**เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต**

**1. บทนำ: เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต**

• หัวใจของชีวิตคือ “สารและปฏิกิริยาเคมี” สิ่งมีชีวิตถูกประกอบขึ้นจากอะตอมและโมเลกุล (CHNOPS: C‑H‑N‑O‑P‑S เป็นแกนหลัก) ซึ่งรวมตัวกันเป็นสารอนินทรีย์สำคัญ (โดยเฉพาะ **น้ำ** และ **แร่ธาตุ**) และสารอินทรีย์มวลใหญ่ 4 กลุ่ม (**คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด กรดนิวคลิอิก**)  
• ระดับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต: **อะตอม → โมเลกุล → เซลล์ → เนื้อเยื่อ → อวัยวะ → ระบบอวัยวะ → ร่างกาย/สิ่งมีชีวิต** (และขยายต่อไปเป็นประชากร ชุมชน ระบบนิเวศ) การทำงานของแต่ละระดับขึ้นอยู่กับพันธะและปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล

**2. อะตอม ธาตุ และสารประกอบ**

• **อะตอม/ธาตุ**: อะตอมของธาตุหนึ่งๆ แยกแยะจากกันด้วย **จำนวนโปรตอน** (เลขอะตอม) ส่วนมวลอะตอมสัมพันธ์กับจำนวนโปรตอน+นิวตรอน อิเล็กตรอนจัดเรียงตามระดับพลังงานและชั้นเวเลนซ์กำหนด “ความว่องไวในการเกิดพันธะ”  
• **สารประกอบ**: โมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมต่างชนิด (เช่น **NaCl**, **H₂O**, **C₆H₁₂O₆**)  
• **พันธะเคมีหลัก**  
○ **ไอออนิก (ionic)**: การให้‑รับอิเล็กตรอนระหว่างโลหะกับอโลหะ เกิดไอออนบวก/ลบยึดเหนี่ยวกัน (เช่น Na⁺ และ Cl⁻ ในเกลือแกง)  
○ **โคเวเลนต์ (covalent)**: การใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างอะตอมอโลหะ อาจเป็นพันธะเดี่ยว/คู่/สาม และถ้าแบ่งอิเล็กตรอนไม่เท่ากันจะเกิด **ขั้ว (polar)**  
○ **โลหะ (metallic)** และ **พันธะ/แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล** เช่น **พันธะไฮโดรเจน** และแรงวานเดอร์วาลส์ ซึ่งแม้จะอ่อนกว่าแต่มีผลยิ่งใหญ่ต่อสมบัติของน้ำ โปรตีน และกรดนิวคลิอิก

**3. น้ำ: โครงสร้างและสมบัติที่ทำให้ชีวิตเป็นไปได้**

**3.1 โครงสร้างและขั้วของน้ำ**  
• น้ำ (**H₂O**) เป็นโมเลกุล **มีขั้ว (polar)** เพราะอิเล็กโทรเนกาติวิตีของออกซิเจนสูงกว่าไฮโดรเจน ทำให้ปลายใกล้ออกซิเจนมีประจุลบเล็กน้อย (δ−) และปลายใกล้ไฮโดรเจนมีประจุบวกเล็กน้อย (δ+)  
• โมเลกุลน้ำหลายๆ โมเลกุลจึง **ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน** (H‑bond) ชั่วคราว แตก‑เกิดตลอดเวลาในของเหลว แต่ “ล็อกแน่น” มากขึ้นในน้ำแข็ง

**3.2 สมบัติสำคัญของน้ำ**  
• **การยึดติดภายใน (cohesion)** และ **การยึดเกาะกับพื้นผิวอื่น (adhesion)** → เกิด **แรงคาปิลลารี (capillary action)** ช่วยลำเลียงน้ำในท่อลำเลียงของพืช (**ไซเลม**) จากรากสู่ใบ  
• **ความร้อนจำเพาะสูง (high specific heat)** และ **ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง (high heat of vaporization)** → น้ำช่วย **รักษาเสถียรภาพอุณหภูมิ** ในเซลล์/สิ่งแวดล้อม  
• **ความหนาแน่นของน้ำแข็งน้อยกว่าน้ำเหลว** → น้ำแข็งลอย ทำให้สิ่งมีชีวิตอยู่รอดในน้ำเย็นใต้ผิวน้ำแข็ง  
• **ตัวทำละลายสากล** สำหรับสาร **มีขั้ว/แตกตัวเป็นไอออน** (hydrophilic) ส่วนสาร **ไม่มีขั้ว** (hydrophobic) เช่น น้ำมัน ไม่ค่อยละลายน้ำ และผลักรวมเป็นหยด → พื้นฐานของ **โครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์** แบบไขมันสองชั้น  
• **การแตกตัวเองของน้ำ**: H₂O ⇌ H⁺ + OH⁻  
○ **กรด**: เพิ่ม [H⁺]; **เบส**: ลด [H⁺] (หรือเพิ่ม [OH⁻])  
○ สภาวะกรด‑เบสของของเหลวชีวภาพถูกควบคุมด้วย **บัฟเฟอร์** หลายชนิดเพื่อให้เอนไซม์ทำงานได้เหมาะสม

**4. สารประกอบคาร์บอน: รากฐานของโมเลกุลชีวภาพ**

• **คาร์บอน** มีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว จึงสร้างพันธะโคเวเลนต์ได้ถึง 4 พันธะ เกิดโครงสร้างหลากหลาย (โซ่ตรง โซ่กิ่ง วงแหวน) และจับกับ H‑O‑N‑S‑P ได้ → ให้ **สารอินทรีย์** มากมาย  
• **ไฮโดรคาร์บอน** = โมเลกุลที่มีแค่ C และ H; การแทนที่ด้วย **หมู่ฟังก์ชัน** (–OH, –COOH, –NH₂, –CHO, –C=O, –PO₄³⁻ ฯลฯ) ทำให้สมบัติเปลี่ยน  
• โมเลกุลชีวภาพหลายชนิดเป็น **พอลิเมอร์** เกิดจากมอนอเมอร์เชื่อมกัน (คอนเดนเซชัน/ไฮโดรไลซิสเป็นกลไกสำคัญ)

**5. คาร์โบไฮเดรต**

**5.1 โครงสร้างและชนิด**  
• **มอโนแซ็กคาไรด์** (น้ำตาลเดี่ยว; C3–C7) มีหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ แบ่งเป็น **อัลโดส** (มี –CHO) และ **คีโตส** (มี C=O ภายในโซ่) รูปแบบวงแหวนพบได้ทั่วไป  
• **ได‑แซ็กคาไรด์**: กลูโคส + ฟรุกโตส → **ซูโครส**, กลูโคส + กลูโคส → **มอลโทส**, กลูโคส + กาแลกโทส → **แลคโตส** (เชื่อมด้วยพันธะไกลโคซิดิก)  
• **พอลิแซ็กคาไรด์**:  
○ **สตาร์ช** (พืชเก็บพลังงาน), **ไกลโคเจน** (สัตว์เก็บพลังงาน),  
○ **เซลลูโลส** (โครงสร้างผนังเซลล์พืช), **ไคติน** (โครงสร้างเปลือกนอกสัตว์ขาข้อ)

**5.2 บทบาท**  
• พลังงานด่วน/สะสมพลังงาน โครงสร้าง (ผนังเซลล์พืช/ไคติน) สื่อสัญญาณและการจำแนกเซลล์ (โอลิโกแซ็กคาไรด์บนเยื่อหุ้ม)

**6. โปรตีน**

**6.1 หน่วยย่อยและพันธะ**  
• **กรดแอมิโน**: โครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยหมู่แอมิโน (–NH₂) หมู่คาร์บอกซิล (–COOH) ไฮโดรเจน และ **หมู่ R** ที่แตกต่างกัน  
• **พันธะเพปไทด์**: เกิดระหว่างหมู่ –COOH ของกรดแอมิโนหนึ่งกับ –NH₂ ของอีกโมเลกุลหนึ่ง → โซ่ **พอลิเพปไทด์**

**6.2 ระดับโครงสร้างของโปรตีน**  
• **ปฐมภูมิ**: ลำดับกรดแอมิโนในสายเดียว  
• **ทุติยภูมิ**: การจัดรูป **อัลฟาเฮลิกซ์**/**เบตาชีท** ด้วยพันธะไฮโดรเจนภายในสาย  
• **ตติยภูมิ**: การพับสามมิติด้วยแรงไฮโดรโฟบิก/พันธะไฮโดรเจน/พันธะไอออนิก/พันธะไดซัลไฟด์  
• **จตุรภูมิ**: การรวมหลายสายพอลิเพปไทด์เป็นโปรตีนสมบูรณ์

**6.3 หน้าที่ของโปรตีน (ตัวอย่าง)**  
• **เอนไซม์** เร่งปฏิกิริยา  
• **โครงสร้าง** (เคราติน คอลลาเจน)  
• **ขนส่ง/กักเก็บ** (เฮโมโกลบิน เฟอร์ริติน)  
• **ฮอร์โมน/ตัวรับ/ภูมิคุ้มกัน** (อินซูลิน รีเซพเตอร์ แอนติบอดี)

**7. ลิพิด**

**7.1 กรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์**  
• **กรดไขมันอิ่มตัว**: ไม่มีพันธะคู่ C=C โซ่ตรง แน่น  
• **กรดไขมันไม่อิ่มตัว**: มี C=C ทำให้โซ่ “งอ” (โดยเฉพาะ **cis**)  
• **ไตรกลีเซอไรด์**: กรดไขมัน 3 สาย + กลีเซอรอล 1 โมเลกุล เป็นแหล่งพลังงานเข้มข้นและช่วยพยุงอวัยวะ/ฉนวนความร้อน

**7.2 ฟอสโฟลิพิดและสเตอรอยด์**  
• **ฟอสโฟลิพิด**: กลีเซอรอล + กรดไขมัน 2 สาย + หมู่ฟอสเฟต 1 หมู่ → หัว **hydrophilic** + หาง **hydrophobic** จัดเรียงเป็น **เยื่อหุ้มเซลล์แบบสองชั้น**  
• **สเตอรอยด์/ไข**: โมเลกุลวงแหวนสี่วง (เช่น คอเลสเทอรอล) และไข (waxes) มีบทบาทด้านโครงสร้าง/สัญญาณ/ป้องกันการสูญเสียน้ำ

**8. กรดนิวคลิอิก (DNA และ RNA)**

**8.1 นิวคลีโอไทด์และการเชื่อมต่อ**  
• หน่วยย่อยคือ **นิวคลีโอไทด์** = น้ำตาลเพนโทส (ไรโบสหรือดีออกซีไรโบส) + **หมู่ฟอสเฟต** + **ไนโตรจีนัสเบส** (A, G, C, T/U)  
• นิวคลีโอไทด์เชื่อมกันด้วย **พันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์** ระหว่าง **3′‑OH** กับ **5′‑ฟอสเฟต** → เกิดสาย **พอลินิวคลีโอไทด์** ที่มีปลาย **5′** และ **3′**

**8.2 โครงสร้างและบทบาท**  
• **DNA**: สองสายพันกันเป็น **เกลียวคู่** จับคู่เบสแบบจำเพาะ **A–T, G–C** เก็บรหัสพันธุกรรม  
• **RNA**: โดยมากเป็น **สายเดี่ยว** ชนิดย่อย (mRNA, tRNA, rRNA ฯลฯ) ทำหน้าที่ถอดรหัส/แปลรหัส/ควบคุมการแสดงออกของยีน

**9. ปฏิกิริยาเคมีในเซลล์: พลังงาน เอนไซม์ และเมแทบอลิซึม**

**9.1 ปฏิกิริยาคายพลังงาน vs ดูดพลังงาน และการควบคู่ (coupling)**  
• **ปฏิกิริยาคายพลังงาน**: ปล่อยพลังงานสุทธิ (เช่น การสลายกลูโคสบางขั้น)  
• **ปฏิกิริยาดูดพลังงาน**: ต้องใช้พลังงานสุทธิ (เช่น การสังเคราะห์พอลิเมอร์)  
• ในเซลล์ ปฏิกิริยาดูดพลังงานมัก **ควบคู่** กับการสลาย **ATP → ADP + Pi** เพื่อขับเคลื่อนให้เกิดขึ้นได้

**9.2 เอนไซม์: ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ**  
• ลด **พลังงานก่อกำเนิด (activation energy)** ทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น โดย **ไม่เปลี่ยน** ปริมาณพลังงานเริ่มต้น/สุดท้ายและ **ไม่ถูกใช้หมด**  
• ขั้นตอนหลัก: **เอนไซม์ + สารตั้งต้น → คอมเพล็กซ์ ES → ผลิตภัณฑ์ + เอนไซม์** (บริเวณทำงานเรียกว่า **active site**)  
• **การตั้งชื่อ**: มักลงท้าย **‑เอส** ตามสารตั้งต้น (อะไมเลส ลิเพส ยูรีเอส ฯลฯ) มีระบบ **EC number** กำกับ  
• **ตัวยับยั้งเอนไซม์**:  
○ **แข่งขัน (competitive)**: แย่งจับ active site  
○ **ไม่แข่งขัน (non‑competitive)**: จับตำแหน่งอื่นเปลี่ยนรูปร่างเอนไซม์  
• **ปัจจัยที่มีผล**: อุณหภูมิ (ต่ำไปช้า สูงเกินเสียสภาพ), pH (แต่ละชนิดมี **pH ที่เหมาะสม** ต่างกัน), ความเข้มข้นเอนไซม์/สารตั้งต้น/ตัวร่วม (cofactor/coenzyme)

**9.3 เมแทบอลิซึม**  
• **แคแทบอลิซึม**: สลายโมเลกุลใหญ่เป็นเล็ก ปล่อยพลังงาน  
• **แอนาบอไลซึม**: สังเคราะห์โมเลกุลใหญ่จากเล็ก ใช้พลังงาน  
• เครือข่ายเมแทบอลิซึมในเซลล์เชื่อมโยงกันและถูกควบคุมอย่างละเอียดอ่อนผ่านเอนไซม์/สัญญาณ

**9.4 สัญญาณว่ามี “ปฏิกิริยาเคมี” เกิดขึ้น**  
• การเปลี่ยนสี/กลิ่น การเกิดฟองก๊าซ การเกิดตะกอน การเปลี่ยนอุณหภูมิ การเกิดสารใหม่ที่สมบัติแตกต่างจากเดิม

**10. กรด‑เบสและสภาวะภายในสิ่งมีชีวิต (สรุปเชื่อมโยง)**

• ของเหลวชีวภาพจำเป็นต้องรักษา **ช่วง pH** ที่เหมาะสมเพื่อให้โครงสร้างโปรตีนและกิจกรรมเอนไซม์คงที่ → อาศัยระบบ **บัฟเฟอร์** และการแลกเปลี่ยนแก๊ส/ไอออนของร่างกาย  
• การแปรผันของ pH, อุณหภูมิ และสภาวะตัวทำละลาย ส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของพันธะระหว่างโมเลกุลและการทำงานของเอนไซม์/เยื่อหุ้ม