

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายถึงลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของกรดอะมิโนและโปรตีนได้
2. สามารถจำแนกชนิดของกรดอะมิโนและโปรตีนได้
3. สามารถบอกหน้าที่และความสำคัญของกรดอะมิโนและโปรตีนได้

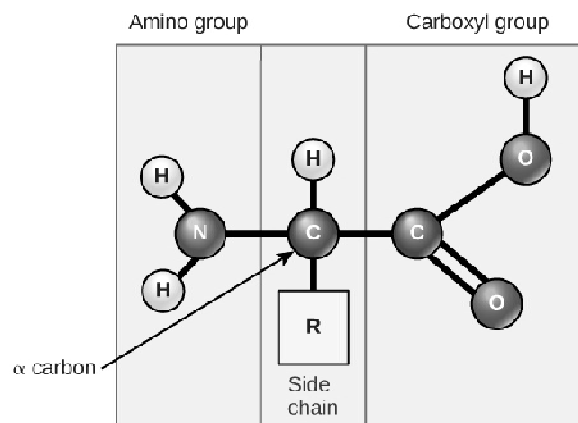
โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยปกติแล้วโปรตีนจะมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับในคาร์โบไฮเดรต และไขมัน แต่ในโปรตีนจะมีองค์ประกอบของธาตุที่เพิ่มเข้ามาคือไนโตรเจน และซัลเฟอร์ (สมปอง, 2550) นอกจากนี้โปรตีนจะพบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และจะมีบทบาทเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ในร่างกายในแต่ละระยะ และเป็นส่วนประกอบของอวัยวะต่าง ๆ และโครงสร้างที่อ่อนนุ่ม สัตว์ต้องการใช้โปรตีนตลอดชีวิต เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ อีกทั้งสัตว์ยังต้องการโปรตีนเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของเลือด เนื้อ เอนไซม์ (enzyme) ภูมิคุ้มกัน (immune) และฮอร์โมน (hormone) และยังสามารถนำไปสร้างผลผลิตเพื่อการสืบพันธุ์ ซึ่งในสัตว์ต่างชนิดกัน โปรตีนจะมีความจำเพาะเจาะจงกับสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ทั้งนี้ในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว พบว่าโปรตีนจะมีความแตกต่างและมีความหลากหลายมาก เพราะฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า มีโปรตีนอยู่เป็นจำนวนมากที่เราสามารถพบในธรรมชาติได้ (Riis, 1983; McDonald et al., 2011)

กรดอะมิโน (amino acids)

โปรตีนมีโครงสร้างพื้นฐานที่เกิดจากการเรียงตัวของกรดอะมิโนเป็นสายยาวในเส้นโพลีเปปไทด์ที่ต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ กรดอะมิโนเป็นหน่วยพื้นฐานของโปรตีนหรือเป็นโมโนเมอร์ของโปรตีน พบว่าส่วนใหญ่โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน 20 ชนิด (Klaus, 1994) โดยที่ทุกกรดอะมิโนประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีอีกสองกรดอะมิโนที่มีธาตุซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบ

ลักษณะทางเคมีของกรดอะมิโน

กรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนในสิ่งมีชีวิตเป็นชนิด L กรดอะมิโนประกอบด้วยโครงสร้างหลักที่เหมือนกันทั้ง 20 ชนิด โดยประกอบด้วย หมู่อะมิโน (-NH₂) หมู่อะมิโนคาร์บอกซิลิก (-COOH) อะตอมไฮโดรเจน และหมู่ R (side chain) ติดอยู่กับคาร์บอนอะตอมที่ตำแหน่งแอลฟา (α -carbon) (ภาพที่ 3.1) โดยกรดอะมิโนชนิด L หมู่อะมิโนจะต้องอยู่ทางซ้ายมือของแอลฟาคาร์บอน สำหรับ กรดอะมิโนชนิด D จะมีหมู่อะมิโนมาเกาะอยู่ทางด้านขวามือของแอลฟาคาร์บอนอะตอม และจะถูกใช้โดยแบคทีเรียบางชนิดในการสร้างผนังเซลล์และยาปฏิชีวนะบางอย่าง เช่น valinomycin, actino-mycin และ gramicidin S ทั้งนี้โครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบโดยทั่วไป 20 ชนิดแสดงดังภาพที่ 3.2

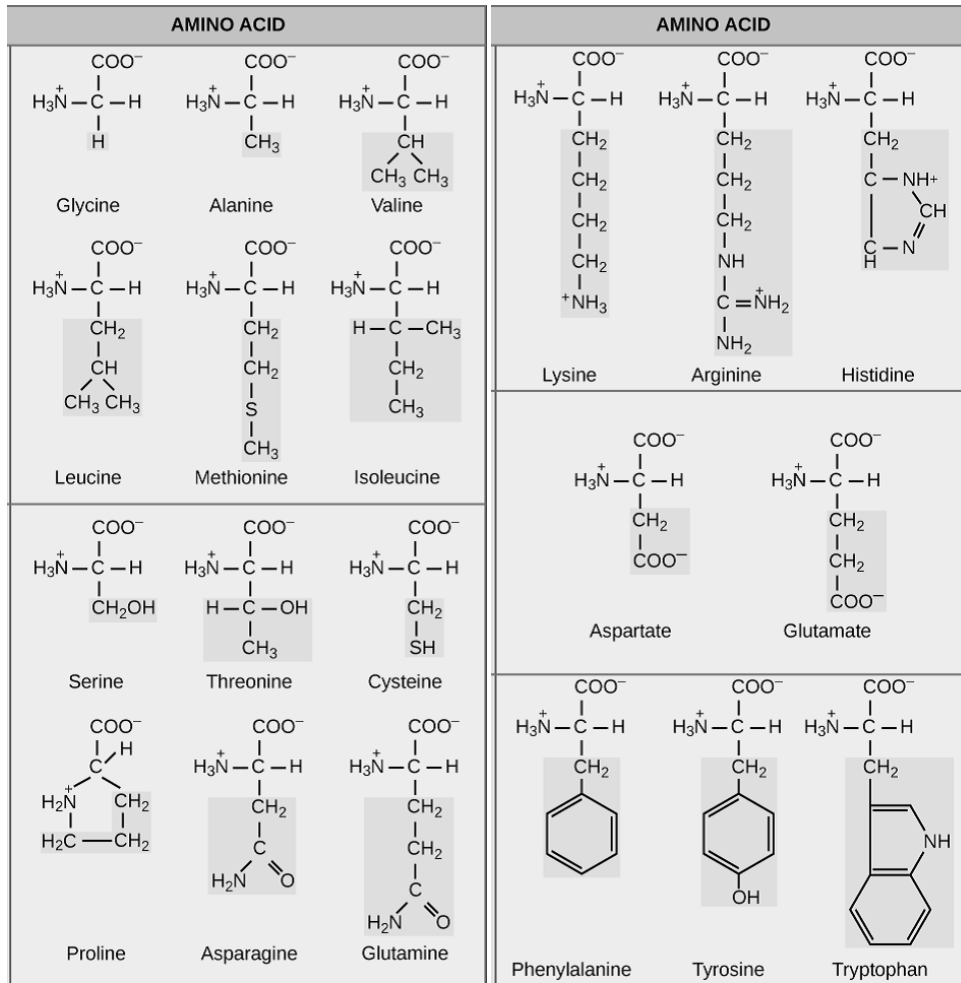


ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของกรดอะมิโนโดยทั่วไป

ที่มา: OpenStax College (2013)

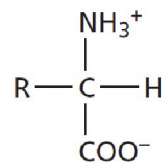
กรดอะมิโนจะเป็นโมเลกุลที่ไม่สมมาตร (ยกเว้นกรดอะมิโนไกลซีน) โดยจะเห็นได้ว่ากรดอะมิโนเป็นสารที่มีประจุทั้งบวกและลบในโครงสร้าง จากสมบัติของหมู่อะมิโนที่มีแอมโมเนียและหมู่อะมิโนคาร์บอกซิล ซึ่งการที่สมบัติของกรดอะมิโนมีทั้งประจุบวกและประจุลบ จะเรียกว่าเป็น zwitterion หรือ dipolar ions (ภาพที่ 3.3) ทำให้กรดอะมิโนละลายน้ำได้ดี กรดอะมิโนมีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาวมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง เพราะภายในโครงสร้างผลึกจับกันด้วยแรงของประจุ การมีประจุทำให้กรดอะมิโนเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าในสารละลาย นอกจากนี้ยังทำให้กรดอะมิโนมีสมบัติของความเป็นกรดต่างในตัว โดยในสภาวะที่ pH เท่ากับ 7 หมู่อะมิโนและหมู่อะมิโนคาร์บอกซิลจะแตกตัวให้ประจุ ซึ่งการมีประจุของกรดอะมิโนจะมีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่จุดสมดุลตลอดช่วงของค่า pH (1-14) โดยการมีบทบาทนี้จะทำให้มีผลต่อ

สมบัติของโปรตีน ซึ่งการจับและหลุดของโปรตอนในหมู่โครงสร้างทั้งสองนี้ทำให้มีผลต่อบทบาทของหมู่อะมิโนและหมู่คาร์บอกซิล ดังนั้นกรดอะมิโนแต่ละตัวอาจแสดงคุณสมบัติเป็นกรด หรือเบสก็ได้ ขึ้นอยู่กับการแตกตัวของหมู่ amino, carboxyl และ side chain ของกรดอะมิโนนั้น กรดอะมิโนจึงจัดเป็น amphoteric compound



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบโดยทั่วไปทั้ง 20 ชนิด

ที่มา: McDonald et al. (2011)



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างของกรดอะมิโนแบบ zwitter หรือ dipolar ions

ที่มา: McDonald et al. (2011)

การแบ่งชนิดของกรดอะมิโน

โครงสร้างของกรดอะมิโน จะมีความสำคัญต่อโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนแต่ละตัว ดังนั้นการที่กรดอะมิโนแต่ละตัวจะมีรูปแบบการจัดตัวอย่างไรก็ขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีของหมู่ R ในการทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้หมู่ R มีประจุและ/หรือมีขั้ว การแบ่งโดยวิธีนี้เป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะเป็นการอธิบายบทบาทของกรดอะมิโนเมื่ออยู่ในโปรตีน ดังนั้นจึงแบ่งชนิดของกรดอะมิโนออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

1. หมู่ R ที่ไม่มีขั้วและไม่มีประจุ (neutral nonpolar amino acids) กรดอะมิโนพวกนี้ จะมีหมู่ R เป็นพวกหมู่ hydrocarbon ทำให้หมู่ R ไม่มีประจุ และละลายน้ำได้ยาก (hydrophobic) จึงจัดเป็นกรดอะมิโนชนิด neutral และ nonpolar กรดอะมิโนชนิดนี้จะมียบทบาทสำคัญในการรักษาโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนให้คงอยู่ ได้แก่ glycine, alanine, leucine, valine, isoleucine, phenylalanine, tryptophan, methionine และ proline หมู่ R ของกรดอะมิโนพวกนี้ไม่ชอบน้ำ จึงมักรวมตัวเข้าด้วยกันในอณูของโปรตีนที่เรียกว่า hydrophobic zone ทำให้อณูของโปรตีนเสถียรอยู่ได้ด้วยแรง hydrophobic interaction

2. หมู่ R ที่มีขั้วแต่ไม่มีประจุ (neutral polar amino acids) หมู่ R ของกรดอะมิโนพวกนี้ จะละลายน้ำได้ดี (hydrophilic) โดยการสร้าง พันธะไฮโดรเจน กับน้ำ ได้แก่ serine, threonine, tyrosine, asparagine และ glutamine แต่ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้อยู่ในอณูของโปรตีน ก็จะมีขั้วเชื่อมต่อกันเอง โดย serine, threonine และ tyrosine จะมีหมู่ polar hydroxyl ($-OH$) อยู่ในโมเลกุลซึ่งจะมีความสำคัญในการสร้าง พันธะไฮโดรเจน ในสายของโปรตีน นอกจากนี้หมู่ $-OH$ ของ serine และ threonine ยังเป็นตำแหน่งที่คาร์โบไฮเดรต จะมาจับกับโปรตีนได้ ส่วน asparagine และ glutamine เป็น amide derivatives ของกรดอะมิโน aspartate และ glutamate เนื่องจากหมู่ amide จะเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว จึงสร้างพันธะ พันธะไฮโดรเจน ได้ดี ดังนั้นโปรตีนที่มีกรดอะมิโน 2 ชนิดนี้อยู่ จะมีความเสถียร (stability) มากขึ้น

3. หมู่ R ที่มีประจุลบ (acidic amino acids) ได้แก่ aspartic acid และ glutamic acid ซึ่งมีหมู่ R เป็นหมู่ carboxyl เนื่องจากกรดอะมิโนทั้ง 2 นี้ มักจะมีประจุลบ ที่ physiological pH จึงมักถูกขนานนามว่า aspartate และ glutamate

4. หมู่ R ที่มีประจุบวก (basic amino acids) กรดอะมิโนประเภทนี้ จะมีประจุบวกที่ physiological pH จึงสามารถสร้างพันธะ ionic กับพวก acidic amino acids ได้ดี ตัวอย่างของกรดอะมิโนประเภทนี้ ได้แก่ lysine ซึ่งมีหมู่ R เป็นหมู่ amino ($-NH_2$) ดังนั้นจึงรับโปรตอนจากน้ำกลายเป็น ammonium ion ($-NH_3^+$) ได้ oxidation ของ lysine ในอณูของโปรตีน เช่น collagen จะทำให้สายของ collagen เกิดการ crosslink ได้ดียิ่งขึ้น arginine มีหมู่ guanidino ที่มี

คุณสมบัติเป็นเบสแก่ ส่วน histidine มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับ catalytic activity ของเอนไซม์หลายๆ ตัว

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกกรดอะมิโนตามความจำเป็นแก่ร่างกาย คือ

1. **กรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย (essential amino acid)** ได้แก่ กรดอะมิโนที่ร่างกายสังเคราะห์ไม่ได้ หรือสังเคราะห์ได้แต่ไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จำเป็นต้องได้รับ จากอาหาร กรดอะมิโนเหล่านี้ ได้แก่ อาร์จินีน (Arginine) ฮีสทีดีน (Histidine) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ลิวซีน (Leucine) ไลซีน (Lysine) เมธิโอนีน (Methionine) เฟนิลอะลานีน (Phenylalanine) เทโรนีน (Threonine) ทริปโทเฟน (Tryptophan) และวาเลีน (Valine)

2. **กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นแก่ร่างกาย (nonessential amino acid)** ได้แก่ กรดอะมิโนที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นได้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ไม่จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร คือ อาจสังเคราะห์ขึ้นจากสารประกอบพวกไนโตรเจน หรือจากกรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย หรือจากไขมันหรือจากคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโนพวกนี้ได้แก่ กรดกลูแทมิก โกลูซีน ซีลทิน ไทโรซีน เป็นต้น

กรดอะมิโนชนิดอื่นๆ (nonstandard amino acids)

นอกจากกรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิดที่จัดเป็น standard amino acids ดังได้กล่าวไปแล้วนั้น ยังอาจพบกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ที่จัดเป็น nonstandard amino acids อีกด้วย กรดอะมิโนพวกนี้มักจะเปลี่ยนแปลงมาจากกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่งใน 20 ชนิดนั้น และพบเป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีนหรือไม่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนก็ได้ แต่มีหน้าที่สำคัญๆ ในกระบวนการเมแทบอลิซึมหลายอย่าง เช่น 3-hydroxyproline, 4-hydroxyproline และ 5-hydroxylysine เป็นส่วนประกอบสำคัญของ collagen ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในสัตว์ชั้นสูง N-formylmethionine เป็นกรดอะมิโนตัวแรกทางปลายด้าน N (N-terminal) ของโปรตีนที่ถูกสร้างโดยสัตว์ชั้นต่ำ (prokaryote) แต่จะถูกทำลายไปหลังจากที่โปรตีนนั้นถูกสร้างเสร็จแล้ว γ -carboxyglutamic acid เป็นกรดอะมิโนที่พบในโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการแข็งเป็นลิ่มของเลือด (blood clotting) γ -aminobutyric acid (GABA) เป็น neurotransmitter ที่สร้างมาจาก glutamate ในเนื้อเยื่อของสมอง, dopamine เป็น neurotransmitter ที่สร้างมาจาก tyrosine, histamine สร้างจาก histidine และทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับภูมิแพ้ (allergic reactions) thyroxine สร้างจาก tyrosine และทำหน้าที่เป็น thyroid hormone, ornithine, citrulline, argininosuccinic acid เป็นสาร intermediate ในกระบวนการสังเคราะห์ยูเรีย ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดแอมโมเนียออกจากร่างกาย, azaserine เป็นกรดอะมิโนที่มีคุณสมบัติเป็นยาปฏิชีวนะ (antibiotic) taurine (2-

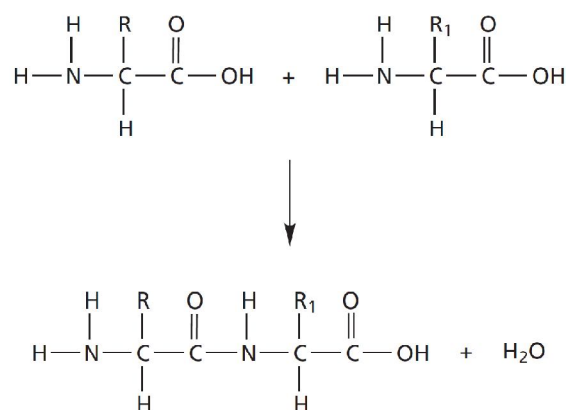
aminoethyl-sulfonate) พบรวมกับกรดน้ำดีเป็น conjugated bile acid β -alanine เป็นส่วนประกอบของ วิตามินบี 3 (pantothenic acid), sarcosine เป็น intermediate ในกระบวนการสร้างกรดอะมิโน homoserine เป็น intermediate ในเมตะบอลิซึมของกรดอะมิโน เป็นต้น

ความสำคัญของกรดอะมิโน

1. ทำหน้าที่เป็นหน่วยโครงสร้างของโปรตีน (binding block) ซึ่งโปรตีนที่เกิดขึ้นอาจจะมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับคุณสมบัติของกรดอะมิโนแต่ละตัวในสายโพลีเพปไทด์นั้นๆ
2. เป็นตัวส่งสัญญาณเคมีในการติดต่อกันระหว่างเซลล์ เช่นส่งสัญญาณประสาท เช่นอนุพันธ์ของกรดอะมิโนไทโรซีน

เพปไทด์ (peptide)

จากภาพที่ 3.4 เป็นสารประกอบที่เกิดจากการจับตัวกันของกรดอะมิโนตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยใช้พันธะเพปไทด์ (peptide bond) หรือ เอไมด์ ซึ่งเกิดจากการที่หมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอะมิโนตัวที่ 1 จับกับหมู่อะมิโน ของกรดอะมิโนตัวที่ 2 แล้วสูญเสียน้ำไป 1 โมเลกุล ซึ่งจะได้ผลผลิตเป็นไดเพปไทด์ (dipeptide) กรดอะมิโน 3 โมเลกุลเรียกว่า ไตรเพปไทด์ (tripeptide) ถ้ามากกว่า 3-50 โมเลกุลเรียกว่า ลีโกเพปไทด์ (oligopeptide) และถ้ามีกรดอะมิโนมากกว่า 50 โมเลกุลมาทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกัน จะได้เป็นสายโพลีเพปไทด์ (polypeptide)



ภาพที่ 3.4 การจับตัวกันของกรดอะมิโน 2 โมเลกุลโดยใช้พันธะเพปไทด์
ที่มา: McDonald et al. (2011)

การเรียกชื่อเพปไทด์

ปกติการเขียนชื่อเพปไทด์จะให้ปลายทางด้าน N ที่มีหมู่อะมิโนเสรี (free α - amino group หรือ N-terminal residue) อยู่ทางซ้ายมือ และปลายที่มีหมู่คาร์บอกซิลเสรี (free α - amino group หรือ C-terminal residue) อยู่ทางขวามือ ดังนั้นการเรียกชื่อเพปไทด์จะอ่านตามลำดับกรด อะมิโนจากซ้ายไปขวา ตามตัวอย่างของไตรเพปไทด์ที่ประกอบด้วย alanine, cysteine และ glycine จะอ่านได้เป็น alanyl cysteinyl glycine หรือจะเขียนเป็นชื่อย่อได้เป็น Ala-Cys-Gly หรือ ACG ตามปกติแล้วเพปไทด์ในร่างกายจะมีชื่อเฉพาะ ไม่เรียกตามลำดับของกรดอะมิโน เพราะมักจะรู้หน้าที่หรือฤทธิ์ในการทำงานก่อนที่จะรู้ชนิดและลำดับของกรดอะมิโน

ความสำคัญของเพปไทด์

เพปไทด์ทำหน้าที่สำคัญๆและมีบทบาทในสิ่งมีชีวิตหลายอย่าง เช่น

1. Glutathione (γ -glutamylcysteinylglycine หรือ GSH) เป็นไตรเพปไทด์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างโปรตีนและ DNA, การขนส่งกรดอะมิโน นอกจากนี้ยังเป็น reducing agent ที่สำคัญในการป้องกันการเกิดภาวะ oxidative stress ที่จะทำลายเซลล์ให้เสียไป
2. Oxytocin และ vasopressin เป็นเพปไทด์ฮอร์โมนที่มีความคล้ายคลึงกัน แต่มีกรดอะมิโนต่างกันอยู่ 2 ตำแหน่ง oxytocin ทำให้มดลูกบีบตัวในขณะคลอดบุตร และกระตุ้นให้ต่อมน้ำนมสร้างน้ำนมออกมา ส่วน vasopressin นั้นจัดเป็น antidiuretic hormone (ADH) ที่จะหลั่งออกมาในภาวะที่มีความดันเลือดต่ำ หรือในภาวะที่เลือดมีความเข้มข้นของ Na^+ สูงเกินไป ทำให้ไตดูดน้ำกลับ
3. Enkephalins, endorphins, dynorphins จัดเป็น opioid peptides ที่พบมากในเซลล์ประสาท ทำหน้าที่บรรเทาความเจ็บปวด
4. Thyrotropin-releasing hormone (TRH) เป็นเพปไทด์ฮอร์โมนที่ไปกระตุ้นการหลั่ง Thyroid-stimulating hormone
5. โพลีเพปไทด์ antibiotics สังเคราะห์ได้จากแบคทีเรียหรือเชื้อรา เช่น gramicidin S, tyrocidin A เป็นต้น การสังเคราะห์เพปไทด์พวกนี้ไม่ต้องอาศัย ribosome

โปรตีน

เป็นโพลีเพปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกรดอะมิโนมากกว่า 100 โมเลกุล มาต่อกันด้วยพันธะต่างๆ โปรตีนแต่ละชนิด ประกอบด้วยชนิดและจำนวนกรดอะมิโนที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วโปรตีนส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยกรดอะมิโนประมาณ 300 โมเลกุล ซึ่งจะมีการขดตัวให้มีรูปร่าง (conformation) ต่างๆ กัน เพื่อประโยชน์ในการทำหน้าที่ที่ต่างกัน

พันธะที่พบในโครงสร้างของโปรตีน

มีพันธะหลายแบบที่พบในโครงสร้างของโปรตีนที่ช่วยให้โครงสร้างนั้นมีความเสถียรมากขึ้น

1. พันธะเพปไทด์ เป็นพันธะที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ α -คาร์บอนิล ของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่ α -อะมิโน ของกรดอะมิโนอีกตัวหนึ่ง พันธะนี้ก่อให้เกิดความแข็งแรงแก่สาย โพลีเพปไทด์

2. พันธะไดซัลไฟด์ เป็นพันธะที่เกิดจากการจับตัวกันของ cysteine 2 residues ที่อาจจะอยู่ในสายเดียวกัน (intrachain) ของสายโพลีเพปไทด์หรือต่างสาย (interchain) ก็ได้ โดยทั่วไป disulfide bond นี้จะทนต่อสภาวะต่างๆที่ใช้ในการทำลายสภาพธรรมชาติ (denature) ของโปรตีน แต่อย่างไรก็ตามมีสารเคมีบางอย่างที่สามารถทำลายพันธะนี้ได้ คือ β -mercaptoethanol, dithiotheritol เป็นต้น

3. พันธะไฮโดรเจน (H-bond) การสร้างพันธะนี้จะเกิดขึ้นได้ 2 แบบ แบบแรกเกิดระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจนของพันธะเพปไทด์ ซึ่งอาจจะอยู่ในสาย โพลีเพปไทด์ เดียวกันหรือต่างสายกันก็ได้ แบบที่ 2 อาจเกิดจากการสร้างพันธะไฮโดรเจน ระหว่างหมู่ที่มีขั้วของหมู่ R ของกรดอะมิโนที่อยู่บนผิวของโปรตีนกับน้ำพันธะไฮโดรเจน ทั้ง 2 แบบนี้จะแสดงบทบาทที่สำคัญในการรักษาโครงสร้างของโปรตีน

4. Hydrophobic interaction หมู่ R (side chain) ของกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วและไม่มีประจุ จะละลายน้ำได้ยาก จึงมีแนวโน้มที่จะรวมตัวอยู่ด้วยกันภายในของโปรตีน ความสัมพันธ์นี้แม้ว่าจะไม่มี stoichiometry ที่แน่นอน ไม่มีพันธะที่แท้จริงเกิดขึ้น แต่ก็ทำให้เกิด hydrophobic interaction ที่มีบทบาทสำคัญในการรักษาโครงสร้างของโปรตีน

5. Electrostatic bond หรือเรียกอีกอย่างว่า salt bridges เป็นพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ที่มีประจุบวกและลบในหมู่ R ของกรดอะมิโน เช่น ถ้าไลซีน และ กลูตามิก อยู่ใกล้กันหมู่ R ของไลซีนจะมีประจุบวก ที่ pH ของร่างกาย ในขณะที่กลูตามิกมีประจุลบ ดังนั้นจะเกิดแรง

ไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) ระหว่างกรดอะมิโนทั้งสอง ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเสถียรขึ้น

6. Van der Waals interaction เป็นพันธะอย่างอ่อนที่เกิดระหว่างหมู่ของหมู่ R ของกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุ ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเสถียรขึ้น

โครงสร้างของโปรตีน

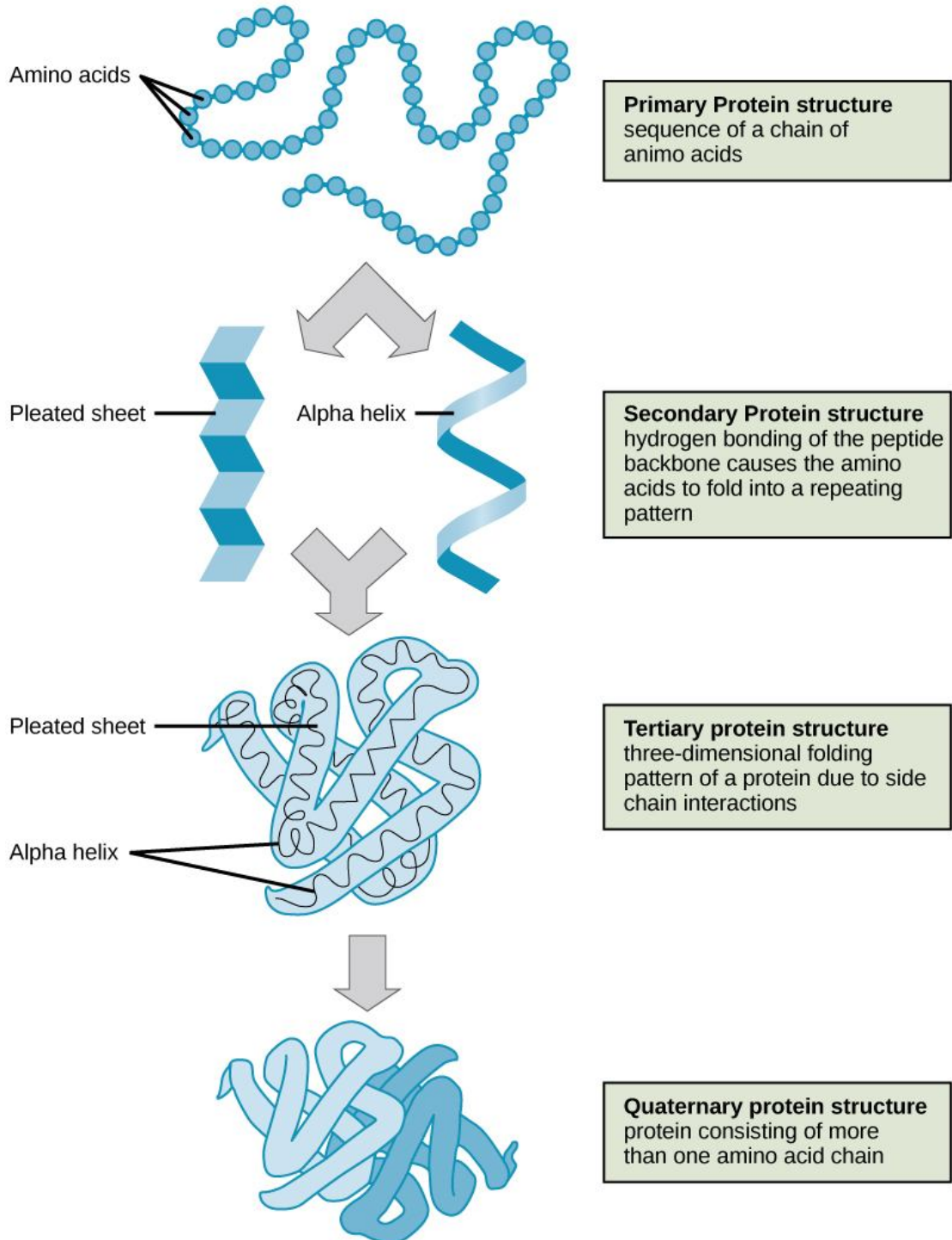
โปรตีนประกอบด้วย โพลีเพปไทด์ สายเดี่ยวหรือหลายสาย ที่ทำหน้าที่ต่างๆ กัน ดังนั้น โพลีเพปไทด์สายยาวที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ จึงต้องมีการขดตัว (folding) ให้มีรูปร่างต่างๆ เพื่อทำหน้าที่ให้เหมาะสม โครงสร้างของโปรตีน แบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ (แสดงดังภาพที่ 3.5)

1. **โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure)** เป็นโปรตีนที่มีรูปโครงสร้างเป็นเส้นตรง ได้จากการสังเคราะห์ใหม่ๆ และจะนำไปเปลี่ยนเป็นรูปโครงสร้างขั้นต่อไป โปรตีนแต่ละชนิดจะมีกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบที่แตกต่างกันและมีการเรียงลำดับที่แตกต่างกันด้วย ส่งผลให้มีการจัดเรียงตัวหรือการม้วนพับของโปรตีนในระดับทุติยภูมิ ตติยภูมิ หรือจตุรภูมิแตกต่างกัน การอ่านลำดับกรดอะมิโนในโครงสร้างระดับปฐมภูมิจะอ่านจากปลายอะมิโนไปทางปลายคาร์บอกซี จากรูปกรดอะมิโนอะลานีนเป็นกรดอะมิโนตัวที่หนึ่งตามด้วยกรดอะมิโน กลูตาเมตและต่อเนื่องกันไปจนถึงตำแหน่งที่ 12 คือกรดอะมิโนทรีโอนีน โปรตีนแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างระดับปฐมภูมิ เช่น ไมโอโกลบินซึ่งเป็นโปรตีนที่จับออกซิเจน พบว่ามีความเหมือนกันในสิ่งมีชีวิตหลาย ๆ ชนิด เช่น ไมโอโกลบินในเซลล์ของมนุษย์จะมีกรดอะมิโน 153 ลำดับ ซึ่งเหมือนกันกับไมโอโกลบินในปลาวาฬ หรือแม้แต่ไมโอโกลบินและฮีโมโกลบินก็มีความคล้ายกัน

2. **โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure)** สาย โพลีเพปไทด์ จะมีการม้วนตัว (folding) เป็นรูปแบบที่ซ้ำกันและสม่ำเสมอทำให้เกิดลักษณะที่เป็นเกลียว (helix) หรือเป็นแผ่น (pleated sheet) ที่เกิดจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโนในสายของโพลีเพปไทด์ ทำให้โครงสร้างของโปรตีนมีความเสถียรมากขึ้น จำแนกได้ดังนี้

2.1 α -helix เป็นสายโพลีเพปไทด์ ที่มีโครงสร้างเป็นแท่งแข็ง (rigid rodlike structure) เกิดจากการม้วนตัวของสาย โพลีเพปไทด์ ที่หมู่ $-CO$ ของกรดอะมิโนแต่ละตัวที่จะสร้าง พันธะไฮโดรเจน กับหมู่ $-NH$ ของกรดอะมิโนในตำแหน่งที่ 4 ตัวถัดมาและเป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ไปในลักษณะที่ซ้ำๆกันและสม่ำเสมอทำให้เกิดเกลียว α -helix ที่มีทั้งเกลียววนขวา และวนซ้าย (right and left-handed) แต่ชนิดเกลียววนขวาจะเสถียรกว่าเกลียววนซ้าย และพบในโปรตีน

ต่างๆไป เช่น keratin ซึ่งพบในผม เล็บ เกล็ดปลา เป็นต้น เกลียว helix นี้จะมีหมู่ R ของกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบยื่นออกนอกเกลียว



ภาพที่ 3.5 โครงสร้างของโปรตีนทั้ง 4 ระดับ

ที่มา: OpenStax College (2013)

2.2 β -pleated sheet เป็นโครงสร้างที่สายโพลีเพปไทด์ ที่อยู่ใกล้กันจะมีการจับตัวกันด้วย พันธะไฮโดรเจน ที่เกิดระหว่างหมู่อะมิโนของสายโพลีเพปไทด์ หนึ่งกับหมู่ carboxyl ของอีกสายหนึ่ง โดยสายโพลีเพปไทด์ จะมีการยืดตัวออกมากที่สุดซึ่งต่างจาก α -helix ที่สายโพลีเพปไทด์ จะมีการหดตัวสั้นเข้า การจับตัวกันแบบ β -pleated sheet นี้จะเกิดได้ 2 ลักษณะ ขึ้นกับทิศทางการเรียงตัวของกรดอะมิโนบนสายโพลีเพปไทด์ ที่อยู่ติดกันนั้น กล่าวคือถ้ากรดอะมิโนบนสายโพลีเพปไทด์ ที่อยู่ใกล้กันมีการเรียงตัวจาก N-terminus ไปยัง C-terminus เหมือนกันทั้ง 2 สาย จะเรียกว่า parallel β -pleated sheet แต่ถ้าการเรียงตัวของกรดอะมิโนเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม จะเรียกว่า antiparallel β -pleated sheet โดยทั่วไปโครงสร้างแบบ antiparallel จะเสถียรกว่าแบบ parallel

2.3 Reverse turns (β -bends หรือ hairpin bends) เป็นส่วนที่สำคัญของโครงสร้างระดับที่สองที่เกิดขึ้นบนผิวของโปรตีนชนิดกลมหรือชนิดรี (globular proteins) ในการเปลี่ยนทิศทางเพื่อให้เกิดการม้วนพับของสายโพลีเพปไทด์ β -bends ที่พบมากที่สุดมี 2 ชนิด คือ type 1 และ type 2 ซึ่งครอบคลุมกรดอะมิโน 4 ตัวและถูกทำให้เสถียรโดย พันธะไฮโดรเจน อย่างไรก็ตามมีกรดอะมิโน 2 ตัวที่มีความสำคัญใน β -bends คือ glycine และ proline เนื่องจาก glycine มีหมู่ R เป็น -H ซึ่งมีขนาดเล็ก จึงสามารถสวมเข้าได้กับโครงสร้างสามมิติของโปรตีน ในขณะที่หมู่ R ของกรดอะมิโนชนิดอื่นๆหันออกข้างนอก จึงทำให้เกิดการม้วนพับ หรือการโค้งของสายโพลีเพปไทด์ขึ้น ส่วน proline จะมีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ใน pyrrolidine ring ซึ่งเป็น rigid ring จึงไม่มีการเปลี่ยนโครงรูป ทำให้สายโพลีเพปไทด์ เกิดการโค้งได้

นอกจากนี้ยังมีโปรตีนชนิด globular หลายชนิดที่มีโครงสร้างเป็นได้ทั้ง α -helix และ β -pleated sheet อยู่ในโมเลกุลของโปรตีนชนิดเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า supersecondary structure หรือ motifs

3. โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) เป็นโครงสร้าง 3 มิติ ของสายโพลีเพปไทด์ ที่เกิดจากการม้วนพับเข้าหากันของโครงสร้างทุติยภูมิ ทำให้ได้โครงสร้างที่เสถียรขึ้นและทำหน้าที่ได้ (native form) แต่ละบริเวณที่เกิดการม้วนพับนี้เรียกว่า domains ซึ่งเชื่อมต่อกันโดยสายโพลีเพปไทด์ โครงสร้างระดับที่สามนี้เป็นโครงสร้างระดับสุดท้ายของสายโพลีเพปไทด์หรือโปรตีนบางตัวที่ประกอบด้วยโซ่เพปไทด์เพียงสายเดียว โครงสร้างระดับนี้มักพบในโปรตีนที่มีรูปร่างกลมรี (globular protein) ที่มักจะมีการม้วนพับโดยให้กรดอะมิโนที่ละลายน้ำได้ยาก

(hydrophobic side chain) อยู่ภายในโมเลกุลและให้กรดอะมิโนที่มีหมู่ R ละลายน้ำง่ายอยู่ภายนอก ดังนั้นโปรตีนพวกนี้จึงเหมาะที่จะทำหน้าที่เป็นเอนไซม์

4. โครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure) โปรตีนหลายชนิดโดยเฉพาะพวกที่มีน้ำหนักอณูสูงๆ มักจะมีการจับกลุ่มกันเองของสาย โพลีเพปไทด์มากกว่า 1 สาย ด้วย noncovalent bonds (เช่น salt bridges, H-bond, Van der Waals, hydrophobic) เป็น oligomers หรือ multisubunits ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเสถียรขึ้นเป็นโครงสร้างระดับที่สี่ และทำให้โปรตีนทำงาน (function) ได้ในสิ่งมีชีวิต โพลีเพปไทด์ แต่ละสายเรียกได้ว่าเป็น monomer หรือ subunit แต่ละ subunit นี้ อาจมีโครงสร้างที่เหมือนกันหรือแตกต่างกันก็ได้ globular protein ที่มีโครงสร้างจตุรภูมิ นี้ ส่วนใหญ่จะเป็น allosteric enzymes หรือ multienzyme complexes ตัวอย่างของโปรตีนที่มีโครงสร้างจตุรภูมินี้คือ ฮีโมโกลบิน ซึ่งประกอบด้วยสายโกลบิน 4 สาย มาจับตัวกันด้วยแรง noncovalent ดังกล่าว

การจำแนกประเภทของโปรตีน

สามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

1. การจำแนกตามรูปร่าง

1.1 โปรตีนที่มีรูปร่างเป็นสายยาวหรือสานกันเป็นร่างแห (fibrous protein) มักเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำยากและให้ความเหนียว (tough) จึงเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง เช่น collagen ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue), elastin, keratin เป็นโปรตีนที่พบที่ผิวหนัง ผม และเล็บ เป็นต้น

1.2 โปรตีนที่มีรูปร่างกลมหรือรี (globular protein) เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ดี ทำหน้าที่ต่างๆ เช่น เป็นเอนไซม์ ฮอร์โมน อิมมูโนโกลบูลินชนิดต่างๆ โปรตีนที่ทำหน้าที่ขนส่งสารต่างๆ ในร่างกาย เช่น ฮีโมโกลบิน ทำหน้าที่ขนส่ง O_2 ในเลือด และอะบลูมินทำหน้าที่ขนส่งกรดไขมัน เป็นต้น

นอกจากนี้ โปรตีนบางชนิดมีทั้งส่วนที่เป็นทั้ง fibrous และ globulin อยู่ด้วยกัน เช่น myosin ซึ่งทำหน้าที่เป็นโปรตีนของกล้ามเนื้อ

2. การจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี

2.1 Simple proteins เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนล้วนๆ ไม่มีสารอื่น ปนอยู่เลย เช่น แอลบูมิน keratin

2.2 Complex หรือ conjugated protein ประกอบด้วย simple protein และสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่โปรตีน (prosthetic group) รวมอยู่ด้วย เรียกว่า holoprotein แต่ถ้าขาด prosthetic

group ไป โปรตีนส่วนที่เหลือมีชื่อเรียกว่า apoprotein สำหรับ prosthetic group นี้จะมีความสำคัญที่ทำให้ conjugated protein มีหน้าที่ต่างๆ ตัวอย่าง prosthetic group ที่จับอยู่กับโปรตีน

3. การจำแนกตามคุณค่าทางโภชนาการ

3.1 Complete proteins เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสมบูรณ์ เนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็นครบทุกชนิด ได้แก่ โปรตีนจากสัตว์ (ยกเว้นเจลาติน) และถั่วเหลือง

3.2 Incomplete proteins เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็นไม่ครบทุกชนิด ได้แก่ โปรตีนจากพืชต่างๆ ไป ยกเว้นถั่วเหลือง

4. การจำแนกตามหน้าที่ในร่างกาย

โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีหน้าที่หลากหลายที่สุดในสิ่งมีชีวิต จึงอาจแยกโปรตีนเหล่านี้ตามลักษณะการทำหน้าที่ต่างๆ ได้ดังนี้

4.1 เป็นเอนไซม์ ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกาย

4.2 เป็นโครงสร้างของเซลล์และเนื้อเยื่อต่างๆ ทำให้เกิดความแข็งแรง เช่น collagen, elastin, fibroin ซึ่งเป็นโปรตีนของเส้นไหม (silk) เป็นต้น

4.3 เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว ในช่วงที่เซลล์กำลังมีกิจกรรมต่างๆ เช่น การแบ่งเซลล์ endocytosis exocytosis การเคลื่อนที่แบบ ameboid ของเซลล์เม็ดเลือดขาว ตัวอย่างของโปรตีนชนิดนี้ได้แก่ actin, tubulin เป็นต้น

4.4 เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดกับเซลล์ของร่างกาย เช่น fibrinogen และ thrombin เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด อิมมูโนโกลบูลิน หรือ แอนติบอดี ทำหน้าที่เป็นภูมิคุ้มกันของร่างกาย และ ทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย

4.5 เป็นฮอร์โมน ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างๆ ของร่างกายให้เป็นปกติ เช่น insulin glucagon ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด growth hormone ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกาย

4.6 เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ขนส่งสารต่างๆ ในร่างกาย เช่น ฮีโมโกลบิน ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ลิโปโปรตีน ทำหน้าที่ขนส่งไขมันจากตับและลำไส้ไปยังอวัยวะต่างๆ transferrin ขนส่งเหล็ก เป็นต้น

4.7 เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่สะสม เช่น ferritin ทำหน้าที่สะสมเหล็กไว้ในเนื้อเยื่อ, thyroglobulin ทำหน้าที่เก็บไทรอยด์ฮอร์โมนไว้ในต่อมไทรอยด์ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีโปรตีนที่ทำหน้าที่เฉพาะอีกมาก ตลอดจนยังมีโปรตีนอีกหลายชนิดที่โดยตัวเองทำหน้าที่ได้หลายอย่าง

5. การจำแนกตามลักษณะส่วนอาหารโปรตีน

โปรตีนสามารถแบ่งตามส่วนประกอบออกเป็น 2 กลุ่ม (NRC, 2001) คือ

5.1 โปรตีนแท้ (true protein) ได้จากการจับกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) ของกรดอะมิโน เช่น โปรตีนจากพืชและสัตว์หรือได้จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์

5.2 ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) มีหลายชนิด ได้แก่ ยูเรีย ไนเตรท กรดอะมิโนอิสระ ฯลฯ แต่ที่นิยมนำมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องคือ ยูเรีย เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถหาได้ง่าย จากการวิจัยของ Cherdthong et al., (2011a,b,c) พบว่าการใช้สารผสมยูเรีย-แคลเซียมในอาหารชั้นสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถทดแทนการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองและเพิ่มสมรรถนะการให้ผลผลิตได้

6. การจำแนกตามโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาจจัดแบ่งโปรตีนออกตามความสามารถในการย่อยสลายในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

6.1 โปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (ruminal degradable protein, RDP) เป็นชนิดของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนทั้งหมดเมื่อสัตว์ได้รับเข้าไป ซึ่งจะได้ผลผลิตสุดท้ายคือ แอมโมเนีย โดยจุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ต่อไป (Wanapat et al., 2009)

6.2 โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (ruminal undegradable protein, UDP) หรือ โปรตีนไหลผ่าน (escape หรือ bypass protein)

หน้าที่ของโปรตีน

1. เป็นส่วนประกอบของร่างกาย เช่น เลือด, เนื้อ, ขน, เขา, กีบสัตว์ และอวัยวะอื่น ๆ
2. ทำหน้าที่ขนส่ง (transport protein) คือโปรตีนที่ทำหน้าที่ลำเลียงก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง
3. มีหน้าที่ต่อการสร้างเซลล์ใหม่ทดแทนเซลล์ที่สึกหรอไปภายในร่างกายสัตว์
4. ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ (enzyme) คือ โปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาต่างๆในร่างกาย เช่น กระบวนการหายใจ กระบวนการสังเคราะห์โปรตีน กระบวนการย่อยอาหาร
5. เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนและน้ำย่อย ซึ่งเป็นตัวควบคุมการทำงานของต่อมต่าง ๆ และการย่อยอาหารภายในร่างกายสัตว์ให้เป็นปกติ

6. ช่วยสร้างความเจริญเติบโตของลูกสัตว์ในท้อง และสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต
7. ช่วยในการสร้างผลผลิตต่าง ๆ เช่นการให้นม การให้ไข่ และการให้เนื้อของสัตว์
8. โปรตีนที่ทำหน้าที่ป้องกัน (protective protein) เช่น ภูมิต้านทานโรคให้กับร่างกาย
9. ช่วยในการสืบพันธุ์ให้แก่สัตว์ เพราะ sperm และ ovum จะสร้างได้ก็ต้องมีโปรตีน
10. ทำหน้าที่เป็นโปรตีนสะสม (storage protein)
11. ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (contractile protein) คือโปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของกล้ามเนื้อ คือ ไมโอซิน และแอกติน

สรุป

โปรตีนมีโครงสร้างพื้นฐานที่เกิดจากการเรียงตัวของกรดอะมิโนเป็นสายยาวในเส้นโพลีเปปไทด์ที่ต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ กรดอะมิโนเป็นหน่วยพื้นฐานของโปรตีนหรือเป็นโมโนเมอร์ของโปรตีน พบว่าส่วนใหญ่โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน 20 ชนิด โดยที่ทุกกรดอะมิโนประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีอีกสองกรดอะมิโนที่มีธาตุซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบ กรดอะมิโนสามารถแบ่งตามลักษณะของหมู่ R และการมีประจุออกได้เป็น 4 แบบ ได้แก่ หมู่ R ที่ไม่มีขั้วและไม่มี, หมู่ R ที่มีขั้วแต่ไม่มีประจุ, หมู่ R ที่มีประจุลบ และหมู่ R ที่มีประจุบวก นอกจากนี้อาจจำแนกกรดอะมิโนตามความจำเป็นแก่ร่างกาย คือ กรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นแก่ร่างกาย กรดอะมิโนมีบทบาทหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเป็นหน่วยโครงสร้างของโปรตีน และเป็นตัวส่งสัญญาณเคมีในการติดต่อกันระหว่างเซลล์

เพปไทด์เป็นสารประกอบที่เกิดจากการจับตัวกันของกรดอะมิโนตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยใช้พันธะเพปไทด์ซึ่งเกิดจากการที่หมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอะมิโนตัวที่ 1 จับกับหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนตัวที่ 2 แล้วสูญเสียน้ำไป 1 โมเลกุล ซึ่งจะได้ผลผลิตเป็นไดเพปไทด์ และถ้ามีกรดอะมิโนหลายโมเลกุลมาทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกัน จะได้เป็นสายโพลีเพปไทด์ (polypeptide) โดยการจัดเรียงตัวกันของกรดอะมิโนในโปรตีนจะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างทั้ง 4 รูปแบบของโปรตีน ได้แก่ โครงสร้างปฐมภูมิ เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการเรียงลำดับของกรดอะมิโนของโปรตีนแต่ละชนิด, โครงสร้างทุติยภูมิ เป็นการที่สายโพลีเพปไทด์, การม้วนตัวเป็นรูปแบบที่ซ้ำกันและสม่ำเสมอทำให้เกิดลักษณะที่เป็นเกลียว หรือเป็นแผ่น ส่วนโครงสร้างตติยภูมิ เป็นโครงสร้าง 3 มิติ ของสายโพลีเพปไทด์ ที่เกิดจากการม้วนพับเข้าหากันของโครงสร้างทุติยภูมิ ทำให้ได้โครงสร้างที่เสถียรขึ้นและทำหน้าที่ได้และโครงสร้างสุดท้ายคือโครงสร้างจตุรภูมิ เป็นโปรตีนที่

มีน้ำหนักอณูสูงๆ มักจะมีการจับกลุ่มกันเองของสาย โพลีเพปไทด์มากกว่า 1 สาย ทำให้โปรตีนทำงานได้ในสิ่งมีชีวิต เช่น ฮีโมโกลบิน

การจำแนกประเภทของโปรตีน สามารถแบ่งออกได้หลายประเภท เช่น การจำแนกตามรูปร่าง, การจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี, การจำแนกตามคุณค่าทางโภชนาการ, การจำแนกตามหน้าที่ในร่างกาย, การจำแนกตามลักษณะส่วนอาหารโปรตีนและการจำแนกตามโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง

โปรตีนมีความสำคัญด้านการเป็นส่วนประกอบของร่างกาย รวมทั้งการสร้างเซลล์ใหม่ทดแทนเซลล์ที่สึกหรอไปภายในร่างกายสัตว์ โดยมีโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกาย เช่น เอนไซม์ และฮอร์โมน ซึ่งเป็นตัวควบคุมการทำงานของต่อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง กับเมแทบอลิซึมการย่อยอาหาร ตลอดทั้งสร้างความเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต

คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายถึงลักษณะโครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติของโปรตีนมาพอเข้าใจ
2. จงอธิบายถึงลักษณะโครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติของกรดอะมิโนมาโดยสังเขป
3. จงจำแนกชนิดของโปรตีนและกรดอะมิโนมาพอเข้าใจ
4. จงระบุหน้าที่ของโปรตีนและกรดอะมิโนสำหรับสิ่งมีชีวิตมาพอเข้าใจ

เอกสารอ้างอิง

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2546. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. ปรับปรุงครั้งที่ 2. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ธนบรรณการพิมพ์, เชียงใหม่. จำนวน 202 หน้า.

สมปอง ธรรมศิริรักษ์. 2550. โครงสร้างและหน้าที่ของโปรตีน. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. จำนวน 187 หน้า

Cherdthong, A., M. Wanapat, and C. Wachirapakorn. 2011a. Influence of urea calcium mixture supplementation on ruminal fermentation characteristics of beef cattle fed on concentrates containing high levels of cassava chips and rice straw. *Animal Feed Science and Technology*. 163: 43–51. (Impact factor = 1.720).

Cherdthong, A., M. Wanapat, and C. Wachirapakorn. 2011b. Effects of urea–calcium mixture in concentrate containing high cassava chip on feed intake, rumen fermentation and performance of lactating dairy cows fed on rice straw. *Livestock Science*. 136: 76–84.

- Cherdthong, A., M. Wanapat, and C. Wachirapakorn. 2011c. Influence of urea–calcium mixtures as rumen slow–release feed on in vitro fermentation using gas production technique. *Archives of Animal Nutrition*. 65: 242–254.
- 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 (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th revised ed. National Academic Science, Washington, DC, USA.
- OpenStax College. 2013. Proteins, Connexions module: m44402. <http://cnx.org/content/m44402/1.7/>
- Riis, P.M. 1983. *Dynamic biochemistry of animal production*. Elsevier Science Publisher B.V., The Netherlands. 501 pp.
- Wanapat, M., S. Polyorach, K. Boonnop, C. Mapato, and A. Cherdthong. 2009. Effects of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. *Livestock Science*. 125: 238–243.