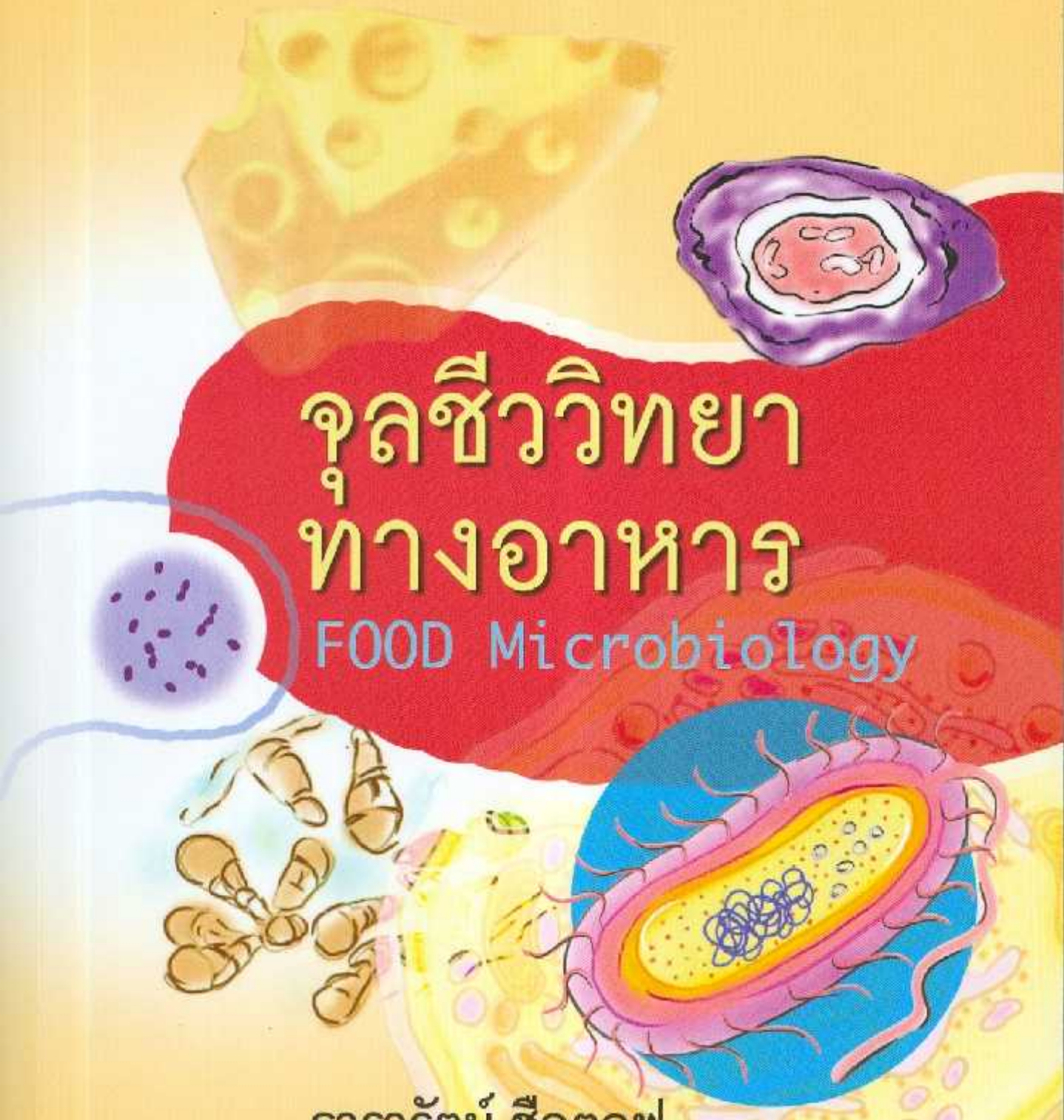
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุลชีววิทยาทางอาหาร

FOOD Microbiology

ธารารัตน์ ซือตอฟ

สำนักหอสมุดกลาง
SIAM UNIVERSITY
CENTRAL LIBRARY

จุลชีววิทยาทางอาหาร

ธารารัตน์ ชีอตอฟ

SOAA
เลขทะเบียน M 0151154
วันลงทะเบียน 13 ก.ย. 2560
เลขเรียกหนังสือ 664.001579
ธ 5250
2558

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2558

620.-

ธารารัตน์ ชื่อตอฟ
จุลชีววิทยาโภชนาหาร / ธารารัตน์ ชื่อตอฟ
1. อาหาร -- จุลชีววิทยา. 2. จุลินทรีย์ในอาหาร.

664.001579
ISBN 978-974-03-3393-7
สพร. 1935

สยามบุคส์ สู่สังคม
www.ChulaPress.com
Knowledge to All

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,500 เล่ม พ.ศ. 2556

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น
ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
สาขา ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441
สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9496
ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165
ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135
ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239
โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023
ม.พะเยา จ.พะเยา โทร. 0-5446-6799-800 โทรสาร 0-5446-6798
จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304
รัตนาธิเบศร์ (เยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405
Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 http://www.chulabook.com
และตัวแทนจำหน่าย
ร้านค้า หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สาขารัตนาธิเบศร์ (เยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9
โทรสาร 0-2950-5405
มีจำหน่ายที่ ร้านซีเอ็ดทุกสาขา ร้านนายอินทร์ทุกสาขา และร้านหนังสือชั้นนำทั่วประเทศ

กองบรรณาธิการ : ทัศนีย์ ผิวขำ
พิสูจน์อักษร : พรเพ็ญ รัตนโพธิ์แสงศรี
ออกแบบปกและรูปเล่ม : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชอบและทำ โทร. 0-2447-2464, 08-1642-0419
พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทร. 0-2218-3549-50 โทรสาร 0-2218-3551
www.cuprint.chula.ac.th
[5812-151]

สารบัญ

หน้า

คำนำผู้เรียบเรียง

คำขอบคุณ

บทที่ 1 การศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ในอาหาร 1

1.1 พัฒนาการของการศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ในอาหาร 2

1.2 ความเกี่ยวข้องของจุลินทรีย์กับอาหาร 8

บทที่ 2 ลักษณะของจุลินทรีย์ 13

2.1 ลักษณะด้านสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของจุลินทรีย์ 14

2.2 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ 41

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ 50

2.4 การใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ 64

2.5 แหล่งของจุลินทรีย์และเส้นทางการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ลงสู่อาหาร 78

บทที่ 3 จุลินทรีย์กับความปลอดภัยอาหาร 87

3.1 ลักษณะของโรคและกลไกการก่อโรคที่มีสาเหตุจากจุลินทรีย์ 88

3.2 แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคผ่านการบริโภคอาหาร 99

3.3 เชื้อราและสารพิษของเชื้อรา 114

3.4 ไวรัสที่สามารถก่อให้เกิดโรคผ่านการบริโภคอาหาร 134

3.5 โพรโทซัวที่สามารถก่อให้เกิดโรคผ่านการบริโภคอาหาร 140

3.6 สาหร่ายเซลล์เดียวที่สร้างสารพิษ 148

3.7 จุลินทรีย์ที่ใช้เป็นดรรชนีด้านความปลอดภัยอาหาร 158

บทที่ 4 จุลินทรีย์กับการเน่าเสียของอาหาร 169

4.1 ลักษณะของการเน่าเสียและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเน่าเสียของอาหาร 170

4.2 การเน่าเสียของอาหารประเภทต่าง ๆ 178

4.3 ดรรชนีบ่งชี้การเน่าเสียของอาหาร 206

4.4 การกำหนดอายุการเก็บรักษาอาหาร : ประเด็นด้านจุลินทรีย์ 212

บทที่ 5 จุลินทรีย์กับการใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหาร 229
5.1 เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการผลิตอาหาร 230
5.2 การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้จุลินทรีย์ 239
5.3 ผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหาร และจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ 255

บทที่ 6 การควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร 267
6.1 หลักการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ 268
6.2 วิธีการที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ 275
6.3 การถนอมอาหารโดยใช้หลายปัจจัยร่วมกันในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ 299

บทที่ 7 การตรวจวิเคราะห์และการควบคุมคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของอาหาร 305
7.1 หลักการตรวจวิเคราะห์อาหารด้านจุลินทรีย์ 306
7.2 วิธีพื้นฐานในการตรวจวิเคราะห์อาหารด้านจุลินทรีย์ 314
7.3 การพัฒนาวิธีที่รวดเร็วในการตรวจวิเคราะห์อาหารด้านจุลินทรีย์ 335
7.4 ข้อกำหนดด้านจุลินทรีย์ของอาหาร 357

เอกสารอ้างอิง 375
ดรรชนีคำ 389

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเซลล์ยูแคริโอตชนิดต่าง ๆ	33
ตารางที่ 2.2	การเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์โดยการแบ่งเซลล์จากหนึ่งเป็นสอง	43
ตารางที่ 2.3	ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างเซลล์จุลินทรีย์ และบทบาทของธาตุต่าง ๆ ในเซลล์	67
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่างสารพิษที่ถูกสร้างได้จากเชื้อราจีนัสต่าง ๆ	119
ตารางที่ 4.1	สาเหตุและลักษณะการเน่าเสียแบบต่าง ๆ ของอาหารกระป๋อง	203
ตารางที่ 4.2	ความถี่ในการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารมาวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษา	219
ตารางที่ 5.1	จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักอาหาร	236
ตารางที่ 5.2	เนยแข็งชนิดต่าง ๆ และจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการผลิต	242
ตารางที่ 6.1	การทนความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร	279
ตารางที่ 6.2	ตัวอย่างปริมาณรังสีที่ใช้กับอาหาร	293
ตารางที่ 7.1	ตัวอย่างการประมวลและสรุปผลจากการวิเคราะห์อาหารด้านจุลินทรีย์	312
ตารางที่ 7.2	ลักษณะสำคัญของวิธีการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์บนอาหารแข็งวิธีต่าง ๆ	316
ตารางที่ 7.3	ตัวอย่างการวิเคราะห์จุลินทรีย์โดยอาศัยสมบัติทางชีวเคมีของเซลล์	326
ตารางที่ 7.4	ตัวอย่างการประเมินคุณภาพน้ำนมโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่า Eh	339
ตารางที่ 7.5	ตัวอย่างสารตั้งต้นที่มีความจำเพาะต่อเอนไซม์ในแบคทีเรียแต่ละกลุ่ม	347
ตารางที่ 7.6	ระดับความเป็นอันตรายของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค	367
ตารางที่ 7.7	ตัวอย่างการปรับความเข้มงวดของข้อกำหนด	368
ตารางที่ 7.8	ตัวอย่างการตัดสินคุณภาพตัวอย่างและการสรุปคุณภาพผลิตภัณฑ์	369

รูปที่ 2.25 การติดเชื้อไวรัสในเซลล์สิ่งมีชีวิต 37
รูปที่ 2.26 โครงสร้างของไวรัส 38
รูปที่ 2.27 แบบแผนการเจริญของจุลินทรีย์เซลล์เดี่ยว 43
รูปที่ 2.28 การสร้างโคโลนีของจุลินทรีย์เซลล์เดี่ยว 46
รูปที่ 2.29 แบบแผนการเจริญเติบโตของเชื้อรา 46
รูปที่ 2.30 แบบแผนการเจริญของเชื้อรา 47
รูปที่ 2.31 ผลของค่า a_w ต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 54
รูปที่ 2.32 ช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เจริญได้ 55
รูปที่ 2.33 ผลของกรดหรือด่างต่อเซลล์จุลินทรีย์ 56
รูปที่ 2.34 ลักษณะการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารเหลวตามความต้องการออกซิเจน 57
รูปที่ 2.35 ตัวอย่างผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่เจริญได้ดี
ที่อุณหภูมิปานกลางสามชนิด 61
รูปที่ 2.36 การสร้างและย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ 65
รูปที่ 2.37 สารที่สำคัญในกระบวนการไกลโคลิซิส 68
รูปที่ 2.38 กระบวนการย่อยน้ำตาลเพนโทส 68
รูปที่ 2.39 การเปลี่ยนกรดไพรูวิกไปเป็นแอซีทิล-โคเอนไซม์เอ สารตั้งต้นของวัฏจักรเครบส์ 69
รูปที่ 2.40 วัฏจักรเครบส์ 70
รูปที่ 2.41 ตัวอย่างห่วงโซ่การถ่ายทอดอิเล็กตรอน 70
รูปที่ 2.42 ผลลัพธ์จากกระบวนการหมักแบบต่าง ๆ จากกรดไพรูวิก 72
รูปที่ 2.43 การหมักที่ได้ผลลัพธ์เป็นกรดแลกติก 72
รูปที่ 2.44 การหมักที่ได้ผลลัพธ์เป็นแอลกอฮอล์ 73
รูปที่ 2.45 การหมักกรดแอซีติกจากเอทานอล 73
รูปที่ 2.46 การใช้โปรตีน 74
รูปที่ 2.47 การใช้ไขมัน 74
รูปที่ 2.48 ภาพรวมของการใช้สารอาหารโดยจุลินทรีย์ 76
รูปที่ 2.49 ตัวอย่างของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ
ผลิตอาหาร ภาพแสดงความหลากหลายของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเข็ง 80
รูปที่ 2.50 จุลินทรีย์บนเส้นผมและปลายนิ้วมือ 83
รูปที่ 2.51 ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ขึ้นบนจานเพาะเชื้อที่เปิดในสภาพแวดล้อมของการผลิตอาหาร 83
รูปที่ 2.52 แหล่งของจุลินทรีย์ซึ่งอาจปนเปื้อนลงสู่อาหาร 84
รูปที่ 3.1 สารพิษของแบคทีเรียชนิดที่ถูกปล่อยออกมานอกเซลล์ (exotoxin)
และชนิดที่เป็นส่วนของโครงสร้างของเซลล์ (endotoxin) 91

รูปที่ 3.2 กลไกการเกิดโรคจากสารพิษที่เชื้อปล่อยออกมาในอาหาร 91
รูปที่ 3.3 กลไกการเกิดโรคจากการติดเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ 92
รูปที่ 3.4 กลไกการเกิดโรคจากการยึดเกาะและการปล่อยสารพิษของเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ 93
รูปที่ 3.5 สรีระของลำไส้ 95
รูปที่ 3.6 กลไกแสดงการที่สารพิษของแบคทีเรียมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร 95
รูปที่ 3.7 กลไกแสดงการที่สารพิษของแบคทีเรียมีผลต่อระบบประสาท 95
รูปที่ 3.8 กลไกแสดงการติดเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ซึ่งมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร 96
รูปที่ 3.9 ลักษณะสปอร์ของ *Aspergillus* spp. 118
รูปที่ 3.10 ลักษณะสปอร์ของ *Penicillium* spp. 118
รูปที่ 3.11 ลักษณะสปอร์ของ *Fusarium* spp. 118
รูปที่ 3.12 โครงสร้างของอะฟลาทอกซิน 120
รูปที่ 3.13 โครงสร้างของโอคราทอกซิน A 121
รูปที่ 3.14 โครงสร้างของพาทูลิน 122
รูปที่ 3.15 โครงสร้างของกรดไซโคลไพอาโซนิก 123
รูปที่ 3.16 โครงสร้างของซิทรินิน 124
รูปที่ 3.17 โครงสร้างของกรดเพนิซิลลิก 125
รูปที่ 3.18 โครงสร้างของสารกลุ่มไทรคอทีซีน 126
รูปที่ 3.19 โครงสร้างของซีราลีโนน 127
รูปที่ 3.20 โครงสร้างของฟิวมอนีซิน 128
รูปที่ 3.21 โทรโฟโซไอต์และซีสต์ของ *Entamoeba histolytica* 141
รูปที่ 3.22 วงจรชีวิตและการติดเชื้อ *Entamoeba histolytica* 142
รูปที่ 3.23 *Giardia lamblia* แสดงรูปร่างของโทรโฟโซไอต์และซีสต์ 143
รูปที่ 3.24 วงจรชีวิตและการติดเชื้อ *Giardia lamblia* 144
รูปที่ 3.25 รูปร่างของ *Cryptosporidium parvum* ในระยะการเจริญระยะต่าง ๆ 145
รูปที่ 3.26 วงจรชีวิตและการติดเชื้อ *Cryptosporidium parvum* 146
รูปที่ 3.27 รูปร่างของสาหร่ายเซลล์เดียว *Gonyaulax* spp. 150
รูปที่ 3.28 สารพิษ saxitoxin (STX), gonyautoxin (GTX) และ neosaxitoxin (NeoSTX) ซึ่งทำให้เกิดโรคพิษอัมพาตจากการบริโภคหอย (paralytic shellfish poisoning; PSP) 151
รูปที่ 3.29 brevetoxin 152
รูปที่ 3.30 โครงสร้างของกรดโอคาดาอิก 153

รูปที่ 3.31 โครงสร้างของกรดโดโมอิก สารพิษซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดพิษต่อระบบประสาท-ทางเดินอาหารจากการบริโภคหอย (amnesic shellfish poisoning) 154
รูปที่ 3.32 ลักษณะของซิกัวทอกซิน (ciguatoxin) 155
รูปที่ 3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อในแฟมิลี Enrerobacteriaceae เชื้อกลุ่มโคลิฟอร์ม (coliform bacteria) โคลิฟอร์มที่อยู่ในลำไส้ (faecal coliform) และ *Escherichia coli* 164
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการปนเปื้อนกับระยะเวลาในการที่อาหารจะมีลักษณะการเน่าเสียปรากฏขึ้น 173
รูปที่ 4.2 ผลของจำนวนจุลินทรีย์ต่อการเกิดลักษณะต่าง ๆ ที่แสดงถึงการเน่าเสียของอาหาร 174
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการพิสูจน์เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสีย 176
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการเน่าเสียของนมพาสเจอไรส์เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ 183
รูปที่ 4.5 การเจริญของเชื้อราบนผิวนอกของชิ้นเนยแข็ง 183
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการเกิดสีเขียวในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ 186
รูปที่ 4.7 ผัก-ผลไม้ที่เน่าเสียลักษณะต่าง ๆ 193
รูปที่ 4.8 การเน่าเสียของแยมผลไม้โดยมีราขึ้นบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ 193
รูปที่ 4.9 ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่เน่าเสียเนื่องจากเชื้อรา 196
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการเน่าเสียของอาหารกระป๋องที่มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสและสีของอาหาร 198
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างแนวทางการตัดสินความเกี่ยวข้องของจุลินทรีย์กับอายุการเก็บรักษาอาหาร 217
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อผลไม้ปั่นในระหว่างการเก็บรักษา 222
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างขั้นตอนในการประเมินอายุการเก็บรักษาโดยการจำลองเติมเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร (microbiological challenge testing) สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อปูแช่เย็น 224
รูปที่ 5.1 การเตรียมเชื้อตั้งต้นเพื่อใช้ในกระบวนการหมัก 234
รูปที่ 5.2 เนยแข็งชนิดเชดดาร์และเดนิชบลู 242
รูปที่ 5.3 ซาลามิ 247
รูปที่ 5.4 เทมเป้ 253
รูปที่ 6.1 การตอบสนองของจุลินทรีย์ต่ออุณหภูมิช่วงต่าง ๆ 271
รูปที่ 6.2 แบบแผนการลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จากสภาวะการฆ่าเชื้อหนึ่ง ๆ 272

รูปที่ 6.3	กราฟแสดงการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ (survivor curve) และค่า D ของเชื้อจุลินทรีย์หนึ่ง ๆ ที่สภาวะหนึ่ง ๆ ที่ใช้ในการทำลายเชื้อ	272
รูปที่ 6.4	กลุ่มของจุลินทรีย์แบ่งตามความสามารถในการทนความร้อน	277
รูปที่ 6.5	ตัวอย่างของการที่ค่า D ของเชื้อหนึ่ง ๆ เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ	280
รูปที่ 6.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อกับอัตราการตายของจุลินทรีย์ (thermal death time curve) และค่า z	281
รูปที่ 6.7	การแตกตัวของสารประกอบคลอรีน	285
รูปที่ 6.8	การทำลายเซลล์ของกรดไฮโพคลอรัส	286
รูปที่ 6.9	การดูดซึมซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าสู่เซลล์และการแตกตัวในเซลล์	290
รูปที่ 6.10	ช่วงความยาวคลื่นของรังสีประเภทต่าง ๆ	290
รูปที่ 6.11	การเกิดพันธะระหว่างไทมีนในโครงสร้างของดีเอ็นเอ	291
รูปที่ 6.12	หลักการใช้ปัจจัยร่วมในกระบวนการแปรรูป/การเก็บรักษาอาหารหนึ่ง ๆ เพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์	301
รูปที่ 6.13	ตัวอย่างการใช้ปัจจัยที่มีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในอาหารแช่เย็นพร้อมบริโภคชนิดหนึ่ง	302
รูปที่ 7.1	การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ที่ถูกกรองผ่านแผ่นกรองจุลินทรีย์	318
รูปที่ 7.2	การประมาณจำนวนจุลินทรีย์ในชุดหลอดอาหารเหลวที่เจือจางตามลำดับขั้น	319
รูปที่ 7.3	ตัวอย่างการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารโดยวิธีเอ็มพีเอ็น (MPN)	321
รูปที่ 7.4	การวิเคราะห์จำนวนเซลล์จุลินทรีย์โดยตรงใต้กล้องจุลทรรศน์	322
รูปที่ 7.5	ตัวอย่างการทดสอบลักษณะทางชีวเคมีของจุลินทรีย์	325
รูปที่ 7.6	การประมาณจำนวนจุลินทรีย์ในอาหารเหลวที่เจือจางตามลำดับขั้นโดยเติมสีที่เป็นตรรชนีค่าความเป็นกรด-ด่างเพื่อลดระยะเวลาการอ่านผล	338
รูปที่ 7.7	ผลจากการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ใต้กล้องจุลทรรศน์	341
รูปที่ 7.8	การตรวจวัดปริมาณแสงซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ ATP (ATP photometry)	342
รูปที่ 7.9	การวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติการต้านทานไฟฟ้า	344
รูปที่ 7.10	การประมวลผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า	345
รูปที่ 7.11	ตัวอย่างการรวมการทดสอบทางชีวเคมีหลายปฏิกิริยาเข้าด้วยกันในชุดทดสอบชุดเดียว	346
รูปที่ 7.12	แอนติเจนบนเซลล์จุลินทรีย์หรือที่สร้างโดยเซลล์จุลินทรีย์	348
รูปที่ 7.13	รูปแบบต่าง ๆ ของ ELISA	349

รูปที่ 7.14 การเกิดตะกอนจากการจับไขว้กันระหว่างแอนติเจน
และแอนติบอดี (agglutination) 350
รูปที่ 7.15 ปฏิกิริยาการเพิ่มจำนานดีเอ็นเอในหลอดทดลอง
(polymerase chain reaction; PCR) 352
รูปที่ 7.16 การวิเคราะห์ผลจาก PCR โดยการแยกดีเอ็นเอบนเจลอะกาโรส
ภายใต้สนามไฟฟ้า 353
รูปที่ 7.17 การตรวจวิเคราะห์สารพันธุกรรมโดยใช้ชิ้นส่วนสารพันธุกรรมติดฉลาก
(nucleic acid probe) ซึ่งอาศัยหลักการการเข้าคู่กันได้ของนิวคลีโอไทด์
บนชิ้นส่วนสารพันธุกรรมติดฉลากและดีเอ็นเอแม่แบบ 354