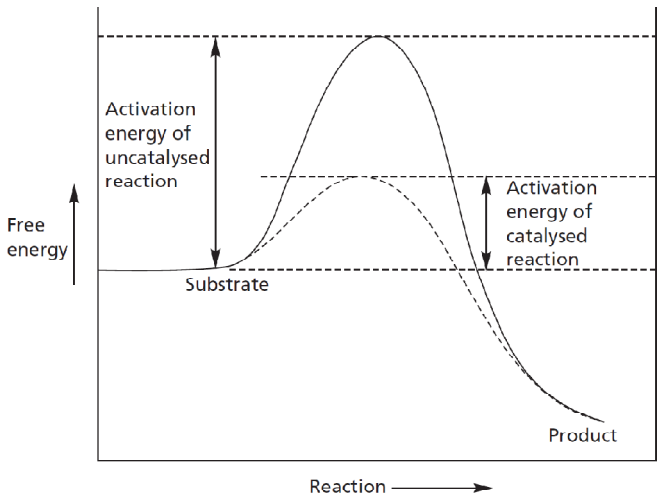
บทที่ 6 เอนไซม์ Enzymes

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สามารถจำแนกชนิดของเอนไซม์ได้
2. อธิบายถึงบทบาทและหน้าที่ของเอนไซม์ได้

เอนไซม์ (enzyme) เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ไม่ว่าจะเป็นแคแทบอลิซึม (catabolism) ซึ่งเป็นกระบวนการสลายเพื่อให้ได้พลังงาน และหน่วยการสร้าง (building block) หรือว่าเป็นแอนาบอลิซึม (anabolism) คือการนำเอาหน่วยการสร้างมาเชื่อมต่อกันให้ยาวออกกลายเป็นโพลีเมอร์ของชีวโมเลกุล (Bedford Partridge, 2010) โดยกระบวนการในการเร่งปฏิกิริยานั้นเริ่มขึ้นจาก เอนไซม์จะเข้ายึดกับโมเลกุลของสารตั้งต้นและมีการทำหน้าที่ตามแต่ชนิดของเอนไซม์ พอหลังจากปฏิกิริยาเสร็จสิ้นลง จะได้เอนไซม์ในรูปแบบเดิมกลับคืนมา (Graminha et al., 2008) ปกติแล้วพบเอนไซม์ได้ในทั้งเซลล์ของพืชและสัตว์แม้จะพบปริมาณน้อยในอาหาร แต่นับว่ามีบทบาทสำคัญ (Klaus, 1994; McDonald et al., 2011) จากภาพที่ 6.1 แสดงถึงความแตกต่างของการใช้พลังงานอิสระที่แตกต่างกันในการย่อยสับสเตรต (substrate) เพื่อให้ได้เป็นผลผลิต โดยพบว่าเมื่อมีเอนไซม์เข้ามาเร่งปฏิกิริยา จะทำให้มีการพลังงานอิสระที่ต่ำกว่าในสภาวะที่ไม่มีการใช้เอนไซม์



ภาพที่ 6.1 ความสำคัญของเอนไซม์ต่อพลังงานอิสระที่ใช้ในการสร้างผลผลิต

ที่มา: McDonald et al. (2011)

คำศัพท์ที่ควรทราบเกี่ยวข้องกับเอนไซม์

1. Holoenzyrne คือ เอนไซม์ที่มีโคแฟคเตอร์ (cofactor) รวมอยู่ด้วย

2. Apoenzyme คือ เอนไซม์ซึ่งเป็นส่วนโปรตีนล้วน ๆ

3. Coenzyme, cofactor และ prosthetic group ทั้ง 3 คำ ใช้แทนกันได้ หมายถึงส่วนที่ไม่ใช่โปรตีน ทำหน้าที่ร่วมกับ apoenzyme ในการเร่งปฏิกิริยา แต่มีความหมายต่างกันเล็กน้อย คือ

3.1 Coenzyme หมายถึง โมเลกุลที่เป็นสารประกอบอินทรีย์

3.2 Cofactor หมายถึง ส่วนของเอนไซม์ที่ไม่ใช่โปรตีน

3.3 Prosthetic group คือ coenzyme ซึ่งยึดเหนี่ยวกับโปรตีนด้วย covalent bond

4. Isoenzyme หรือ isozyme เป็น multiple form ของเอนไซม์ชนิดเดียวกัน หมายถึง โปรตีนทั้งหมดที่ให้ปฏิกิริยาของเอนไซม์เหมือนกัน

ประเภทของเอนไซม์ แบ่งตามส่วนประกอบทางเคมี

1. Simple protein หมายถึง เอนไซม์ที่สามารถมีการเร่งทางชีวภาพ (biological activity) ได้โดยไม่ต้องมีส่วนที่ไม่ใช่โปรตีน (nonprotein part) เข้ามาจับ

2. Conjugated protein หรือโฮโลเอนไซม์ (holoenzyme) หมายถึง เอนไซม์ที่จะสามารถมีการเร่งทางชีวภาพได้ ต้องมีส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนเข้ามาจับ จึงมี 2 ส่วน คือ เอนไซม์ที่ไม่ทำงาน (apoenzyme) และ ส่วนที่ไม่ใช่โปรตีน หรือโคแฟกเตอร์ (cofactor)

การจัดจำแนกชนิดของเอนไซม์

การจัดหมวดหมู่ของเอนไซม์ตามลักษณะการทำงานนั้น สหภาพนานาชาติแห่งชีวเคมี (The International Union of Biochemistry หรือ IUB) ได้จัดระเบียบการเรียกชื่อเอนไซม์และจัดกลุ่มเอนไซม์ โดยแบ่งเอนไซม์ออกเป็น 6 กลุ่ม (class) และเอนไซม์แต่ละตัวจะมีหมายเลขเฉพาะ เรียกว่ารหัส (Enzyme Code, EC) แล้วตามด้วยชื่อของเอนไซม์นั้นๆ คือ

กลุ่มที่ 1 ออกซิโดรีดักเตส (oxidoreductases) หมายถึง เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาที่เกิดมาแล้วให้มีการเติมหรือดึงไฮโดรเจนอะตอม ตัวอย่างกลุ่มของเอนไซม์ เช่น dehydrogenases, oxidases, peroxidases, catalases, oxygenases, และ hydroxylases (Riis, 1983; McDonald et al., 2011) ตัวอย่างชนิดเอนไซม์ เช่น แอกกอฮอล์ดีไฮโดรเจเนส (alcohol

dehydrogenase; EC 1.1.1.1) เร่งออกซิเดชันของเอทานอล (ethanol) ได้อะเซตาลดิไฮด์ (acetaldehyde)

กลุ่มที่ 2 ทรานสเฟอเรส (transferases) หมายถึง เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย้ายหมู่ต่างๆ ระหว่างตัวให้และตัวรับ ตัวอย่างกลุ่มของเอนไซม์ transaldolases และ transketolases, acyl, glucosyl และ phosphoryl transferases, kinases และ phosphomutases ตัวอย่างชนิดเอนไซม์ เช่น ตัวอย่างได้แก่ กลูโคไคเนส (glucokinase; EC 2.7.1.2) เร่งการย้ายหมู่ฟอสเฟตจาก ATP ไปยังกลูโคส ได้ กลูโคส–6–ฟอสเฟต เป็นผลิตภัณฑ์

กลุ่มที่ 3 ไฮโดรเลส (hydrolases) หมายถึง เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งกระบวนการไฮโดรไลซิส หรือเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมน้ำ ตัวอย่างกลุ่มของเอนไซม์ esterases, glycosidases, peptidases, phosphatases, thiolases, phospholipases, amidases, deaminases, และ ribonucleases ตัวอย่างชนิดเอนไซม์ ได้แก่ คาร์บอกซี่เพปติเดสเอ (carboxypeptidase A; EC 3.4.17.1) เร่งการตัดพันธะเพปไทด์บนเส้นโพลี่เพปไทด์ (polypeptide) ด้วยน้ำ

กลุ่มที่ 4 ไลเอส (lyases) หมายถึง เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งการเติมน้ำ แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ตรงพันธะคู่ หรือเร่งการขจัดน้ำ แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากโมเลกุลแล้วทำให้เกิดพันธะคู่ ตัวอย่างกลุ่มของเอนไซม์ aldolases, hydratases, dehydratases, synthases, และ lyases ตัวอย่างชนิดเอนไซม์ ตัวอย่างได้แก่ ไพรูเวต ดีคาร์บอกซิเลส (pyruvate decarboxylase; EC 4.1.1.1) เร่งการขจัดหมู่คาร์บอกซิล ออกไปจากไพรูเวต ตามสมการ

กลุ่มที่ 5 ไอโซเมอเรส (isomerases) หมายถึง เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งการย้ายหมู่ใดๆ ในโมเลกุลเดียวกันทำให้ได้ไอโซเมอร์ (isomer) ได้แก่ cis–trans isomerase, เร่งการเปลี่ยนสลับ D– และ L–isomer ตัวอย่างกลุ่มของเอนไซม์ racemases, isomerases, และ mutases บางชนิด ตัวอย่างได้แก่ มาลีเอตไอโซเมอเรส (maleate isomerase; EC 5.2.1.1) เร่งการย้ายหมู่คาร์บอกซิลภายในโมเลกุลของมาลีเอต

กลุ่มที่ 6 ไลเกส (ligases) หรือซินเทส (synthase) หมายถึง เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งการรวมตัวกันของโมเลกุล ด้วยการสร้างพันธะใหม่ ได้แก่ พันธะ C–C, C–S, C–O และ C–N ซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานจาก ATP ตัวอย่างได้แก่ ไพรูเวต คาร์บอกซิเลส (pyruvate carboxylase; EC 6.4.1.1) เร่งการรวมไพรูเวตกับคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ได้ออกซาโลอะซีเตต (oxaloacetate)

โดยการเรียกชื่อเอนไซม์ ได้ใช้เลขรหัสสำหรับเอนไซม์ เช่น alcohol dehydrogenase ใช้รหัส EC 1.1.1.1 โดยแต่ละชนิดอันประกอบด้วยเลข 4 ตัว มีจุดคั่น ระหว่างเลขแต่ละตัว ลำดับ

ของตัวเลขมีความหมายคือ เลขตัวแรก หมายถึง จำพวกใหญ่ ๆ ของเอนไซม์ แบ่งออกเป็น 6 พวก (Classes) ตามลักษณะของปฏิกิริยาดังที่กล่าวมาแล้ว เลขตัวที่สอง หมายถึง subclasses ซึ่งจำแนกเอนไซม์ให้เป็นกลุ่มเฉพาะลงไปอีก เลขตัวที่สาม บอกให้ทราบถึงประเภทของปฏิกิริยาของเอนไซม์ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น และ เลขตัวที่สี่ หมายถึง เป็น serial number ของเอนไซม์ที่อยู่ในแต่ละ subclasses

คุณสมบัติของเอนไซม์มีดังต่อไปนี้

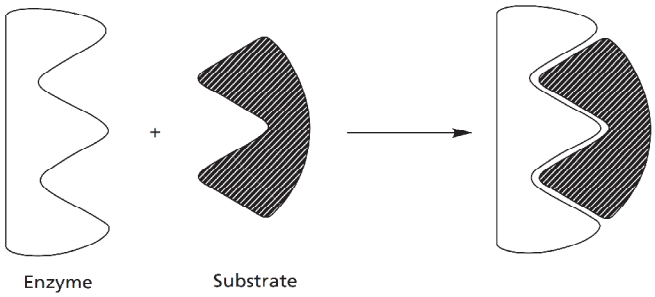
1. เอนไซม์มีความจำเพาะสูงมาก (high specificity) ต่อสารตั้งต้น (substrate หรือ reactant) ของปฏิกิริยาที่มันเข้าเร่ง ทำให้เอนไซม์หนึ่งตัวมักจะเร่งเพียงปฏิกิริยาเดียว หรือหลายปฏิกิริยาที่ต่อเนื่องกัน ความจำเพาะสูงทำให้มีผลพลอยได้ (by-product) น้อยมากเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์

2. เอนไซม์เกือบทั้งหมดเป็นโปรตีน ที่มีขนาดใหญ่ ตั้งแต่ 12,000 ถึง 1 ล้านดาลตัน ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับโครงรูปธรรมชาติ (native conformation) ที่ถูกต้อง ถ้าสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) หรือแยกออกจากกัน (dissociate) เป็นหน่วยย่อย (subunit) ความสามารถดังกล่าว จะลดลงหรือหมดไป ดังนั้นโครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure) โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) และโครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure) มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์

3. เอนไซม์หลายชนิดทำงานได้ด้วยตัวของมันเองโดยใช้สมบัติของกรดอะมิโน (amino acid) ชนิดต่าง ๆ ที่มีในโมเลกุล แต่บางชนิดจะต้องอาศัยโมเลกุลอื่นช่วย ซึ่งจะเรียกโมเลกุลที่เข้าช่วยนี้ว่า โคแฟกเตอร์ บางครั้งโมเลกุลเหล่านี้มักเปลี่ยนรูปมาจากวิตามินชนิดต่าง ๆ โคแฟกเตอร์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โคเอนไซม์ (coenzyme) เอนไซม์บางชนิดต้องการทั้งโคเอนไซม์และไอออนของโลหะจึงจะสามารถทำงานได้ โคเอนไซม์หรือไอออนของโลหะ ที่ยึดติดอยู่กับเอนไซม์ด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) จะถูกเรียกว่า หมู่พร็อสเทติก (prosthetic group) และเรียกเอนไซม์ที่มีหมู่พร็อสเทติก ติดอยู่จึงจะทำงานได้ว่า โฮโลเอนไซม์ (holoenzyme) ส่วนเอนไซม์ที่หมู่พร็อสเทติกหลุดออกไปแล้วไม่สามารถทำงานได้ จะเรียกว่า อะโพเอนไซม์ (apoenzyme) หรือ อะโพโปรตีน (apoprotein) นอกจากนี้ เอนไซม์บางชนิดจำเป็นต้องถูกดัดแปลง (modify) ด้วยการเติมหมู่ฟอสเฟต (phosphorylation) หรือการเติมหมู่คาร์โบไฮเดรต (glycosylation) หรือวิธีการอื่น ๆ จึงจะสามารถทำงานได้

ความจำเพาะในการทำงานของเอนไซม์สามารถอธิบายด้วยทฤษฎีดังต่อไปนี้

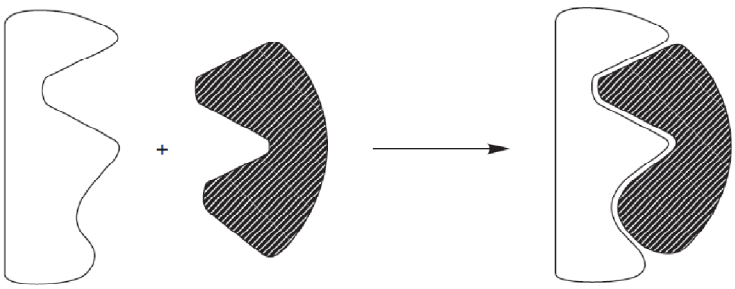
1. ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ (The lock and key theory) เสนอโดย Emil Fischer อธิบายว่า โมเลกุลของเอนไซม์จะมีโครงรูปบริเวณที่เฉพาะเจาะจงกับสับสเตรตซึ่งทำให้สับสเตรตเข้ามาสวมได้พอดี เหมือนกับการที่ลูกกุญแจสวมเข้าพอดีกับแม่กุญแจ แสดงถึงสภาพแข็งแกร่ง (rigidity) ของบริเวณเร่งของเอนไซม์ (ภาพที่ 6.2)



ภาพที่ 6.2 การทำงานของเอนไซม์ตามทฤษฎีแม่กุญแจและลูก

ที่มา: McDonald et al. (2011)

2. ทฤษฎีเหนี่ยวนำให้เหมาะสม (Induced-fit theory) เสนอโดย Koshland อธิบายว่าเมื่อสับสเตรตเข้าจับที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ จะเหนี่ยวนำให้เอนไซม์เปลี่ยนโครงรูปให้เหมาะสมทำให้การจับกันระหว่างเอนไซม์กับสับสเตรตดีขึ้นและเกิดปฏิกิริยาได้ผลผลิต นอกจากนี้ สารที่ไม่ใช่สับสเตรตแต่มีลักษณะคล้ายสับสเตรตก็สามารถเข้าจับที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ได้ แต่ไม่สามารถชักนำให้เอนไซม์เปลี่ยนโครงรูปที่เหมาะสม ทำให้ไม่เกิด ปฏิกิริยาได้ผลผลิต ซึ่งทฤษฎีนี้สามารถอธิบายได้กว้างกว่าทฤษฎีแรก เพราะแสดงถึงความยืดหยุ่นและลักษณะไม่แข็งของเอนไซม์บางชนิดที่บริเวณเร่ง (ภาพที่ 6.3)



ภาพที่ 6.3 การทำงานของเอนไซม์**ตามทฤษฎีแม่กุญแจและลูก**

ที่มา: McDonald et al. (2011)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

1. อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเร่งของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุดหนึ่ง (temperature optimum) แล้วจะลดลง ซึ่งจำเพาะตามชนิดของเอนไซม์ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25–40 °C แต่ที่อุณหภูมิ สูงกว่าจุดนี้มากๆ เอนไซม์จะเกิดการเสียการเร่งทางชีวภาพ

2. ค่า pH จุดที่ทำให้เอนไซม์มีการเร่งสูงสุด เรียกว่า pH optimum ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในช่วง pH 6–7.5 ถ้า pH สูง หรือต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียการเร่งทางชีวภาพ

3. ความเข้มข้นของเอนไซม์ ที่ความเข้มข้นของสับสเตรตมากเกินพอ (excess) อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น

4. ความเข้มข้นของสับสเตรตเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์คงที่ ที่ความเข้มข้นของสับสเตรตน้อยๆปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วมากจนกระทั่งถึงความเข้มข้นของสับสเตรตจุดหนึ่งที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะคงที่ ความเร็วของปฏิกิริยาที่สูงสุด เรียกว่า ความเร็วสูงสุด (Vmax)

การควบคุมการทำงานของเอนไซม์

1. การสร้างเอนไซม์ในรูปที่ทำงานไม่ได้ (nonactive form) เรียกว่า ไซโมเจนหรือโพรเอนไซม์จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีการสลายส่วนเพปไทด์ที่ทำให้โมเลกุลไม่ทำงานออกไปด้วยเอนไซม์ที่จำเพาะ เช่น เพปซินที่สร้างในรูปเพปซิโนเจนก่อน

2. การดัดแปรแบบโควาเลนต์ (covalent modification) เป็นการเติมหมู่ขนาดเล็กๆ เข้าไปในโมเลกุลของเอนไซม์ด้วยพันธะโควาเลนต์ เช่น การเติมหมู่ฟอสโฟริล (phosphoryl) เข้าไปตรงกรดอะมิโนซีรีนของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการสลายไกลโคเจน

3. ผลผลิตสุดท้าย สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ตัวแรกจากปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องเรียกว่า การยับยั้งแบบป้อนกลับ (feedback inhibition หรือ retro inhibition) เช่น การสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิด ไอโซลิวซีนในแบคทีเรีย

4. โปรตีนควบคุม (regulatory protein) ซึ่งสามารถยับยั้ง หรือกระตุ้นเอนไซม์ได้ เช่น แคลโมดูลิน (calmodulin) สามารถควบคุมการเร่งของเอนไซม์หลายชนิด

ตัวยับยั้งเอนไซม์ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1. ตัวยับยั้งแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible inhibitor) เกี่ยวกับการทำลายหรือเปลี่ยนแปลง functional group 1 หมู่หรือมากกว่าที่จำเป็นสำหรับการเร่งบนโมเลกุลของ

เอนไซม์ ซึ่งตัวยับยั้งแบบนี้จะจับกับเอนไซม์อย่างแน่นทั้งแบบโควาเลนต์และนอนโควาเลนต์ เช่น ไอโอโดอะซีตาไมด์ (iodoaceta mide) จะทำปฏิกิริยากับ หมู่ –SH ของซิสเตอีน โดยการเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์

2. ตัวยับยั้ง แบบผันกลับได้ (reversible inhibitor) แบ่งเป็น 3 ชนิด

2.1 ตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) หมายถึง สารที่สามารถเข้าไปแย่งสับสเตรตจับที่บริเวณเร่งบนโมเลกุลของเอนไซม์ แล้วทำให้การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ลดลง เช่น กรดมาโลนิกสามารถจับเอนไซม์ซักซินิก ดีไฮโดรเจเนส (succinic dehydrogenase) ในปฏิกิริยาการออกซิไดส์กรดซักซินิกไปเป็นกรด ฟูมาริก เพราะมีโครงสร้างคล้ายกับกรดซักซินิก

2.2 ตัวยังยั้งแบบไม่แข่งขัน (noncompetitive inhibitor) หรือตัวยับยั้งแบบผสม (mixed inhibitor) โดยตัวยับยั้งชนิดนี้จะเข้าไปจับที่บริเวณอื่นบนโมเลกุลของ เอนไซม์ที่ไม่ใช่บริเวณเร่งแต่ทำให้บริเวณเร่งเปลี่ยนไปจึงทำงานไม่ได้

2.3 การยับยั้งแบบอันคอมเพติตีฟ (uncompetitive inhibition) การยับยั้ง แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อ ตัวยับยั้งเข้ารวมเฉพาะกับเอนไซม์สับสเตรตคอมเพลกซ์เท่านั้นแบบไม่ผันกลับ เกิดเป็น ESI คอมเพลกซ์ ซึ่งจะไม่ได้ผลผลิตเกิดขึ้น ลักษณะเหมือนกับการยับยั้งแบบไม่แข่งขันโดยไม่เกิดการ ผันกลับ (reversible) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสับสเตรต

การทำหน้าที่ของเอนไซม์บางชนิดที่มีความสำคัญต่ออาหาร

1. อะไมเลส (amylase) เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม glycoside hydrolase ที่สำคัญที่สุดในการย่อยแป้งอะไมโลส โดยมี 2 ชนิด ได้แก่ α–amylase และ β–amylase

2. β–galactozidase หรือ lactase ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

3. เซลยูเลส (cellulase) และเฮไมเซลยูเลส (hemicellulase) เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของเซลยูโลสและเฮไมเซลยูโลส โดยปกติแล้วจะพบที่ผันงเซลล์ของพืช ในสัตว์เคี้ยวเอื้องถือว่าเป็นส่วนที่เป็นอาหารเยื่อใย และมีความแข็งแรง ปกติแล้วสัตว์เองจะไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่จะอาศัยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในรูเมนที่จะปลดปล่อยเอนไซด์เซลยูเลสหรือเฮไมเซลยูเลส อกมา (NRC, 2001; Graminha et al., 2008; Bedford Partridge, 2010)

4. เพกติเนส (pectinase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสารพวกเพกติน ที่พบในพืชชั้นสูงและจุลินทรีย์ แต่ไม่พบในสัตว์ชั้นสูงยกเว้นหอยทาก

5. โปรติเอส (protease) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการสลายพันธะเพปไทด์ ซึ่งการทำงานของเอนไซม์จะต่างกันโดยขึ้นกับหมู่ R1 และ R2 group ว่าเป็นกรดอะมิโนชนิดใด, configuration ของกรดอะมิโน ขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกเปลี่ยน เอนไซม์เหล่านี้จะย่อย L – amino acid configuration

6. กลูโคส ออกซิเดส (glucose oxidase) เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม oxidoreductase สามารถออกซิไดส์ D – glucose เป็น gluconic acid โดยทั่วไปแล้วการนำเอา glucose oxidase ไปใช้งานต่าง ๆ มักจะใช้ร่วมกับเอนไซม์ catalase glucose oxidase

7. คาลาเตส (calatase) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นน้ำและออกซิเจน ซึ่งจะพบเอนไซม์นี้ทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ที่ไม่ทนความร้อน โดย

8. ลิโพออกซิจิเนส (lipoxygenase) เดิมเรียก lipoxidase เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยา oxidation ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว พบเฉพาะในพืช เช่นถั่วเหลือ และถั่วอื่นๆ

9. อื่นๆ

สรุป

เอนไซม์เป็นสารอินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 6 กลุ่ม คือ ออกซิโดรีดักเตส ทรานสะเฟอเรส ไฮโดรเลส ไลเอส ไอโซเมอเรส และ ไลเกส โดยเอนไซม์เกือบทั้งหมดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความจำเพาะสูงมากต่อสารตั้งต้นของปฏิกิริยาที่มันเข้าเร่ง โดยเอนไซม์หลายชนิดทำงานได้ด้วยตัวของมันเองโดยใช้สมบัติของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ที่มีในโมเลกุล แต่บางชนิดจะต้องอาศัย โคแฟกเตอร์ โคเอนไซม์หมู่พร็อสเทติก จึงจะสามารถทำงานได้ เอนไซม์อาจจะอยู่ในรูปที่ยังไม่สามารถไม่ทำงานได้และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พร้อมทำงานเมื่อร่างกายต้องการ ซึ่งส่วนมากจะเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการย่อยสลาย ส่วนในแง่ของการใช้พลังงานพบว่าเมื่อมีการใช้เอนไซม์จะทำให้มีการใช้พลังงานลดลง การทำงานของเอนไซม์ขึ้นกับปัจจัยของอุณหภูมิ ค่า pH ความเข้มข้นของเอนไซม์ และความเข้มข้นของสับสเตรตการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ขึ้นกับ การสร้างเอนไซม์ในรูปที่ทำงานไม่ได้ การดัดแปรแบบโควาเลนต์ ผลผลิตสุดท้าย และโปรตีนควบคุม นอกจากนี้ ตัวยับยั้งเอนไซม์ จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวยับยั้งแบบผันกลับไม่ได้ และ ตัวยับยั้งแบบผันกลับได้ ส่วนเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อโภชนศาสตร์ เช่น

อะไมเลส β-galactozidase เซลยูเลส และเฮไมเซลยูเลส โปรติเอส กลูโคส ออกซิเดส คาลาเตส และลิโพออกซิจิเนส เป็นต้น

คำถามท้ายบท

1. จงจำแนกกลุ่มของเอนไซม์พร้อมยกตัวอย่าง
2. จงอธิบายถึงบทบาทและหน้าที่ของเอนไซม์
3. จงอธิบายคุณสมบัติของเอนไซม์มาพอเข้าใจ
4. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอมไซม์มาพอเข้าใจ
5. จงอธิบายแนวทางในการใช้เอนไซม์เพื่อเพิ่มการผลผลิตสัตว์

เอกสารอ้างอิง

Bedford, M.R. and G.G. Partridge. 2010. Enzymes in farm animal nutrition. 2ed. MPG Books Group, Bodmin, UK

Graminha, E.B.N., A.Z.L. Goncalves, R.D.P.B. Pirota, M.A.A. Balsalobre, R. Da Silva, E. Gomes. 2008. Enzyme production by solid–state fermentation: Application to animal nutrition. Anim. Feed Sci. Technol. 144: 1–22.

Klaus, U. 1994. Comparative Animal Biochemistry. Springer– Verlag, Berlin Heidelberg, Germany. 782 pp.

McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, C. A. Morgan, L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson. 2011. Animal Nutrition (7th ed). Pearson, Harlow, England. 692 pp

National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th edn,Washington, DC, National Academy Press.

Riis, P.M. 1983. Dynamic biochemistry of animal production. Elsevier Science Publisher B.V., The Netherlands. 501 pp.