สารบัญ

หน้า

คำนิยม

คำนำ

สารบัญ

ตอนที่ 1

บทที่ 1 **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเอนไซม์** 1

1.1 ความหมายของเอนไซม์ 1

1.2 ความสำคัญของเอนไซม์ 4

1.3 ประวัติการพัฒนาการของเอนไซม์วิทยา 11

1.4 การจำแนกชนิดและการเรียกชื่อเอนไซม์ 16

คำถามทบทวนบทที่ 1 25

เอกสารอ้างอิง 26

บทที่ 2 **จลนพลศาสตร์ของเอนไซม์** 27

2.1 ความเร็วเริ่มต้น 27

2.2 ค่าคงที่ Michaelis-Menten, Km 31

2.3 การสร้างสมการ Michaelis-Menten 32

2.4 ความหมายของคำ Km 34

2.5 ความหมายของค่าความเร็วปฏิกิริยาสูงสุด 35

2.6 หน่วยเอนไซม์และแอกทิวิตีจำเพาะของเอนไซม์ 36

2.7 วิธีการเขียนภาพจากข้อมูลของจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์ 36

2.8 ลำดับขั้นปฏิกิริยา 41

2.9 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง 43

2.10 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาลำดับศูนย์ 46

2.11 ตัวอย่างการคำนวณทางจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์ 47

2.12 จลนพลศาสตร์และกลไกปฏิกิริยาเอนไซม์ที่มีซับสเตรตหลายตัว 54

2.13 ผลของ pH ต่อเสถียรภาพและแอกทิวิตีของเอนไซม์ 65

2.14 หน้าที่ของหมู่โปรโตโทรปิคในบริเวณเร่งของเอนไซม์ 65

หน้า

2.15 ผลของ pH ต่อการเร่งปฏิกิริยาแอกทิวิตีของเอนไซม์ 67
2.16 ผลของ pH ต่อความเสถียรภาพของเอนไซม์ 68
2.17 กราฟระหว่าง v และ pH ในลักษณะ A simple monoprotic model 70
2.18 ผลของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพและแอกทิวิตีของเอนไซม์ 73
2.19 การยับยั้งเอนไซม์ 76
2.20 ลักษณะจำเพาะของตัวยับยั้ง 77
2.21 จลนพลศาสตร์ของการยับยั้งเอนไซม์ 84
2.22 ตัวอย่างการคำนวณ 100
คำถามทบทวนบทที่ 2 104
เอกสารอ้างอิง 106

บทที่ 3 ไฮโดรเลส **107**
3.1 บทนำ 107
เอกสารอ้างอิง 110

บทที่ 4 ไกลโคไซด์ไฮโดรเลส **111**
4.1 อะไมเลส 117
4.2 เดกซ์แทรนซูเครส 123
4.3 บีตา-ฟรุกโทฟุราโนซิเดส 126
4.4 เซลลูเลส 129
4.5 บีตา-กาแล็กโทซิเดส 131
เอกสารอ้างอิง 134

บทที่ 5 เพกทิเนส **135**
5.1 แหล่งพบสารประเภทเพกทิน 136
5.2 แหล่งพบเพกทิเนส 136
เอกสารอ้างอิง 144

บทที่ 6 โปรติเอส **145**
6.1 ลักษณะที่สำคัญของโปรติเอส 145
คำถามทบทวนบทที่ 3, 4, 5, 6 163
เอกสารอ้างอิง 164

หน้า

บทที่ 7 ออกซิโดรีดักเทส 165

7.1 แล็กเทตดีไฮโดรจิเนส 168

7.2 กูลโคสออกซิเดส 169

7.3 พอลิฟีนอลออกซิเดส 171

7.4 แคทาเลส, เพอร์ออกซิเดส 173

เอกสารอ้างอิง 178

บทที่ 8 ไลพอกซิเจนเนส, ไลพอกซิเอส 179

8.1 ลักษณะทั่วไปของไลพอกซิเดส 180

8.2 กลไกการทำงานของไลพอกซิเดส 182

8.3 การวัดแอกทิวิตีของไลพอกซิเดส 183

8.4 การออกซิเดชันของไขมันและการสูญเสียไขมัน 184

8.5 ปฏิกิริยาการสลายของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ 186

8.6 ตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดการสูญเสียไขมัน 187

คำถามทบทวนบทที่ 7, 8 193

เอกสารอ้างอิง 194

บทที่ 9 เอนไซม์ตรึงรูป 195

9.1 นิยาม 195

9.2 ที่มา 195

9.3 ชนิดหรือรูปของเอนไซม์ 197

9.4 กระบวนการทำเอนไซม์ตรึงรูป 198

คำถามทบทวนบทที่ 9 230

เอกสารอ้างอิง 231

บทที่ 10 การประยุกต์ใช้เอนไซม์ตรึงรูป 233

10.1 การใช้ในการวิเคราะห์ 233

10.2 การประยุกต์สำหรับกระบวนการแปรรูปอาหาร 245

10.3 การประยุกต์ทางการแพทย์ 247

เอกสารอ้างอิง 252

หน้า

บทที่ 11 เคมีวิศวกรรมของระบบเอนไซม์ตรึงรูป 253

11.1 บทนำ 253

11.2 รูปของเอนไซม์ตรึงรูป 259

11.3 เครื่องปฏิกรณ์เอนไซม์ 261

11.4 ปัจจัยสำหรับการทำปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์เอนไซม์ 270

เอกสารอ้างอิง 285

ตอนที่ 2

บทที่ 12 เอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรม 287

12.1 ลักษณะของเอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรม 287

12.2 การเลือกใช้เอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร 289

12.3 ประเภทของเอนไซม์ 290

เอกสารอ้างอิง 297

บทที่ 13 เอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 299

13.1 บทนำ 299

13.2 การใช้เอนไซม์สำหรับเครื่องดื่มมีแอลกอฮอล์ 302

13.3 การใช้เอนไซม์สำหรับเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ตระกูลส้ม 305

13.4 การใช้เอนไซม์ในกระบวนสกัดน้ำผลไม้และสารให้กลิ่นรสจากผลไม้ 310

เอกสารอ้างอิง 315

บทที่ 14 เอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารโปรตีน 319

14.1 บทนำ 319

14.2 เรนนินสำหรับอุตสาหกรรมเนยแข็ง 320

14.3 ทรานส์กลูทามิเนสกับอุตสาหกรรมซูริมิ, อุตสาหกรรมโยเกิร์ต, ฟิลม์ชีวภาพ 323

เอกสารอ้างอิง 329

บทที่ 15 เอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารไขมันพืช 331

15.1 บทนำ 331

15.2 ไลเปส 333

คำนำในการพิมพ์ครั้งที่ 3

เอนไซม์ทางอาหาร (ฉบับรวมตอนที่ 1 และ 2) เล่มนี้ได้รวมเนื้อหาเอนไซม์ทางอาหารตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ด้วยเหตุผลสำคัญคือ "เต็ม" ด้วยสาระของพื้นฐาน-การประยุกต์-ตัวอย่าง ของความรู้เอนไซม์กับอาหาร เพื่อเป็นตำราภาษาไทยทางวิทยาศาสตร์ ประกอบการเรียนและการสอนวิชาเอนไซม์ทางอาหาร หรือเทคโนโลยีเอนไซม์ หรือเอนไซม์ไบโอเทค หรือเอนไซม์อุตสาหกรรม รวมทั้งต้องการสร้างฐานความรู้ด้านเอนไซม์กับแวดวงอาหารให้แก่ผู้สนใจจะได้ใช้เป็นต้นข้อมูลเลือกหาตำราภาษาต่างประเทศอ่านต่อไป เอนไซม์ทางอาหารเล่มนี้ได้อ้างถึงข้อมูลงานวิจัยที่ได้ทำในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษา วิจัยบัณฑิตศึกษา และผู้วิจัยร่วมกับนิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ปี 2530 - ปัจจุบัน ดังรายนาม (นามสกุลเดิม) ของลูกศิษย์ต่อไปนี้

1. ดร.สาวิตรี จึงแสงสถิตย์พร (เรนนินกับเนยแข็ง), 2. ดร.นฤมล ศรีพุทธิรัตน์ (เซลลูเลสกับไลซีน), 3. คุณอัจฉรา ปิติปัญญากุล (ลิโมนินดีไฮโดรจิเนสกับน้ำมะนาว), 4. อ.นเรศ ช้างสำลี (เดกซ์ทรินไกลโคซิล ทรานส์เฟอเรสกับบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน), 5. ดร.พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ (บีตา-กาแล็กโทซิเดสกับหางนม), 6. ดร.บุศราภา ลีละวัฒน์ (โปรติเอสกับซอสปรุงรส), 7. ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม (ปาเปนกับเบียร์), 8. คุณพรทิพย์ จารุพันธ์ (เดกซ์ทราเนสกับน้ำตาลทราย), 9. อ.กมลทิพย์ ดำสีนิล (เพกทิเนส, เซลลูเลสกับน้ำแตงไทย), 10. คุณวิภาดา ศุภจรรยา (เพกทิเนส, เซลลูเลส, อะไมเลสกับหัวเชื้อทุเรียน), 11. คุณอรุณี เพียรทวีรัชต์ (เพกทิเนสกับหัวเชื้อกล้วยหอม), 12. คุณปวลี วงษ์มา (เพกทิเนสกับหัวน้ำเชื้อมะขาม), 13. คุณดวงภรณ์ รัตนทัศนีย (เพกทิเนสกับหัวเชื้อขนุน), 14. คุณปาริฉัตร ทัพภะสุต (โปรติเอสกับสารให้ฟองโปรตีนถั่วเหลือง), 15. อ.รัตนา จินดาพรรณ (โปรติเอสกับสารให้ฟองโปรตีนถั่วเขียว), 16. คุณอรอนงค์ ฐาปนพันธ์นิติกุล (โปรติเอสกับข้าวหุงสุกเร็ว), 17. อ.ปนิดา ประวิตรวงศ์ (อะไมเลสกับน้ำเชื่อมกลูโคสจากข้าวเจ้า), 18. อ.อังคณา น้อยสุวรรณ (อะไมเลสกับสารเสริมการผลิตสุราจากข้าวเจ้า)

จากงานวิจัยวิทยานิพนธ์ทั้ง 18 รายการ คือความมุ่งมั่นที่จะไปให้ทันกับการพัฒนาความรู้ทางเอนไซม์เข้าสู่อาหาร ทั้งในลักษณะของการส่งเสริมกระบวนการผลิตอาหารและเพื่อใช้เอนไซม์เป็นวัตถุปรุงแต่งอาหารซึ่งนับวันจะยิ่งทวีจำนวนการใช้เอนไซม์ตลอดเวลา ดังนั้นการสร้างบุคลากรที่รอบรู้และมีความพร้อมต่อการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมจึงเป็นสิ่งที่ต้องทำให้ได้อย่างเป็นรูปธรรมสำหรับรองรับวิกฤติการณ์ของอุตสาหกรรมอาหารทุกรูปแบบ จากทั้งประสบการณ์และความตั้งใจจะสืบสานความรู้ด้านเอนไซม์ทางอาหาร จึงได้รวมออกมาในหนังสือเอนไซม์ทางอาหาร ซึ่งรวมพลังจากอีก 18 นักวิจัย ในระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 10 ปี รวมทั้งบรรดาหลายนักวิจัยระดับโครงการวิจัยปริญญาตรีของภาควิชาเทคโนโลยี

ทางอาหาร... ใจอยู่ที่พวกคุณ (ลูกศิษย์) เสมอ ขณะที่เขียนหนังสือเอนไซม์ทางอาหาร... และใจคิดถึง อ. ดร.ประสาร อ่านเปรื่อง (สามี) ซึ่งจากไปตั้งแต่ออกหนังสือเอนไซม์ทางอาหารฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 ใจหายกับคุณพ่อ ซึ่งจากไปก่อนหนังสือเล่มนี้จะสมบูรณ์ ... รวมทั้งคิดถึงใจอีกหลายท่านที่เป็นตาน้ำ (ใจ) หล่อเลี้ยงให้งานเขียนตำราเล่มนี้ได้เป็นผลิตผล ชื่อ เอนไซม์ทางอาหาร

มอบความดีแด่ครูชาวญี่ปุ่น 3 ท่าน และท่านเป็นเจ้าหนี้ในทางความคิด และความรู้ด้านเอนไซม์ทางอาหาร ท่านคือ ศาสตราจารย์ ดร.จุยิ อินาดะ แห่งสถาบันโตเกียวเทคโนโลยี, ศาสตราจารย์ ดร.มิจิโอะ โคชากิ แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว และศาสตราจารย์ ดร.อิจิโร อันโด แห่งสถาบันวิจัยเคมีและฟิสิกส์ แห่งโตเกียว (ริเคง) ทำไมต้องเป็นหนี้ (ในสำนึก) ... ก็เพราะเงินทุนที่ใช้เรียน (ไม่กู้-ยืม) ในระยะเวลา 6 ปี คือ ทุนยูเนสโก ทุนรัฐบาลญี่ปุ่น ที่เรียกกันว่า มอมบูโช และทุนวิจัยนักวิชาการรับเชิญของสถาบันวิจัยเคมีและฟิสิกส์ฯ และได้พยายามใช้หนี้ด้วยการนำพื้นฐานแห่งศาสตร์ของเอนไซม์ที่ท่านได้ปลูกให้มาถ่ายโอนมาในรูปงานวิจัยระดับปริญญาตรีและโท รวมทั้งการประยุกต์บางส่วนสู่อุตสาหกรรมของเราไปบ้าง หนังสือเอนไซม์ทางอาหารก็คือ หลักฐานของการใช้หนี้ โดยไม่ต้องรอให้เป็นภาระของลูกหลาน ... ซึ่งจำเป็นไม่น้อย หลักฐานการใช้หนี้ (หนังสือ เอนไซม์ทางอาหาร) เดิมมี 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ซึ่งเริ่มทำมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ในขณะที่ทำวิจัยและศึกษาในประเทศญี่ปุ่น เพราะต้องอ่านตำราและค้นคว้าให้กับตัวเอง จึงเก็บมาฝากและพร้อมเป็นรูปเล่มได้ก็เมื่อเรียนจบปริญญาเอก และมาจัดพิมพ์ได้ก็เมื่อได้อนุมัติเงินทุนยืมเพื่อสนับสนุนการพิมพ์มา 2 ครั้ง จากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และใช้หนี้ (เงิน) แล้ว ขอมอบความดีอีกเช่นกัน ก็เลยมาถึงหนังสือเอนไซม์ทางอาหารเล่มนี้ ถูกรวมจาก 2 ตอนเข้าในเล่มเดียวกันแบบทูอินวัน โดยใช้ฐานรากเป็นงานวิจัย 18 เรื่องของศิษย์เอกไม่น้อยกว่า 18 คน จะรอคลอดในรุ่งอรุณของ ค.ศ. 2000 เพื่อจะหมุนเอนไซม์ทางอาหารข้ามศตวรรษใหม่ ซึ่งว่ากันว่าเวลานั้นมนุษย์จะหวงแหนสุขภาพและยอมให้อาหารเป็นใหญ่ ดังนั้นกฎหมายอาหารจะว่องไว ในหนังสือเล่มนี้พอมีให้ได้หาความจริงว่าเอนไซม์ทางอาหารเป็นสิ่งต้องรู้และศึกษาไม่เฉพาะแต่นิสิต นักศึกษา แต่รวมไปถึงอุตสาหกรรมทุกขนาดและทุกระดับ ทั้งนี้เกิดจากความจริงที่ว่า เอนไซม์เป็นสิ่งที่มาจากธรรมชาติ หากธรรมชาติถูกทำลายเอนไซม์จะถูกทำลายด้วย แต่หากธรรมชาติถูกปกป้อง เอนไซม์จะเร่งให้เกิดความสมบูรณ์ของธรรมชาติโดยเฉพาะอาหาร

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง

มกราคม 2543