

# เอนไซม์ในอาหาร



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ห้องสมุดสาขาโชติเวช



201020930

โชติชัย ธีรกุลเกียรติ



## คำนำ

หนังสือ “เอนไซม์ในอาหาร” ฉบับปรับปรุงในการพิมพ์ครั้งที่ 2 นี้ ปรับปรุงจากตำรา “เอนไซม์ในอาหาร” ซึ่งพิมพ์ครั้งที่ 1 เมื่อปี 2559 โดยเรียบเรียงขึ้นจากความรู้และประสบการณ์ที่ผู้เขียนสะสมมาตั้งแต่สมัยเรียนระดับปริญญาตรีสาขาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และปริญญาเอกสาขา Food Science and Technology, Oregon State University, USA และความรู้ ประสบการณ์จากการสอนและการวิจัยตั้งแต่รับราชการเป็นอาจารย์ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รวมถึงได้รับราชการถึงปัจจุบันประมาณ 34 ปี

ในการเรียบเรียงผู้เขียนพยายามผสมผสานความรู้เชิงชีวเคมีกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารเข้าด้วยกันจากพื้นฐานความรู้ของผู้เขียน ผู้เขียนพยายามนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ทันสมัย โดยรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ และผลงานวิจัยต่าง ๆ โดยเฉพาะข้อมูลผลงานวิจัยที่ผู้เขียนมีส่วนร่วมมาประกอบในการเรียบเรียง โดยพยายามนำความคิดริเริ่มและประสบการณ์วิจัยของผู้เขียนมาสอดแทรกลงในหนังสือที่เรียบเรียงขึ้น ทำให้เกิดความรู้ใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อวงวิชาการ ผู้เขียนคาดหวังว่าหนังสือที่เรียบเรียงขึ้นนี้สามารถนำไปใช้อ้างอิงและนำไปปฏิบัติได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวงวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารและสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสามารถนำหนังสือนี้ไปใช้ประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในสถาบันอุดมศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร เช่น วิชา 01052515 (เอนไซม์ในอาหาร) ซึ่งเป็นวิชาเฉพาะเลือกในหลักสูตร วท.ม.(วิทยาศาสตร์การอาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และรายวิชาสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้อีกด้วย

หนังสือเล่มนี้ ประกอบด้วยเนื้อหา 3 ตอน (7 บท) โดยตอนที่ 1 (บทที่ 1-3) กล่าวถึงเอนไซม์และความสำคัญของเอนไซม์ในอาหาร เอนไซม์กลุ่มไฮโดรเลส กลุ่มออกซิโดรีดักเทส

และการประยุกต์ในอาหาร ตอนที่ 2 (บทที่ 3-4) กล่าวถึงเอนไซม์ในอาหารตามธรรมชาติ ได้แก่ เอนไซม์ในผักผลไม้ ธัญชาติ เนื้อสัตว์ อาหารทะเลและน้ำนม และตอนที่ 3 (บทที่ 6-7) กล่าวถึงความก้าวหน้าในเรื่องเกี่ยวกับเอนไซม์ในอาหาร ได้แก่ เอนไซม์ดัดรูป และเอนไซม์ทางพันธุวิศวกรรม ในการเรียบเรียงผู้เขียนพยายามใช้ภาษาไทยตามศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถานในสาขาวิทยาศาสตร์หรือสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุด แต่คำศัพท์ภาษาอังกฤษจำนวนมาก โดยเฉพาะชื่อสารเคมีต่าง ๆ ยังไม่มีศัพท์บัญญัติจึงจำเป็นต้องทับศัพท์โดยพยายามใช้ตามหลักเกณฑ์การทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามราชบัณฑิตยสถานหรือใช้ภาษาอังกฤษ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณครูอาจารย์ทุกท่านทั้งในประเทศไทยและสหรัฐอเมริกาที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ โดยเฉพาะ รศ. ดร. ทนง ภัครัชพันธ์, Prof. Dr. Diane M. Barrett, Prof. Dr. Mina R. McDaniel และ Prof. Dr. Ronald E. Wrolstad ขอกราบขอบพระคุณ ดร. พงษ์ วนานูวัช และ อ.เนือทอง วนานูวัช ที่ได้จุดประกายให้ผู้เขียนอยากศึกษาต่อระดับปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร และ ขอกราบขอบพระคุณ คุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ผู้เขียนไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด และผู้เขียนขอแสดงความอาลัยต่อการจากไปของ Prof. Dr. John R. Whitaker ปรมาจารย์แห่งวิทยาเอนไซม์ในอาหาร ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณที่เคยให้ความอนุเคราะห์แนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยเอนไซม์ในอาหารในวิทยานิพนธ์ปริญญาเอกของผู้เขียนในขณะศึกษาที่สหรัฐอเมริกา ด้วยทุนจาก International Rotary Foundation สหรัฐอเมริกา ขอกราบขอบพระคุณ ไว้ ณ ที่นี้ ผู้เขียนขอน้อมระลึกถึงพระคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร และภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารซึ่งเป็นสถานที่ที่ทำให้ผู้เขียนได้มีโอกาสเรียน ทำการสอนและค้นคว้าวิจัย ขอขอบพระคุณผู้บังคับบัญชาตั้งแต่ระดับอธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร และหัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร รวมทั้งคณาจารย์และผู้ร่วมงานทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในทุกด้านระหว่างการทำงาน ขอขอบคุณ รศ. ดร. วรณี จิรภาคย์กุล ที่ให้การสนับสนุนและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ และขอขอบใจอย่างมากในความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ อย่างทุ่มเทจากนิสิตปริญญาโท/เอกภายใต้การดูแลของผู้เขียน ผู้เขียนได้ใช้ข้อมูลจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหนังสือเล่มนี้ที่สร้างสรรค์โดยผู้เขียนร่วมกับนิสิตปริญญาโท/เอก ซึ่งมีผู้เขียนเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มาใช้อ้างอิงในหนังสือเล่มนี้ โดยนิสิตปริญญาโท/เอกที่สำเร็จการศึกษาภายใต้การดูแลของ

ผู้เขียน ตั้งแต่อดีต ถึงปัจจุบันรวม 34 ท่าน โดยมีรายชื่อและนามสกุล ณ.วันที่จบการศึกษา ดังนี้  
นิสิตที่สำเร็จระดับปริญญาเอก 10 ท่าน ได้แก่ ดร.ชิตสุดา ชัยศักดิ์านุกูล ดร.อาภรณ์  
จรรย์รัตนศรี ดร.สุคนธา สุคนธ์ธारा ดร.ลัดดา วัฒนศิริธรรม ดร.กุลวดี แก้วท่า ดร.ทวีวัฒน์  
วิจิตรปัญญารักษ์ ดร.สุพิรยา อาษา ดร.สุพัชชา ชับกล่อมส่ง ดร.สุภาพร พาเจริญ และ  
Mr.Muhammad Faiq นิสิตที่สำเร็จระดับปริญญาโท 24 ท่าน ได้แก่ นางสาวกัญญา รัชตชัยศ  
นางสาวรุจิรัมย์ มุลตรี นายศิริวัฒน์ มงคลกาญจนสิริ นางสาวพรรณนภา ตันติศิริินทร์ นางสาว  
พัชรินทร์ สายสังข์ นางสาวยุคดี มาอยู่ นายสุรวุฒิ ลาภนิรันดร์ นางสาวปารมี หนูเนียม นางสาว  
มนตร์ กรแก้ว นายสุเทพ อภินันท์จารุพงศ์ นายรัชนิกร เมฆขยาย นายธีรชัย เรารเจริญพร  
นางสาวกณณิกา บุญศิริพิพัฒน์ นางสาวศะพร จันทรพัฒน์ นางสาวกุลวดี แก้วท่า นายศุภกิตต์  
ธีระนุกูล นางสาวกมลทิพย์ เปาะทองคำ นางสาวเพียงนภา พันธุ์วิไล นางสาวรุจิรา เหลืองอ่อน  
นายธีรนิติ เล็กเจริญ นายปริญญา พันธุ์ศรีมีทอง นางสาวอภิญา เอี่ยมอาจหาญ นางสาวโชติกา  
จิระสุธีรักษ์ และนางสาวกนกวรรณ วงศ์ก้องแก้ว ผู้เขียนขอขอบใจอย่างมากแก่นิสิตดังกล่าว

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณมารดาซึ่งเป็นผู้ให้แต่สิ่งที่ดีงามแก่ลูกทุกคน ขอขอบคุณ  
ญาติพี่น้อง และขออุทิศส่วนที่ดีและมีประโยชน์ของหนังสือเล่มนี้แด่บิดาผู้ล่วงลับไปแล้ว

สุดท้ายนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา นักวิจัย  
นักวิชาการ ตลอดจนผู้ประกอบการวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับเอ็นไซม์ในอาหาร ในสาขาวิทยาศาสตร์  
และเทคโนโลยีการอาหาร และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทุกรายก็ตาม หากหนังสือเล่มนี้มีส่วน  
บกพร่องที่ควรแก้ไข ปรับปรุงหรือเพิ่มเติม ทั้งด้านวิชาการ ภาษาและอื่น ๆ ผู้เขียนขอน้อมรับ  
ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ไว้ด้วยความขอบคุณ เพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไปในอนาคต

รศ. ดร. โชคชัย ธีรกุลเกียรติ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



## สารบัญ

ตอนที่ 1 : ความสำคัญ ธรรมชาติ และการประยุกต์เอ็นไซม์ใน	1
อาหาร	
บทที่ 1 เอ็นไซม์และความสำคัญของเอ็นไซม์ในอาหาร	3
1.1 เอ็นไซม์	3
1.1.1 ลักษณะทั่วไปของเอ็นไซม์	4
1.1.2 โครงสร้างทั่วไปและบริเวณเร่งของเอ็นไซม์	5
1.1.3 การจำแนกประเภทและการเรียกชื่อเอ็นไซม์	10
1.1.4 จลนพลศาสตร์ของเอ็นไซม์และปัจจัยที่มีผล	15
1.1.5 การเตรียม การทำให้เอ็นไซม์บริสุทธิ์	31
1.1.6 เสถียรภาพของเอ็นไซม์	43
1.2 ความสำคัญของเอ็นไซม์ในอาหาร	45
1.2.1 การผลิตวัตถุดิบ	45
1.2.2 การเก็บเกี่ยวและการฆ่า	46
1.2.3 การขนส่งและการเก็บรักษา	48
1.2.4 การเตรียมวัตถุดิบ	49
1.2.5 การแปรรูปและการถนอมอาหาร	51
1.2.6 การตรวจสอบคุณภาพอาหาร	55
1.2.7 การบรรจุ	56
1.2.8 การบริโภค	57
1.3 บทสรุป	60
เอกสารอ้างอิง	63

## สารบัญ

<b>บทที่ 2 เอนไซม์กลุ่มไฮโดรเลส และการประยุกต์ในอาหาร</b>	<b>71</b>
2.1 คาร์โบไฮเดรต	71
2.1.1 แอมิเลส	72
2.1.2 เซลลูเลส	81
2.1.3 บีตา-ฟรักโทฟูราโนซิเดส	85
2.1.4 บีตา-กาแล็กโทซิเดส	86
2.1.5 เพกติกเอนไซม์	91
2.2 โปรติเอส	103
2.2.1 ความจำเพาะของโปรติเอส	103
2.2.2 แหล่งของโปรติเอส	107
2.2.3 ประเภทของโปรติเอส	107
2.2.4 การประยุกต์โปรติเอสในอาหาร	112
2.3 ลิเพส	121
2.3.1 สมบัติของลิเพส	122
2.3.2 การหาปริมาณกิจกรรมของลิเพส	125
2.3.3 การประยุกต์ลิเพสในอาหาร	125
2.4 ฟอสฟอลิเพส	126
2.4.1 ชนิดของฟอสฟอลิเพส	126
2.4.2 การประยุกต์ฟอสฟอลิเพสในอาหาร	128
2.5 บทสรุป	129
เอกสารอ้างอิง	131
<b>บทที่ 3 เอนไซม์กลุ่มออกซิโดรีดักเทส และการประยุกต์ในอาหาร</b>	<b>139</b>
3.1 ไลพอกซิจีเนส	139
3.1.1 แหล่งและสมบัติของไลพอกซิจีเนส	140

## สารบัญ

3.1.2	กลไกการเร่งปฏิกิริยาของไลพอกซีจีเนส	141
3.1.3	การหาปริมาณกิจกรรมของไลพอกซีจีเนส	144
3.1.4	บทบาทและการประยุกต์ไลพอกซีจีเนสในอาหาร	146
3.1.5	การควบคุมกิจกรรมของไลพอกซีจีเนสในอาหาร	151
3.2	พอลิฟีนอลออกซิเดส	153
3.2.1	แหล่งและสมบัติของพอลิฟีนอลออกซิเดส	154
3.2.2	กลไกการเร่งปฏิกิริยาของพอลิฟีนอลออกซิเดส	155
3.2.3	การหาปริมาณกิจกรรมของพอลิฟีนอลออกซิเดส	158
3.2.4	บทบาทและการประยุกต์พอลิฟีนอลออกซิเดสในอาหาร	160
3.2.5	การควบคุมกิจกรรมของพอลิฟีนอลออกซิเดสในอาหาร	163
3.3	กลูโคสออกซิเดส	165
3.3.1	แหล่งและสมบัติของกลูโคสออกซิเดส	165
3.3.2	กลไกของปฏิกิริยาที่เร่งด้วยกลูโคสออกซิเดส	165
3.3.3	ความจำเพาะต่อซับสเตรตของกลูโคสออกซิเดส	167
3.3.4	การหาปริมาณกิจกรรมของกลูโคสออกซิเดส	167
3.3.5	บทบาทและการประยุกต์กลูโคสออกซิเดสในอาหาร	168
3.4	เพอร์ออกซิเดส	170
3.4.1	แหล่งและสมบัติของเพอร์ออกซิเดส	170
3.4.2	กลไกการเร่งปฏิกิริยาของเพอร์ออกซิเดส	171
3.4.3	การหาปริมาณกิจกรรมของเพอร์ออกซิเดส	173
3.4.4	บทบาทและการประยุกต์เพอร์ออกซิเดสในอาหาร	174
3.5	แคทาเลส	175
3.5.1	กลไกการเร่งปฏิกิริยาของแคทาเลส	175
3.5.2	การหาปริมาณกิจกรรมของแคทาเลส	176

## สารบัญ

3.5.3 บทบาทและการประยุกต์แคลเซียมในอาหาร	177
3.6 บทสรุป	177
เอกสารอ้างอิง	179
<b>ตอนที่ 2 : เอนไซม์ในอาหารตามธรรมชาติ</b>	193
<b>บทที่ 4 เอนไซม์ในผักผลไม้ และธัญชาติ</b>	195
4.1 เอนไซม์ในผักและผลไม้	195
4.1.1 บทบาทของเอนไซม์ในธรรมชาติต่อคุณภาพของผักผลไม้	197
4.2 เอนไซม์ในธัญชาติ	211
4.2.1 บทบาทของเอนไซม์ในระหว่างการเจริญของเมล็ดธัญชาติ	211
4.2.2 บทบาทของเอนไซม์ในเชิงเทคโนโลยีการแปรรูปเมล็ดธัญชาติ	214
4.3 บทสรุป	220
เอกสารอ้างอิง	221
<b>บทที่ 5 เอนไซม์ในเนื้อสัตว์ อาหารทะเล และนํ้านม</b>	229
5.1 เอนไซม์ในเนื้อสัตว์	229
5.2 เอนไซม์ในอาหารทะเล	236
5.3 เอนไซม์ในนํ้านม	243
5.4 บทสรุป	255
เอกสารอ้างอิง	257



## สารบัญ


<b>ตอนที่ 3 : ความก้าวหน้าในเรื่องเกี่ยวกับเอนไซม์ในอาหาร</b>	271
<b>บทที่ 6 เอนไซม์ตรีงรูป</b>	273
6.1 เอนไซม์ตรีงรูป	273
6.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการตรีงรูปเอนไซม์	274
6.1.2 วิธีการตรีงรูปเอนไซม์	276
6.1.3 การประยุกต์เอนไซม์ตรีงรูปในอาหาร	289
6.2 บทสรุป	293
เอกสารอ้างอิง	294
<b>บทที่ 7 เอนไซม์ทางพันธุวิศวกรรม</b>	301
7.1 เอนไซม์ทางพันธุวิศวกรรม	301
7.1.1 เทคโนโลยีดีเอ็นเอลูกผสม	301
7.1.2 ขั้นตอนของเทคโนโลยีดีเอ็นเอลูกผสม	304
7.1.3 การประยุกต์พันธุวิศวกรรมทางเอนไซม์ในอาหาร	314
7.2 บทสรุป	318
เอกสารอ้างอิง	320
<b>ดัชนี</b>	325
ดัชนีภาษาไทย	325
ดัชนีภาษาอังกฤษ	331

สามารถยืมและติดตามหนังสือใหม่ได้ที่ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ Walai Autolib

<http://lib.rmutp.ac.th/catalog/BibItem.aspx?BibID=b00105457>



เอนไซม์ในอาหาร = Enzyme in foods / ไชคชัย ชีรกุลเกียรติ.

Author	ไชคชัย ชีรกุลเกียรติ
Published	กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562
Edition	พิมพ์ครั้งที่ 2
Detail	335 หน้า : ภาพประกอบ ; 26 ซม
Subject	เอนไซม์(+)
Added Author	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร
ISBN	9786164977686
ประเภทแหล่งที่มา	 Book

" สำหรับเพื่อการศึกษาระดับปริญญาตรีและภาษาอังกฤษ "