

I. Cấu tạo của rễ cây thích nghi với chức năng hấp thụ nước và ion khoáng

Rễ cây có cấu tạo đặc biệt để thực hiện hiệu quả chức năng hút nước và các chất dinh dưỡng từ đất.

1. Hình thái của hệ rễ

- Hệ rễ lan rộng, phân nhánh nhiều, tăng diện tích tiếp xúc tối đa với đất.
- Trên rễ có miền lông hút với số lượng tế bào lông hút khổng lồ.
- **Đặc điểm tế bào lông hút:**
 - Thành tế bào mỏng, không thấm cutin, giúp nước và ion khoáng dễ dàng đi qua.
 - Chỉ có một không bào trung tâm lớn, tạo ra áp suất thẩm thấu cao hơn so với dung dịch đất.
 - Số lượng lớn làm tăng tổng diện tích bề mặt hấp thụ của rễ lên nhiều lần.

2. Cấu tạo giải phẫu của rễ (miền lông hút)

Nước và ion khoáng sau khi được lông hút hấp thụ sẽ di chuyển qua các lớp tế bào để vào mạch gỗ (xylem) ở trung tâm rễ. Cấu tạo cắt ngang của rễ gồm các lớp từ ngoài vào trong:

1. **Biểu bì:** Lớp ngoài cùng, gồm các tế bào biểu bì và các tế bào lông hút.
2. **Vỏ:** Gồm nhiều lớp tế bào nhu mô, có chức năng dự trữ.

3. **Nội bì:** Lớp trong cùng của vỏ, đặc trưng bởi sự có mặt của **đai Caspari**. Đai này không thấm nước, có vai trò kiểm soát dòng nước và các chất hòa tan đi vào trụ giữa.
4. **Trụ giữa:** Gồm các bó mạch (mạch gỗ và mạch rây) và ruột. Mạch gỗ có chức năng vận chuyển nước và ion khoáng lên thân.

II. Cơ chế hấp thụ nước ở rễ cây

Nước được hấp thụ từ đất vào rễ cây chủ yếu theo cơ chế thụ động (thẩm thấu).

Cơ chế thụ động (thẩm thấu)

- **Nguyên lý:** Nước di chuyển từ nơi có thế nước cao (môi trường đất) đến nơi có thế nước thấp hơn (tế bào lông hút).
- **Giải thích:** Dịch bào của tế bào lông hút có nồng độ chất tan (ion khoáng, đường, axit hữu cơ,...) cao hơn nồng độ chất tan trong dung dịch đất. Sự chênh lệch nồng độ này tạo ra sự chênh lệch về áp suất thẩm thấu, làm cho thế nước trong tế bào thấp hơn thế nước của đất, do đó nước sẽ di chuyển từ đất vào rễ.
- **Động lực của quá trình:** Quá trình này được duy trì bởi 2 động lực chính:
 - **Động lực dưới (áp suất rễ):** Sự tích lũy ion khoáng trong rễ làm tăng áp suất thẩm thấu, đẩy nước từ rễ lên thân.
 - **Động lực trên (lực hút do thoát hơi nước):** Quá trình thoát hơi nước ở lá tạo ra một sức hút lớn, kéo cột nước liên tục từ rễ lên lá. Đây là động lực chính.

- **Ví dụ:**

1. Khi tưới nước cho cây, nồng độ chất tan trong đất thấp, thế nước cao. Tế bào lông hút có nồng độ chất tan cao hơn, thế nước thấp hơn, nên nước tự động di chuyển vào rễ.
2. Khi bón quá nhiều phân bón, nồng độ chất tan trong đất tăng cao, làm thế nước của đất thấp hơn cả thế nước trong tế bào rễ. Hậu quả là cây không những không hút được nước mà còn bị mất nước ra ngoài, gây hiện tượng héo và chết.

III. Cơ chế hấp thụ ion khoáng ở rễ cây

Ion khoáng được hấp thụ theo cả hai cơ chế: thụ động và chủ động.

1. Cơ chế thụ động

- **Nguyên lý:** Các ion di chuyển từ nơi có nồng độ cao (dung dịch đất) đến nơi có nồng độ thấp (tế bào lông hút) mà không cần tiêu tốn năng lượng ATP.
- **Cơ chế chi tiết:**
 - **Khuếch tán qua kênh protein:** Hầu hết các ion đi qua màng sinh chất nhờ các kênh protein đặc hiệu. Mỗi loại kênh thường chỉ cho một loại ion nhất định đi qua.
 - **Đi theo dòng nước:** Một số ion hòa tan trong nước có thể được kéo theo dòng nước vào rễ.
- **Điều kiện:** Phải có sự chênh lệch nồng độ, tức là nồng độ ion trong đất phải cao hơn nồng độ ion đó trong tế bào rễ.

- **Ví dụ:**

1. Sau khi bón phân kali (K^+), nồng độ K^+ trong đất cao hơn trong rễ. K^+ sẽ khuếch tán qua các kênh K^+ đặc hiệu trên màng tế bào lông hút để đi vào bên trong.
2. Khi đất giàu canxi (Ca^{2+}), ion này có thể di chuyển vào khoảng gian bào của rễ theo dòng nước mà không cần năng lượng.

2. Cơ chế chủ động

- **Nguyên lý:** Vận chuyển các ion đi ngược chiều gradient nồng độ (từ nơi có nồng độ thấp đến nơi có nồng độ cao), do đó cần tiêu tốn năng lượng ATP.
- **Cơ chế chi tiết:** Quá trình này được thực hiện bởi các protein vận chuyển đặc hiệu trên màng sinh chất, gọi là **bơm ion**. Các bơm này sử dụng năng lượng từ ATP để thay đổi cấu hình và đẩy ion qua màng.
- **Điều kiện:** Thường xảy ra khi nồng độ của một ion cần thiết cho cây trong đất thấp hơn trong tế bào rễ, nhưng cây vẫn có nhu cầu hấp thụ thêm.
- **Ví dụ:**
 1. Nồng độ ion Nitrat (NO_3^-) trong tế bào rễ thường cao hơn hàng trăm lần so với trong dung dịch đất. Để tiếp tục hấp thụ NO_3^- , cây phải dùng bơm protein và tiêu tốn ATP để vận chuyển NO_3^- vào trong.
 2. Bơm proton (H^+): Tế bào rễ chủ động bơm H^+ ra ngoài môi trường đất. Việc này tạo ra sự chênh lệch điện thế và pH qua màng, năng lượng dự trữ này được dùng để đồng vận chuyển các ion khác (như K^+ , NO_3^-) vào tế

bào.

IV. Con đường vận chuyển nước và ion khoáng từ lông hút vào mạch gỗ

Sau khi được hấp thụ vào rễ, nước và ion khoáng di chuyển vào mạch gỗ ở trung tâm theo hai con đường song song.

1. Con đường gian bào (Apoplast)

- **Mô tả:** Nước và các chất tan di chuyển trong không gian giữa các tế bào và trong thành tế bào.
- **Đặc điểm:** Nhanh, không được chọn lọc, chiếm phần lớn lượng nước vận chuyển.
- **Điểm chặn:** Khi đến lớp nội bì, dòng nước và ion theo con đường này bị chặn lại bởi **đai Caspari** không thấm nước. Tại đây, chúng buộc phải chuyển sang con đường tế bào chất để đi qua lớp nội bì.

2. Con đường tế bào chất (Symplast)

- **Mô tả:** Nước và các chất tan di chuyển xuyên qua tế bào chất của các tế bào, từ tế bào này sang tế bào khác qua các **cầu sinh chất** (plasmodesmata).
- **Đặc điểm:** Chậm hơn, nhưng được kiểm soát và chọn lọc bởi màng sinh chất của từng tế bào.

Vai trò của đai Caspari: Đai Caspari hoạt động như một "bariê kiểm soát", đảm bảo rằng tất cả nước và khoáng chất phải đi qua ít nhất một lớp màng sinh chất (của tế bào nội bì) trước khi vào mạch gỗ. Điều này cho phép rễ cây điều chỉnh và chọn lọc các chất được vận chuyển lên các bộ phận khác của cây, ngăn chặn các chất độc hại xâm nhập vào hệ mạch.

V. Bảng so sánh cơ chế hấp thụ ion khoáng

Tiêu chí	Cơ chế thụ động	Cơ chế chủ động
Chiều vận chuyển	Cùng chiều gradien nồng độ (từ nơi nồng độ cao đến nơi nồng độ thấp).	Ngược chiều gradien nồng độ (từ nơi nồng độ thấp đến nơi nồng độ cao).
Nhu cầu năng lượng (ATP)	Không cần tiêu tốn ATP.	Cần tiêu tốn năng lượng ATP từ quá trình hô hấp.
Cơ chế	Khuếch tán qua kênh protein hoặc đi theo dòng nước.	Cần các protein vận chuyển đặc hiệu (bơm ion).
Tính chọn lọc	Có tính chọn lọc (do kênh protein đặc hiệu) nhưng không điều chỉnh được ngược dòng nồng độ.	Có tính chọn lọc cao và giúp tích lũy ion trong tế bào.

VI. Các yếu tố môi trường ảnh hưởng đến quá trình hấp thụ

Quá trình hấp thụ nước và ion khoáng của rễ chịu ảnh hưởng mạnh mẽ bởi các yếu tố của môi trường đất.

1. Áp suất thẩm thấu của dung dịch đất

Như đã giải thích, nếu áp suất thẩm thấu của đất quá cao (đất mặn, bón quá nhiều phân), cây sẽ không hút được nước, thậm chí bị mất nước.

2. Độ pH của đất

pH ảnh hưởng đến sự hòa tan của các ion khoáng trong đất và khả năng hấp thụ của rễ. Mỗi loại cây thích nghi với một khoảng pH nhất định.

3. Nhiệt độ đất

Nhiệt độ ảnh hưởng đến hoạt động của hệ rễ. Nhiệt độ quá thấp hoặc quá cao làm giảm khả năng hô hấp của rễ, dẫn đến thiếu ATP cho quá trình hấp thụ chủ động.

4. Độ thoáng khí của đất (Hàm lượng Oxi)

Oxi cần thiết cho quá trình hô hấp của tế bào rễ để tạo ra ATP. Đất bị úng nước, thiếu oxi sẽ làm rễ không thể hô hấp, làm quá trình hấp thụ chủ động các ion khoáng bị đình trệ, rễ có thể bị thối và chết.