
บทที่ 3
OSMOSIS

OSMOSIS

1. INTRODUCTION.

ในต้นพืชมีการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านผนังของ cell organelle ชนิดต่าง เช่น ผนังของ Vacuole (tonoplast), nuclear membrane, ผนังที่ล้อมรอบ plastid แม้กระทั่งผนังของ mitochondria ก็มีน้ำเคลื่อนที่ผ่านเข้าออก เมื่อเราต้องการจะอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำผ่าน membrane ดังกล่าว เราจะต้องพิจารณาปัจจัยหลายอย่างมาประกอบคำอธิบาย มีนักวิทยาศาสตร์พยายามค้นคว้าว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในลักษณะดังกล่าว (ผ่านผนังของ cell organelle) จะเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานเมแทบอลิค (metabolic energy) หรือไม่ แต่ในปัจจุบันยังไม่พบหลักฐานที่แน่ชัดเกี่ยวกับเรื่องนี้ แต่เชื่อกันว่าการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าหรือออกจากเซลล์เกี่ยวข้องกับขบวนการออสโมซิส (osmosis) โดยตรง

2. OSMOSIS คืออะไร?

ความหมายของขบวนการออสโมซิสมีดังต่อไปนี้ คือ การแพร่กระจายของตัวทำละลาย. (solvent) ผ่าน differentially permeable membrane ตัวทำละลายที่พบในต้นพืชก็คือน้ำ

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์มีความสงสัยว่าน้ำเคลื่อนที่เข้าออกผ่านผนังของ cell organelles โดยขบวนการออสโมซิสแต่เพียงขบวนการเดียวหรือ เพราะบางครั้งพบว่าการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าออกผ่านผนังของ cell organelle เป็นไปรวดเร็วมากเกินกว่าที่จะเกิดขึ้นโดยขบวนการออสโมซิสเพียงอย่างเดียว

3. PERMEABILITY.

เมื่อเราพูดถึง permeability เราหมายถึง คุณสมบัติของผนัง (membrane) ที่ยอมให้สารต่าง ๆ กันผ่านได้มากน้อยหรือไม่ยอมให้ผ่านต่างกัน ผนังในที่นี้อาจจะเป็นอะไรก็ได้ที่ยอมให้สารผ่านได้ โดยตัวเองไม่ละลายในสารที่ผ่าน และผนังจะต้องเป็นสิ่งที่อยู่กับที่

ผนังบางชนิดสามารถให้สารทุกชนิดผ่านได้ แต่บางชนิดยอมให้สารเพียงบางชนิดผ่านเท่านั้น ผนังที่ยอมให้สารบางชนิดผ่านได้เรียกว่า differential permeable membrane หรือ อาจเรียกว่า semipermeable membrane ซึ่งศัพท์ตัวหลังนี้ใช้น้อยกว่าตัวแรก

3.1 The membrane of plant cells

ผนังของเซลล์พืชสืบซับซ้อนกว่าผนังที่ไม่มีชีวิตผนังของเซลล์พืชมีส่วนประกอบต่าง ๆ และหน้าที่ต่างกับผนังที่ไม่มีชีวิต ถ้าเราพิจารณาผนังของเซลล์พืช เราจะพบว่า มีอยู่หลายที่ อาทิเช่น Cell wall, plasmalemma, tonoplast, nuclear membrane membrane และผนังที่หุ้มส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์เช่น chloroplast, mitochondria, ribosome, chromoplast ชนิดอื่น ๆ ฯลฯ membrane ทุกชนิดภายในเซลล์เรียกรวมกันว่า cytoplasmic membrane ซึ่งหมายถึง plasmalemma, tonoplast, และผนังหุ้มส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์

3.2 Permeability of cell membrane

โดยทั่วไปผนังเซลล์ (cell wall) จะทำหน้าที่ที่เป็นผนังชั้นนอกของเซลล์ ผนังเซลล์ประกอบด้วย cellulose เป็นส่วนใหญ่ อาจจะมี hemicellulose และ pectin บนมอยู่บ้าง ผนังเซลล์ของ parenchyma cell มักจะยอมให้น้ำและตัวละลาย (solute) ในน้ำผ่านเข้าออกได้เป็นอย่างดี และผนังเซลล์ของเซลล์บางชนิดที่มี lignin อยู่มากก็มีคุณสมบัติคล้ายกับผนังเซลล์ของ parenchyma cell แต่ถ้าผนังเซลล์มีสาร suberin และ cutin อยู่มากกว่าปริมาณปกติจะทำให้ผนังเซลล์ยอมให้น้ำและตัวละลายในน้ำผ่านได้น้อยลง

สำหรับ cytoplasmic membrane มีคุณสมบัติต่างกับผนังเซลล์คือ cytoplasmic membrane ยอมให้น้ำและสารต่าง ๆ ที่เกิดจากขบวนการทางสรีรภายในเซลล์ผ่านเข้าออกได้เป็นอย่างดี อาทิเช่น sucrose, amino acid เป็นต้น ดังนั้น cytoplasmic membrane จึงเป็น differentially permeable membrane ตามปกติ ตัวละลายจะผ่าน cytoplasmic membrane ได้น้อยมาก ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของ

membrane แต่ค่า permeability ของ membrane เพิ่มขึ้นในสภาพเช่นนี้ตัวละลายจะผ่านเข้าออกได้มากกว่าปกติ ถ้าเป็นเช่นนี้ตัวละลายภายใน vacuole จะผ่านออกนอกเซลล์มากกว่าที่จะผ่านเข้าและตัวละลายใน cytoplasm จะไหลออกมาอยู่ใน free space ถ้าความผิดปกตินี้เกิดขึ้นเป็นเวลานานอาจทำให้เซลล์ได้รับอันตรายและตายไปในที่สุด

3.3 Diffusion rate through membrane

การเคลื่อนที่ของตัวละลายผ่านผนังที่กั้นเกิดขึ้นอัตราต่างกัน ตามขนาดของโมเลกุลของตัวละลายความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองของผนัง permeability ของ membrane ที่มีต่อสารละลาย เราอาจใช้สูตรคำนวณอัตราการผ่านของตัวละลายในผนังที่ยอมให้ตัวละลายนั้นผ่านได้ดังนี้คือ

$$S/t = Da \frac{C_1 - C_2}{X} \quad \text{----- (1)}$$

S = amount of substance diffusing (moles)

t = time (seconds)

S/t = diffusion rate of solute

D = Coefficient of diffusion or specific diffusing rate
(Cm²/sec)

a = area (Cm²)

C₁ = higher concentration (moles/L)

C₂ = lower concentration (moles/L)

X = Thickness of membrane (Cm)

$\frac{C_1 - C_2}{X}$ = Concentration gradient
(ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย)

$$D = \frac{s \quad X}{t \quad a \quad (C_1 - C_2)} = \text{Cm}^2/\text{sec}$$

จากสมการ (1)

$$S/t = Da \frac{C_1 - C_2}{X}$$

ถ้า a และ $\frac{C_1 - C_2}{X}$ คงที่

$$S/t = kD$$

$$S/t \propto D$$

ดังนั้นในสภาวะที่ปัจจัยอื่น ๆ คงที่อัตราการเคลื่อนที่ของสารผ่านผนังจะขึ้นอยู่กับ

ที่ค่าของ specific diffusing rate (D)

$$D \propto \frac{1}{\text{molecular size}}$$

อัตราการเคลื่อนที่ของสารผ่านผนัง (ในสภาวะที่ปัจจัยอื่น ๆ คงที่) จะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับขนาดของโมเลกุลหรือตัวละลายที่ผ่านผนังนั้น

3.4 Factor affecting membrane permeability

permeability ของ cell membrane เปลี่ยนแปลงได้ทุกขณะและกลไกการทำงานสลับซับซ้อนมาก เซลล์พืชที่ใกล้จะตายจะยอมให้สารผ่านเข้าออกได้มากกว่าเซลล์ที่เกิดขึ้นใหม่ และเมื่อเซลล์ตายผนังเซลล์และ cell membrane จะยอมให้สารทุกชนิดผ่านเข้าออกได้ ถ้าสารนั้นละลายอยู่ในน้ำ ปัจจัยที่ทำให้ permeability เปลี่ยนไปได้แก่ อุณหภูมิ, pH, ความเข้มข้นของอิออนภายในเซลล์, ระบุไฟฟ้าภายในเซลล์ แสง และปริมาณสารพิษภายในเซลล์

4. OSMOTIC SYSTEM.

ระบบที่ทำให้ขบวนการออสโมซิสเกิดขึ้นเราเรียกว่า osmometer ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 อย่างคือ

3.1 จะต้องมียิ่งที่กันสารละลาย (solutions) หรือน้ำบริสุทธิ์ และสิ่งนั้นมีคุณสมบัติยอมให้ตัวทำละลาย (solvent) ผ่านได้ดีกว่าตัวละลาย (solutes) สิ่งนั้นอาจเป็นชั้นของแก๊ส หรือชั้นของของเหลวที่ละลายไม่ไปผสมกัน แต่ชั้นของแก๊สหรือของเหลวนั้นยอมให้โมเลกุลของตัวทำละลายผ่านได้ดีกว่าตัวละลาย ในเซลล์ของพืชสิ่งนั้นก็คือ cell membrane

3.2 จะต้องมียิ่งที่ทำให้เกิดแรงอัด (pressure) การเพิ่มแรงอัดในออสโมมิเตอร์นั้นเป็นสิ่งไม่จำเป็น แต่โดยทั่วไปออสโมมิเตอร์มีแรงอัดเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเซลล์พืชมีแรงอัดเกิดขึ้นเมื่อพืชเต่งตัว (turgor) เต็มที่ แรงอัดในเซลล์พืชเกิดจากผนังเซลล์พืชที่มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ (มี secondary cell wall) นั้นเอง.

5. PROCESS OF OSMOSIS

5.1 สูตรที่ใช้คำนวณเรื่องออสโมซิส

นักวิทยาศาสตร์ได้คิดสูตรต่าง ๆ อธิบายการเกิดออสโมซิส โดยพิจารณาจากหลักที่ต่างกัน สูตรที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่ 2 สูตร คือ

$$(a) \quad \begin{aligned} \text{DPD} &= \text{OP} - \text{TP} \\ \text{DPD} &= \text{diffusion pressure deficit} \\ \text{OP} &= \text{osmotic pressure} \\ \text{TP} &= \text{turgor pressure} \end{aligned}$$

$$(b) \quad \begin{aligned} \Psi &= \Psi_{\pi} + \Psi_p \\ \Psi &= \text{water potential} \\ \Psi_{\pi} &= \text{osmotic potential} \\ \Psi_p &= \text{pressure potential} \end{aligned}$$

ต่อไปเราจะทำความเข้าใจกับสูตรทั้งสองนี้ **อย่างเคร่งครัด** ๗

5.1.1 DPD = OP - TP ก่อนการคิดออสโมซิสด้วยสูตรนี้ เราจะ

ต้องมีความเข้าใจความหมายเรื่อง diffusion pressure (DP), osmotic pressure (OP) and turgor pressure (TP) เสียก่อน

(a) Diffusion Pressure (DP) ไม่ว่าแก๊สหรือของเหลวชนิดใดก็ตาม มี diffusion pressure คือมีความสามารถที่จะเคลื่อนที่และแพร่กระจายได้ สมบัติของแก๊สหรือของเหลวนี้นำมาใช้พิจารณาการเกิดออสโมซิสได้ ถ้าเราสมมุติว่าในระบบออสโมซิสระบบหนึ่งมีตัวละลาย (solvent) และสารละลาย (solution) โดยของเหลวทั้งสองชนิดอยู่ในภาชนะที่มีผนังชนิดพิเศษกั้นกลาง (ผนังชนิดที่ยอมให้เฉพาะตัวละลายผ่านได้เท่านั้น) เราจะพบว่า การแพร่กระจายของตัวละลายจากข้างหนึ่งผ่านผนังไปยังอีกข้างหนึ่ง การแพร่กระจายดังกล่าวเกิดจากความแตกต่างระหว่าง diffusion pressure ของตัวละลายในของเหลวทั้งสองชนิด

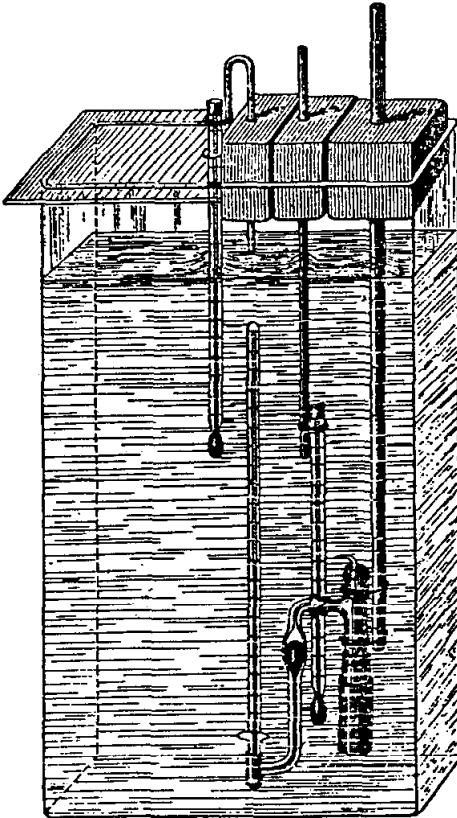
ในน้ำบริสุทธิ์, diffusion pressure จะเพิ่มหรือลดขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งคือแรง ถ้าน้ำได้รับแรงดัน (positive pressure) ค่า diffusion pressure จะเพิ่มขึ้น, แต่ถ้าน้ำได้รับแรงดูด (negative pressure or tension) ค่า diffusion pressure ของน้ำจะลดลง ค่า diffusion pressure ของของเหลวชนิดใดก็ตาม ไม่ว่าจะ เป็นน้ำบริสุทธิ์ หรือสารละลายจะอยู่ในสภาพเช่นที่ได้กล่าวมาแล้ว

นอกจากนี้ค่า diffusion pressure ยังขึ้นอยู่กับปริมาณตัวละลาย (solute) ซึ่งอาจเป็นอิออนหรือโมเลกุลของสารที่อยู่ในน้ำ ถ้าปริมาณของตัวละลายมีอยู่ในน้ำมาก จะมผลทำให้ค่า diffusion pressure ของน้ำลดลง และถ้าปริมาณของตัวละลายในน้ำน้อย ค่า diffusion pressure ของน้ำในสารละลายจะมีค่าสูงขึ้น น้ำบริสุทธิ์จะมีค่า diffusion pressure สูงสุด หมายความว่าน้ำบริสุทธิ์มีความสามารถในการเคลื่อนที่และแพร่กระจายได้ดีกว่าน้ำในสารละลายใด ๆ และน้ำในสารละลายชนิดหนึ่งที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความสามารถแพร่กระจายได้น้อยกว่าน้ำในสารละลายที่มีความ

เข้มข้นต่ำกว่า

ในการคำนวณเรื่องออสโมซิส เราอาจคำนวณได้จากค่าผลต่างระหว่าง diffusion pressure ของน้ำในสารละลาย, แต่เรายังไม่สามารถหาค่า diffusion pressure ของน้ำได้โดยตรง ดังนั้นเราจึงหันมาคำนวณการเกิดออสโมซิสจากค่า diffusion pressure ของน้ำในสารละลายที่ลดลงจากค่า diffusion pressure ของน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเราเรียกค่านี้ว่า diffusion pressure deficit (DPD) DPD ของน้ำในสารละลายใด ๆ คำนวณได้จากสูตร $DPD = OP - TP$

(b) Osmotic Pressure (OP) คือแรงสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในสาร



PFEFFER'S original apparatus to determine the osmotic pressure of solutions.—From his "Osmotischen Untersuchungen" (1877).

ละลาย ค่า osmotic pressure นี้วัดได้โดยตรงโดยใช้ Pfeffer's osmometer ค่า osmotic pressure ของสารละลายนี้ใช้เป็นดัชนี(index) วัดความสามารถที่จะเกิดแรงขึ้นในสารละลาย, มากกว่าที่จะเป็นแรงจริง ๆ เพื่อให้เข้าใจดีขึ้น ขอให้เราพิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้ ส้มมุดที่เราผ่าตาลละลายลงในน้ำจนกระทั่งน้ำเชื่อมมีความเข้มข้นและน้ำเชื่อมไปหาค่า

osmotic pressure เราจะได้ค่า osmotic pressure เท่ากับ 26.9 บรรยากาศ หลังจากนั้นก็ให้น้ำเชื่อมไปใส่ขวด น้ำจะถูกไปดูดฝายขวด ถ้าน้ำเชื่อมมีแรงดัน 26.9 บรรยากาศจริง ลูกที่ดูดฝายขวดนั้นจะกระเด็นออกทันทีที่เราปล่อยมือจากลูก จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าค่า osmotic pressure ของน้ำเชื่อมที่มีค่าเท่ากับ 26.9 บรรยากาศ หาใช่เป็นแรงจริง ๆ ไม่, แต่เป็นค่าที่แสดงว่าน้ำเชื่อมมีความสามารถทำให้เกิดแรงได้ถึง 26.9 บรรยากาศเท่านั้น

ถ้าเราจะกล่าวอย่างสรุป เราอาจกล่าวได้ว่าค่า osmotic pressure เป็นค่าที่ใช้บอกคุณสมบัติของสารละลาย 2 ประการคือ

(1) ค่า osmotic pressure ของสารละลายสามารถบอกได้ว่าสารละลายนั้นจะมีแรงเกิดขึ้นได้สูงสุดเท่าใด

(2) ค่า osmotic pressure ของสารละลายสามารถบอกได้ว่าน้ำในสารละลายมีค่า diffusion pressure น้อยกว่า diffusion pressure ของน้ำบริสุทธิ์เท่าใด (คือบอกค่า DPD ของน้ำในสารละลายนั่นเอง)

ค่า osmotic pressure ของสารละลายใด ๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายและคุณสมบัติของตัวละลายในสภาพปกติ ค่า osmotic pressure ของสารละลายใด ๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายนั้น และค่า osmotic pressure ของน้ำบริสุทธิ์มีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าตัวละลายแตกตัวเป็นไอออนในสารละลายจะทำให้ค่า osmotic pressure ของสารละลายสูง นอกจากนี้ถ้าตัวละลายเป็น hydrophillic (ชอบน้ำ) ก็จะเพิ่มค่า osmotic pressure ของสารละลายให้สูงขึ้นเช่นเดียวกัน

(c) Turgor pressure (TP) เป็นแรง (ความดัน) ที่เกิดขึ้นในเซลล์ขณะที่น้ำออสโมซิสเข้าเซลล์ Turgor pressure เป็นแรงจริง ๆ ที่เกิดขึ้นที่ละน้อยจนกระทั่งมีค่าสูงสุด Turgor pressure มีค่าสูงสุดเท่ากับค่า osmotic pressure

ของสารละลายภายในเซลล์ ถ้าเป็นออสโมมิเตอร์ที่ไม่ใช่เซลล์ เราอาจวัดแรงดัน (positive pressure) หรือแรงดูด (negative pressure) ให้กับสารละลายในออสโมมิเตอร์นั้นได้ แรงที่เราวัดให้มันถือเป็นแรงประเภทเดียวกับ Turgor pressure เช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่า Turgor pressure เป็นแรงที่แตกต่างจาก osmotic pressure. Turgor pressure เป็นแรงที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในสภาพความเป็นจริง Turgor pressure เป็นแรงที่มีขนาดเท่ากับ wall pressure

(d) The Component of DPD เราได้ทราบมาแล้วว่าการคำนวณเรื่องออสโมซิสส์อาจคิดได้จาก $DPD = OP - TP$ และเราได้ทราบความหมายของ DPD, OP and TP มาแล้วอย่างคร่าว ๆ ต่อไปเราจะศึกษาวิธีการใช้สูตรนี้

$$DPD = OP - TP$$

$$DPD = \text{มีค่าเป็นบวกหรืออย่างต่ำสุดมีค่าเป็นศูนย์}$$

$$OP = \text{มีค่าเป็นบวกเสมอ}$$

$$= \text{มีค่าเป็นศูนย์สำหรับน้ำบริสุทธิ์}$$

$$TP = \text{อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้}$$

$$= \text{มีค่าเป็นบวกเมื่อเราใส่แรงดัน (positive pressure) ให้กับสารละลาย}$$

$$= \text{มีค่าเป็นลบเมื่อเราใส่แรงดูด (negative pressure) ให้กับสารละลาย}$$

$$= \text{ในสภาพเปิดหรือสภาพที่เซลล์เหี่ยว, TP จะมีค่าเป็นศูนย์}$$

ในระบบออสโมซิสส์จะมีของเหลวสองชนิดอยู่สองข้างของ differentially permeable membrane เวลาเราต้องการหาค่าทางของการเกิดออสโมซิสส์ เราจะต้องหาค่า DPD ของสารละลายทั้งสองชนิด น้ำจากสารละลายที่มี DPD ต่ำจะเคลื่อนที่ผ่านผนังไปสู่สารละลายที่มีค่า DPD สูง และในสภาพสมดุลย์ DPD ของสารละลายทั้งสอง

อย่างมีค่าเท่ากัน

ตัวอย่างที่ 1 สำรละลาย ก. มีค่า OP = 5 บรรยากาค์และสำรละลาย ข. มีค่า OP = 4 บรรยากาค์ นำสำรละลายทั้งสองชนิดใส่ลงในภาชนะที่มีผนังชนิดที่ยอมให้น้ำผ่านได้กึ่งกลางระหว่างสำรละลายทั้งสองชนิด ให้หาค่าทางการเกิดออสโมซิส.

วิธีทำ

$$\text{จากสูตร } DPD = OP - TP$$

แทนค่าหา DPD ของสำรละลาย ก.

$$DPD \text{ ของสำรละลาย ก.} = 5 - 0 \text{ บรรยากาค์}$$

แทนค่าหา DPD ของสำรละลาย ข.

$$DPD \text{ ของสำรละลาย ข.} = 4 - 0$$

$$= 4 \text{ บรรยากาค์}$$

เพราะฉะนั้นน้ำจากสำรละลาย ข. เคลื่อนผ่านผนังไปสู่สำรละลาย ก. เนื่องจาก DPD ของสำรละลาย ข. น้อยกว่า DPD ของสำรละลาย ก.

ตัวอย่างที่ 2 นำสำรละลาย ก. และสำรละลาย ข. จากตัวอย่างที่ 1. ไปใส่ไว้ในภาชนะปิดแล้วบรรจุแรงอัดลงในสำรละลาย ก. 2 บรรยากาค์ให้หาค่าทางการเกิดออสโมซิส

วิธีทำ

$$\text{จากสูตร } DPD = OP - TP$$

แทนค่าหา DPD ของสำรละลาย ก.

$$DPD \text{ ของสำรละลาย ก.} = 5 - (2)$$

$$= 3 \text{ บรรยากาค์}$$

แทนค่าหา DPD ของสำรละลาย ข.

$$DPD \text{ ของสำรละลาย ข.} = 4 - 0$$

= 4 บรรยากาศ

เพราะฉะนั้นน้ำจากสารละลาย ก. เคลื่อนที่ผ่านผนังไปสู่สารละลาย ข.

ตัวอย่างที่ 3 เซลล์พืชเซลล์หนึ่งมีสารละลายที่มีค่า $OP = 0.9$ บรรยากาศ และเป็นเซลล์ที่เหี่ยวเมื่อนำเซลล์พืชเซลล์นั้นไปใส่ในสารละลายที่อยู่ในภาชนะปิด ภายในภาชนะที่บรรจุสารละลายมีแรงดูด (negative pressure) = 0.5 บรรยากาศ และสารละลายมีค่า $OP = 0.1$ บรรยากาศ

วิธีทำ

$$\text{จากสูตร } DPD = OP - TP$$

$$OP \text{ ของสารละลายในเซลล์} = 0.9 \text{ บรรยากาศ}$$

$$TP \text{ ของเซลล์เหี่ยว} = 0$$

$$DPD \text{ ของสารละลายภายในเซลล์} = 0.9 - 0$$

$$= 0.9 \text{ บรรยากาศ}$$

แทนค่าหา DPD ของสารละลายในภาชนะปิด

$$OP \text{ ของสารละลาย} = 0.1 \text{ บรรยากาศ}$$

$$TP \text{ ของสารละลาย} = -0.5 \text{ บรรยากาศ}$$

$$DPD \text{ ของสารละลายภายในภาชนะปิด} = 0.1 - (-0.5)$$

$$= 0.6$$

น้ำจากสารละลายภายในภาชนะเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์

ตัวอย่างที่ 4 จากโจทย์ตัวอย่างที่สาม ให้หาว่าเมื่อไรจะเกิดสภาพสมดุลในระบบออสโมมิเตอร์ดังกล่าว

วิธีทำ การที่จะเกิดสภาพสมดุลได้นั้น DPD ของสารละลายในเซลล์กับของสารละลายในภาชนะจะต้องเท่ากันและจากคำตอบในตัวอย่างที่ 3 เราได้น้ำ

ต่อ mole ของสารเคมี chemical potential สามารถบอกให้เราทราบว่าสารนั้นมี ความสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมี หรือทำปฏิกิริยาอย่างอื่นได้มากน้อยเท่าใด ถ้าสารใดมี chemical potential สูง ก็จะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีหรืออย่างอื่นได้ดี แต่ ถ้าสารใดมี chemical potential ต่ำก็จะมีความสามารถทำปฏิกิริยาได้น้อย

Chemical potential ของน้ำมีความสำคัญต่อการอธิบายการเคลื่อนที่ ของน้ำผ่านผนัง เซลล์ในขบวนการออสโมซิสอย่างมาก เพื่อสะดวกในการใช้ เราจะเรียก chemical potential ของน้ำว่า water potential ต่อไปจะศึกษา เกี่ยวกับ water potential ของสารละลายอย่างเคร่า ๆ

(a) The component of water potential water potential (ใช้สัญลักษณ์ว่า Ψ) ประกอบด้วย pressure potential (ใช้สัญลักษณ์ว่า Ψ_p) และ Osmotic potential (ใช้สัญลักษณ์ว่า Ψ_{π} ความสัมพันธ์ระหว่าง Ψ , Ψ_{π} และ Ψ_p มีดังนี้คือ

- ค่า Ψ_{π} ของน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าเท่ากับศูนย์
- ค่า Ψ_{π} ของสารละลายชนิดใดชนิดหนึ่งจะมีค่าเป็นลบเสมอ
- โดยทั่วไป, ถ้าเพิ่มตัวละลายลงในสารละลายจะทำให้ค่า Ψ_{π} มีค่าต่ำลง (Ψ_{π} จะมีค่าลบมากขึ้น)
- Ψ_p อาจจะมีค่าเป็นบวก หรือลบก็ได้
- ถ้าเราใส่แรงดัน (positive pressure) ให้กับสารละลายค่า Ψ_p จะมีค่าเป็นบวก
- ถ้าเราใส่แรงดูด (negative pressure) ให้กับสารละลาย ค่า Ψ_p จะมีค่าเป็นลบ
- ค่า Ψ_p จะเท่ากับศูนย์ เมื่อสารละลายอยู่ในสถานะเปิด หรือสารละลาย อยู่ในเซลล์เหี่ยว

-ค่า Ψ ของน้ำบริสุทธิ์ภายใต้ความดันปกติ (ภาชนะเปิด) จะมีค่าเท่ากับ
ศูนย์

-ค่า Ψ ของน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเราใส่แรงดันเข้าไป

-ค่า Ψ ของน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าเป็นลบเมื่อเราใส่แรงดูดเข้าไป

-ค่า Ψ ของสารละลายอาจจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

-ค่า Ψ ของสารละลายจะมีค่าเป็นบวกเมื่อ Ψ มีค่าบวกมากกว่าค่าลบ
ของ Ψ_{π}

-ค่า Ψ ของสารละลายมากกว่าค่าลบ เมื่อ Ψ_p มีค่าบวกน้อยกว่าค่าลบ
ของ Ψ_{π} หรือ Ψ_p มีค่าเป็นลบ

(b) หน่วยที่ใช้สำหรับ Ψ , Ψ_{π} และ Ψ_p หน่วยที่ใช้สำหรับค่า

Ψ , Ψ_{π} และ Ψ_p เป็นหน่วย thermodynamic ซึ่งอาจจะใช้เป็นหน่วยพลังงานหรือ
หน่วยแรงก็ได้ สำหรับหน่วยที่เป็นพลังงาน เราอาจใช้หน่วยเป็น จูลต่อกิโลกรัม, เอิร์กต่อ
มิลลิลิตร, แคลอรี/โมล, โคน์-เซนติเมตรต่อมิลลิลิตร หรือโคน์ต่อตารางเซนติเมตร แต่
ในทางชีววิทยานิยมใช้หน่วยแรงมากกว่า ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน อาทิเช่น มิลลิเมตรของปรอท
ปอนด์ต่อตารางนิ้ว, บรรยากาศ และ bar เป็นต้น หน่วยแรงที่ใช้กับ Ψ , Ψ_{π} และ
 Ψ_p มากที่สุดได้แก่หน่วย bar เพราะเป็นหน่วยเมตริก

$$\begin{aligned} 1 \text{ bar} &= 0.987 \text{ atmosphere} \\ &= 750.12 \text{ mm. Hg} \\ &= 10^6 \text{ dyne/cm}^2 \\ &= 10^6 \text{ erg/cm}^3 \end{aligned}$$

(c) วิธานการเคลื่อนที่ของน้ำในระบบออสโมซิส ในระบบออสโมซิสมี

สารละลายอยู่ 2 อย่าง (อาจจะเป็นสารละลายชนิดเดียวกัน แต่มีค่า Ψ_{π} ไม่เท่ากัน)

อยู่สองข้าง differentially permeable membrane ในการพิจารณาว่าน้ำจากสารละลาย
ข้างไหนเคลื่อนที่ผ่านผนังไปยังสารละลายอีกข้างหนึ่งนั้น เราต้องทำตามวิธีดังต่อไปนี้

- (1) ให้หาค่า Ψ ของสารละลายทั้งสองข้าง
- (2) หาผลต่างของค่า Ψ ทั้งสอง
- (3) ถ้าผลต่างของค่า Ψ ทั้งสองมีค่าเท่ากับศูนย์ ระบบออสโมซิสจะอยู่

ในสภาวะที่สมดุลย์ (การเคลื่อนที่ของน้ำเข้าออกสารละลายทั้งสองข้างมีปริมาณเท่ากัน)

- (4) ถ้าผลต่างของ Ψ ทั้งสองมีค่าเป็นบวกหรือเป็นลบ เราจะได้ผลดังนี้

คือ น้ำจะเคลื่อนที่จากสารละลายที่มีค่า Ψ สูงผ่านผนังไปสู่สารละลายที่มีค่า Ψ ต่ำ

ตัวอย่างที่ 5 ถูบใบหนึ่งทำด้วย differentially permeable membrane

ซึ่งยอมให้น้ำผ่านได้เพียงอย่างเดียว ถูบใบนี้บรรจุสารละลายเกลือแกงที่มีค่า Ψ_{π} เท่ากับ -30 bar ปริมาตรของสารละลายเกลือแกงภายในถูบทำให้เกิด pressure ขึ้นที่ผนังของถูบเท่ากับ 5 bar น้ำถูบดังกล่าวจะไปใส่ในบีกเกอร์ที่มีสารละลายเกลือแกง สารละลายเกลือแกงในบีกเกอร์มีค่า Ψ_{π} เท่ากับ -20 bar ถ้าปริมาตรของถูบและสารละลายในบีกเกอร์ไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่ากรณีใด ๆ ให้หาค่าทางการเคลื่อนที่ของน้ำและให้หาค่า Ψ_p ที่เกิดขึ้นที่ผนังถูบในขณะที่ระบบออสโมซิสอยู่ในสภาวะสมดุลย์

วิธีทำ

หาค่า Ψ ของสารละลายในบีกเกอร์

$$\text{จากสูตร} \quad \Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_p$$

Ψ_{π} ของสารละลายในบีกเกอร์

$$= -20 \text{ bar}$$

Ψ_p ของสารละลายในบีกเกอร์

$$= 0$$

$$\Psi = -20 + 0$$

$$= -20 \text{ bar} \quad \underline{\underline{= (1)}}$$

หาค่า Ψ ของสารละลายในถูบ

$$\text{จากสูตร} \quad \Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_p$$

$$\begin{aligned}\psi_{\text{f}} \text{ ของสารละลายในถุง} \\ = -30 \text{ bar}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\psi_{\text{p}} \text{ ของสารละลายในถุง} \\ = \text{pressure ที่เกิดขึ้นที่ผนังถุง} \\ = +5 \text{ bar}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi \text{ ของสารละลายในถุง} \\ = -30 + (+5) \\ = -25 \text{ bar} \quad \underline{\underline{\hspace{1cm}}}(2)\end{aligned}$$

ค่า Ψ ของสารละลายในบีกเกอร์มีสูงกว่าค่า Ψ ของสารละลายในถุง ดังนั้น น้ำจึงเคลื่อนที่จากสารละลายในบีกเกอร์เข้าถุง

ขณะที่น้ำเคลื่อนที่เข้าไปในถุงทำให้ pressure ที่ผนังเพิ่มขึ้นเรื่อย จนกระทั่งทำให้ค่า Ψ ของสารละลายภายในถุงมีค่าเท่ากับค่า Ψ ของสารละลายนอกถุง (เกิดสภาวะสมดุล)

ที่สภาวะสมดุลย์

$$\Psi \text{ ของสารละลายในถุง} = \Psi \text{ ของสารละลายนอกถุง} \quad \underline{\hspace{1cm}}(3)$$

จากสมการที่ (1)

$$\Psi \text{ ของสารละลายนอกถุง} = -20 \text{ bar} \quad \underline{\hspace{1cm}}(4)$$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า } \Psi \text{ ของสารละลายภายในถุง} &= \psi_{\text{f}} + \psi_{\text{p}} \\ &= -30 + \psi_{\text{p}} \quad \underline{\hspace{1cm}}(5)\end{aligned}$$

จากสมการที่ (3) เราจะได้สมการ (4) = สมการ (5)

$$\begin{aligned}-20 &= -30 + \psi_{\text{p}} \\ \psi_{\text{p}} &= -20 + 30 \\ &= +10 \text{ bar}\end{aligned}$$

ในสภาวะที่ระบบออสโมซิสอยู่ในสภาวะสมดุลย์ค่า ψ_{p} ของสารละลายภายในถุงจะมีค่าเท่ากับ + 10 bars

(d) Effect of dilution จากตัวอย่างที่ 5

เราไม่ได้้นำการเปลี่ยนปริมาตรมาคิด ขณะที่น้ำเคลื่อนที่จากสารละลายเกลือแกงภายนอกถุงผ่านผนังเข้าไปในถุงจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของสารละลาย มีผลทำให้ osmotic potential ของสารละลายในถุงและของสารละลายในบีกเกอร์เปลี่ยนไป เพื่อความถูกต้องมากขึ้นเราจะต้องนำการเปลี่ยนแปลงของ osmotic potential มาคิดด้วย

Hofler (1920) ได้ให้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่าง osmotic potential กับปริมาตรของสารละลายโดยเขียนเป็นสูตรไว้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Psi_{\pi_1} V_1 &= \Psi_{\pi_2} V_2 \\ \Psi_{\pi_1} &= \text{osmotic potential ก่อนเกิดออสโมซิส} \\ \Psi_{\pi_2} &= \text{osmotic potential หลังเกิดออสโมซิส} \\ V_1 &= \text{ปริมาตรก่อนการเกิดออสโมซิส} \\ V_2 &= \text{ปริมาตรหลังการเกิดออสโมซิส} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 6 จากตัวอย่างที่ 5 ถ้าสารละลายเกลือแกงในถุงก่อนเกิดออสโมซิสมีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร และขณะที่เกิดสภาวะสมดุล ปริมาตรสารละลายเกลือแกงในถุงเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ถ้าปริมาตรของสารละลายเกลือแกงในบีกเกอร์ในขณะที่เริ่มออสโมซิสเท่ากับ 500 มิลลิลิตร ให้หาค่า Ψ_p ของถุงในขณะที่เกิดสมดุล

วิธีทำ จากโจทย์ ปริมาตรของสารละลายในถุงเพิ่มขึ้น 10%

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรเดิมของสารละลายในถุง} &= 100 \text{ มิลลิลิตร} \\ \text{ปริมาตรของสารละลาย ขณะที่เกิดสมดุล} &= 100 + \frac{100 \times 10}{100} \\ &= 110 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

จากปริมาตรสารละลายขณะที่เกิดสมดุลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าของสารละลายภายในถุงเปลี่ยนไปดังนี้คือ

$$\text{จากสูตร} \quad \Psi_{\pi_1} V_1 = \Psi_{\pi_2} V_2 \quad \text{===== (1)}$$

$$\begin{aligned} \Psi_{\pi} &= -30 \quad (\text{จากตัวอย่างที่ 5}) \\ V_1 &= 100 \text{ มิลลิลิตร} \\ \Psi_{\pi} &= \Psi_{\pi} \text{ ของสารละลายในถุงขณะที่เกิดล่มตุลย์} \\ V_2 &= \text{ปริมาตรของสารละลายขณะที่เกิดล่มตุลย์} \\ &= 110 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการที่ 1

$$\begin{aligned} (-30) \times 100 &= \Psi_{\pi 2} \times 110 \\ \Psi_{\pi 2} &= \frac{-3,000}{110} \\ &= -27.27 \text{ bar} \end{aligned}$$

ค่า Ψ_{π} ของสารละลายในถุงขณะที่เกิดล่มตุลย์มีค่าเท่ากับ -27.27 bar

ต่อไปเราหาค่า Ψ_{π} ของสารละลายในบีกเกอร์ขณะที่เกิดล่มตุลย์

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad \Psi_{\pi 1} V_1 &= \Psi_{\pi 2} V_2 \quad \text{-----(2)} \\ \Psi_{\pi 1} &= \Psi_{\pi} \text{ ของสารละลายในบีกเกอร์ขณะเริ่ม} \\ &= -20 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_1 &= \text{ปริมาตรของสารละลายในบีกเกอร์ขณะเริ่ม} \\ &= 500 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi_{\pi 2} &= \Psi_{\pi} \text{ ของสารละลายในบีกเกอร์ขณะที่เกิดล่มตุลย์} \\ V_2 &= \text{ปริมาตรของสารละลายในบีกเกอร์ขณะที่เกิดล่มตุลย์} \\ &= 500 - \frac{100 \times 10}{100} \\ &= 500 - 10 \text{ มิลลิลิตร} \\ &= 490 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

แทนค่าสมการ ที่ 2

$$(-20) \times 500 = \Psi_{\pi 2} \times 490$$

แทนค่าสมการที่ 2

$$\begin{aligned} (-20) \times 500 &= \Psi_{f_2} \times 490 \\ \Psi_{f_2} &= \frac{-10,000}{490} \\ &= -20.41 \end{aligned}$$

Ψ_{f_2} ของสารละลายในปีกเกอร์ ณะที่เกิดล่มตุลย์มีค่าเท่ากับ
-20.41 bar

หลังที่เราหาค่า Ψ_{f_1} ของสารละลายในถุงและปีกเกอร์ ณะที่เกิดล่มตุลย์ขึ้น
ในระบบออสโมซิสได้แล้ว เราหาค่าทั้งสองไปหาค่า Ψ_p ของสารละลายภายในถุงได้ดังนี้
ณะที่เกิดล่มตุลย์

$$\Psi \text{ ของสารละลายในถุง} = \Psi \text{ ของสารละลายในปีกเกอร์} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{หา } \Psi \text{ ของสารละลายในถุง} &= \Psi_{f_1} + \Psi_p \\ &= -27.27 + \Psi \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ของสารละลายในปีกเกอร์} &= \Psi_{f_2} \\ &= -20.41 + 0 \\ &= -20.41 \text{ bar} \quad (5) \end{aligned}$$

นำค่า Ψ ของสารละลายภายในถุง (สมการที่ 4) และของสารละลายใน
ปีกเกอร์ (สมการที่ 5) ไปแทนค่าในสมการที่ (3)

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } -27.27 + \Psi_p &= -20.41 \\ \Psi_p &= 27.27 - 20.41 \\ &= 6.89 \text{ bar.} \end{aligned}$$

(e) Water potential VS. Water concentration. ในหัวข้อนี้

เราจะพิจารณาความสัมพันธ์ของ Water potential และ Water concentration ดังต่อไปนี้.

เราได้ทราบมาแล้วว่า water potential ของสารหนึ่งสารใดแสดงถึงความสามารถของสารนั้นที่จะทำปฏิกิริยาเคมี ถ้าค่า chemical potential สูง ความสามารถของสารในการทำปฏิกิริยาก็สูง แต่ถ้าสารใดมี chemical potential ต่ำ สารนั้นก็จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาต่ำด้วย นอกจากนี้ chemical potential ยังบอกความสามารถอย่างอื่นของสารได้อีกด้วย อาทิเช่น การแพร่กระจายของสารในเรื่องออสโมซิส chemical potential ของน้ำ (water potential) จะบอกถึงความสามารถของน้ำที่จะเคลื่อนที่ได้มากน้อยขนาดไหนดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นของบทนี้

ถ้าเราเพิ่มตัวละลายลงในสารละลายจะทำให้ osmotic potential ลดลง (มีค่าลบสูงขึ้น) ซึ่งส่งผลทำให้ค่า water potential ลดลงตามไปด้วยดังนั้นอาจสรุปได้ว่า "ถ้าเราเพิ่มตัวละลายลงในสารละลายจะทำให้ water potential ลดลง"

สำหรับ water concentration คือมวลของน้ำในสารละลายต่อ 1 หน่วยปริมาตรของสารละลายมีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร, กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร, กรัมต่อมิลลิลิตร หรือ mole/Litre ก็ได้

ถ้าเราเพิ่มตัวละลายลงในน้ำหรือสารละลาย โดยปกติจะทำให้ water concentration ลดลงเพราะการเพิ่มตัวละลายลงไปในน้ำหรือสารละลายจะทำให้ปริมาตรของสารละลายเพิ่มขึ้น แต่โมเลกุลของน้ำยังเท่าเดิม ตัวอย่างเช่น ถ้าเราใช้น้ำ 1 ลิตร เตรียมสารละลายยูโครล 0.1 molal เราจะได้สารละลายมีปริมาตรเท่ากับ 1102.08 มิลลิลิตร น้ำบริสุทธิ์ 1 ลิตร มีมวลหนัก 1000 กรัม เพราะฉะนั้น water concentration ของสารละลายยูโครล 0.1 molal จะมีค่าเท่ากับ 0.907 กรัมต่อมิลลิลิตร แต่ถ้าเราเพิ่มน้ำตาลยูโครลลงไปในสารละลายเดิมจนสารละลายมีความเข้มข้น 1.0 molal ปริมาตรของสารละลายจะเพิ่มเป็น 1120.68 มิลลิลิตร และถ้าเราหาค่า water concentration

ของสารละลายยูโครล์ 1.0 molal จะได้อ่างเท่ากับ 0.892 กรัมต่อมิลลิลิตร จะเห็นได้ว่า water concentration ของน้ำในสารละลายลดลงเมื่อเราเพิ่มตัวละลาย (น้ำตาลยูโครล์) ลงในสารละลาย

แต่บางครั้งการเพิ่มตัวละลายลงไปในน้ำหรือสารละลาย จะทำให้ปริมาตรของสารละลายลดลงจากเดิม ตัวอย่างเช่น น้ำบริสุทธิ์ 1,000 มิลลิลิตร จะมีค่า water concentration เท่ากับ 1 กรัมต่อมิลลิลิตร แต่ถ้าเติมสาร $MgSO_4$ ลงไปในน้ำบริสุทธิ์จนกระทั่งได้สารละลาย $MgSO_4$ 0.8 molal ปริมาตรของสารละลายจะเหลือเพียง 998.70 มิลลิลิตร เท่านั้น เพราะฉะนั้น water concentration ของสารละลาย $MgSO_4$ จะเพิ่มขึ้นเป็น 1.001 กรัมต่อมิลลิลิตร

เมื่อเป็นเช่นนี้การเพิ่มตัวละลายลงในน้ำหรือสารละลายอาจทำให้ water concentration เพิ่มหรือลดก็ได้ แล้วแต่ชนิดของสารที่เป็นตัวละลาย

เมื่อเราพิจารณาผลที่เกิดขึ้นข้างต้น เราจะพบว่า เมื่อเราเพิ่มตัวละลายลงไปในสารละลาย จะมีผลทำให้ water potential ของสารละลายมีค่าลดลง และ water concentration จะมีค่าลดลงด้วย แต่ในบางกรณีค่า water concentration ของสารละลายอาจเพิ่มขึ้นได้ (ดังตัวอย่างที่ได้กล่าวมาแล้ว) ดังนั้นบางครั้งค่า water potential ของสารละลายจะเพิ่มและลดตามค่า water concentration ของสารละลายนั้น แต่ในบางครั้ง water potential ลดลงขณะที่ water concentration เพิ่มขึ้น

6. OSMOSIS IN PLANT CELLS.

การพิจารณาการเกิดออสโมซิสเป็นวิธีการที่ค่อนข้างลึกลับซับซ้อน ถึงแม้ว่าเราจะไม่คิดเรื่องปริมาตรก็ตามความลึกลับซับซ้อนก็ยังคงมีอยู่ แต่ออสโมซิสในเซลล์ที่มีความลึกลับซับซ้อนกว่ามากกว่าหลายเท่า osmotic potential ในเซลล์ของมันจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เพราะมีการสร้างและการใช้ตัวละลายภายในเซลล์ทุกขณะ นอกจากนั้นตัวละลายเคลื่อนที่เข้าและออกจากเซลล์ตลอดเวลาเช่นกัน ส่วน osmotic potential ของสารละลายภายใน

นอกเซลล์พืช (สารละลายในดินมีคุณสมบัติเป็นสารละลายตลอดเวลา ไม่มีโอกาสที่จะเป็นน้ำบริสุทธิ์ได้เลย) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่บ้าง แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อยกว่าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ $pressure\ potential$ ของเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเช่นกัน ทั้งนี้เพราะน้ำแพร่กระจายเข้าและออกจากเซลล์ตลอดเวลาในตัวเอง ในต้นพืชเกือบไม่มีเซลล์ที่อยู่ในสภาวะออสโมติก นอกจากเซลล์จะอยู่ในสภาวะพิเศษซึ่งก็เป็นเวลาไม่นานนัก ก็จะเปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลทำให้ความออสโมติกเปลี่ยนไป

สำหรับเซลล์ของพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงปริมาตรทำให้ $pressure\ potential$ เปลี่ยนไปดังนั้นการพิจารณา $water\ potential$ ของสารละลายภายในเซลล์จึงไม่อาจละทิ้งการพิจารณาปริมาตรของเซลล์ได้ แต่เนื่องด้วย $cell\ wall$ ยืดหรือหดตัวได้น้อย ซึ่งมีผลทำให้ปริมาตรของเซลล์เปลี่ยนแปลงได้น้อย $cell\ wall$ มีความคงทนต่อแรงดันได้ประมาณ 30 bars. ถ้าเซลล์ของพืชอยู่ในสารละลายที่มี $water\ potential$ สูงมาก ๆ จะทำให้ปริมาตรของเซลล์เพิ่มขึ้นด้วย ถ้าปริมาตรของเซลล์ยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้ $pressure\ potential$ ภายในเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ $cell\ wall$ จะทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นอาจทำให้ $cell\ wall$ แตกได้ นอกจากนั้นปริมาตรของเซลล์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อ $pressure\ potential$ ของเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงอีกด้วย กล่าวคือ ถ้าปริมาตรของเซลล์เพิ่มขึ้นทำให้ $pressure\ potential$ ของเซลล์นั้นเพิ่มขึ้น $pressure\ potential$ ของเซลล์นั้นจะไปเพิ่มแรงยึดให้แก่เซลล์ที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งมีผลทำให้ $pressure\ potential$ ของเซลล์ข้างเคียงเพิ่มขึ้นด้วย

ทั้ง ๆ ที่ $osmotic\ potential$ และ $pressure\ potential$ ในเซลล์พืชเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่ $water\ potential$ ในเซลล์มิได้เปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่ $osmotic\ potential$ มีค่าลดลง (มีตัวละลายมากขึ้น) $water\ potential$ จะลดลงทำให้น้ำเข้าในเซลล์มากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ $pressure\ potential$ ของเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อ $pressure\ potential$ เพิ่มขึ้น $water\ potential$ ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำเข้าเซลล์น้อยลง $water\ potential$ ในเซลล์พืชแตกต่างกันตามชนิดของ

พืช organ ต่าง ๆ ของพืชและสภาพแวดล้อมของพืช (water potential - ของสารละลายในดินที่ปลูกพืช) โดยทั่วไป osmotic potential ของเซลล์รากในพืช mesophytes จะมีค่าประมาณ -5 bars. ซึ่งสูงกว่าในใบ โดยปกติ osmotic potential ของลำต้นจะมีประมาณ -10 ถึง -18 bars. ในเซลล์ใบจะมีตัวละลายมากกว่าในเซลล์อื่น water potential ของเซลล์ใบมีค่าต่ำ ระหว่าง -20 ถึง -35 bars. ส่วน osmotic potential ของสารละลายในดินมีค่าประมาณ -1 ถึง -2 bars. ในดินที่มีความชื้นสูง ส่วนในดินที่มีความชื้นต่ำมีค่า osmotic potential ต่ำกว่านี้ (ค่าลบมากกว่า)

เซลล์พืช halophyte (พืชที่ขึ้นในทะเลหรือในดินที่มีแร่ธาตุในปริมาณสูง) มักจะมีแร่ธาตุในปริมาณสูง ในพืชพวกนี้บางชนิดมี osmotic potential ต่ำถึง -200 bars. ความจริงแล้วพืชพวกนี้จะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ถ้าในพืชมีแร่ธาตุในปริมาณต่ำ พืชพวกนี้จะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ถ้าในพืชมีแร่ธาตุในปริมาณต่ำเพราะสารละลายภายนอกมีค่า osmotic potential ต่ำประมาณ -100 bars. (สารละลายมีแร่ธาตุในปริมาณสูง) การที่พืช halophyte มีแร่ธาตุในปริมาณสูงอาจเนื่องมาจากสารละลายภายนอกมีแร่ธาตุในปริมาณสูง แต่ในบางครั้งพบว่าพืชพวก mesophyte สามารถดูดแร่ธาตุและสะสมไว้ในเซลล์ในปริมาณสูง ทั้ง ๆ ที่สารละลายในดินมีปริมาณแร่ธาตุในอัตราปกติก็ตาม

7. MATRIC POTENTIAL

ในเซลล์พืชมีสารบางชนิดซึ่งอาจเป็น colloids, ions หรือสารที่มีขนาดใหญ่ สามารถดูด (adsorp) โมเลกุลของน้ำไว้ด้วยแรงดึงดูดสัมพัทธ์ของสารดังกล่าวทำให้ kinetic energy ของน้ำลดลงซึ่งมีผลทำให้ water potential ของสารละลายภายในลดลง แรงเกาะระหว่างโมเลกุลของน้ำกับสารดังกล่าวเรียกว่า matric potential (ใช้สัญลักษณ์ว่า Ψ_m) ถึงแม้ว่าเซลล์พืชทุกเซลล์มี Ψ_m ค่า matric potential จะมิผลทำให้ water potential ของลำต้นของ monocotyledonous cell ลดลงมากที่สุด และผลของ matric potential จะน้อยลงเรื่อย ๆ ขณะที่เซลล์มีอายุมากขึ้น

ถ้า matric potential มีพิจารณาการคิดค่า water potential

เราจะได้สูตรดังนี้

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_{\pi} + \Psi_m$$

Ψ_p = pressure potential มีเครื่องหมายบวกแต่บางครั้งมีเครื่องหมายลบ

Ψ_{π} = osmotic potential มีเครื่องหมายลบเสมอ

Ψ_m = matric potential มีเครื่องหมายลบตลอดเวลา เพราะ Ψ_m ลดค่า

จากสูตรข้างบนเราอาจตัด Ψ_m ออกได้ เพราะในการคิด water potential เรามักจะคำนึงถึงสารละลายภายใน vacuole ซึ่ง Ψ_m ไม่มีผลต่อสารละลายใน vacuole มากนัก

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_{\pi}$$

สำหรับสารละลายในดินมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ควรพิจารณาในการคิดค่า water potential ของสารละลายเช่นเดียวกับการคิดค่า water potential ของสารละลายในเซลล์ แต่ตามปกติจะไม่นำค่า Ψ_m มาคิดเพราะถ้าดินมีน้ำมากจนดินอิ่มตัวค่า Ψ_m มีค่าเท่ากับ 0

8. การคำนวณออสโมซิสในเซลล์พืช

นำสำหรับเยลเตียวมาเซลล์หนึ่งใส่ลงไปในสารละลายที่มีค่า $\Psi_{\pi} = -12 \text{ bar}$ ถ้าสารละลายในสำหรับมีค่า $\Psi_{\pi} = -20 \text{ bar}$ และเป็นเซลล์แบบให้หาทิศทางของการเกิดออสโมซิสและ Ψ_p ของสารละลายภายในเซลล์เมื่อเกิดสภาพสมดุล

วิธีทำ

สารละลายภายในเซลล์

$$\Psi_{\pi} = -20 \text{ bar}$$

$$\Psi_p = 0 \text{ bar}$$

ลำ รละลายภายนอกเซลล์

$$\Psi_{\pi} = -12 \text{ bar}$$

$$\Psi_P = 0 \text{ bar}$$

จากสูตร

$$\Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_P$$

$$\Psi \text{ ของลำ รละลาย} = -12 + 0$$

$$= -12 \text{ bar}$$

$$\Psi \text{ ของลำ รละลายในเซลล์} = -20 + 0$$

$$= -20 \text{ bar}$$

น้ำจากลำ รละลายภายนอกเซลล์จะออสโมซิสผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์เนื่อง

จาก Ψ ของลำ รละลายภายนอกเซลล์มีค่าสูงกว่า Ψ ของลำ รละลายภายในเซลล์

ในสภาวะที่สมดุลย์ เราจะได้

$$\Psi \text{ ของลำ รละลาย} = \Psi \text{ ของลำ รละลายภายในเซลล์}$$

$$\text{แทนค่า} \quad -12 = \Psi_{\pi} + \Psi_P$$

$$-12 = -20 + \Psi_P$$

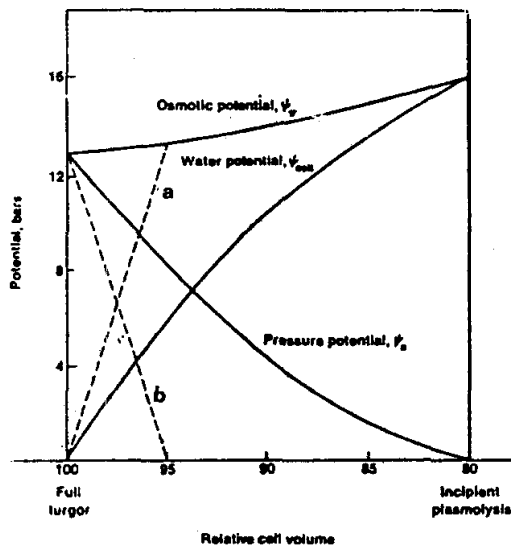
$$\Psi_P = +8 \text{ bars}$$

ในสภาวะสมดุลย์ค่า Ψ_P ของลำ รละลายภายในเซลล์จะมีค่าเท่ากับ 8 bar

9. ความสัมพันธ์การเพิ่มและลดของค่า Ψ , Ψ_{π} และ Ψ_P ของลำ รละลายภายในเซลล์

ค่า water potential, osmotic potential และ pressure potential ของเซลล์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาตรของเซลล์เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวเกิดขึ้นทั้งในเซลล์ที่ยืดหดได้มากและในเซลล์ที่ยืดหดได้น้อย (ดูรูปที่ 2) ก่อนที่จะทำความเข้าใจในเรื่องนี้ ควรทำความเข้าใจค่าต่าง ๆ ในรูปดังนี้

1. Water potential มีค่าเป็นลบและมีค่าสูงสุดเป็นศูนย์ เมื่อเซลล์เต่งตัวเต็มที่
2. Osmotic potential เป็นค่าที่ติดลบ ในรูปที่ 2 จะมีค่าตั้งแต่ประมาณ -12 ถึง -16 bars
3. Pressure potential มีค่าเป็นบวก และมีค่าต่ำสุดเป็นศูนย์ เมื่อ เซลล์แฟบ ในรูปที่ 2 จะมีค่าตั้งแต่ประมาณ 0 ถึง 13 bars
4. Water potential และ osmotic potential ของเซลล์ที่ยืดหดได้มากแสดงด้วย เส้นทึบและของเซลล์ที่ยืดหดได้น้อย แสดงด้วยเส้นประ (a = water potential, b = pressure potential)



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง water potential, osmotic potential และ pressure potential ของเซลล์สองประเภท, water potential และ pressure potential ของเซลล์ที่ยืดหดได้มากแสดงด้วย เส้นทึบและของเซลล์ที่ยืดหดได้น้อย แสดงด้วยเส้นประ (a=water potential, b = pressure potential)

เมื่อเซลล์เต่งตัวเต็มที่เซลล์จะมี pressure potential สูงสุด, และ pressure potential จะค่อย ๆ ลดลง(จนกระทั่งถึงศูนย์) เมื่อปริมาณของเซลล์เริ่มลดลงเรื่อย ๆ การลดของ pressure potential ในเซลล์แต่ละประเภทมีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ pressure potential ของเซลล์ที่ยืดหดได้น้อยจะลดลงได้มากกว่าของเซลล์ที่ยืดหดได้มาก ในขณะที่ปริมาณของเซลล์ทั้งสองประเภทลดลงในสัดส่วน (%) ที่เท่ากัน สำหรับค่า osmotic potential ของเซลล์ที่ยืดหดได้น้อยจะเปลี่ยนแปลงได้น้อยกว่าเซลล์ที่ยืดหดได้มาก ทั้งนี้เพราะเซลล์ที่ยืดหดได้น้อยจะมีน้ำเข้า-ออกได้น้อยกว่า

ในขณะที่เซลล์เต่งตัวเต็มที่ สารละลายในเซลล์จะมีค่า osmotic potential สูงสุด (คิดลบน้อยที่สุด) ในขณะที่เดียวกัน pressure potential ก็จะมีค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน ซึ่งมีผลทำให้ water potential ของเซลล์มีค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน (ในรูปที่ 2 water potential มีค่าสูงสุดเท่ากับศูนย์), และเนื่องจาก pressure potential และ water potential ของเซลล์ที่ยืดหดได้น้อยมีค่าเปลี่ยนแปลงได้น้อยกว่าของเซลล์ที่ยืดหดได้มาก จึงทำให้ water potential ของเซลล์ที่ยืดหดได้น้อยมีค่าเปลี่ยนแปลงได้น้อยกว่าเซลล์ที่ยืดหดได้มาก, และ water potential ของเซลล์ทั้งสองประเภทจะมีค่าต่ำสุด (คิดลบมากที่สุด) เมื่อเซลล์แฟบ, ซึ่งในขณะนั้น osmotic potential ของสารละลายในเซลล์จะมีค่าต่ำสุด (คิดลบมากที่สุด) และ pressure potential ของเซลล์มีค่าเป็นศูนย์