

Chuyên đề: Áp suất thẩm thấu và Cơ chế đóng mở khí khổng

I. Áp suất thẩm thấu (P)

1. Khái niệm

Áp suất thẩm thấu là lực đẩy của các phân tử dung môi (thường là nước) di chuyển qua một màng bán thấm từ nơi có nồng độ chất tan thấp (thế nước cao) đến nơi có nồng độ chất tan cao (thế nước thấp). Nói cách khác, áp suất thẩm thấu của một dung dịch là áp suất cần thiết để ngăn chặn sự di chuyển của dung môi vào dung dịch đó qua màng bán thấm.

Trong tế bào thực vật, áp suất thẩm thấu chủ yếu do các chất tan trong không bào tạo ra, quyết định khả năng hút nước của tế bào.

2. Công thức tính áp suất thẩm thấu

Công thức Van't Hoff được sử dụng để tính áp suất thẩm thấu của một dung dịch loãng:

$$P = R.T.C.i$$

Trong đó:

- **P:** Áp suất thẩm thấu (đơn vị: atm hoặc bar, với $1 \text{ bar} \approx 0.987 \text{ atm}$).
- **R:** Hằng số khí lý tưởng ($R \approx 0.082 \text{ L.atm/mol.K}$).

- **T**: Nhiệt độ tuyệt đối (đơn vị: Kelvin, K). **$T(K) = t(^{\circ}C) + 273$** .
- **C**: Nồng độ mol của dung dịch (đơn vị: mol/L hay M).
- **i**: Hệ số Van't Hoff, là số ion hoặc phân tử mà một phân tử chất tan phân ly ra trong dung dịch.

Ví dụ minh họa:

1. **Ví dụ 1:** Tính áp suất thẩm thấu của dung dịch saccarôzơ ($C_{12}H_{22}O_{11}$) nồng độ 0.1 M ở nhiệt độ $25^{\circ}C$. Biết saccarôzơ không điện li.
 - Vì saccarôzơ không điện li, hệ số $i = 1$.
 - Nhiệt độ $T = 25 + 273 = 298$ K.
 - Áp dụng công thức: $P = 0.082 * 298 * 0.1 * 1 \approx 2.44$ atm.
2. **Ví dụ 2:** Tính áp suất thẩm thấu của dung dịch NaCl 0.1 M ở nhiệt độ $27^{\circ}C$. Biết NaCl phân li hoàn toàn.
 - NaCl phân li thành Na^{+} và Cl^{-} , do đó hệ số $i = 2$.
 - Nhiệt độ $T = 27 + 273 = 300$ K.
 - Áp dụng công thức: $P = 0.082 * 300 * 0.1 * 2 = 4.92$ atm.

3. Ảnh hưởng của môi trường lên tế bào

Dựa vào sự chênh lệch áp suất thẩm thấu giữa bên trong và bên ngoài tế bào, ta có ba loại môi trường:

Loại môi trường	Đặc điểm	Hiện tượng ở tế bào thực vật	Hiện tượng ở tế bào động vật
Ưu trương (Hypertonic)	Nồng độ chất tan bên ngoài cao hơn bên trong tế bào ($P_{\text{ngoài}} > P_{\text{trong}}$).	Tế bào mất nước, không bào co lại, gây ra hiện tượng co nguyên sinh .	Tế bào mất nước và teo nhỏ lại.
Nhược trương (Hypotonic)	Nồng độ chất tan bên ngoài thấp hơn bên trong tế bào ($P_{\text{ngoài}} < P_{\text{trong}}$).	Tế bào hút nước, trương lên. Nhờ có thành tế bào vững chắc nên tế bào không bị vỡ. Đây là trạng thái bình thường của tế bào thực vật.	Tế bào hút nước, trương lên và có thể bị vỡ (hiện tượng tan bào) do không có thành tế bào.
Đẳng trương (Isotonic)	Nồng độ chất tan bên ngoài bằng bên trong tế bào ($P_{\text{ngoài}} = P_{\text{trong}}$).	Nước đi ra và đi vào tế bào với tốc độ bằng nhau. Tế bào không thay đổi kích thước.	Tế bào ở trạng thái bình thường, không thay đổi hình dạng.

Ví dụ:

- Khi bón quá nhiều phân cho cây (tạo môi trường ưu trương), rễ cây không hút được nước mà còn bị mất nước, khiến cây héo và chết.
- Khi ngâm rau quả bị héo vào nước (môi trường nhược trương), các tế bào sẽ hút nước và trở nên tươi trở lại.

II. Cơ chế đóng mở khí khổng

1. Cấu tạo khí khổng (Stomata)

Khí khổng là những lỗ nhỏ trên bề mặt lá (chủ yếu là mặt dưới), có vai trò điều tiết sự thoát hơi nước và trao đổi khí (CO_2 , O_2) giữa cây và môi trường.

- Mỗi khí khổng được cấu tạo từ hai **tế bào hạt đậu** (tế bào bảo vệ) áp sát vào nhau, tạo thành một khe hở ở giữa gọi là **lỗ khí**.
- Tế bào hạt đậu có thành cellulose dày không đều: **thành bên trong (giáp lỗ khí) dày hơn** và **thành bên ngoài mỏng hơn**.
- Các sợi cellulose trong thành tế bào được sắp xếp theo hình nan hoa (hướng tâm), giúp tế bào khi trương nước sẽ cong ra phía ngoài.
- Tế bào hạt đậu chứa nhiều lục lạp, ty thể và không bào lớn.

2. Cơ chế đóng mở khí khổng

Cơ chế đóng mở khí khổng dựa trên sự thay đổi sức trương nước của hai tế bào hạt đậu.

a. Cơ chế mở khí khổng (Thường diễn ra vào ban ngày)

Khi tế bào hạt đậu trương nước, khí khổng mở. Quá trình này diễn ra theo các bước:

1. **Khi có ánh sáng:** Tế bào hạt đậu tiến hành quang hợp, làm giảm nồng độ CO₂ bên trong tế bào.
2. Nồng độ CO₂ thấp và ánh sáng kích hoạt các bơm proton (H⁺) trên màng tế bào, bơm H⁺ ra khỏi tế bào hạt đậu.
3. Việc bơm H⁺ ra ngoài tạo ra một gradient điện hóa, làm cho các kênh ion K⁺ mở ra, vận chuyển K⁺ từ các tế bào biểu bì lân cận vào trong tế bào hạt đậu.
4. Nồng độ K⁺ và các sản phẩm quang hợp (đường) tăng cao trong tế bào hạt đậu, làm **tăng áp suất thẩm thấu**.
5. Nước từ các tế bào lân cận di chuyển vào tế bào hạt đậu qua cơ chế thẩm thấu.
6. Tế bào hạt đậu hút no nước, **trương lên**. Do cấu tạo đặc biệt của thành tế bào (thành ngoài mỏng, thành trong dày), chúng cong ra ngoài, làm cho lỗ khí mở rộng.

Ví dụ: Vào buổi sáng, khi mặt trời lên, cây bắt đầu quang hợp, khí khổng mở ra để lấy CO₂ và giải phóng O₂.

b. Cơ chế đóng khí khổng (Thường diễn ra vào ban đêm hoặc khi cây thiếu nước)

Khi tế bào hạt đậu mất nước, khí khổng đóng lại. Quá trình này diễn ra theo các bước:

1. **Khi không có ánh sáng (ban đêm):** Quá trình quang hợp ngừng lại, nhưng hô hấp vẫn diễn ra, làm tăng nồng độ CO₂ trong tế bào.
2. **Khi cây bị thiếu nước:** Rễ cây sản xuất hormone **axit abxixic (ABA)**. Hormone này được vận chuyển lên lá và gây ra phản ứng đóng khí khổng.

3. ABA và nồng độ CO₂ cao ức chế bơm proton và kích thích các kênh ion mở ra, cho phép K⁺ và các ion khác (Cl⁻, malate²⁻) khuếch tán ra khỏi tế bào hạt đậu.
4. Nồng độ chất tan trong tế bào hạt đậu giảm, làm **giảm áp suất thẩm thấu**.
5. Nước di chuyển từ tế bào hạt đậu ra các tế bào lân cận.
6. Tế bào hạt đậu **mất nước, xẹp lại** (mất sức trương), khiến hai tế bào áp sát vào nhau, lỗ khí đóng lại.

Ví dụ: Vào giữa trưa hè nắng gắt, cây thường đóng bớt khí khổng để giảm thoát hơi nước. Vào ban đêm, khí khổng đóng lại hoàn toàn.

3. Các yếu tố ảnh hưởng đến sự đóng mở khí khổng

- **Ánh sáng:** Ánh sáng là yếu tố quan trọng nhất. Khí khổng thường mở khi có ánh sáng và đóng trong tối.
- **Nồng độ CO₂:** Nồng độ CO₂ trong khoang gian bào thấp sẽ kích thích khí khổng mở, và ngược lại.
- **Nước:** Khi cây đủ nước, tế bào hạt đậu trương nước và khí khổng mở. Khi thiếu nước, hormone ABA được tạo ra, gây đóng khí khổng để bảo tồn nước.
- **Nhiệt độ:** Nhiệt độ ảnh hưởng đến tốc độ thoát hơi nước. Nhiệt độ quá cao có thể gây đóng khí khổng để hạn chế mất nước.
- **Gió:** Gió làm tăng tốc độ thoát hơi nước, có thể dẫn đến việc cây bị thiếu nước và đóng khí khổng.

III. Ý nghĩa

1. Ý nghĩa của áp suất thẩm thấu

- Tạo ra sức hút nước của rễ cây từ đất.
- Giúp vận chuyển nước và các chất tan trong cây.
- Duy trì sức trương của tế bào, giúp cây có hình dạng nhất định và đứng vững.

2. Ý nghĩa của việc đóng mở khí khổng

Sự đóng mở khí khổng là một cơ chế thích nghi quan trọng của thực vật, thể hiện sự "đánh đổi":

- **Mở khí khổng:** Giúp cây lấy được CO₂ cho quang hợp và giải phóng O₂, đồng thời thoát hơi nước để làm mát lá và tạo động lực cho dòng mạch gỗ.
- **Đóng khí khổng:** Giúp cây hạn chế sự mất nước trong điều kiện khô hạn, nhưng lại làm giảm lượng CO₂ lấy vào, ảnh hưởng đến hiệu suất quang hợp.