

1. โปรตีน

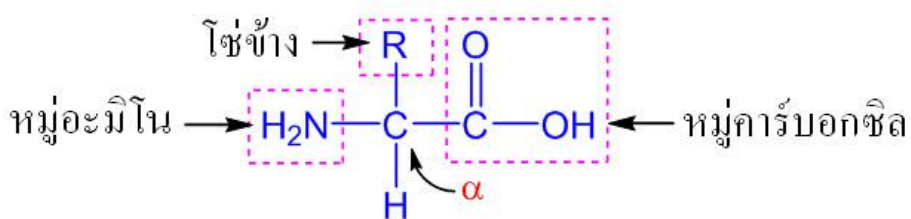
โปรตีน เป็นสารที่พบมากที่สุดเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ค้นพบเมื่อปี พ.ศ. 2382 (ค.ศ. 1839) โดยมุลเดอร์ ซึ่งต่อมาแบร์ซีเลียส เป็นผู้ตั้งชื่อว่าโปรตีน (Protein) ในภายหลัง

โปรตีน มาจากคำในภาษากรีก แปลว่า **มีความสำคัญก่อน** โดยทั่วไปในเซลล์ของพืชและสัตว์มีโปรตีนอยู่มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง ธาตุองค์ประกอบหลักของโปรตีนประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน นอกจากนั้นยังมีธาตุอื่น ๆ อีก เช่น ฟอสฟอรัส กำมะถัน เหล็ก สังกะสี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีน พบในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ นม ไข่ ถั่ว และงา ฯลฯ โปรตีน เป็นสารพหุพอลิเมอร์ ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากมาย

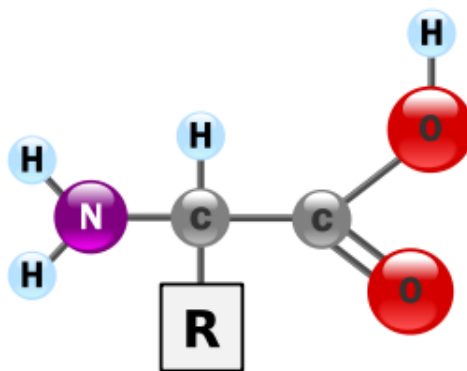
1.1 กรดอะมิโนและพันธะเพปไทด์

กรดอะมิโน (Amino acid)

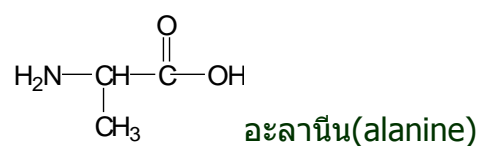
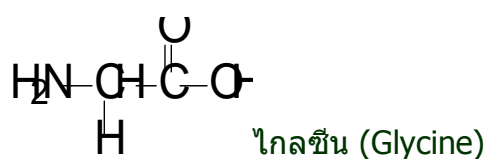
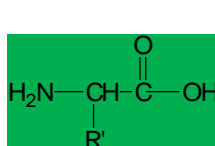
กรดอะมิโนเป็นกรดคาร์บอกซิลิกที่มีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ที่ตำแหน่งแอลฟา (α) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากรดกรดแอลฟาอะมิโน กรดอะมิโนเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของโปรตีน มีโครงสร้างทั่วไปดังนี้



สูตรโครงสร้างทั่วไปของกรดแอลฟาอะมิโน



สูตรทั่วไปของกรดแอลฟาอะมิโน



ชนิดกรดอะมิโน

กรดอะมิโนที่พบเป็นองค์ประกอบของโปรตีนมี 20 ชนิด จำแนกตามความจำเป็นแก่ร่างกาย คือ

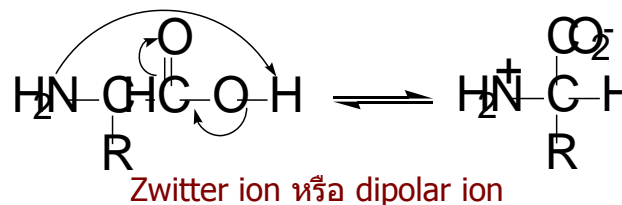
- 1. กรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย (Essential amino acid)** ได้แก่ กรดอะมิโนที่ร่างกายสังเคราะห์ไม่ได้ หรือสังเคราะห์ได้แต่ไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร กรดอะมิโนเหล่านี้ ได้แก่ อาร์จินีน (Arginine) ฮีสทิดีน (Histidine) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ลิวซีน (Leucine) ไลซีน (Lysine) เมธิโอนีน (Methionine) เบนซิลอะลานีน (Phenylalanine) เทโรนีน (Threonine) ทริปโตเฟน (Tryptophan) และวาเลีน (Valine) เด็กต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย 9 ตัว ยกเว้นอาร์จินีน สำหรับผู้ใหญ่ต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย 8 ชนิด ยกเว้น อาร์จินีน และฮีสทิดีน

- 2. กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นแก่ร่างกาย (Nonessential amino acid)** ได้แก่ กรดอะมิโนที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นได้เพียงพอกับความต้องการของร่างกายไม่จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร คือ อาจสังเคราะห์ขึ้นจากสารประกอบพวกไนโตรเจน หรือจากกรดอะมิโน ที่จำเป็นแก่ร่างกาย หรือจากไขมันหรือจากคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโนพวกนี้ได้แก่ กรดกลูตามิก ไกลซีน ซีสทีน ไทโรซีน เป็นต้น ในเรื่องนี้มักมีคนเข้าใจผิดว่ากรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นแก่ร่างกาย เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่จำเป็นต้องใช้ ความจริงนั้นร่างกายต้องใช้กรดอะมิโนทั้งสองพวกในการสร้างโปรตีน แต่ที่เราเรียกว่าเป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นนั้นเพราะเราคิดในแง่ที่ว่าร่างกายสร้างเองได้เพียงพอ จากการวิเคราะห์พบว่าโปรตีนในเซลล์ และเนื้อเยื่อของร่างกายมีกรดอะมิโนพวกนี้อยู่ร้อยละ 40

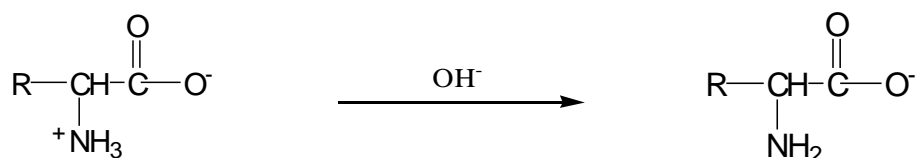
สมบัติของกรดอะมิโน

1. สถานะ ของแข็ง ไม่มีสี
2. การละลายน้ำ ละลายน้ำ เกิดพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์
3. จุดหลอมเหลว สูง อยู่ระหว่าง 150 - 300 °C เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจน
4. ความเป็นกรด- เบส Amphoteric substance

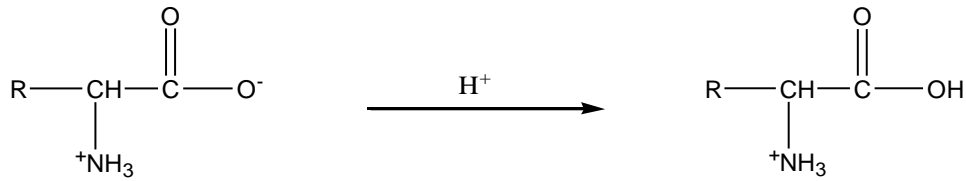
กรดอะมิโนส่วนใหญ่ที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ และละลายในตัวทำละลายมีขั้วอื่น ๆ มีสภาพขั้วสูง ความเป็นกรดต่ำกว่ากรดคาร์บอกซิลิกทั่วไป แต่จะมีความเป็นเบสต่ำกว่าสารพวกเอมีน ทั้งนี้เพราะในโมเลกุลมีทั้งหมู่อะมิโนซึ่งเป็นเบส และหมู่คาร์บอกซิลซึ่งเป็นกรด จึงสามารถเกิดปฏิกิริยากรด-เบสในโมเลกุลเองให้เป็นไอออนซึ่งมี 2 ขั้ว เรียกว่า ซวิทเทอร์ไอออน (zwitter ion) ดังนี้



เมื่ออยู่ในสารละลายเบส ซวิทเทอร์ไอออนจะแสดงความเป็นกรดโดยให้โปรตอนจากหมู่แอมโมเนียมกับเบส ดังสมการ

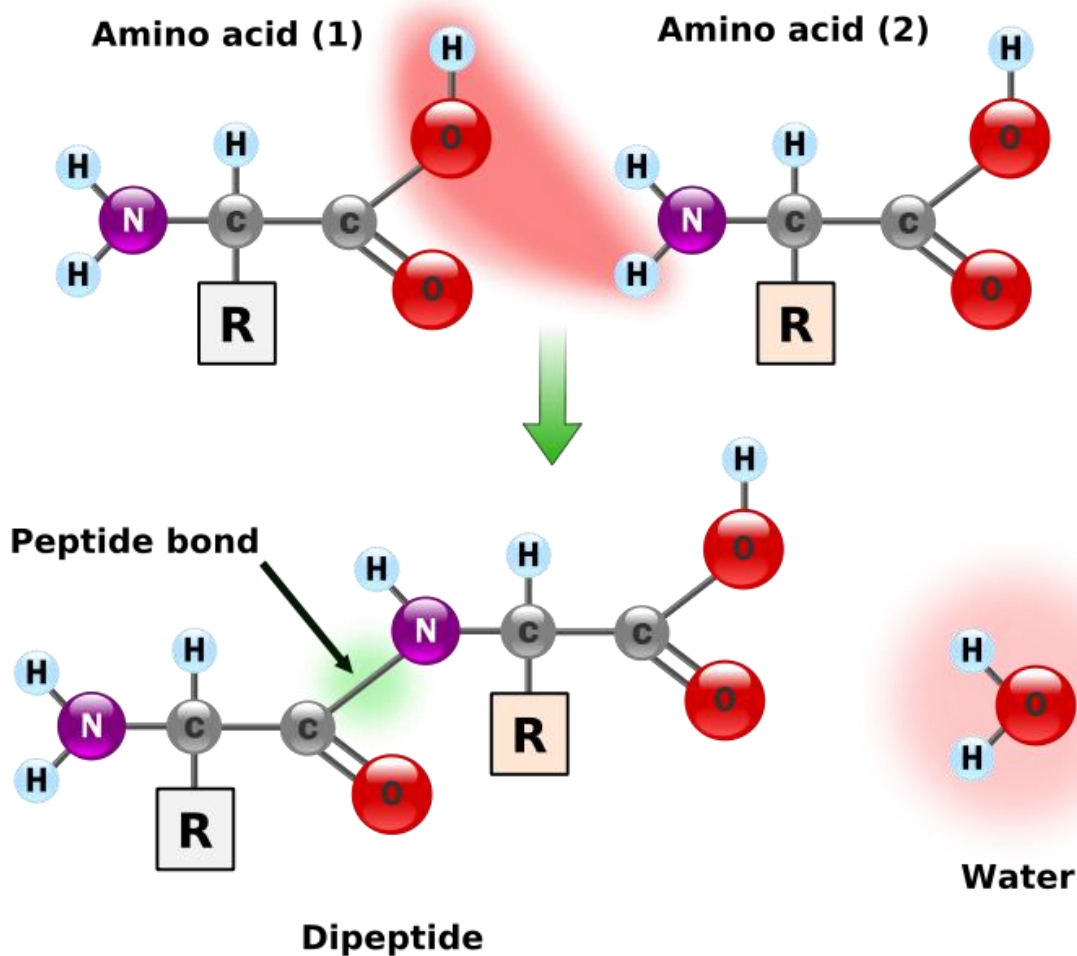
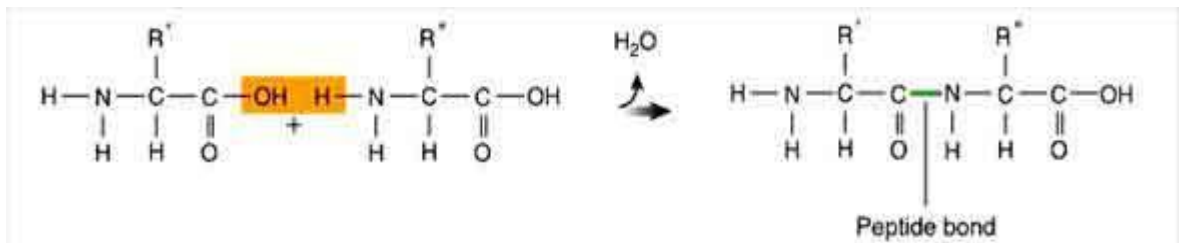


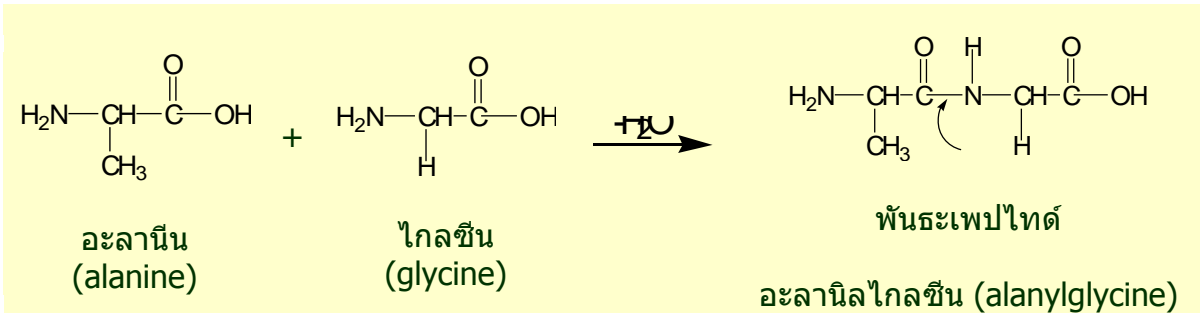
เมื่ออยู่ในสารละลายกรด ขั้วที่เทอร์ไออนจะแสดงความเป็นเบสโดยคาร์บอกซิเลตไออนจะรับโปรตอนจากกรด ดังสมการ



พันธะเพปไทด์ (Peptide bond)

พันธะเพปไทด์ เป็นพันธะโคเวเลนต์ที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของคาร์บอนในหมู่คาร์บอกซิล ($-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$) ของกรดอะมิโนโมเลกุลหนึ่งกับไนโตรเจนในหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) ของกรดอะมิโนอีกโมเลกุลหนึ่ง

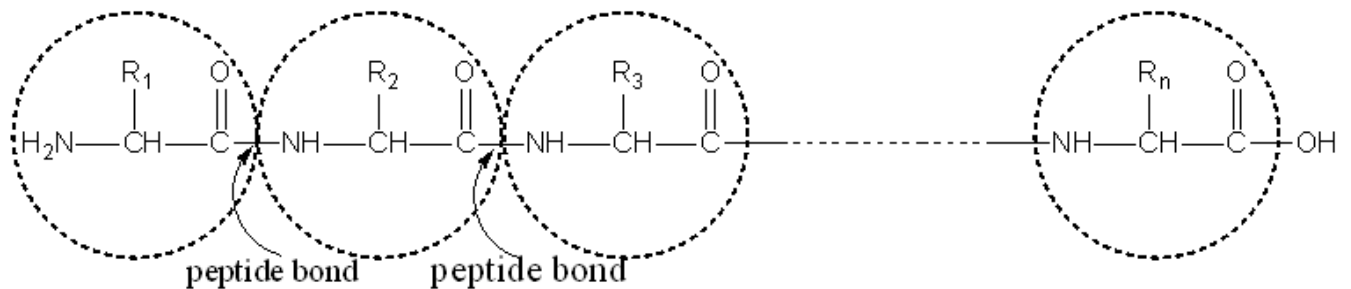




เพปไทด์และพอลิเพปไทด์

เพปไทด์ คือเอไมด์ที่ประกอบด้วยหน่วยของกรดอะมิโนตั้งแต่ 2 หน่วยขึ้นไป จับต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์

เพปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 2 หน่วยเรียกว่า ไดเพปไทด์ (dipeptide) ถ้าประกอบด้วย 3 หน่วย เรียกว่า ไตรเพปไทด์ (tripeptide) ในกรณีที่มีหลาย ๆ หน่วยก็จัดเป็นสารที่เรียกว่า พอลิเพปไทด์ (polypeptide)



การเขียนลำดับของกรดอะมิโน

การเขียนลำดับของกรดอะมิโนของพอลิเพปไทด์และโปรตีน กำหนดให้เขียนเป็นชื่อ ย่อ โดยใช้พยัญชนะ 3 ตัวแรกของกรดอะมิโน และเรียกชื่อกรดอะมิโนในลำดับแรกด้วยการลงท้ายเสียง -yl (-อิล) แล้วต่อกับชื่อของกรดอะมิโนตัวสุดท้าย

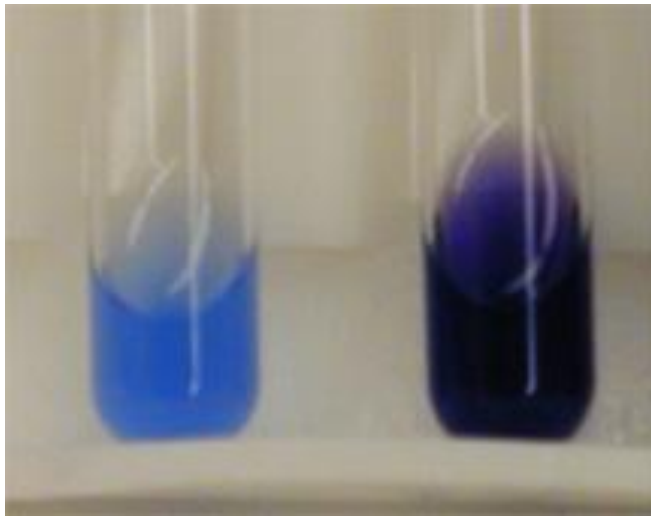
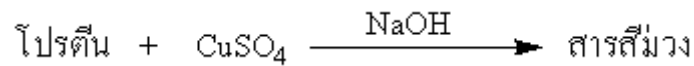
การจัดลำดับของกรดกรดอะมิโน

ไตรเพปไทด์ จะมีจำนวนโครงสร้างปฐภูมิที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้เท่ากับ $3 \times 2 \times 1 = 6$ หรือ $3!$ (3 แฟคทอเรียล) สรุปได้ว่าจำนวนโครงสร้างปฐภูมิของพอลิเพปไทด์จะมีค่าเท่ากับ $n!$ เมื่อ n คือจำนวนกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ

1.2 การทดสอบโปรตีน

ปฏิกิริยาไบยูเรต (Biuret reaction)

การทดสอบโปรตีนสามารถทดสอบได้ด้วยปฏิกิริยาไบยูเรต โดยให้โปรตีนทำปฏิกิริยากับสารละลาย CuSO_4 ในสารละลายเบส NaOH หรือ KOH จะได้สารสีน้ำเงินม่วง โดยปฏิกิริยา CuSO_4 ในสารละลายเบสจะทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบย่อยของโปรตีนคือ กรดอะมิโน ได้สารสีน้ำเงินม่วง ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Cu^{2+} กับไนโตรเจนในสารที่มีพันธะเพปไทด์ ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป



ปฏิกิริยาไบยูเรต

ปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีนด้วยไบยูเรต

วิธีทดสอบ

1. ใส่น้ำกลั่น 5 cm^3 ลงในหลอดทดลองหลอดที่ 1 และใส่สารละลายนมผงไร้ไขมันใส่ในหลอดทดลอง หลอดที่ 2 และ 3 หลอดละ 5 cm^3
2. หยดสารละลายไบยูเรตส่วนที่ 1 (สารละลายเบส KOH เข้มข้น 15 %) จำนวน 10 หยด ลงในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด สังเกตผลการทดลอง
3. หยดสารละลายไบยูเรตส่วนที่ 2 (สารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 3%) ลงในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด สังเกตผลการทดลอง

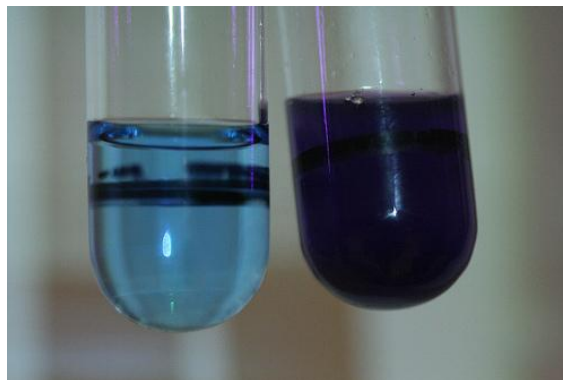
ผลการทดลอง

การทดลองที่	สาร	ผลการทดลองเมื่อเติมสารละลาย		
		KOH	CuSO ₄	HCl
หลอดที่ 1	น้ำกลั่น	สารละลายใสไม่มีสี	สารละลายเปลี่ยนเป็นฟ้า	-
หลอดที่ 2	นม	เกิดตะกอนขุ่นขาว	ตะกอนเปลี่ยนสารสีม่วง	-
หลอดที่ 3	นม	เกิดตะกอนขุ่นขาว	ตะกอนเปลี่ยนสารสีม่วง	ตะกอนสีม่วงมีสีจางลง

หลอดที่ 1. ใส่น้ำกลั่น 5 cm³ เมื่อหยดสารละลาย KOH ลงในหลอด สารละลายยังคงเป็นสารละลายใสไม่มีสี และเมื่อหยดสารละลาย CuSO₄ สารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ซึ่งยังคงเป็นสีเดิมของ CuSO₄ แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยา หลอดที่ 1 จึงเป็นหลอดควบคุม

หลอดที่ 2 เมื่อหยดสารละลาย KOH เกิดลักษณะขุ่นขาว แสดงว่านมเกิดการตกตะกอน และเมื่อเติมสารละลาย CuSO₄ เกิดสารสีม่วง แสดงว่านมซึ่งมีโปรตีนอยู่ ทำปฏิกิริยากับสารละลาย CuSO₄ ได้สารสีม่วง

หลอดที่ 3 เมื่อหยดสารละลาย KOH เกิดลักษณะขุ่นขาว แสดงว่านมเกิดการตกตะกอน และเมื่อเติมสารละลาย CuSO₄ เกิดสารสีม่วง แสดงว่านมซึ่งมีโปรตีนอยู่ ทำปฏิกิริยากับสารละลาย CuSO₄ ได้สารสีม่วงเช่นเดียวกับหลอดที่ 2 และเมื่อเติมสารละลาย HCl สารละลายสีม่วงมีสีจางลง แสดงว่ากรด HCl ได้ทำให้โมเลกุลของโปรตีนในนมแตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง



ผลการทดสอบโปรตีนกับไบยูเรต ได้สารสีม่วง

โปรตีนเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (Peptide bond) โปรตีนจัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ

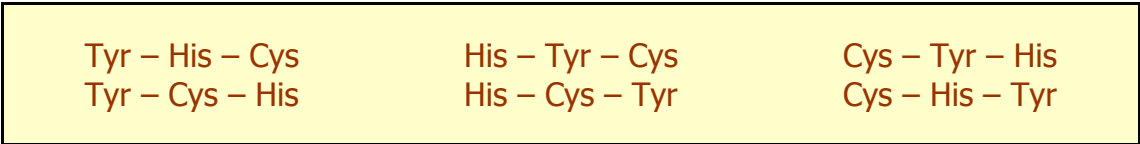
1.3 โครงสร้างของโปรตีน

สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ใช้กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โปรตีน โดยกรดอะมิโนหลายโมเลกุลยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเพปไทด์ ถ้ากรดอะมิโน 2 โมเลกุลเกิดปฏิกิริยารวมตัวกัน จะได้สารประกอบที่เรียกว่า ไดเพปไทด์ กรดอะมิโน 3 โมเลกุลเกิดปฏิกิริยารวมตัวกัน จะได้สารประกอบที่เรียกว่า ไตรเพปไทด์ และถ้ากรดอะมิโนหลาย ๆ โมเลกุลเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสายยาว จะได้สารประกอบที่เรียกว่า พอลิเพปไทด์ โปรตีนส่วนใหญ่เป็นพอลิเพปไทด์ที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 5,000 ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดและมีจำนวนแตกต่างกัน ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเพปไทด์และพันธะชนิดอื่น ๆ ทำให้โปรตีนมีโครงสร้าง 4 ระดับ ตามความซับซ้อนดังนี้

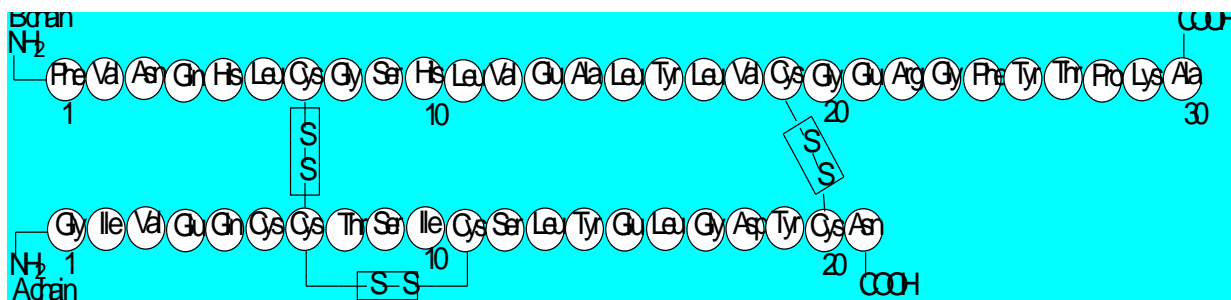
1. โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure)
2. โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure)
3. โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure)
4. โครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure)

1. โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure)

เป็นโครงสร้างอย่างง่ายที่แสดงลำดับของกรดอะมิโนต่าง ๆ ที่มาจับกันเป็นสายเพปไทด์หรือในโมเลกุลโปรตีน ซึ่งแต่ละชนิดจะมีจำนวนและลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะ การจัดลำดับกรดอะมิโนในโครงสร้างปฐมภูมิกำหนดให้ปลายหมู่อะมิโนอยู่ด้านซ้าย และปลายหมู่คาร์บอกซิลอยู่ด้านขวา ถ้าทราบจำนวนและชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบย่อย จะสามารถเขียนลำดับกรดอะมิโนหรือโครงสร้างปฐมภูมิของโปรตีนที่เป็นได้หลายแบบ เช่น ไตรเพปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนไทโรซีน (Tyr) ฮิสทีดีน (His) และซิสเตอีน (Cys) สามารถเขียนลำดับกรดอะมิโนที่ต่อกันได้ 6 แบบ ดังนี้



โครงสร้างของอินซูลิน (insulin) ซึ่งประกอบด้วยเพปไทด์สองสาย มีพันธะไดเพปไทด์ 3 พันธะ โดยที่ 2 พันธะเชื่อมต่อระหว่างเพปไทด์ทั้ง 2 สาย แต่อีกพันธะหนึ่งอยู่ในโซ่เดียวกัน



โครงสร้างปฐมภูมิของอินซูลิน

2. โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure)

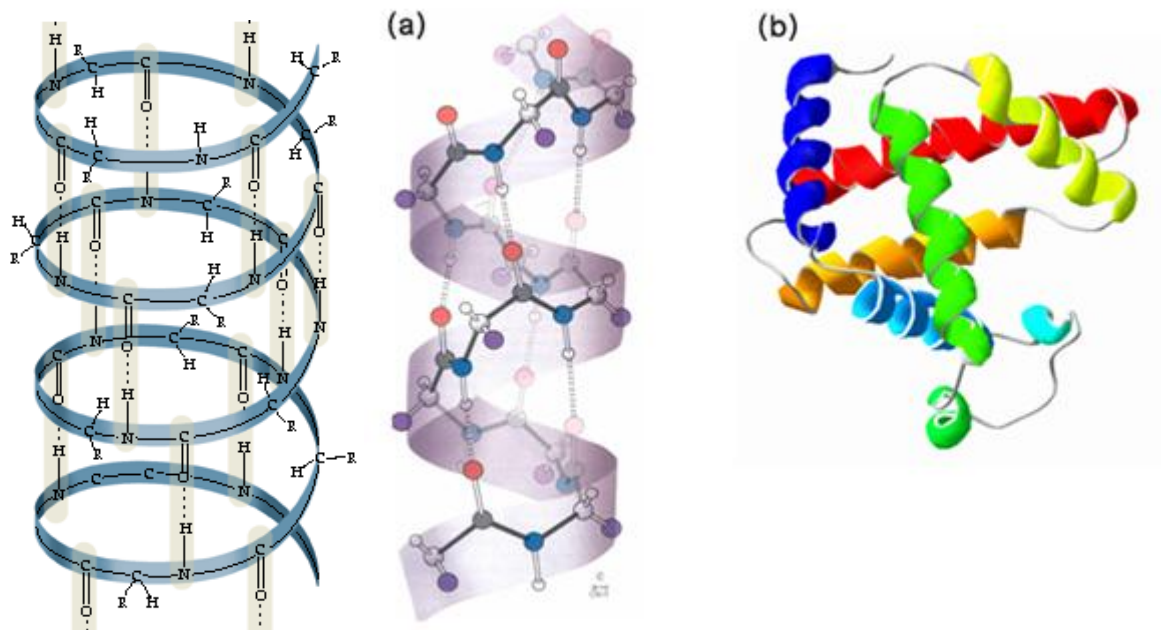
เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการขดหรือม้วนตัวของโครงสร้างปฐมภูมิ ซึ่งแสดงรูปร่างที่เป็นระเบียบของโปรตีนที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่าง C=O ในหน่วยของกรดอะมิโนกับหมู่ -NH ในหน่วยของกรดอะมิโนอีกหน่วยหนึ่ง

โครงสร้างแบบทุติยภูมิจึงมีได้ 2 แบบ คือ

2.1 โครงสร้างแบบเกลียวแอลฟาหรือแอลฟาเฮลิกซ์ (α -helix)

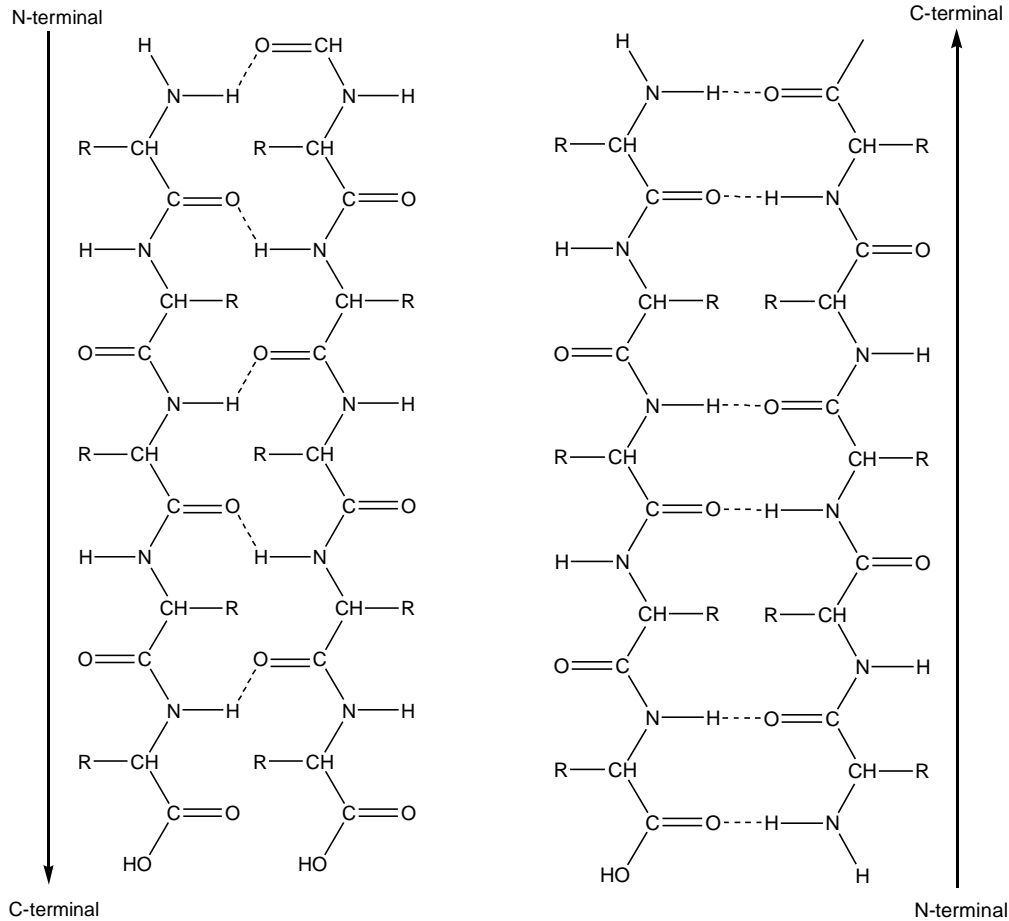
มีรูปร่างเป็นเกลียว เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอนิล (-CO-) กับหมู่อะมิโน (-NH₂) อีก 4 หน่วยสายพอลิเพปไทด์เดียวกันในโซ่เดียวกัน

โครงสร้างทุติยภูมิแบบแอลฟาเฮลิกซ์ (α -helix)



2.2 โครงสร้างแบบพืดบีตา (β -pleated sheet)

มีสายโซ่ที่พับเป็นจีบเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนระหว่าง $C=O$ กับ $N-H$ ของกรดอะมิโนระหว่างสายโซ่ที่ขนานกัน



(ก) การวางขนานของโซ่แบบหันทิเทอร์มินัลไปทางทิศเดียวกัน

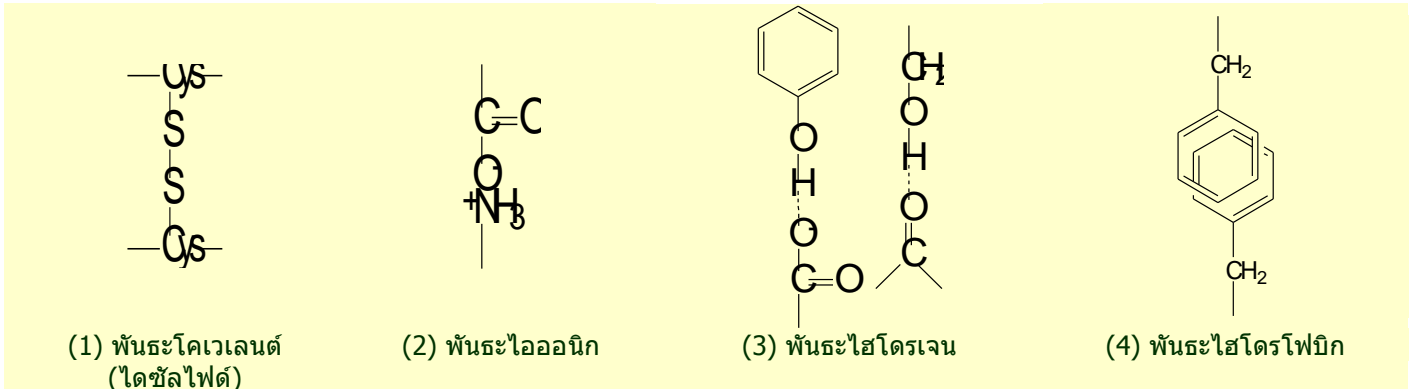
(ข) การวางขนานของโซ่แบบหันทิเทอร์มินัลไปสวนทิศกัน

การวางขนานสายโซ่อาจหันทิเทอร์มินัล (C-terminal: ปลายด้านที่มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระ) ไปทางทิศเดียวกันหรือวางขนานแบบหันทิเทอร์มินัลให้สวนทิศทางกันก็ได้

นอกจากพันธะไฮโดรเจนแล้ว ยังมีพันธะอื่น ๆ เกิดขึ้นด้วย คือ พันธะไอออนิก หรือพันธะไดซัลไฟด์ ($-S-S-$) ในกรณีที่มีกรดอะมิโนซิสเตอีนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลอยู่ด้วย

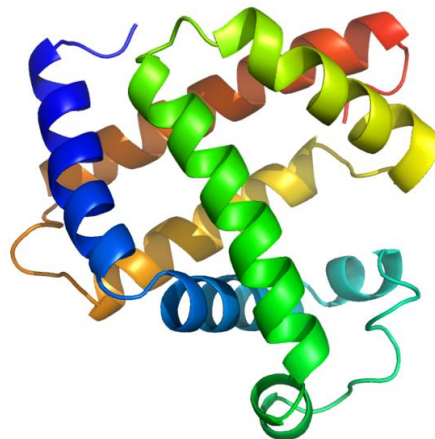
3. โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure)

โครงสร้างตติยภูมิเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้น เนื่องจากมีพันธะ และ/หรือ แรงกระทำระหว่างหมู่ที่อยู่ในหน่วยของกรดอะมิโน ได้แก่ พันธะไดซัลไฟด์ พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และแรงไฮโดรโฟบิก



โครงสร้างตติยภูมิเกิดจากโครงสร้างเกลียวแอลฟา (α -helix) ม้วนเข้าหากันและไขว้เข้าหากัน โดยมีแรงยึดเหนี่ยวอ่อน ๆ คล้ายกับโครงสร้างทุติยภูมิ โครงสร้างตติยภูมิของโปรตีนแต่ละชนิดจะมีลักษณะจำเพาะขึ้นอยู่กับลำดับของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์ ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีความเหมาะสมสำหรับทำหน้าที่ต่าง ๆ ของโปรตีน

ไมโอโกลบิน (myoglobin) เป็นโปรตีนชนิดโกลบูลา (ก้อนกลม) ประกอบด้วยหน่วยของกรดอะมิโนที่มีทั้งหมด 153 หน่วย จุดเล็ก ๆ ที่แสดงในภาพแสดงหน่วยของกรดอะมิโนที่มาจับกัน ส่วนลักษณะที่เป็นเฮลิคซ์ (เกลียว) นั้น คือโครงสร้างแบบทุติยภูมิ จะมีการพับและม้วนของโซ่จนกระทั่งเกิดการฟอร์มโครงสร้างที่แท้จริง ซึ่งมีพันธะและแรงต่าง ๆ ที่ทำให้ไมโอโกลบินม้วนเป็นก้อนกลม

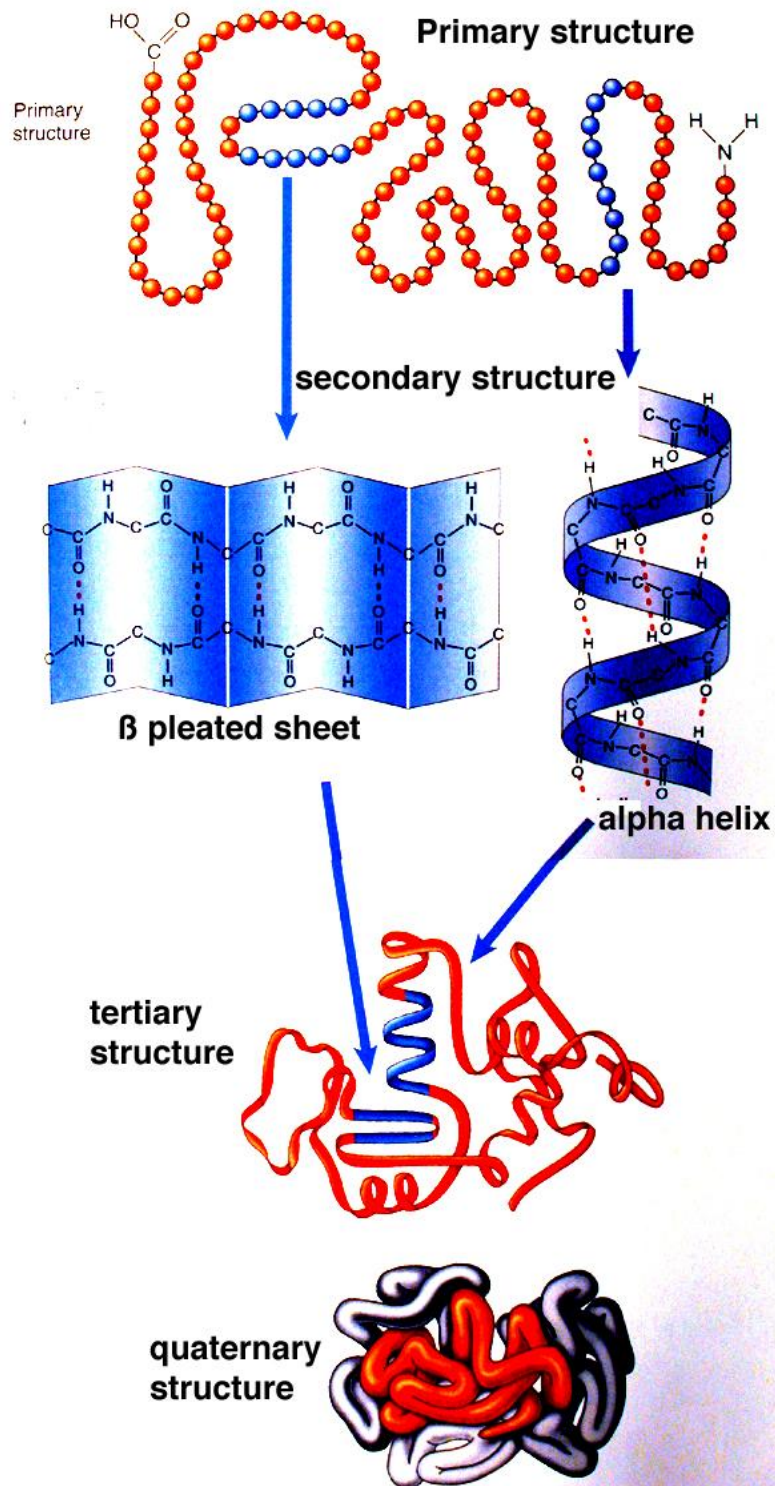


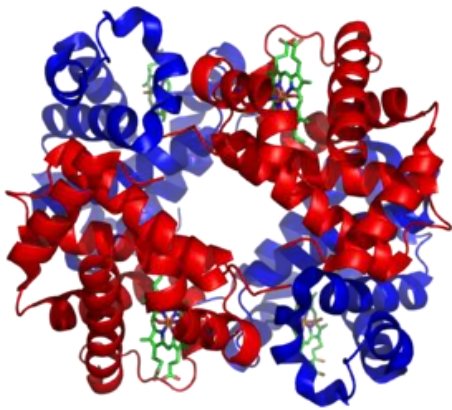
ไมโอโกลบิน

โครงสร้างตติยภูมินี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีน โดยที่เอนไซม์จะเข้าจับกับสับสเตรต ได้ดีหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเอนไซม์และสับสเตรตนั้น

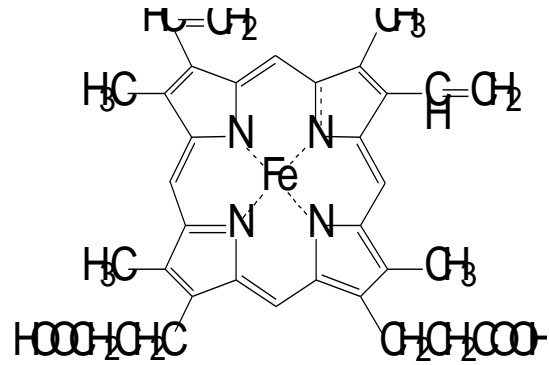
4. โครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure)

โครงสร้างจตุรภูมิ เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้นไปกว่าโครงสร้างแบบตติยภูมิมาก เกิดจากการรวมตัวของหน่วยย่อยชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันของโครงสร้างตติยภูมิ โดยมีแรงยึดเหนี่ยวเหมือนกับในโครงสร้างทุติยภูมิ และตติยภูมิ ลักษณะโครงสร้างใหม่ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างตติยภูมิซึ่งเป็นหน่วยย่อย โดยอาจมีการรวมตัวกันเป็นก้อนกลม เช่น ฮีโมโกลบิน หรือเป็นมัดคล้ายเส้นใย เช่น คอลลาเจน





ฮีโมโกลบิน



Heme

โปรตีนบางชนิดโมเลกุลประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่ง แต่แต่ละโซ่ถือเป็นหน่วยย่อย (subunit) การจับกลุ่มกันของหน่วยย่อยที่มีทั้งหมดในโมเลกุลโดยแรงกระทำอิเล็กโตรสแตติก ซึ่งไม่พบในพันธะโคเวเลนต์ ทำให้เกิดโครงสร้างแบบจตุรภูมิ ตัวอย่างเช่นฮีโมโกลบินประกอบด้วย 4 หน่วยย่อยคือ โซ่พอลิ เพปไทด์ชนิดแอลฟาคู่หนึ่ง ซึ่งมีหน่วยย่อยของกรดอะมิโน 141 หน่วย และโซ่พอลิเพปไทด์ชนิดบีตาอีกคู่หนึ่งซึ่งมีหน่วยย่อยของกรดอะมิโน 146 หน่วยแต่ละโซ่จะจับกับโมเลกุลของฮีม (heme) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนที่เรียกว่าหมู่โปรสแตติก (prostatic) ทำหน้าที่รับออกซิเจนเข้าไปที่เนื้อเยื่อ

1.4 ชนิดและหน้าที่ของโปรตีน

หน้าที่ของโปรตีนแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนนั้น ส่วนโครงสร้างของโปรตีนขึ้นอยู่กับกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของสายพอลิเพปไทด์

โปรตีน แบ่งตามลักษณะการจัดตัวในโครงสร้างสามมิติ 2 ชนิด

1) **โปรตีนก้อนกลม (globular protein)** เกิดจากสายพอลิเพปไทด์รวมตัวม้วนพับพันกันและอัดแน่นเป็นก้อนกลม ละลายน้ำได้ดี ทำหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ ฮอร์โมนอินซูลิน ฮีโมโกลบิน โกลบูลินในพลาสมา

2) **โปรตีนเส้นใย (Fibrous protein)** เกิดจากสายพอลิเพปไทด์พันกันในลักษณะเหมือนเส้นใยยาว ๆ ละลายน้ำได้น้อย ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นโปรตีนโครงสร้าง เพราะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง ตัวอย่างเช่น ไฟโบ รินในเส้นไหม อีลา สตินในเอ็น คอลลาเจนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เคราตินในผม ขน เล็บ ครีบกีบสัตว์ ไมโอซินในกล้ามเนื้อ

โปรตีน สามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ 6 ประเภท ซึ่งมีหน้าที่ และตัวอย่างดังนี้

- โปรตีนเร่งปฏิกิริยา (เอนไซม์)
- โปรตีนโครงสร้าง
- โปรตีนขนส่ง
- โปรตีนสะสม
- โปรตีนป้องกัน
- โปรตีนฮอร์โมน

โปรตีนแต่ละประเภทมีหน้าที่ดังตารางต่อไปนี้

ชนิดของโปรตีน	หน้าที่	ตัวอย่างและแหล่งที่พบ
โปรตีนเร่งปฏิกิริยา	เร่งปฏิกิริยาในเซลล์สิ่งมีชีวิต	– เอนไซม์ เช่น เอนไซม์อะไมเลส เอนไซม์ฟอสฟาเตส
โปรตีนโครงสร้าง	ให้ความแข็งแรงและช่วยคงรูปร่างโครงสร้างต่าง ๆ ของร่างกาย	– คอลลาเจน ซึ่งพบในกระดูก เอ็น และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน – เคราติน พบในกระดูก ขน ผม เล็บ กีบสัตว์ ผิวหนัง
โปรตีนขนส่ง	ขนส่งสารไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย	– ฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง พาออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อต่าง ๆ – ทรานสเฟอร์ริน นำธาตุเหล็กในน้ำเลือดจากบริเวณที่สะสมไปยังม้าม ตับและกระดูก
โปรตีนสะสม	สะสมธาตุต่าง ๆ	– เฟอริทิน สะสมธาตุเหล็กในตับ ม้าม และไขกระดูก
โปรตีนป้องกัน	ป้องกันและกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาภายในเซลล์ เช่น แบคทีเรีย	– แอนติบอดี
โปรตีนฮอร์โมน	ทำหน้าที่แตกต่างกันตามชนิดของฮอร์โมน เช่น – ควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกาย – ควบคุมการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต	– โกรทฮอร์โมน (Growth hormone) – อินซูลิน กลูคากอน สร้างที่ตับอ่อน

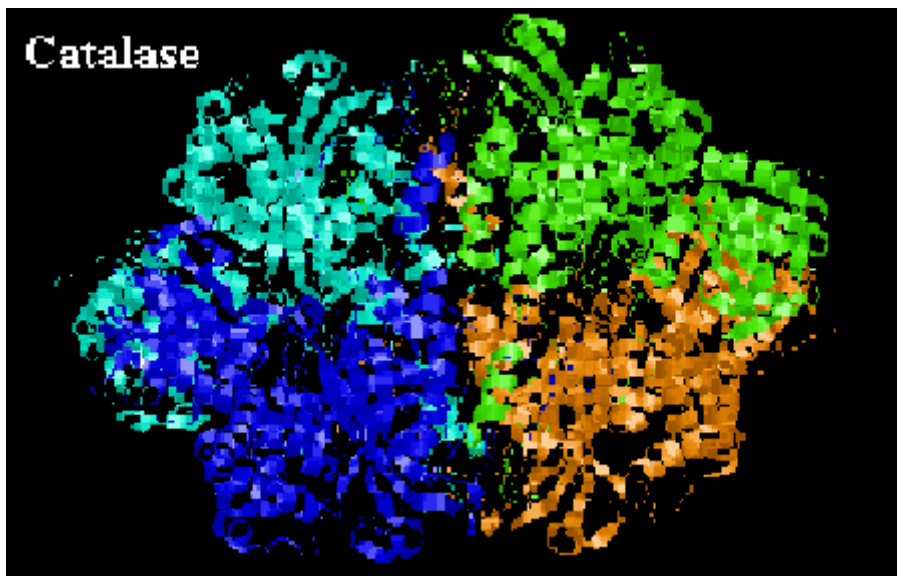
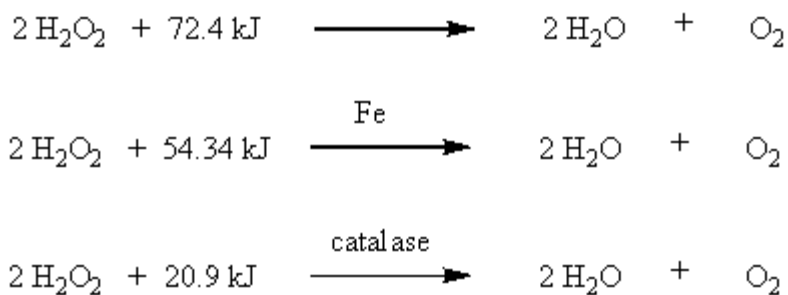
1.5 เอนไซม์ (Enzyme)

เอนไซม์ (enzyme) เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในร่างกายของสิ่งมีชีวิตแทบทุกปฏิกิริยาตั้งแต่ปฏิกิริยาง่าย ๆ เช่น ปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำได้เป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) จนกระทั่งถึงการสังเคราะห์โมเลกุลที่มีความซับซ้อน เช่น พวกลูกตาล โปรตีน หรือสารอื่น ๆ

สมบัติของเอนไซม์

ลักษณะเฉพาะของเอนไซม์คือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพ โดยลดค่าพลังงานก่อกัมมันต์ และทำให้อนุภาคของสารตั้งต้นรวมตัวกับเอนไซม์ได้อย่างเหมาะสม มีผลให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น เช่น การย่อยโปรตีนที่ลำไส้เล็กจนได้กรดอะมิโน ใช้เวลาเพียง 2–3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37°C และ pH เกือบเป็นกลาง แต่ถ้าต้มโปรตีนกับกรดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 100°C ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

เอนไซม์บางชนิดทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น การสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 mol ให้เป็นน้ำและแก๊สออกซิเจนโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้พลังงานก่อกัมมันต์ 72.4 kJ ถ้ามีเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้พลังงานก่อกัมมันต์ 54.34 kJ แต่ถ้าใช้เอนไซม์คะตะเลสจากตับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้พลังงานก่อกัมมันต์เพียง 20.9 kJ



โครงสร้างเอนไซม์คะตะเลส

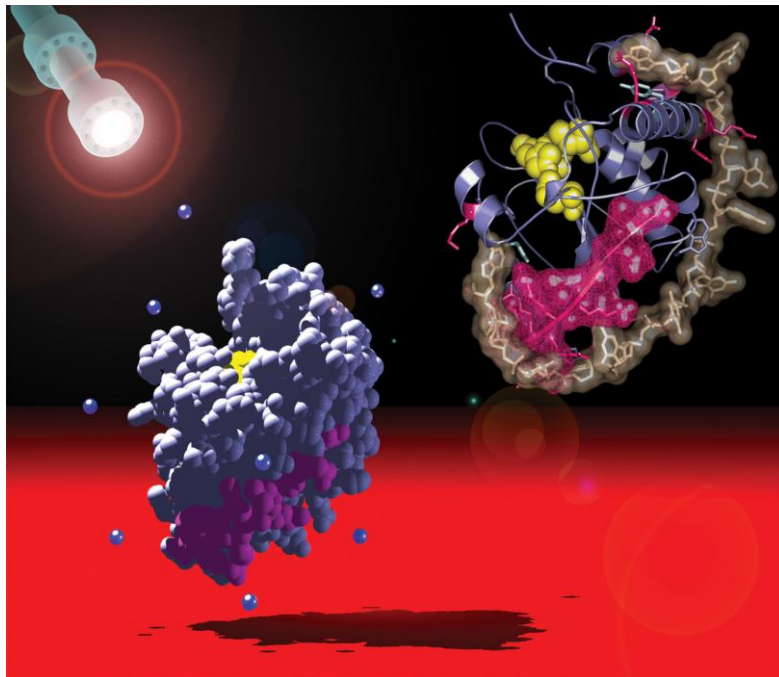
การทำหน้าที่ของเอนไซม์

การทำงานของเอนไซม์เริ่มต้นจากสารตั้งต้นซึ่งทางชีวเคมีเรียกว่า **สับสเตรต (Substrate)** เข้าจับกับเอนไซม์และเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจนปฏิกิริยาสิ้นสุด ได้ผลิตภัณฑ์และเอนไซม์กลับคืนมา เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาได้เนื่องจากเอนไซม์มีส่วนที่เป็น**บริเวณเร่ง** ซึ่งเป็นบริเวณจำเพาะที่จะให้สับสเตรตเข้ามาจับกับเอนไซม์ได้ และไม่มี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้งก่อนและหลังการจับกับสารตั้งต้นและสามารถเข้ากันได้พอดีเหมือนกับกุญแจและแม่กุญแจ

ต่อมาพบบริเวณเร่งของเอนไซม์สามารถถูกเหนี่ยวนำให้เหมาะสมกับสับสเตรตที่เข้ามาจับหรืออาจเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้

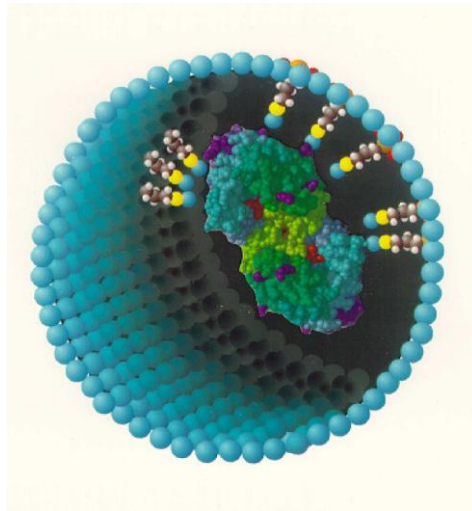
เอนไซม์มีความเฉพาะเจาะจงต่อสับสเตรต และปฏิกิริยาที่เอนไซม์นั้นเป็นตัวเร่งสูงมาก สมบัติเช่นนี้เป็นสิ่งจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากในร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีปฏิกิริยาเคมีจำนวนมากมายมหาศาลที่ต้องดำเนินไปพร้อมกันหรืออย่างต่อเนื่องกัน บางปฏิกิริยาต้องอาศัยผลิตภัณฑ์ของอีกปฏิกิริยาหนึ่งมาเป็นสับสเตรต และส่งผ่านผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเพื่อไปเป็นสับสเตรตของอีกปฏิกิริยาหนึ่ง จะเห็นว่าถ้าการทำงานของเอนไซม์ไม่มีความจำเพาะเจาะจงที่เพียงพอ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับร่างกายของสิ่งมีชีวิตคงจะเต็มไปด้วยความสับสนอย่างยิ่ง แสดงว่าเอนไซม์ชนิดหนึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาได้เฉพาะอย่างเท่านั้น เช่น อะไมเลส เป็นเอนไซม์ย่อยแป้ง ไลเปส เป็นเอนไซม์ย่อยไขมัน เป็นต้น

หน้าที่ของเอนไซม์ คือการเปลี่ยนวิถีทางของการเกิดปฏิกิริยาเพื่อลดระดับพลังงานของสถานะทรานซิชัน (transition state) โดยการจับยึดกับสับสเตรตและตัวทำปฏิกิริยาอื่น ๆ ให้อยู่ในทิศทางที่เหมาะสม ทำให้เกิดการลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาลง ซึ่งมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น เมื่อสับสเตรตเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์แล้วก็จะไม่สามารถจับยึดกับเอนไซม์ได้อีกต่อไป และจะหลุดออกจากบริเวณรับ ปลดปล่อยเอนไซม์ให้เป็นอิสระและพร้อมที่จะจับกับสับสเตรตตัวใหม่เพื่อเร่งปฏิกิริยาต่อไป



โครงสร้างของเอนไซม์ protease ที่ใช้ในการสังเคราะห์ DNA

เอนไซม์หลายชนิดไม่สามารถทำงานได้เองโดยลำพัง แต่ต้องอาศัยโมเลกุลอื่นร่วมด้วย โมเลกุลเหล่านี้เรียกว่า โคแฟกเตอร์ (Co-factor) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ใช่โปรตีน หรือโคเอนไซม์ (Co-enzyme) ซึ่งเป็นสารพวกโปรตีน เช่น NAD^+/NADH เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอน 2 ตัว เช่น alcohol dehydrogenase , coenzyme-A เป็นโคเอนไซม์ของเอนไซม์ที่ชื่อ citrate synthase ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวพาของ หมู่เอซิล

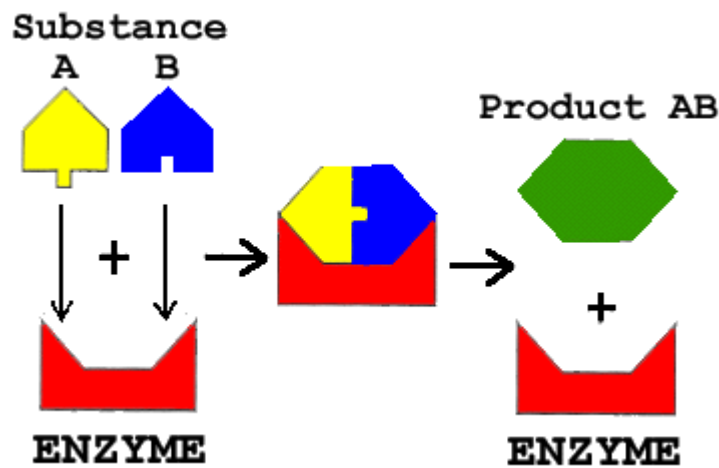
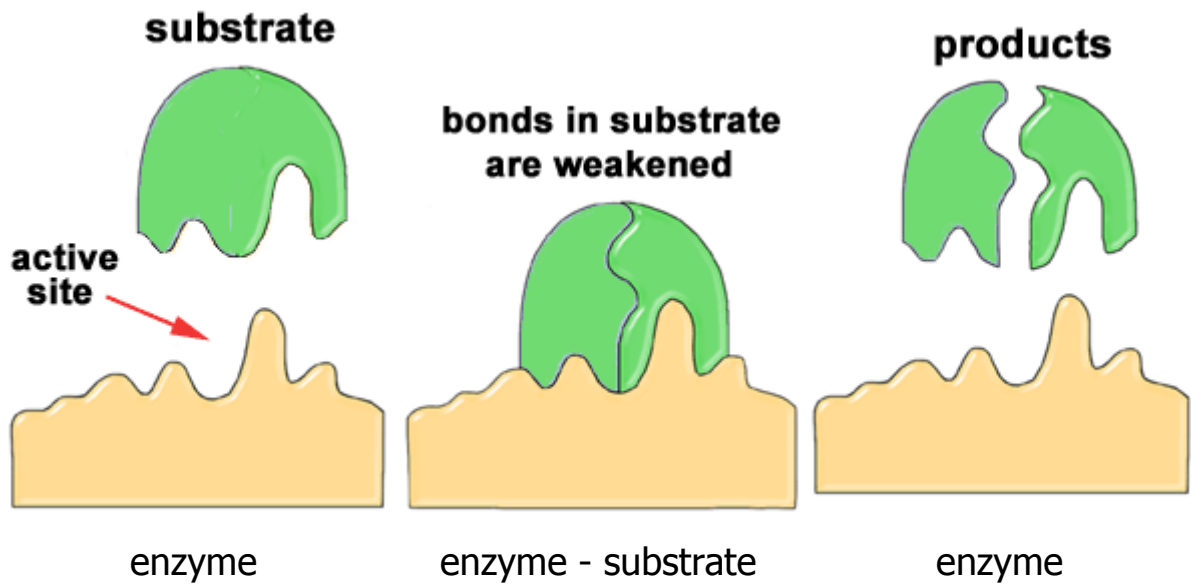


เอนไซม์ไม่มีผลต่อการรบกวนภาวะสมดุลของปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ เนื่องจากเอนไซม์ทำหน้าที่เหมือนตัวเร่งปฏิกิริยาทั่ว ๆ ไป ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับได้ดีเท่า ๆ กัน ส่วนปฏิกิริยาจะเกิดไปในทิศทางใดขึ้นอยู่กับปัจจัยอย่างอื่น เช่น ค่าคงที่ของสมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ และภาวะของการทดลองอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ค่า pH

โครงสร้างของเอนไซม์

เอนไซม์ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นโกลบูลาร์โปรตีน (globular protein) หรือโปรตีนก้อนกลม ประกอบด้วยกรดอะมิโนตั้งแต่ 100 – 300 หน่วย โครงสร้างสามมิติของเอนไซม์สามารถศึกษาได้โดยใช้เทคนิค X-ray crystallography และ NMR spectroscopy ในปัจจุบันศึกษาโครงสร้างของเอนไซม์และสารประกอบเชิงซ้อนของเอนไซม์กับลิแกนด์ หรือตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเทคนิค X-ray crystallography ได้ก้าวหน้าไปมาก ทำให้ความเข้าใจเกี่ยวกับเอนไซม์มีมากขึ้น

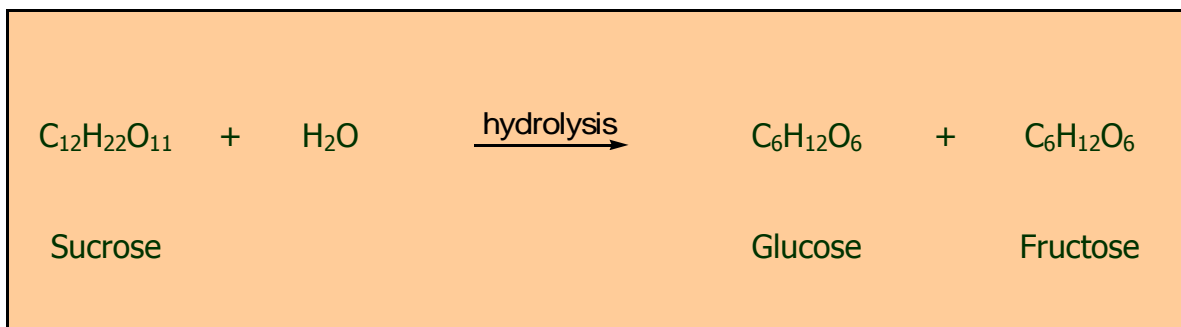
โครงสร้างสามมิติของเอนไซม์ทั่วไปมีลักษณะเป็นโปรตีนก้อนกลม (globular protein) โดยสายของพอลิเพปไทด์จะพับกลับไปกลับมาจนมีรูปร่างกระชับใกล้เคียงกับทรงกลม โดยที่หมู่ไม่ชอบน้ำ ได้แก่ หมู่แอลคิลและอะโรมาติก จะฝังตัวอยู่ในทรงกลม หมู่ที่ชอบน้ำ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิล และหมู่อะมิโน จะกระจายตัวอยู่บนผิวนอกของทรงกลม ทำให้เอนไซม์สามารถละลายน้ำได้ เอนไซม์จะมีบริเวณที่ทำหน้าที่จับยึดกับลิแกนด์เรียกว่า **บริเวณรับ (binding site)** ซึ่งขณะที่จับยึดเอนไซม์นั้นอาจเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปให้เหมาะสมกับรูปร่างของลิแกนด์ เมื่อเกิดการจับยึดแล้ว ลิแกนด์ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อไป อีกบริเวณหนึ่งของเอนไซม์เรียกว่า **บริเวณเร่ง (catalytic site)** ซึ่งอาจเป็นบริเวณเดียวกับหรืออยู่ใกล้กับบริเวณรับ (binding site)

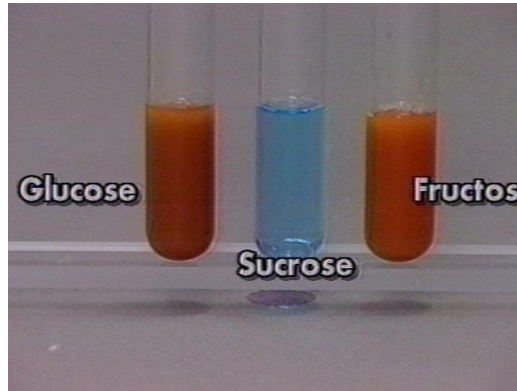


การทำงานของเอนไซม์

สมบัติของเอนไซม์และปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

1. **เอนไซม์** สามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส เช่น เมื่อเติมยีสต์ลงในสารละลายน้ำตาลทรายแล้วตั้งทิ้งไว้ เมื่อนำสารละลายที่ได้ทดสอบกับสารละลายเบเนดิกต์ จะได้ตะกอนสีแดงอิฐของคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ (Cu₂O) เนื่องจากยีสต์มีเอนไซม์ช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสน้ำตาลทรายให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กคือกลูโคสและฟรุกโตส





ปฏิกิริยาทดสอบผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลสน้ำตาลซูโครสด้วยสารละลายเบเนดิกต์

2. **เจลาติน** เป็นโปรตีนที่ได้จากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงและเป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อใส่น้ำสับประรดซึ่งมีเอนไซม์โบมีเลนจะย่อยสลายเจลาตินได้ จึงทำให้เจลาตินไม่แข็งตัวเมื่อนำแช่ในน้ำแข็ง แต่ถ้าเอนไซม์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูง เอนไซม์จะถูกแปลงสภาพจนไม่สามารถย่อยสลายเจลาติน เจลาตินจึงยังคงอยู่ในสภาพเดิมไม่เปลี่ยนแปลง คือแข็งตัวได้เมื่อแช่ในน้ำแข็ง

ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

1. **อุณหภูมิ** เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยเอนไซม์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิเหมาะสม โดยปกติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้เอนไซม์แปลงสภาพ ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมส่วนใหญ่เอนไซม์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 37°C และไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 60°C

2. **เอนไซม์จะทำงานได้ดีที่ pH เหมาะสม** ถ้า pH ไม่เหมาะสมประสิทธิภาพของเอนไซม์จะลดลง หรือทำงานไม่ได้ pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์บางชนิดดังตาราง

เอนไซม์	pH ที่เหมาะสม
ไลเปส (ตับอ่อน)	8.0
ไลเปส (กระเพาะอาหาร)	4.0 – 5.0
ไลเปส (น้ำมันละหุ่ง)	4.7
เปปซิน	1.5 – 1.6
ทริปซิน	7.8 – 8.7
ยูรีเอส	7.0
มอลเทส	6.1 – 9.8
อะไมเลส (ตับอ่อน)	6.7 – 7.0
อะไมเลส (ข้าวมอลท์ ถั่ว)	4.6 – 5.2
คะตะเลส	7.0

1.6 การแปลงสภาพโปรตีน

โปรตีนมีโครงสร้างสามมิติซึ่งเป็นผลให้โปรตีนแต่ละชนิดมีสมบัติต่าง ๆ กัน

การแปลงสภาพโปรตีน (Protein Denaturation)

หมายถึงการทำให้โครงสร้างสามมิติของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป เช่น การทำให้เกลียวของโปรตีนคลายออก จะทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป สมบัติของโปรตีนก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น สมบัติเกี่ยวกับการละลายน้ำ

ข้อสรุปการแปลงสภาพโปรตีน

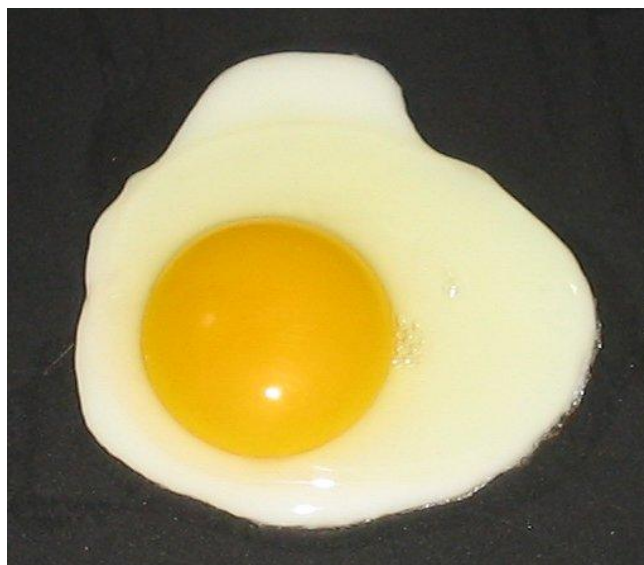
การแปลงสภาพของโปรตีน คือการที่โมเลกุลของโปรตีนเกิดการคลายเกลียวของโครงสร้าง 3 มิติ ทำให้มีโครงสร้างที่ไม่เหมาะสมกับการทำหน้าที่ทางชีวภาพ เป็นผลให้โปรตีนแข็งตัวและไม่ละลายน้ำ

การให้ความร้อน การเติมกรด เบส แอลกอฮอล์ และสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ ซึ่งเป็นสารประกอบของโลหะหนัก ทำให้โปรตีนเกิดการแปลงสภาพได้

โปรตีนถูกแปลงสภาพด้วยปัจจัยต่าง ๆ แต่พันธะเพปไทด์ในโมเลกุลของโปรตีนไม่ถูกทำลาย เพราะสามารถเกิดปฏิกิริยาไบยูเรตได้สารสีม่วงน้ำเงิน

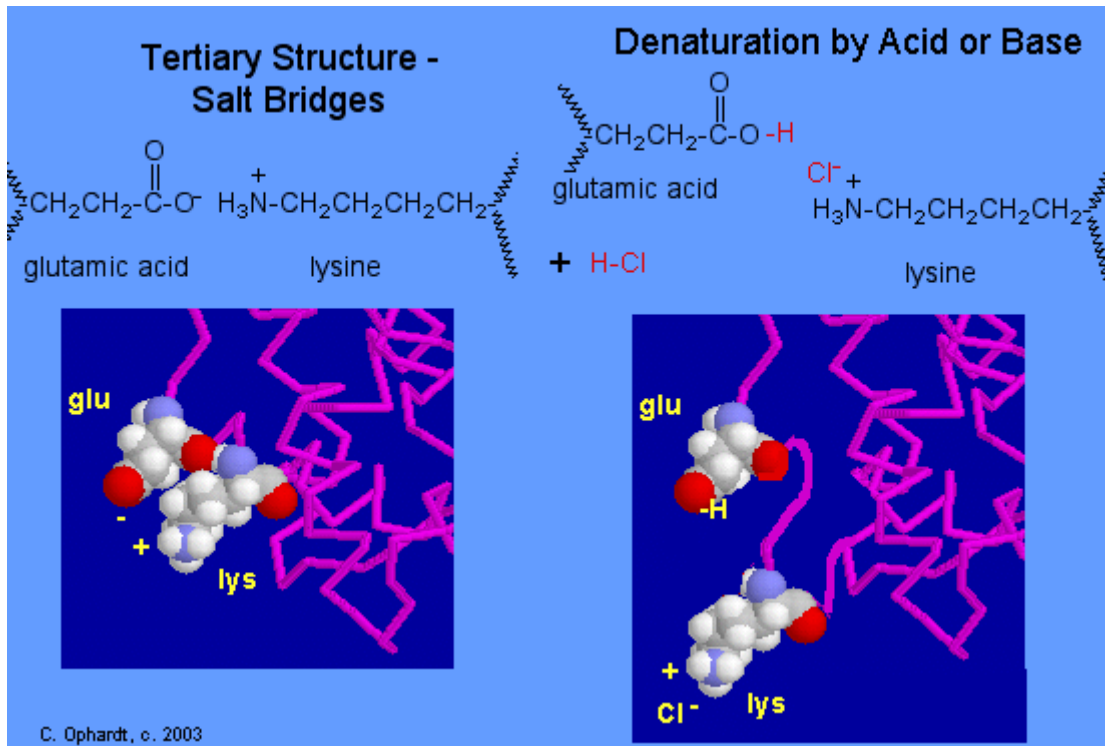
ปัจจัยที่มีผลต่อการแปลงสภาพโปรตีน

1) **ความร้อน** มีผลให้สมบัติของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปได้ เช่น ไข่ขาวดิบละลายน้ำได้ แต่ถ้าต้มไข่ขาวให้สุกจะไม่ละลายน้ำ การต้มไข่ในน้ำที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ จะทำให้โปรตีนในไข่แข็งตัว



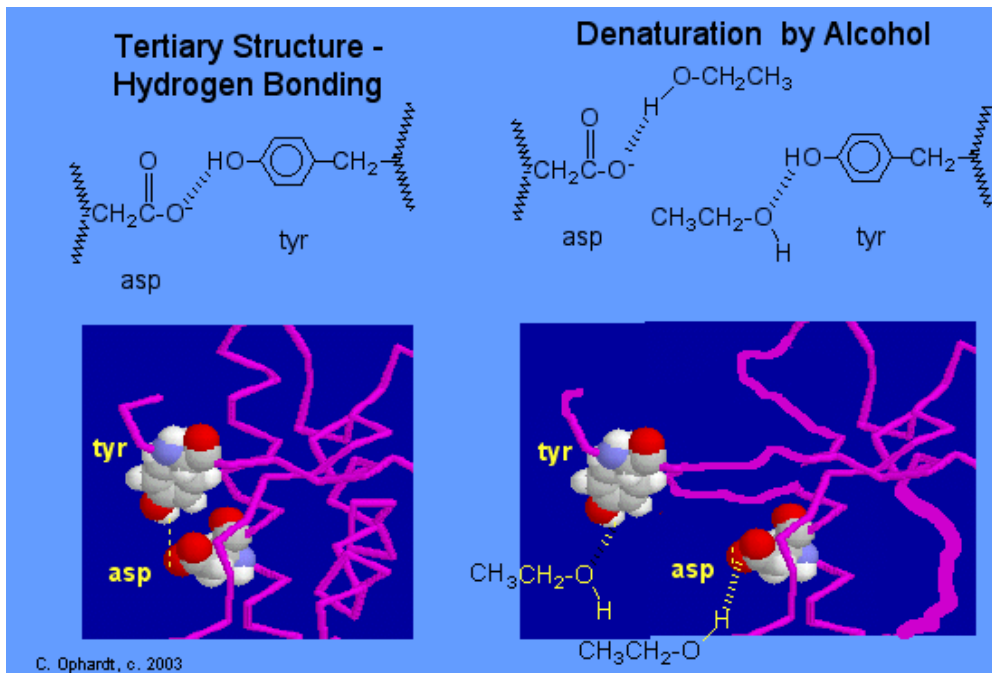
การแปลงสภาพโปรตีนโดยความร้อน

2) สารละลายกรดและสารละลายเบส ทำให้โปรตีนตกตะกอน เช่น เดิมสารละลายกรดแอสซิติค หรือสารละลาย NaOH ลงในนมหรือไข่ขาวดิบ จะเกิดการจับตัวเป็นก้อนและตกตะกอน



การแปลงสภาพโปรตีนโดยกรด-เบส

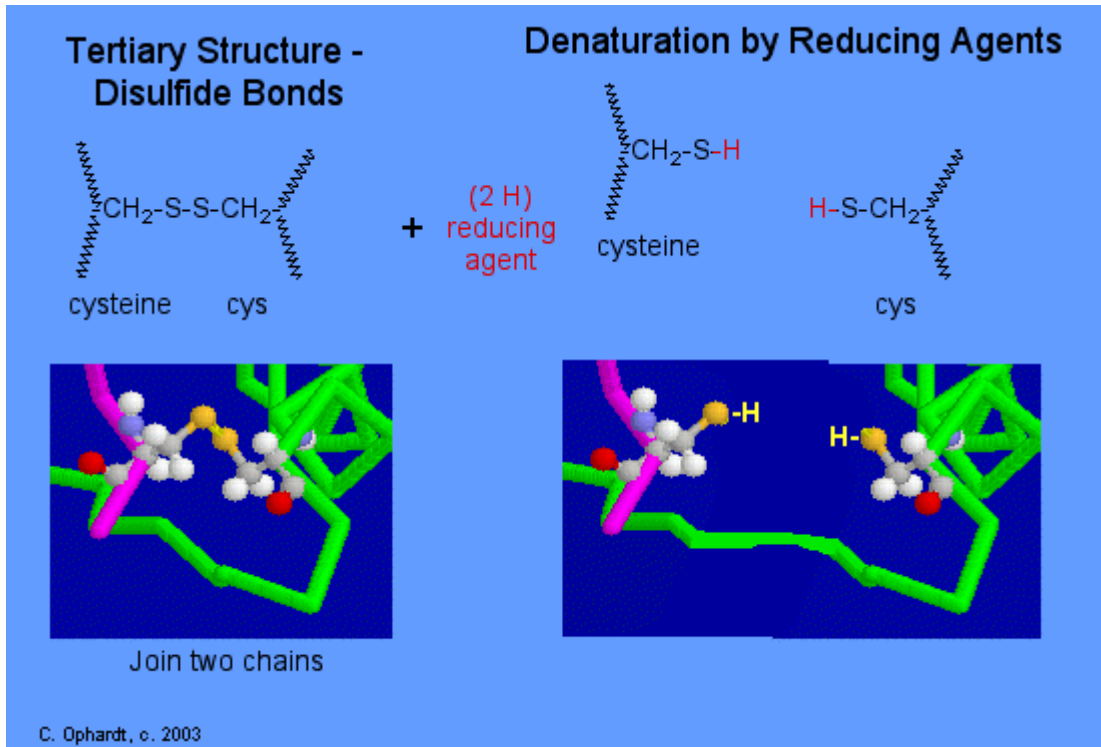
3) แอลกอฮอล์ ทำให้โปรตีนแปลงสภาพได้เช่นเดียวกัน



การแปลงสภาพโปรตีนโดยแอลกอฮอล์

4) **ตัวทำละลายอินทรีย์** เช่น แอซีโตน มีผลทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนแปลงได้

5) **โลหะหนัก** เช่น สารประกอบของตะกั่ว แคดเมียม ปรอท ทำให้โปรตีนตกตะกอน



การแปลงสภาพโปรตีนโดยตัวรีดิวซ์

ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการแปลงสภาพโปรตีน

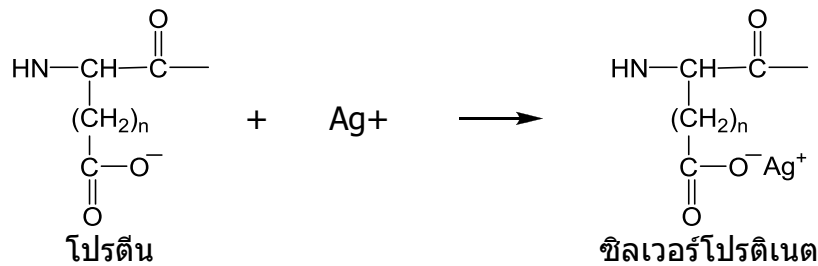
การทดลอง ที่	การทดลองกับไข่ขาวดิบ	การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้	การเปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบไบยูเรต
1	ให้ความร้อน	ไข่ขาวแข็งตัวเป็นสีขาว	ได้สารสีม่วงน้ำเงิน
2	เติมกรดแอสซิดิกเข้มข้น	ไข่ขาวจับตัวเป็นก้อนขุ่นขาวเกือบทั้งหมด	ได้สารสีม่วงน้ำเงิน
3	เติมสารละลาย NaOH	ไข่ขาวแข็งตัวและใส	ได้สารสีม่วงน้ำเงิน
4	เติมเอทานอล	ไข่ขาวจับตัวเป็นก้อนขุ่นขาวลอยอยู่ ผิวหน้า	ได้สารสีม่วงน้ำเงิน
5	เติมสารละลาย $Pb(NO_3)_2$	ไข่ขาวจับตัวเป็นก้อนขุ่นอยู่ก้นหลอด	ได้สารสีม่วงน้ำเงิน

1. การแปลงสภาพของโปรตีนเกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ $50^{\circ}C$ ขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

2. ในสถานะที่เป็นกรดหรือเบสอาจทำให้โมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากเกิดการรับหรือเสีย H^+ ทำให้มีประจุเกิดขึ้น จึงสามารถจับกับไอออนอื่นได้ เช่น จับกับไอออนลบจากกรดเกิดการรวมตัวเป็นก้อนแข็ง ดังนั้นเมื่อกรดหรือเบสเข้าตาจึงทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนในดวงตา ถ้าได้รับกรดหรือเบสมากอาจทำให้ตาบอดได้

3. ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีพันธะไฮโดรเจน เช่น แอลกอฮอล์ จะเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโปรตีนได้ ทำให้โปรตีนแข็งตัว และละลายน้ำได้น้อยลง ฟลักการนี้สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคบางชนิดด้วยแอลกอฮอล์ โปรตีนในผนังเซลล์ของเชื้อโรคจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแอลกอฮอล์ และเกิดการแปลงสภาพ โดยทั่วไปจะใช้แอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70

4. ในสภาพที่มีไอออนของโลหะหนัก เช่น Pb^{2+} Hg^{2+} และ Ag^+ ไอออนเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนทางด้านที่มีประจุลบเกิดเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



การแปลงสภาพของโปรตีนโดยวิธีนี้นำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น การล้างท้องผู้ที่ดื่มสารพิษที่เป็นไอออนของโลหะหนัก โดยแพทย์จะให้รับประทานไข่ขาวดิบ เพื่อให้รวมตัวกับโลหะหนักแล้วทำให้อาเจียนออกมา ก่อนที่ไอออนของโลหะหนักจะดูดซึมเข้าสู่ร่างกายซึ่งเป็นอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้

5. ในสภาวะซึ่งมีสารละลายของเกลือบางชนิดที่มีความเข้มข้นสูง เช่น สารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ จะทำให้โปรตีนละลายได้น้อยลง เพราะไอออนของเกลือดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโปรตีน (dehydration) ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไม่ละลายน้ำจึงเกิดการตกตะกอน การเปลี่ยนแปลงลักษณะเช่นนี้ไม่จัดเป็นการแปลงสภาพโปรตีน เพราะโปรตีนสามารถคืนสภาพเดิมได้ง่ายและโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีนไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

การนำความรู้เกี่ยวกับการแปลงสภาพโปรตีนไปใช้ประโยชน์

1. การต้มไข่ในน้ำที่อุณหภูมิ 100°C จะทำให้โปรตีนในไข่แข็งตัว
2. เช็ดผิวหนังด้วยแอลกอฮอล์ก่อนฉีดยา แอลกอฮอล์จะทำให้โปรตีนในแบคทีเรียแปลงสภาพเกิดการแข็งตัว เป็นการฆ่าเชื้อโรค
3. การทำความสะอาดเครื่องมือแพทย์เพื่อฆ่าเชื้อโรคจะใส่หม้อนึ่งอัดความดันที่อุณหภูมิ 120°C ความร้อนจะทำให้โปรตีนในแบคทีเรียถูกทำลาย
4. การให้ความร้อนกับนํ้านมที่ 60°C จะทำให้โปรตีนในนมแข็งตัว ซึ่งเป็นกรรมวิธีในการทำโยเกิร์ต
5. การบีบมะนาวใส่ในอาหารประเภทยาหรือตัวยา จะทำให้โปรตีนในอาหารตกตะกอนขุ่นขาว

ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการแปลงสภาพโปรตีน

1. การแปลงสภาพของโปรตีนเกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 50°C ขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย
2. ในสภาวะที่เป็นกรดหรือเบสอาจทำให้โมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากเกิดการรับหรือเสีย H^+ ทำให้มีประจุเกิดขึ้น จึงสามารถจับกับไอออนอื่นได้ เช่น จับกับไอออนลบจากกรดเกิดการรวมตัวเป็นก้อนแข็ง ดังนั้นเมื่อกรดหรือเบสเข้าตาจึงทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนในดวงตา ถ้าได้รับกรดหรือเบสมากอาจทำให้ตาบอดได้

3. ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีพันธะไฮโดรเจน เช่น แอลกอฮอล์ จะเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโปรตีนได้ ทำให้โปรตีนแข็งตัว และละลายน้ำได้น้อยลง ฟังก์ชันนี้สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคบางชนิดด้วยแอลกอฮอล์ โปรตีนในผนังเซลล์ของเชื้อโรคจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแอลกอฮอล์ และเกิดการแปลงสภาพ โดยทั่วไปจะใช้แอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70

4. ในสภาพที่มีไอออนของโลหะหนัก เช่น Pb^{2+} Hg^{2+} และ Ag^+ ไอออนเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนทางด้านที่มีประจุลบเกิดเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ

การแปลงสภาพของโปรตีนโดยวิธีนี้นำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น การล้างท้องผู้ที่ดื่มสารพิษที่เป็นไอออนของโลหะหนัก โดยแพทย์จะให้รับประทานไข่ขาวดิบเพื่อให้รวมตัวกับโลหะหนักแล้วทำให้อาเจียนออกมา ก่อนที่ไอออนของโลหะหนักจะดูดซึมเข้าสู่ร่างกายซึ่งเป็นอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้

5. ในสภาวะซึ่งมีสารละลายของเกลือบางชนิดที่มีความเข้มข้นสูง เช่น สารละลาย $(NH_4)_2SO_4$ จะทำให้โปรตีนละลายได้น้อยลง เพราะไอออนของเกลือดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโปรตีน (dehydration) ทำให้โมเลกุลของโปรตีนไม่ละลายน้ำจึงเกิดการตกตะกอน การเปลี่ยนแปลงลักษณะเช่นนี้ไม่จัดเป็นการแปลงสภาพโปรตีน เพราะโปรตีนสามารถคืนสภาพเดิมได้ง่ายและโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีนไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

1.7 ปฏิกิริยาของกรดอะมิโนและโปรตีน

1) **ปฏิกิริยากับสารละลายนินไฮดริน (ninhydrin)** กรดอะมิโน เเปปไทด์ และโปรตีนทั่วไปที่มีหมู่อะมิโนอิสระ สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายนินไฮดริน (Ninhydrin reagent) ให้สารประกอบที่มีสีชมพู ม่วง หรือน้ำเงิน ดังนั้นจึงนิยมใช้สารละลายนินไฮดรินในการตรวจสอบโปรตีนและกรดอะมิโนทั้งในเชิงคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์

2) **ปฏิกิริยากับสารละลายไบยูเรต** โปรตีนและเปปไทด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายไบยูเรต (Biuret solution) ซึ่งประกอบด้วยคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต $[CuSO_4]$ ในเบส เช่น NaOH ให้สารละลายสีน้ำเงินม่วง ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Cu^{2+} กับพันธะเปปไทด์ สามารถนำวิธีนี้มาประยุกต์ใช้หาปริมาณของโปรตีนในสารละลายได้ กรดอะมิโนซึ่งไม่มีพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลจะไม่เกิดปฏิกิริยานี้

นอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาอื่น ๆ ที่ใช้ทดสอบโปรตีนที่มีหมู่ฟังก์ชันเฉพาะ อีกหลายปฏิกิริยา เช่น

3) **Heller's ring test** เป็นการทดสอบโดยค่อย ๆ เทกรดไนตริกเข้มข้นลงไปอยู่ใต้ชั้นสารละลายของโปรตีนในหลอดทดลองซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนเป็นสีขาวระหว่างชั้นทั้งสอง วิธีนี้ใช้ทดสอบโปรตีนอัลบูมิน (albumin) ในปัสสาวะ

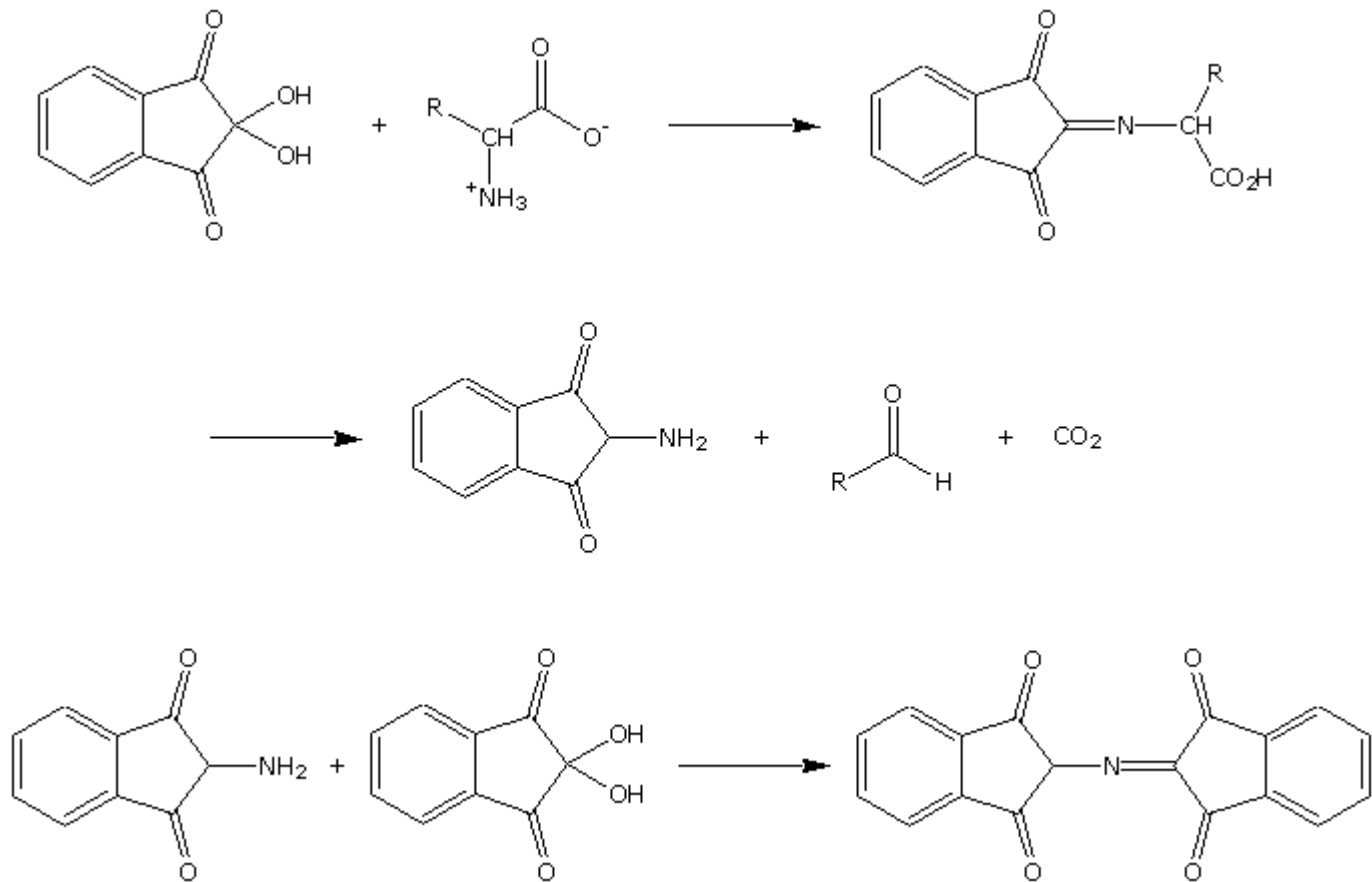
4) **Millon's reaction** เมื่ออุ่นโปรตีนกับ Millon's reagent ซึ่งเป็นสารละลายของ Hg^{2+} ในกรดไนตริก จะให้ตะกอนสีขาวแล้วเปลี่ยนเป็นสีแดงส้ม ปฏิกิริยานี้เกิดกับโปรตีนที่มีไทโรซีนเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากเกิดการเติมปรอท (Hg) เข้าที่ตำแหน่งออร์โทของหมู่ฟีนอลในไทโรซีน

5) **α -nitroso- β -naphthol reaction** เป็นปฏิกิริยาเฉพาะสำหรับโปรตีนที่มีไทโรซีนซึ่งเป็นฟีนอลที่ถูกแทนที่ที่ตำแหน่งพารา- โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย α -nitroso- β -naphthol ที่ร้อน

6) **Xanthoproteic reaction** โปรตีนที่มีไทโรซีนหรือทริปโทเฟน ซึ่งมีหมู่อะโรมาติกที่วงไวยเป็นองค์ประกอบทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเข้มข้นให้สีเหลือง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนเตรชัน ดังนั้น ผิวหนังที่สัมผัสกับกรดไนตริกเข้มข้นจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

Ninhydrin Test

กรดอะมิโน (Amino Acid)



วิธีทดลอง (Procedure)

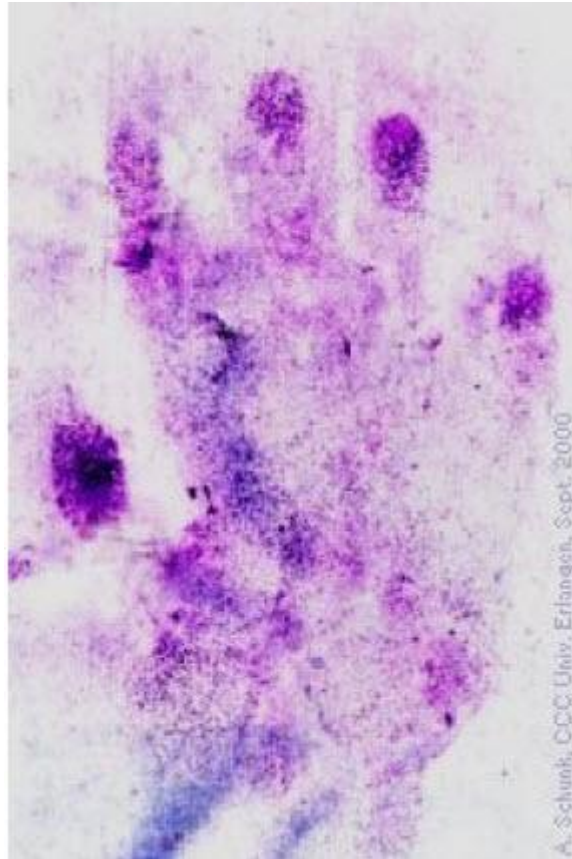
1. เตรียมสารละลาย ninhydrin (1,2,3-indanetrione monohydrate) 0.2 g ในน้ำ 50 mL
2. ใช้สารตัวอย่าง 2 mg ใส่ลงในสารละลาย ตวงสารละลาย ninhydrin 1 mL ให้ความร้อนจนเดือดประมาณ 15-20 วินาที ปฏิกริยานี้มีความสำคัญไม่เพียงเพราะมันคือการทดสอบคุณภาพ แต่ยังเนื่องจากเป็นแหล่งที่มาของวัสดุชุดชั้นที่สามารถวัดเชิงปริมาณโดยการวิเคราะห์กรดอะมิโนอัตโนมัติ ปฏิกริยานี้จะใช้ในการตรวจสอบสถานะและตำแหน่งของกรดอะมิโนโครมา หลังจากการแยกกระดาษ

ผลการทดลอง (Positive Test)

กรดอะมิโนจะเกิดปฏิกิริยากับนินไฮดรินได้สารสีน้ำเงิน หรือสีน้ำเงินปนม่วง ถ้าไม่ใช่กรดอะมิโน จะได้สีอื่น เช่น สีเหลือง สีส้ม สีแดง

ผลแทรกซ้อน Complications

Proline, hydroxyproline, and 2-, 3-, and 4-aminobenzoic acids จะไม่ได้สีน้ำเงิน แต่จะได้สีเหลืองแทน ส่วนเกลือแอมโมเนียมให้ผลเป็น Positive test เอมีนบางชนิด เช่น aniline จะได้สีเหลืองซีดถึงสีแดง ซึ่งเป็น negative test



การตรวจหาลายนิ้วมือด้วยปฏิกิริยานินไฮดริน (Ninhydrin detection of fingerprints)