
บทที่ 1
WATER

WATER

1. INTRODUCTION.

การทำงานของสิ่งมีชีวิตมักจะมีน้ำมาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ทั้งทางตรงและทางอ้อม คุณสมบัติต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตก็มักจะมีสาเหตุจากคุณสมบัติของน้ำ อาจกล่าวได้ว่า น้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตตั้งนั้นในการศึกษาขบวนการที่เกิดขึ้นภายในสิ่งมีชีวิตสิ่งจำเป็นจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับน้ำ ในบทนี้จะกล่าวเกี่ยวกับน้ำพอสมควร

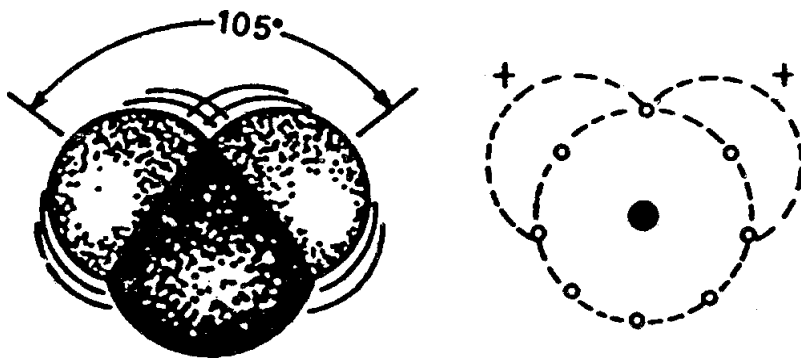
2. MOLECULAR STRUCTURE OF WATER.

โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอม เกาะอยู่กับออกซิเจน 1 อะตอม แขนระหว่างไฮโดรเจนกับออกซิเจนมีได้เรียงกันเป็นเส้นตรง แต่แขนทั้งสองทำมุมประมาณ 105 องศา (มุมของแขนของโมเลกุลน้ำในสภาพของเหลวจะไม่แน่นอน แต่ผลเฉลี่ยประมาณ 105 องศา ในสภาพของแข็งแขนของโมเลกุลจะทำมุมกันแน่นอน คือ 105 องศา ทุกโมเลกุล)

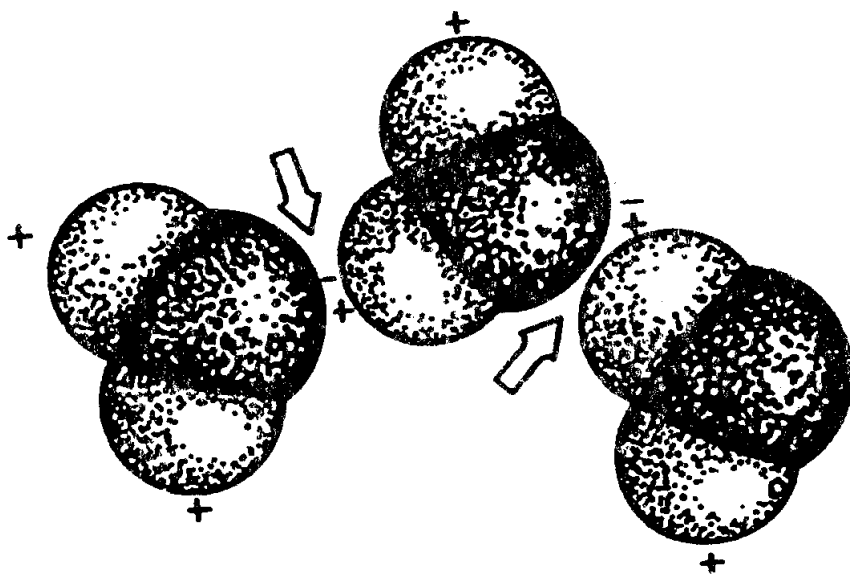
ออกซิเจนและไฮโดรเจนมี electronegativity ไม่เท่ากันออกซิเจนมี electronegativity สูงกว่าไฮโดรเจน ดังนั้นออกซิเจนจึงสามารถดึงอิเล็กตรอนมาจากนิวเคลียสของตัวเองได้มากกว่าออกซิเจนจึงมีประจุลบน้อย ๆ ที่ตัว ถ้าแขน O-H ทั้งสองแขนเป็นเส้นตรง อนุมูลก็จะกลายเป็นศูนย์ไป แต่เนื่องจากแขน O-H ของน้ำทำมุม 105 องศา ประจุลบที่ออกซิเจนจึงไม่หมดไปเมื่อออกซิเจนดึงอิเล็กตรอนเข้าใกล้ตัวเองมากกว่าปกติ ไฮโดรเจนจึงมีประจุบวกน้อยเกิดขึ้นที่ตัวมันเอง ดังนั้นที่โมเลกุลของน้ำจึงมีประจุลบน้อย ๆ ที่ออกซิเจน และประจุบวกน้อย ๆ ที่ไฮโดรเจน ดังรูปที่ 1

เมื่อโมเลกุลของน้ำมีขั้วบวกและขั้วลบขึ้นดังนี้ และถ้าโมเลกุลของน้ำหลายโมเลกุลอยู่ใกล้กันจึงเกิดแรงดูดระหว่างประจุบวกกับประจุลบขึ้น แรงที่เกิดขึ้นนี้ทำให้โมเลกุลของน้ำติดกัน แรงที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า Hydrogen bond. (ดังรูปที่ 2)

3. PROPERTIES OF WATER



รูปที่ 1 แสดง electronegativity ของออกซิเจนและไฮโดรเจน
ในโมเลกุลของน้ำ



รูปที่ 2 แสดงการเกิด HYDROGEN BOND (\Rightarrow) ระหว่างโมเลกุลของน้ำ

3.1 Liquid at Room Temperature

ตามปกติสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ จะมีสภาพเป็นของเหลวหรือของแข็งที่อุณหภูมิปกติ (room temperature) และสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยจะมีสภาพเป็นของเหลวหรือแก๊ส สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากต้องใช้เวลาความร้อน (พลังงาน) สูงในการเปลี่ยนสภาพจากของแข็งเป็นของเหลวและของเหลวเป็นแก๊ส ตัวอย่างเช่น hydrocarbon ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ๆ มักจะอยู่ในสภาพแก๊ส และ hydrocarbon ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะอยู่ในสภาพของของเหลว เมื่อเปรียบเทียบน้ำซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 18 กับ hydrocarbon เช่น methane ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 16 หรือแอมโมเนียซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 17 แม้กระทั่งคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 44 จะพบว่าน้ำเท่านั้นที่อยู่ในสภาพของของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ส่วน methane, แอมโมเนียหรือคาร์บอนไดออกไซด์มีสภาพเป็นแก๊สทั้งสิ้น และสารเหล่านี้มีจุดเดือดต่ำมาก การที่น้ำเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ทั้ง ๆ ที่น้ำมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำก็เพราะว่า น้ำมี hydrogen bond เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุล

จากคุณสมบัติของน้ำในข้อนี้ มีข้อควรสังเกตอย่างหนึ่งคือ สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ และอยู่ในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิปกติ มักมี hydrogen bond เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุล ตัวอย่างเช่น CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, CH_2OO (formic acid) เป็นต้น สารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่มีแนวโน้มทำให้เกิด hydrogen bond

3.2 Latent Heat of Water

น้ำมีความร้อนแฝงเปลี่ยนสภาพจากน้ำให้เป็นไอน้ำสูงมากประมาณ 539 แคลอรีต่อกรัม หมายถึงว่าเราจะต้องใช้เวลาความรอนถึง 539 แคลอรี ในการเปลี่ยนน้ำ 1 กรัมที่อุณหภูมิตั้งแต่ 0 องศาเซลเซียส ให้เป็นไอน้ำ 1 กรัม ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส การที่น้ำมีความร้อนแฝงเปลี่ยนสภาพจากน้ำให้เป็นไอน้ำสูงก็เนื่องมาจากว่าน้ำมี hydrogen bond เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลนั่นเอง ความร้อนแฝงชนิดนี้มีประโยชน์ต่อการลดอุณหภูมิ

ภายในต้นพืชเมื่อต้นพืชคายน้ำ

ความร้อนแฝงอีกชนิดหนึ่งคือความร้อนเปลี่ยนสภาพจากน้ำเป็นน้ำแข็ง ความร้อนแฝงชนิดนี้มีประมาณ 80 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งหมายความว่า เราจะต้องเอาความร้อน 80 กรัม ออกจากน้ำ 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส น้ำ 1 กรัม จึงจะเปลี่ยนเป็นน้ำแข็ง 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส การที่น้ำมีความร้อนแฝงการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นน้ำแข็งสูงเช่นนี้ก็เพราะว่า น้ำแข็งมี hydrogen bond เกิดขึ้น น้ำขณะที่เป็นน้ำแข็งจะมีปริมาตรสูงกว่าน้ำ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า น้ำแข็งมีลักษณะการเกาะระหว่างโมเลกุลหลวมกว่าน้ำ เมื่อน้ำอยู่ในสภาพของเหลวโมเลกุลจะเกาะกันแน่นกว่า การที่น้ำขยายตัวขณะที่อยู่ในสภาพของแข็งนี้ทำให้น้ำแข็งลอยตัวในน้ำได้ ในสภาพธรรมชาติเมื่อน้ำผิวน้ำเป็นน้ำแข็ง น้ำข้างล่างยังอยู่ในสภาพของเหลวอยู่ ทำให้สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ใต้น้ำได้ น้ำที่เป็นน้ำแข็งอาจทำให้พืชเสียหายได้ นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งอาจกั้นทางเนื้อเยื่อของพืชได้ แต่การที่น้ำมีความร้อนแฝงของน้ำแข็งสูงถึง 80 แคลอรีต่อกรัม เช่นนี้ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งได้ยากกว่าปกติ ดังนั้นในบางครั้งมีการใช้น้ำฉีดรดต้นพืชเพื่อป้องกันพืชให้พ้นจากความเสียหายเนื่องจากความหนาวเย็น

3.3 Specific Heat of Water

น้ำมีความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1 หมายความว่าต้องใช้ความร้อน 1 แคลอรีที่จะทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบความร้อนจำเพาะของน้ำกับของสารอื่น ๆ จะพบว่าความร้อนจำเพาะของน้ำจะสูงกว่าความร้อนจำเพาะของน้ำจะสูงกว่าความร้อนจำเพาะของสารอื่น ๆ ยกเว้น แอมโมเนียเหลว (Liquid ammonia) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า โมเลกุลของน้ำจัดเรียงกันในลักษณะพิเศษ ทำให้ไฮโดรเจนกับออกซิเจนเกือบจะเป็น free ion ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถรับความร้อนไว้ได้มาก ๆ โดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ด้วยเหตุที่น้ำมีความร้อนจำเพาะสูง จึงทำให้อุณหภูมิภายในต้นพืชค่อนข้างคงที่

ด้วย

3.4 Adhesive Force of Water

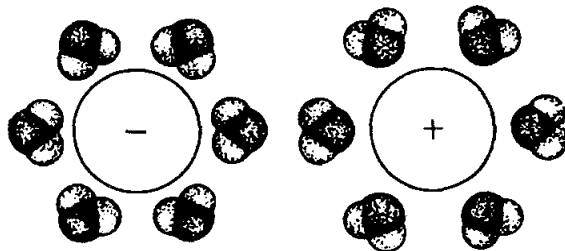
เนื่องจากน้ำมี polar ดังนั้นน้ำจึงสามารถเกาะกับโมเลกุลชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น เซลลูโลส แป้ง โปรตีน แรงเกาะกันนี้เราเรียกว่า adhesive force แรงนี้มีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของน้ำในพืช

3.5 Cohesive Force of Water

น้ำมีแรงเกาะกันระหว่างโมเลกุล แรงนี้เรียกว่า cohesive force แรงชนิดนี้ทำให้น้ำเคลื่อนที่ไปได้ เมื่อน้ำเคลื่อนที่ในท่อเล็ก ๆ เช่น xylem น้ำที่เคลื่อนที่จะมีแรงดึงน้ำโมเลกุลอื่น ๆ ที่ติดกันให้เคลื่อนที่ตามไปด้วย เราสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นไปในที่สูง ๆ โดยใช้แรงชนิดนี้เป็นส่วนประกอบในการอธิบายได้

3.6 Water as a Solvent

น้ำเป็นตัวทำละลาย (solvent) ที่ดีสำหรับสารหลายชนิดรวมทั้งที่เป็นสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้ง่าย และสารที่ไม่แตกตัวในน้ำ สำหรับสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้ง่าย เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ไอออนบวกและไอออนลบ ไอออนทั้งสองชนิดจะถูกโมเลกุลของน้ำล้อมรอบ โมเลกุลน้ำจะล้อมรอบไอออนบวกโดยน้ำมีออกซิเจนของน้ำอยู่ใกล้ ส่วนไอออนลบจะมีไฮโดรเจนอยู่ใกล้



รูปที่ 3 แสดงไอออนทั้งสองชนิดถูกล้อมรอบโดยโมเลกุลของน้ำ

ดังนั้นโมเลกุลของน้ำจึงเปรียบเสมือน "กรง" ล้อมรอบไอออนอยู่ ด้วยเหตุนี้

สารซึ่งละลายอยู่ในน้ำได้ดี

ได้มีการค้นพบว่า สารที่ไม่แตกตัวก็สามารถละลายในน้ำได้เหมือนกัน ทั้งนี้ก็เพราะว่าน้ำที่อยู่ในสภาพของเหลวจะอยู่รวมกันเป็นหน่วย ๆ (Unit) น้ำแต่ละหน่วยจะประกอบด้วยน้ำประมาณ 46 โมเลกุล โมเลกุลของน้ำในแต่ละหน่วยจะล่านกันเป็นตาข่ายคล้ายลูกตะกร้อ ซึ่งมีรูมากมาย สารที่อยู่ในน้ำจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ใน "รูของลูกตะกร้อ" ทำให้สารนั้นละลายอยู่ในน้ำได้ จะเห็นได้ว่าการที่สารที่ไม่แตกตัวละลายอยู่ในน้ำไม่เกี่ยวข้องกับประจุของโมเลกุลของน้ำแต่อย่างใด ลักษณะการละลายของสาร เช่นนี้มีความสำคัญต่อสารที่เป็นส่วนประกอบของโปรโตพลาสซึมเป็นอันมาก เพราะในโปรโตพลาสซึมมีสารจำนวนมากไม่น้อยที่ไม่แตกตัว แต่ก็สามารถละลายน้ำอยู่ในโปรโตพลาสซึมได้

3.7 Ionization of Water

น้ำสามารถแตกตัวได้ โมเลกุลของน้ำบางตัวแตกตัวให้ OH^- และ H^+ และ OH^- กับ H^+ มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกลับเป็นน้ำตามเดิม ทั้งนี้เป็นไปด้วยความบังเอิญ การรวมตัวระหว่าง OH^- และ H^+ จะเป็นไปได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของไอออนทั้งสองที่มีอยู่ในสารละลาย ความสัมพันธ์ของไอออนทั้งสองชนิดเป็นไปตามกฎของมวล (mass law) จากกฎนี้อาจสรุปได้ว่า "ผลคูณของความเข้มข้นของไอออนทั้งสองของน้ำมีค่าคงที่" นั่นคือ

$$[\text{OH}^-] [\text{H}^+] = K$$

- ที่อุณหภูมิปกติค่า $K = 10^{-14}$

- น้ำบริสุทธิ์มี $[\text{H}^+] = 10^{-7} \text{M}$

- ดังนั้นในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิปกติจึงมีค่า $\text{OH}^- = 10^{-7} \text{M}$

แต่โอกาสน้ำจะเป็นน้ำบริสุทธิ์เป็นไปได้ยากในธรรมชาติ ทั้งนี้คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมักจะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิด H_2CO_3 และ H_2CO_3 จะแตกตัวให้ H^+ และ HCO_3^- ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน H^+ สูงขึ้นกว่าปกติ บางครั้งอาจถึง 10^{-4}M เมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้ $\text{OH}^- = 10^{-10} \text{M}$ ตามกฎของมวล

H^+ อาจพูดเป็น power of hydrogen (pH) ได้ H^+ และ pH มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$pH = -\log [H^+]$$

ตัวอย่างเช่น H^+ ของสารละลายชนิดหนึ่งมีค่าเท่ากับ $10^{-4}M$, pH ของสารละลายมีค่าเท่ากับ 4 ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad pH &= -\log [H^+] \\ &= -\log 10^{-4} \\ &= -(-4) \\ &= 4 \end{aligned}$$

ถ้าเราทราบค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน เราจะสามารถทราบค่าของ pH ได้จากสูตร $pH = -\log [H^+]$ และค่า pH ของสารละลายจะมีค่าตั้งแต่ 0-14 เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีค่าตั้งแต่ $1.0 \cdot 10^{-14}$ Molar ดูตารางที่ 1

Table 1 The pH scale and the molar concentrations of H^+ and OH^- ions

H^+ ions (M)	pH	OH^- ions (M)
1.0	0	10^{-14}
0.1	1	10^{-13}
0.01	2	10^{-12}
0.001	3	10^{-11}
0.0001	4	10^{-10}
10^{-5}	5	10^{-9}
10^{-6}	6	10^{-8}
10^{-7}	7	10^{-7}
10^{-8}	8	10^{-6}
10^{-9}	9	10^{-5}
10^{-10}	10	0.0001
10^{-11}	11	0.001
10^{-12}	12	0.01
10^{-13}	13	0.1
10^{-14}	14	1.0

3.8 Light Absorption of Water

เมื่อแสงส่องผ่านลงไปใต้น้ำ แสงบางชนิดถูกน้ำดูดไว้ น้ำจะดูดแสงinfrared ได้ดี เนื่องจาก H-bond สามารถดูดแสงชนิดนี้ได้ดี แสง infra-red นี้ทำให้เกิดความร้อนสูง ดังนั้นเมื่อแสง infra-red ผ่านลงไปใต้น้ำ แสงที่ทะลุน้ำลงไปจึงทำให้เกิดความร้อนได้น้อยลง น้ำยังดูดแสงสีแดงได้อีกเล็กน้อย ดังนั้นเวลาแสงส่องลงไปใต้น้ำ จึงเห็นเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน เพราะแสงสีแดงบางส่วนถูกน้ำดูดไว้ ในธรรมชาติละอองน้ำในอากาศจึงสามารถดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้มาก ก่อนที่ความร้อนที่อากาศจะเกิดจากแสงส่องลงมายังพื้นโลก