∇_A เป็นช่วงที่มีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 องศาเซลเซียส เป็น 116 องศาเซลเซียส

∇_B เป็นช่วงที่มีการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ที่ 116 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 15 นาที

∇_C เป็นช่วงที่มีการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส เป็น 121 องศาเซลเซียส

∇_N เป็นช่วงที่มีการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 121 องศาเซลเซียส

ดังนั้น $\nabla_{heating} = \nabla_A + \nabla_C$

$V_{hold} = \nabla_B + \nabla_N$

ที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส

$k_d = 0.605 \times 15$

$= 9.08$

$\nabla_B = 0.605 \times 15$

$= 9.08$

ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

$k_d = 1.83$

$V_{hold} = 1.83 \times 10$

$= 18.3$

$\nabla_N = \nabla_{hold} - \nabla_B$

$= (18.3 - 9.08)$

$= 9.22$

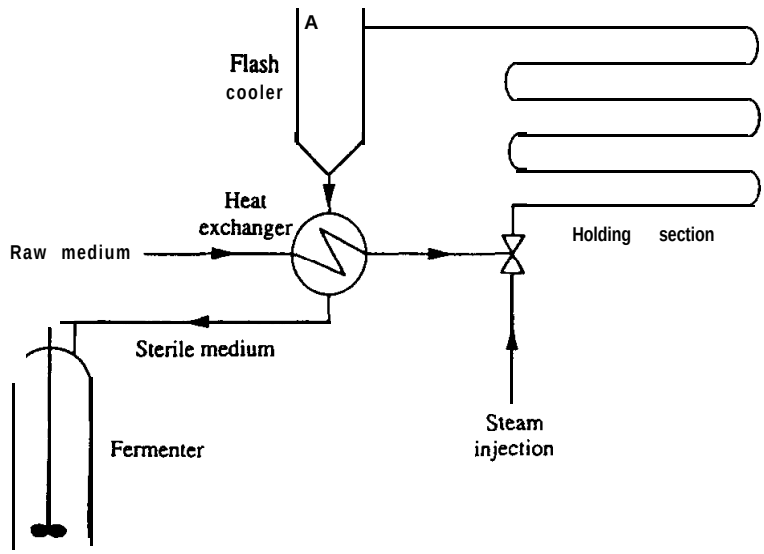
ดังนั้นระยะเวลาที่ต้องใช้เพื่อการคงอุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียส = 9.22/ 1.83

= 5 นาที

การทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนแบบต่อเนื่อง (Continous Sterilization)

การทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนแบบต่อเนื่อง ส่วนใหญ่จะเป็นแบบฉีดด้วยไอน้ำ (Continouse stream injection type) หรือแบบเพลต (Plate type heat exchange) ซึ่งหลักการของทั้งสองแบบนี้จะคล้ายกัน คือ การทำให้สารละลายมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นถึงระดับที่ต้องการโดยใช้เวลาที่สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อทำลายเชื้อให้ได้ในระดับที่ต้องการ ก่อนที่จะทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว กรณีที่เป็นการทำลายเชื้อจุลินทรีย์โดยการพ่นด้วยไอน้ำนั้น ไอน้ำที่มีความดันสูงจะถูกพ่นเข้าไปผสมกับสารละลายโดยตรงในอัตราส่วนที่เหมาะสมก่อน ทำให้อุณหภูมิของสาร

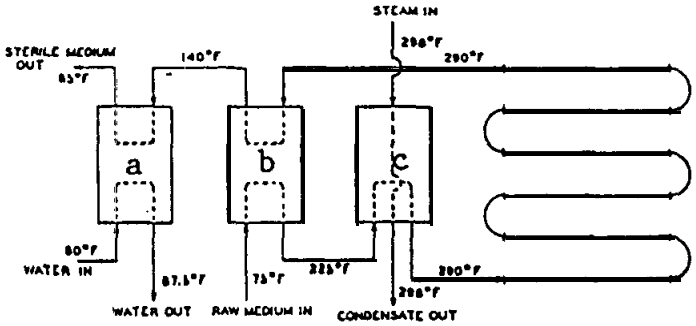
ละลายสูงเพิ่มขึ้นถึงระดับที่ต้องการอย่างรวดเร็ว สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในช่วงอุณหภูมิของการทำลายเชื้อนั้น สามารถควบคุมได้โดยการใช้ขนาดความยาวของท่อที่เหมาะสม หรือโดยการควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย หลังจากนั้นสารละลายจะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วทันทีโดยการพุ่งผ่านวาลว์เข้าสู่ห้องเย็น (flash cooler) ซึ่งทำงานภายใต้ระบบสุญญากาศ ลักษณะของไอน้ำที่ใช้ในการทำลายเซลล์จุลินทรีย์แบบนี้ต้องปราศจากสิ่งปนเปื้อน นอกจากนั้นผลของการควบแน่นของไอน้ำที่ฉีดพ่นลงไปนั้น จะมีผลทำให้สารอาหารเจือจางลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 53



รูปที่ 53 แสดงลักษณะการทำลายเชื้อแบบฉีดด้วยไอน้ำ

ส่วนการทำลายเชื้อแบบแผ่นเพลตนั้น ของเหลวจะไหลผ่านแผ่นโลหะที่ปลอดสนิมที่เรียงซ้อนกัน โดยที่พื้นที่ผิวของแผ่นจะมีลักษณะเป็นร่อง เป็นแนวที่แตกต่างกันไป เพื่อการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 54 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (a b และ c) โดยสารละลายจะไหลเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (b) และ (c) ทำให้อุณหภูมิในสารละลายสูงเพิ่มขึ้นถึงระดับที่ต้องการอย่างรวดเร็ว ก่อนที่จะไหลเข้าสู่ท่อที่ทำหน้าที่รักษาระดับของอุณหภูมิ ในช่วงเวลาที่เพียงพอสำหรับการทำลายเชื้อ ต่อจากนั้นจึงไหล

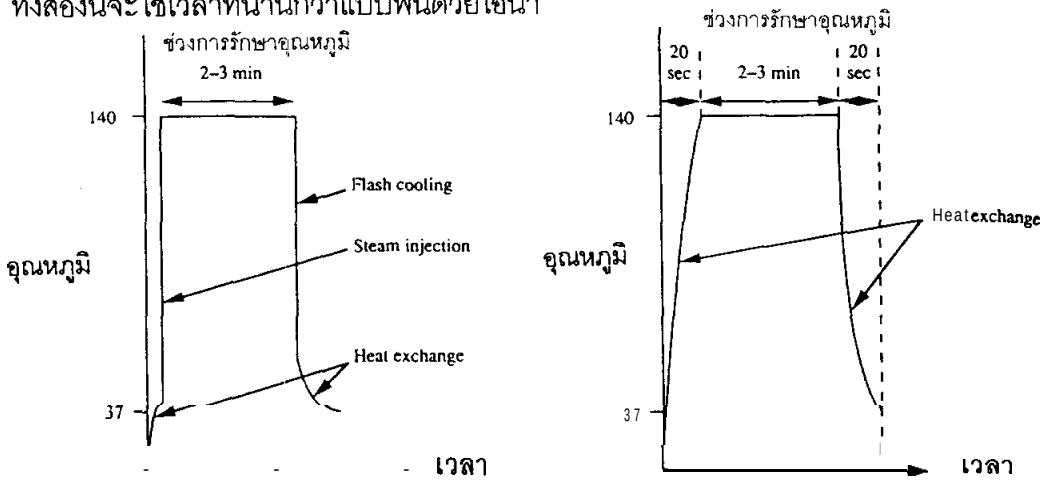
กลับมายังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (a) ต่อไป ข้อเสียของระบบการทำลายเชื้อแบบแผ่นเพลตนี้ คือ การอุดตันหรือการรั่วที่เกิดขึ้นตามแนวปะเก็นระหว่างแผ่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน นอกจากนั้นระบบการทำลายเชื้อแบบนี้ยังมีราคาที่สูงกว่าระบบฉีดด้วยไอน้ำ



ช่วงการลดอุณหภูมิ ช่วงการเพิ่มอุณหภูมิ ช่วงการรักษาอุณหภูมิ

รูปที่ 54 แสดงลักษณะการทำลายเชื้อแบบแผ่นเพลต

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในระหว่างการทำลายเชื้อด้วยระบบต่อเนื่องทั้ง 2 แบบนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 55 จะพบว่าการทำลายเชื้อแบบพ่นด้วยไอน้ำนั้น ช่วงของการทำให้สารละลายร้อนขึ้นจนถึง 140 องศาเซลเซียส และช่วงที่ทำให้อุณหภูมิลดลงนั้น จะใช้เวลาที่สั้นมาก จนไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนการทำลายเชื้อแบบเพลตนั้น ช่วงทั้งสองนี้จะใช้เวลาที่นานกว่าแบบพ่นด้วยไอน้ำ



รูปที่ 55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในระหว่างการทำลายเชื้อในระบบต่อเนื่อง

เนื่องจากการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ด้วยระบบต่อเนื่อง เป็นกระบวนการที่ทำให้สารละลายมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และการรักษาอุณหภูมินั้นให้คงที่ใช้เวลานานประมาณ 0.5 - 3 นาที ก่อนทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้มีข้อได้เปรียบกว่าการทำลายเชื้อแบบเบชท์ เพราะการใช้ระยะเวลาในการทำลายเชื้อที่สั้นกว่า ทำให้การสูญเสียคุณค่าของสารอาหารน้อยกว่า แต่ในขณะเดียวกันข้อเสียเปรียบของระบบต่อเนื่อง คือ ต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยาก โดยเฉพาะการควบคุมที่ต้องการความถูกต้องมากขึ้น

การทำลายเชื้อด้วยความร้อนจากการแผ่รังสี (Sterilization by Radiant Heat)

รังสีที่ใช้เพื่อการทำลายเซลล์จุลินทรีย์แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ รังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอิออน (nonionizing radiation) เช่น รังสีเหนือม่วง (ultraviolet radiation) และรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอิออน (ionizing radiation) เช่น รังสีแกมมา (gamma ray) และรังสีแคโทด (cathode ray) รังสีเอกซ์ (X-ray) โดยรังสีที่ทำให้แตกตัวเป็นอิออนจะมีความยาวคลื่นที่สั้นกว่า และมีพลังงานที่มากกว่ารังสีเหนือม่วงมาก จึงมีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านพื้นผิวได้ดีทั้งในของแข็งและในของเหลว

การทำลายเซลล์จุลินทรีย์ด้วยรังสีเหนือม่วง (Sterilization by Ultraviolet Radiation) รังสีเหนือม่วงมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 150-3,900 อังสตรอม โดยช่วงความยาวคลื่นที่มีผลในการทำลายแบคทีเรียได้มากที่สุด คือ 2,400- 2,800 อังสตรอม (240-280 นาโนเมตร) และความยาวคลื่นที่ให้ผลในการทำลายแบคทีเรียได้สูงสุด จะมีความยาวคลื่นประมาณ 2,600 อังสตรอม ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ดีเอ็นเอมีการดูดซึมได้สูงสุด เนื่องจากรังสีเหนือม่วงเป็นรังสีที่วิ่งเป็นเส้นตรง และมีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ จึงเหมาะกับการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่บนผิว ไม่เหมาะที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีภาชนะหรือสิ่งของที่กีดขวางกั้น

การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ด้วยรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอิออน (Sterilization by Ionizing Radiation) เนื่องจากรังสีสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของสารสำคัญต่างๆในเซลล์ โดยเฉพาะส่วนของกรดนิวคลีอิค นอกจากการเกิดอิออนแล้วโมเลกุลของสารอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเรดิคัลอิสระหรือโมเลกุล และปริมาณของรังสีที่ทำให้แตกตัวเป็นอิออนที่เป็นที่ยอมรับ คือ ปริมาณ 2.5 เมกะเรเดียน ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับว่ามีความปลอดภัยต่อการใช้งาน และเพียงพอต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์

การกรอง (Sterilization by Filtration)

การกรองเป็นกระบวนการแยกเซลล์จุลินทรีย์ออกจากของเหลวหรืออากาศ และมักใช้กับอาหารหรือของเหลว ที่มีสารที่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน เช่น สารปฏิชีวนะ เอนไซม์ เป็นต้น โดยแผ่นกรองที่ใช้มักเป็นเซลลูโลสเอสเตอร์ที่มีรูของแผ่นกรองที่ต่างกัน ขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ที่ต้องการกรอง โดยประสิทธิภาพของแผ่นกรองสามารถตรวจสอบได้ดังนี้

<u>การทดสอบโดยแบคทีเรีย (Bacteriological test)</u>

การตรวจสอบแผ่นกรองโดยแบคทีเรีย (Bacteriological test) เป็นการเลี้ยงเชื้อในสภาวะที่เหมาะสมแล้วกรองผ่านสื่อกรอง จากนั้นจึงนำเอาสารละลายที่กรองได้ไปทดสอบการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่มักใช้ในการทดสอบ คือ *Bacillus substillis* เนื่องจากมีขนาดค่อนข้างเล็ก เชื้อจุลินทรีย์อีกชนิดที่นิยมใช้ คือ *Chromobacterium prodigiosum* ซึ่งเป็นโคโลนีที่มีสีแดงสด การทดสอบคุณภาพโดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวนี้ไม่เหมาะและไม่นิยมใช้ เพราะอาจเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้หลังจากการทดสอบแล้วจะต้องทิ้งแผ่นกรองนั้นไป ปัจจุบันจึงได้หันมาตรวจสอบโดยวิธีอื่นแทน

<u>การทดสอบจุดเกิดฟอง (Bubble Point, BP)</u>

จากลักษณะของเมนเบรนซึ่งเป็นสื่อกรองที่ละเอียด เมื่อเปียกน้ำจะดูดน้ำเข้าไปในรูพรุน ซึ่งน้ำที่อยู่เต็มรูนี้จะถูกขับออกจากรูพรุนได้ด้วยการอัดอากาศผ่านเข้าไป โดยของเหลวจะถูกไล่ออกมาจากรูพรุนที่ใหญ่ที่สุดก่อน ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น

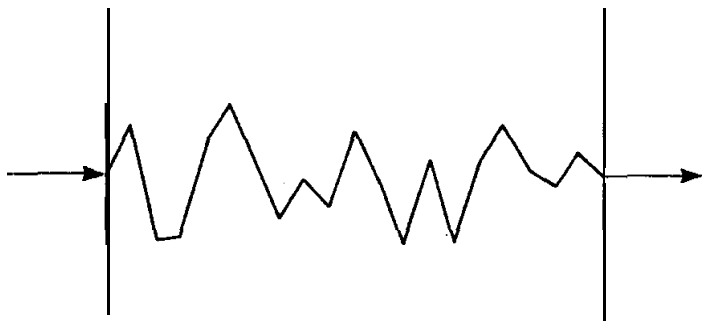
<u>การทดสอบโดยวิธี Pressure-hold หรือ Pressure-decay</u>

การทดสอบจุดเกิดฟองและการแพร่ของอากาศนั้นเป็นวิธีทดสอบการไหลของอากาศในด้านที่เป็นทิศทางเดียวกับการไหลผ่านสื่อกลาง โดยการทดสอบการแพร่ของอากาศนั้นในขณะที่วัดปริมาตรของอากาศที่ผ่านออกมาในทิศทางตามการไหลนั้น จะสามารถรักษาระดับแรงดันที่ให้อยู่ตลอดเวลา สำหรับการทดสอบโดยวิธี Pressure-Hold นี้ จะมีแรงดันบนสื่อกรองที่ทำให้เปียกแล้ว ขณะอยู่ในเครื่องกรองเมื่อปิดแหล่งที่ให้แรงดัน จะทำให้แรงดันลดลงจากด้านทวนทิศทางการไหลของสื่อกรอง ซึ่งเกิดเนื่องจากการแพร่ของอากาศ ผ่านสื่อกรองที่เปียก รวมทั้งการรั่วที่เกิดขึ้นเนื่องจากการผนึกที่ไม่ดี เป็นต้น หลังจากให้แรงดันครั้งแรกไปแล้ว และปิดทั้งแหล่งของแรงดันกับปิดทั้งทางออกด้านตามทิศทางการไหลของเครื่องกรอง ถ้าแรงดันลดลงแสดงว่ามีการรั่วของเครื่องกรอง

การกรองอากาศ(Sterilization of gasses)

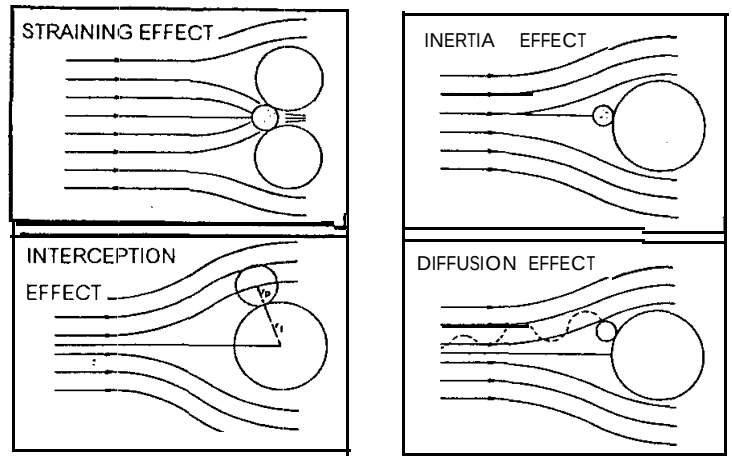
การแยกเซลล์จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศในกระบวนการหมักที่ต้องการออกซิเจนนั้น จะใช้วิธีการกรองอากาศ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก และใช้ต้นทุนที่ต่ำ โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์จะมีความกว้างประมาณ 0.5- 2 ไมครอน และความยาวประมาณ 0.5-2 ไมครอน การกรองเอาจุลินทรีย์ออกจากอากาศจะมีกลไกที่แตกต่างจากกรองของแข็งออกจากของเหลว เนื่องจากการกรองของแข็งออกจากของเหลวนั้น ตัวกลางการกรองที่ใช้จะมีขนาดของรูบนตัวกลางการกรองที่เล็กกว่าขนาดของจุลินทรีย์ที่ต้องการกรอง ซึ่งถ้าพิจารณาในลักษณะนี้แล้ว จะพบว่าการกรอง จุลินทรีย์ออก ต้องใช้ขนาดของรูกรองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 - 2 ไมครอน ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะทำให้ใช้กำลังในการขับเคลื่อนอากาศให้เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางการกรองเพิ่มขึ้น ดังนั้นตัวกลางที่ใช้กรองอากาศจึงมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ประสานกันอยู่ โดยการจัดเรียงตัวของเส้นใย และการอัดแน่นของเส้นใย จากลักษณะของเส้นใยดังกล่าวมีผลต่อทิศทางของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 56 โดยลักษณะของตัวกลางการกรองนี้ อาจแบ่งได้ 4 แบบ ตามโครงสร้างของแผ่นกรองและความสามารถในการกรอง กับลักษณะของการใช้งาน ดังนี้

1. pre-filter
2. medium efficiency filter
3. high efficiency particulate
4. ultra low penetration air filter (ULPA)



รูปที่ 56 แสดงทิศทางของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่าน

ความสามารถในการกรองของแผ่นกรอง ขึ้นกับ ลักษณะรูปร่างของแผ่นกรอง และกระบวนการ diffusion interception inertia และ straining ดังแสดงในรูปที่ 57



รูปที่ 57 แสดงกระบวนการดักจับที่เกิดขึ้นในการกรองอากาศ

1. *straining effect*

เชื้อจุลินทรีย์หรืออนุภาคที่มีในอากาศ เมื่อมีขนาดใหญ่เท่ากับช่องว่างระหว่างเส้นใยของแผ่นกรอง จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์หรืออนุภาคนั้นถูกกักไว้ไม่ให้ผ่านไปได้

2. *inertia effect*

เมื่ออากาศไหลผ่านเครื่องกรองนั้น ทิศทางของอากาศจะเปลี่ยนไปตามช่องว่างของเส้นใยได้ แต่เชื้อจุลินทรีย์หรืออนุภาคต่างๆที่มีขนาดใหญ่นั้น จะไม่สามารถหักเลี้ยวหรือเปลี่ยนทิศทางได้ทัน อนุภาคเหล่านั้นจึงวิ่งเป็นเส้นตรง ทำให้ชนกับใยแผ่นกรอง เมื่อเพิ่มความเร็วขึ้น

3. interception effect

อนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา ที่สามารถวิ่งตามทิศทางของอากาศได้ แต่ถ้าระยะ r_p มีขนาดที่เล็กกว่ารัศมีของอนุภาคที่ปนเปื้อน อนุภาคนั้นจะถูกดักติดกับเส้นใยของแผ่นกรองด้วยแรงดึงดูดวันเดอวาลล์ ซึ่งไม่ขึ้นกับความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน

4. diffusion effect

อนุภาคที่มีขนาดที่เล็กกว่า 1 ไมครอน จะไม่ไหลไปตามทิศทางการไหลของอากาศที่ผ่านเส้นใย เนื่องจากอนุภาคมีขนาดที่เล็กมาก มีน้ำหนักและมวลสารน้อยมาก อนุภาคเหล่านี้จะเกิดการเบียดกับโมเลกุลของอากาศ ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนทำให้การเคลื่อนที่ที่เกิด

ขึ้นนั้น มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรงหรือเรียกว่าเกิดการเคลื่อนที่แบบบราว์เนียน (brownian movement) โดยโอกาสที่อนุภาคจะวิ่งมาชนกับเส้นใยจะมีมากขึ้น เมื่ออนุภาคมีความเร็วลดลง และอนุภาคขนาดเล็กลง หรือเส้นใยของแผ่นกรองมีขนาดเล็กลง จากความสามารถในการกรองที่เกิดขึ้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการกรองอากาศกับปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่กรองได้ ดังแสดงในสมการที่ 79

$$\ln \frac{N_o}{N_t} = KL \qquad \text{สมการที่ 79}$$

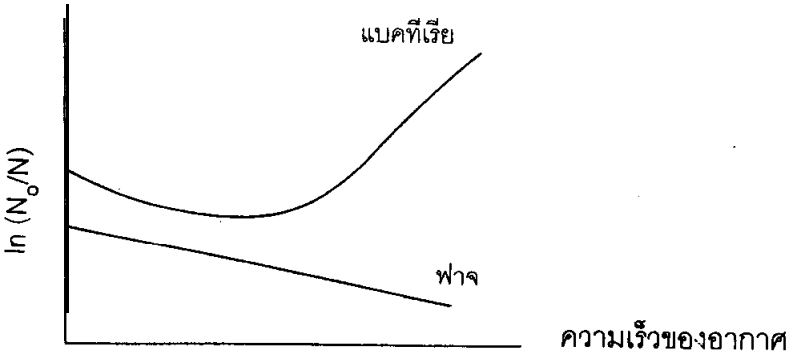
เมื่อ L เป็นความหนาของแผ่นกรอง

K เป็นค่าคงที่ของการกรอง ซึ่งเป็นฟังกชันของความเร็วของอากาศ ชนิดและขนาด รูปร่างของเส้นใยที่ใช้ในการกรอง ตลอดจนความหนาแน่น หรือการอัดตัวแน่นของเส้นใยและความหนาแน่นของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแล้ว ค่า K จะกำหนดให้อยู่ในรูปของความหนาของแผ่นกรองที่สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลง 90 เปอร์เซ็นต์ (L_{90})

ดังนั้น $\ln (N_o/N_t) = \ln (100/10)$

$= K L_{90}$

$K = 2.303 / L_{90}$



รูปที่ 58 ผลของความเร็วของอากาศต่อประสิทธิภาพของการกรอง

ตัวอย่างที่ 45 ถ้าต้องการแยกสปอร์ของ *Bacciilus substilis* ออกจากอากาศที่มีอัตราเร็วเป็น 1.54 เมตรต่อวินาที โดยแผ่นกรองที่ใช้เป็นชนิดใยแก้วที่มีขนาด 16 ไมครอน จงคำนวณความหนาของแผ่นกรองที่ต้องการเพื่อลดปริมาณของสปอร์ลงเท่ากับ

ก) 1,000 : 1

ข) 10,000 : 1

<u>วิธีทำ</u> จากข้อมูลในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของเส้นใย ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ และความเร็วของอากาศที่มีผลต่อค่า L_{90}

ชนิดของแผ่นกรอง	ขนาดของเส้นใย	เชื้อที่ใช้ทดสอบ	ความเร็วของอากาศ	L_{90}
ใยแก้ว	16 μm	*B. subtilis*	0.031	4.10
			0.154	9.14
			0.310	11.70
			1.54	1.52
			3.08	0.38
ใยแก้ว	8.5 pm	*E.coli*	0.031	0.43
			0.154	0.61
			0.310	0.71
			1.54	0.86
			3.08	1.12

เส้นใยที่ใช้ในการกรองอากาศเป็นชนิดใยแก้ว เมื่ออากาศผ่านเครื่องกรองดังกล่าวด้วยอัตราเร็ว 1.54 เมตรต่อวินาที จะได้ L_{90} = 1.52 นาที

จาก $K = 2.303 / L_{90}$

$= 2.303 \; i \; 1.52$

$= 1.515$

และ $\ln (N_0/N) = KL$

$= 1.515\ L$

ก) $\ln (1000) = 1.515\ L$

$L = 6.908 / 1.515$

$= 4.56$ เซนติเมตร

ข) $\ln (10,000) = 1.515\ L$

$L = 6.08$ เซนติเมตร

การทำลายเซลล์จุลินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมี (Sterilization by Chemical Method)

สารเคมีหลายชนิดในความเข้มข้นที่เหมาะสม สามารถยับยั้งการเจริญหรือการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ และสารเคมีบางชนิดที่อาจทำลายเชื้อบางชนิดได้ผลดีในบางสภาวะ แต่ได้ผลบ้างหรือไม่ได้ผลเลยในบางสภาวะ ดังนั้นในการเลือกใช้สารทำลายเชื้อดังกล่าว จึงต้องคำนึงถึง

1. ลักษณะของสิ่งที่ต้องการทำลายเชื้อ สารเคมีที่ใช้ทำลายเชื้อในเครื่องมือที่ปนเปื้อน อาจไม่เหมาะสม ถ้าจะใช้กับผิวหนัง
2. ชนิดของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความไวต่อการถูกยับยั้งหรือถูกทำลายด้วยสารเคมีต่างๆได้ไม่เท่ากัน เช่น สปอร์มีความต้านทานมากกว่าเซลล์ แบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบต่างมีความไวที่แตกต่างกัน เช่น *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบมีความต้านทานต่อสารทำลายเชื้อที่เป็นประจุบวกได้มากกว่า *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก
3. สิ่งแวดล้อม มีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหลายอย่างซึ่งมีผลต่ออัตราและประสิทธิภาพของการทำลายเชื้อ ดังนั้นการใช้สารเคมีเพื่อทำลายเชื้อให้ได้ผลจึงควรทราบถึงอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อสารเคมีที่ใช้นั้น เช่น
   3.1 อุณหภูมิ การทำลายเชื้อด้วยสารเคมีส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิห้อง แต่สารบางอย่างจะทำลายเชื้อได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่

สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (temperature coefficient) = $\dfrac{\text{เวลาที่ต้องการเพื่อทำลายเชื้อที่อุณหภูมิ X องศาเซลเซียส}}{\text{เวลาที่ต้องการเพื่อทำลายเชื้อที่อุณหภูมิ (X +10) องศาเซลเซียส}}$

เช่น แอลคาไลกลูทาราดีไฮด์ (alkali glutaradehyde) มีค่าสัมประสิทธิของอุณหภูมิเท่ากับ 4 นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้เวลาที่ใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ลดลง 4 เท่า

3.2 พีเอช จากการแตกตัวเป็นอิออนของสารที่ทำลายเชื้อที่สภาวะเป็นกรดหรือด่าง จะขึ้นอยู่กับพีเอช จึงต้องเลือกพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำให้เกิดสภาวะที่สารนั้นมีความสามารถต่อการทำลายเชื้อ เช่น สารต้านแบคทีเรียที่เป็นประจุบวก เช่น สีอะคริดีน (acridine dye) และสารประกอบควาเทอร์นารีแอมโมเนีย ซึ่งโดยทั่วไปในสารละลายที่เป็นด่างจะมีฤทธิ์มากกว่าในสารละลายที่เป็นกรด ในขณะที่ฟีนอลและกรดเบนโซอิคจะมีฤทธิ์มากกว่าในสารละลายที่เป็นกรด

3.3 ความเข้มข้น อัตราการทำลายเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารต้านทานจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในสมการที่

$$k = tCn \qquad \text{สมการที่ 80}$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่ของอัตราการตาย

C เป็นความเข้มข้น

t เป็นเวลา (นาที)

n เป็นสัมประสิทธิ์ของความเข้มข้น

เมื่อสารทำลายเชื้อที่มีค่าสัมประสิทธิ์เป็น 1 แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นลดลงครึ่งหนึ่งแล้ว เวลาที่ใช้จะเพิ่มขึ้นหนึ่งเท่าตัว

ตารางที่ 35 แสดงชนิดของสารเคมีและลักษณะในการทำลาย

กลุ่มของสารเคมี	หน้าที่	คุณสมบัติอื่น
Phenol and phenolic compounds	Denature protein; damage cell membrane	Derivatives (hexylresorcinol) greatly reduce surface tension
Alcohols	Denature protein; damage cell membrane: dehydrating agents: detergent action	More carbons in the alcohol make it more germicidal
Halogens		
Iodines	Halogenation of tyrosine; Inactivates enzymes and other proteins	Effective against bacteria and spores
Chlorine (and chlorine compounds)	Combines with proteins of cell membranes and enzymes	Chlorine used to disinfect water; chlorine compounds are easier to apply and have many applications
Aldehydes	Break hydrogen bonds; denature protein	Effective against all microorganisms except bacterial spores
Gaseous chemosterilizers	Ethylene oxide alkylates organic compounds: inactives enzymes	Kill all forms of life
Quaternary ammonium compounds (cationic detergents)	Denature proteins: damage to cell membrane	More germicidal than other detergents, most bactericidal against gram-positive bacteria: fungicidal