Lecture 7

Transport in Plants

النقل في النباتات

Transport Mechanisms

How does water get from the roots to the top of a 10-story-high tree? Throughout human existence, curious people have wondered about this question.

Plants lack muscle tissue and cannot pump fluid through a circulatory system. Nevertheless, water moves through the cell-wall spaces between the protoplasts of cells, through plasmodesmata (connections between cells), through plasma membranes, and through the interconnected, conducting elements extending throughout a plant (figure 1).

ألیات النقل

كيف يتم نقل الماء من الجذور إلى أعلى جزء في نبات بطول 10 طوابق؟ طوال الوجود الإنساني (حياة الإنسان)، كان الناس الفضوليين يفكرون في سؤال كهذا.

تفتقر النباتات إلى النسيج العضلي ولا تستطيع أن تضخ السائل من خلال جهاز الدوران. وعلى كل حال، فإن الماء يتحرك عبر فراغات الجدران الخلوية بين المادة الحية (برتوبلاست) للخلايا عبر البلاسمودسماتا (وصلات بين الخلايا)، وعبر الأغشية الخلوية، وعبر عناصر ناقلة متصلة تغطي أجزاء النبات جميعها، الشكل (1).

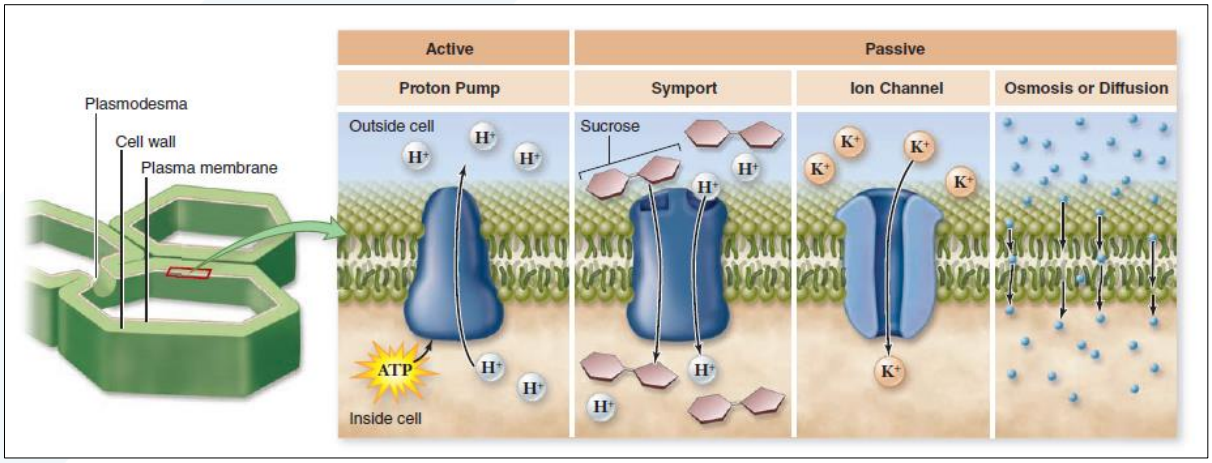

Figure (1): Transport between cells.

Local changes result in long-distance movement of materials

The greatest distances traveled by water molecules and dissolved minerals are in the xylem. Once water enters the xylem of a redwood, for example, it can move upward as much as 100 m (figure 2). **Most of the force is "pulling" caused by transpiration-evaporation of water in the stomata.** This pulling occurs because water molecules stick to each other (cohesion) and to the walls of the tracheid or xylem vessel (adhesion). The result is an unusually stable column of liquid reaching great heights. Long-distance transport also occurs in the phloem. Unlike xylem transport, phloem transport is bidirectional (figure 2).

تؤدي تغيرات موضعية إلى نقل المواد لمسافات طويلة

تنتقل جزيئات الماء والأملاح المعدنية المذابة أطول المسافات في الأوعية الخشبية (نسيج الخشب). بمجرد دخول الماء إلى الأوعية الخشبية لنبات الخشب الأحمر، فإنه يمكن أن ينقل إلى الأعلى لمسافة تصل إلى 100 م الشكل (2). **معظم القوة هي قوة السحب الناتجة عن عملية النتح أو تبخر الماء من خلال الثغور (المسامات).** تتكون قوى السحب هذه لأن جزيئات الماء متماسكة مع بعضها (قوى التماسك)، وملتصقة مع جدران الأوعية الخشبية (قوى الالتصاق)، والنتيجة عمود ثابت من الماء يصل إلى ارتفاعات كبيرة، النقل لمسافات طويلة يحدث أيضاً في اللحاء، وعلى خلاف النقل في الأوعية الخشبية، فإن النقل في اللحاء يكون في الاتجاهين الشكل (2).

- **Transpiration-Cohesion-Tension theory**

It describes the way water moves through the xylem using (figure 3):

1. **Cohesion: the water molecules stick to each other via hydrogen bonds.**
2. **Adhesion: water molecules stick to the wall of xylem vessel.**
3. **Tension: because transpiration is drawing water out of the leaves.**

نظرية (النتح – التماسك – الشد)

تصف طريقة انتقال الماء عبر الوعاء الخشبي بالاعتماد على: الشكل (3)

1. **التماسك: تلتصق جزيئات الماء مع بعضها البعض عن طريق الروابط الهيدروجينية.**
2. **الالتصاق: تلتصق جزيئات الماء بجدار الوعاء الخشبي.**
3. **الشد: نتيجة النتح الذي يسحب الماء خارج الأوراق.**

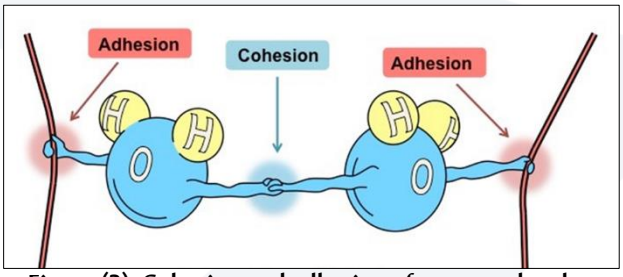

Figure (3): Cohesion and adhesion of water molecules.

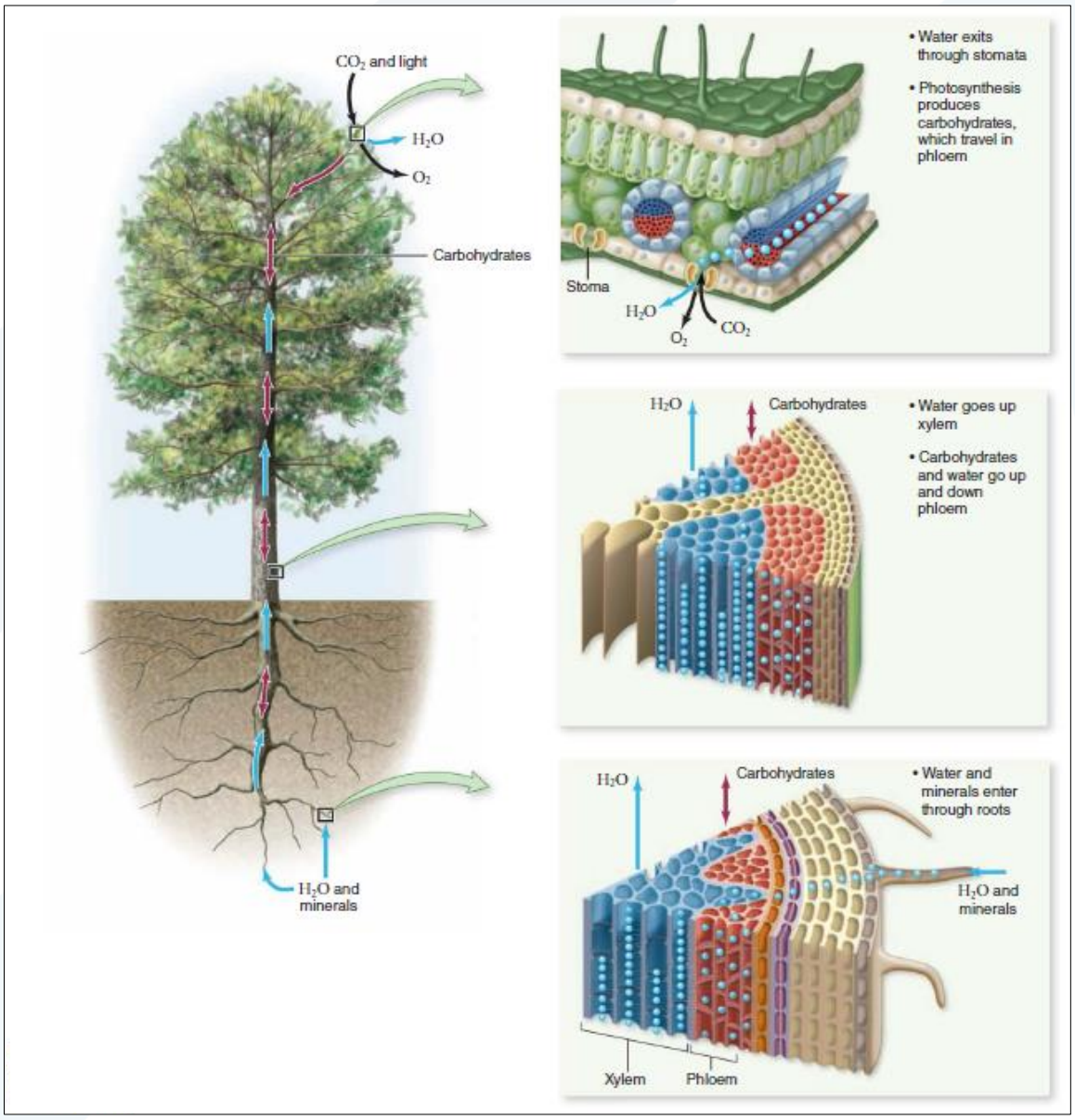

Figure (2): Water and mineral movement through a plant is unidirectional, whereas carbohydrates move bidirectionally.

Water potential regulates movement of water through the plant

Plant biologists explain the forces that act on water within a plant in terms of potentials. *Potentials* are a way of representing free energy (the potential to do work). **Water potential,** abbreviated by the capital Greek letter psi (ψ) with a subscript W (ψ_w) is used to predict which way water will move. **The key is to remember that water will move from a cell or solution with higher water potential to a cell or solution with lower water potential. Water potential is measured in units of pressure called megapascals (MPa).** If you turn on your kitchen or bathroom faucet full blast, the water pressure should be between 0.2 and 0.3 MPa (30 to 45 psi).

تنظّم القدرة المائية حركة الماء خلال النبات

يشرح علماء النبات القوى التي تعمل على الماء داخل النبات بمصطلح القدرة. القدرة تمثل الطاقة الحرة (القدرة على عمل شيء). القدرة المائية تختصر بالحرف اللاتيني بساي وتستخدم للتعرف إلى الاتجاه الذي سيتحرك فيه الماء. **من المهم تذكر أن الماء يتحرك من الخلية أو المحلول الذي له قدرة مائية أعلى إلى الخلية أو المحلول الذي له قدرة مائية أقل. تقاس قيم القدرة لمائية بوحدات ضغط تسمى ميغاباسكال**. إذا فتحت حنفية المطبخ أو الحمام بشكل عام. فإ ضغط الماي سيكون بين 0.2 و 0.3 ميغاباسكال.

Water and Mineral Absorption

Most of the water absorbed by the plant comes in through the region of the root with root hairs (figures 4 and 5). **Root hairs are extensions of root epidermal cells located just behind the tips of growing roots.**

امتصاص الماء والأملاح المعدنية

يدخل معظم الماء الممتص في النبات من خلال منطقة في الجذر مزودة بالشعيرات الجذرية الشكل (4، 5). **الشعيرات الجذرية هي زوائد لخلايا البشرة في الجذور، توجد مباشرة خلف القمم النامية.**

Once absorbed through root hairs, water and minerals must move across cell layers until they reach the vascular tissues; water and dissolved ions then enter the xylem and move throughout the plant.

بعد الامتصاص عبر الشعيرات الجذرية، الماء والأملاح المعدنية يجب أن تنتقل عبر طبقات خلوية حتى تصل إلى الأوعية الناقلة، يدخل الماء والشوارد المنحلة الأوعية الخشبية ويتم نقلها إلى أجزاء النبات المختلفة.

Water evaporating from the leaves through the stomata causes additional water to move upward in the xylem and also to enter the plant through the roots. Water potential drops substantially in the leaves due to transpiration.

الماء المتبخر من الأوراق عبر الثغور يؤدي إلى حركة إضافية للماء إلى الأعلى في الأوعية الخشبية، وإلى دخول الماء إلى النبات عبر الجذور. تتناقص القدرة المائية بشكل كبير في الأوراق نتيجة لعملية النتح.

Mineral ion concentration in the soil water is usually much lower than it is in the plant. Minerals are often taken up by root cells via active transport across the endodermis to increase the solute concentration in the stele. The plasma membranes of endodermal cells contain a variety of **protein transport channels, through which proton pumps transport specific ions against even larger concentration gradients** (figure 1). Once inside the vascular stele, the ions, which are plant nutrients, are transported via the xylem throughout the plant.

تركيز الشوارد (الأيونات) المعدنية في محلول التربة أقل بكثير من تركيزها في النبات، تدخل الأملاح المعدنية غالباً عبر الجذور عن طريق النقل النشط عبر الأدمة الباطنة (الداخلية) لزيادة تركيز المحلول داخل القناة المركزية. يحوي الغشاء الخلوي لخلايا الشعيرات الجذرية مجموعة متنوعة من **القنوات البروتينية الناقلة التي تقوم من خلالها مضخات البروتون بنقل أيونات محددة حتى بعكس اتجاه تركيزها** الشكل (1)، بعد دخولها الأوعية المركزية، تنقل الأيونات التي تعد مغذيات نباتية، عبر الأوعية الخشبية إلى مختلف أجزاء النبات.

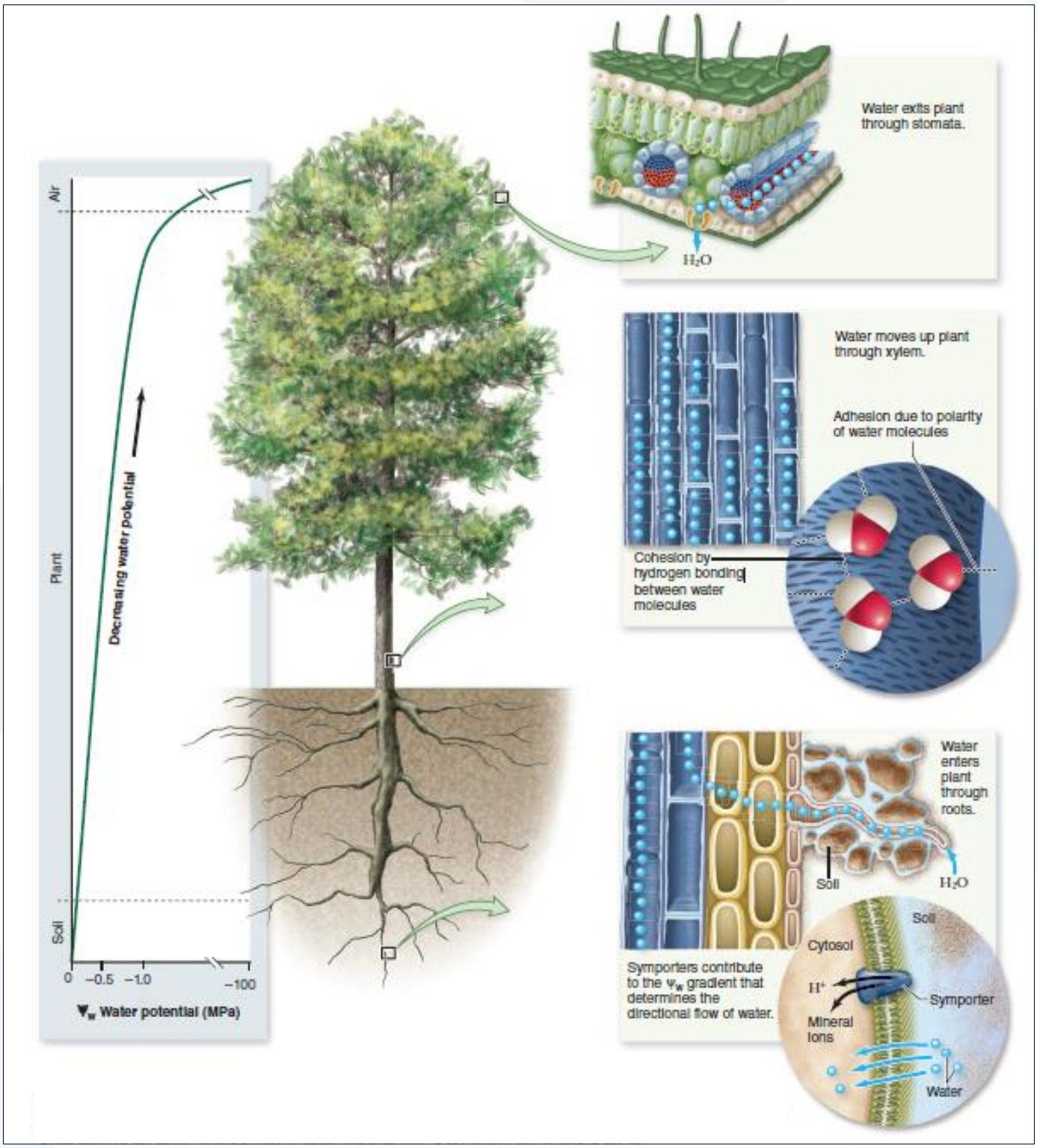

Figure (4): Water potential is higher in soil and roots than at the shoot tip.

Figure (5): Water and minerals move into roots in regions rich with root hairs.

Three transport routes exist through cells

Water and minerals can follow three pathways to the vascular tissue of the root (figure 6):

- **The apoplast route includes movement through the cell walls and the space between cells. Transport through the apoplast avoids membrane transport.**
- **The symplast route is the continuum of cytoplasm between cells connected by plasmodesmata.**
- **The transmembrane route involves membrane transport between cells and also across the membranes of vacuoles within cells. This route permits each cell the greatest amount of control over what substances enter and leave.**

These three routes are not exclusive, and molecules can change pathways at any time, until reaching the endodermis of the root.

توجد ثلاثة ممرات للنقل خلال الخلايا

يمكن للماء والأملاح المعدنية أن تسلك ثلاثة مسارات للوصول إلى النسيج الوعائي للجذر الشكل (6)، وهي:

- **المسار اللاحيوي الذي يتضمن الحركة من خلال جدران الخلايا والفراغات بينها، ويتجنب الانتقال عبر الأغشية.**
- **المسار الحيوي الذي يشكل طريقاً متصلاً عبر سيتوبلاسم الخلايا مروراً بالبلاسمودسماتا.**
- **المسار عبر الغشائي الذي يتضمن الحركة عبر الأغشية بين الخلايا، وعبر أغشية الفجوة المركزية داخل الخلية، يوفر هذا المسار أعلى مستوى من التحكم لدخول المواد وخروجها.**

هذه المسارات الثلاثة ليست خاصة (لا تعمل بشكل منفرد)، حيث يمكن للجزئيات أن تغير مسارها في أي وقت حتى تصل إلى الأدمة الباطنة (البشرة الداخلية) للجذور.

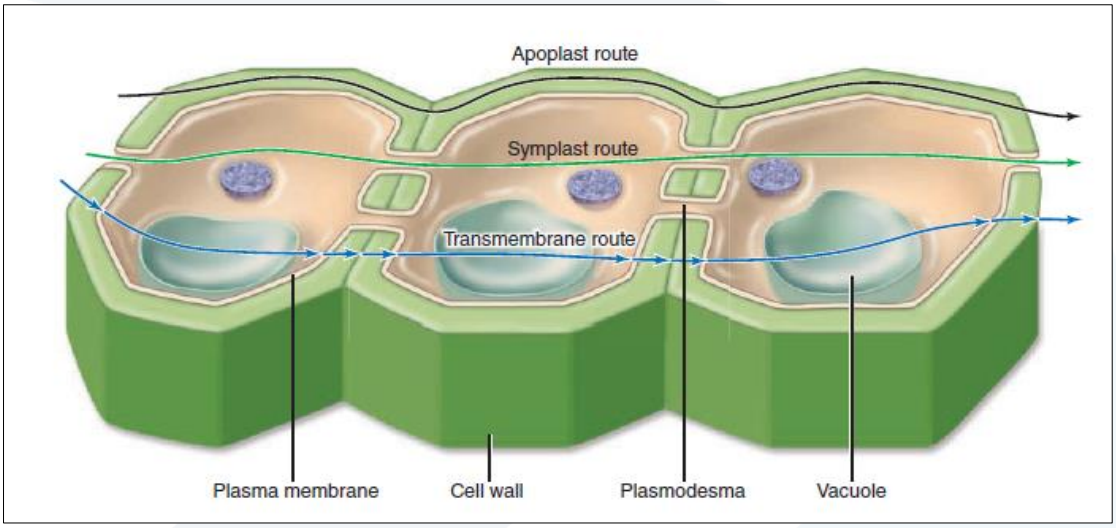

Figure (6): Transport routes between cells.

The pathways of mineral transport in roots

Minerals are absorbed at the surface of the root. In passing through the cortex, **they must either follow the cell walls and the spaces between them or go directly through the plasma membranes and the protoplasts of the cells, passing from one cell to the next by way of the plasmodesmata. When they reach the endodermis, however, their further passage through the cell walls is blocked by the Casparian strips,** and they must pass through the membrane and protoplast of an endodermal cell before they can reach the xylem (figure 7).

طرق امتصاص الأملاح المعدنية عبر الجذور

يتم امتصاص الأملاح المعدنية من خلال سطوح الجذور. خلال عبورها القشرة، **تسلك المعادن مسار الجدران الخلوية والفراغات بين الخلايا، أو تنتقل بشكل مباشر عبر الأغشية الخلوية وسيتوبلازم الخلايا، بالانتقال من خلية إلى أخرى عبر البلاسمودسماتا. على أية حال عند وصولهم للأدمة الباطنة فإن انتقالهم (أو مرورهم) التالي من خلال الجدران الخلوية يكون مسدوداً بأشرطة كاسبر**، لذا عليها أن تعبر من خلال الأغشية الخلوية والبروتوبلاست لخلية الأدمة الباطنة قبل تمكنها من الوصول إلى الأوعية الخشبية، الشكل (7).

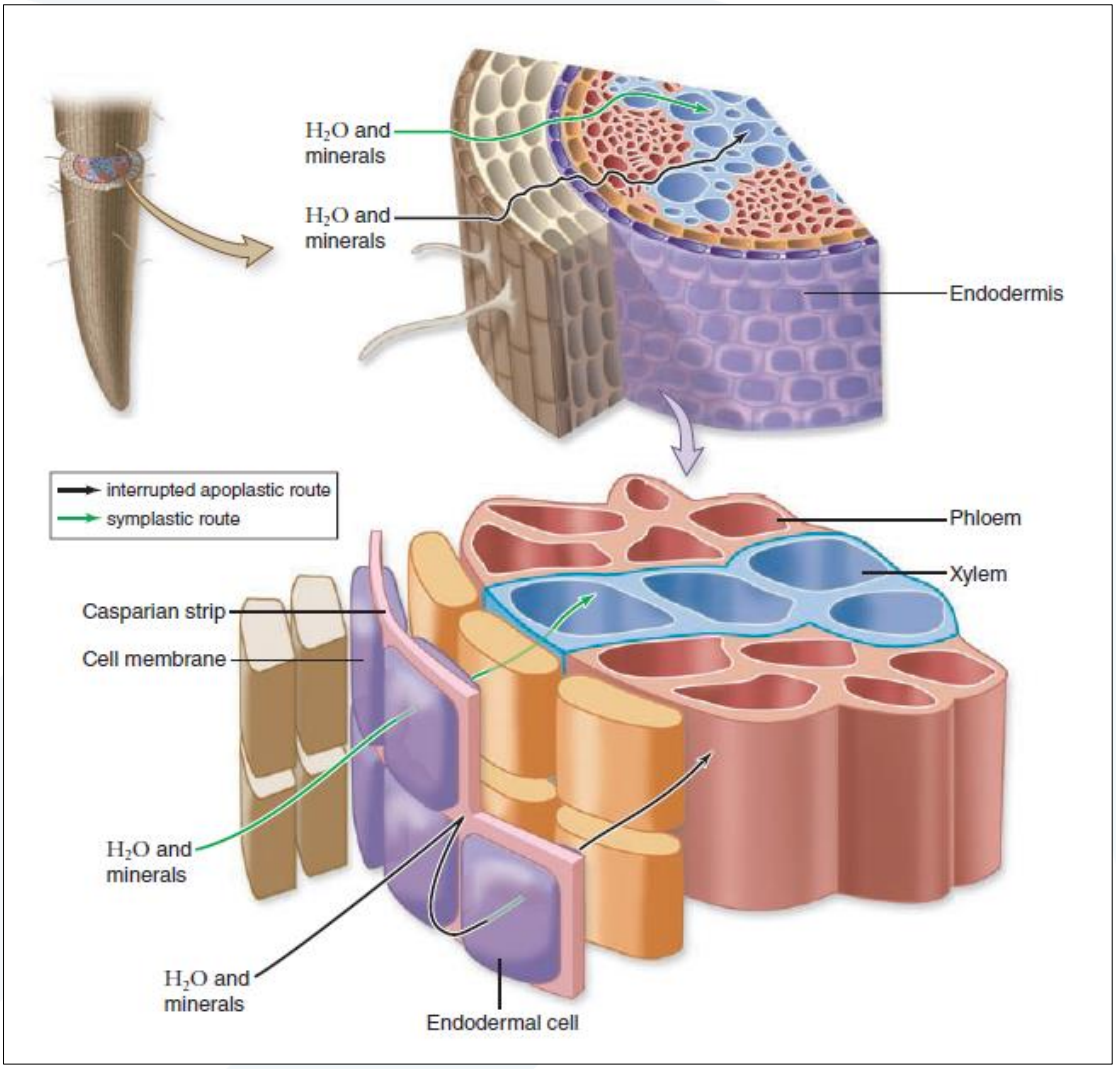

Figure (7): The pathways of mineral transport in roots.

When we are talking about transport of water and other molecules in plants we have to distinguish between two terms:

عندما نتحدث عن نقل الماء والجزيئات الأخرى في النباتات، علينا التمييز بين مصطلحين:

1. **Transpiration: is the process of water movement through a plant and its evaporation from leaves.**

1. النتح: هو عملية حركة الماء خلال النبات وتبخره من الأوراق.

2. **Translocation: is the movement of sugar from leaves to other tissues throughout the plant.**

2. النقل: حركة السكر من الأوراق إلى الأنسجة الأخرى في جميع أنحاء النبات.

The points of sugar delivery

The points of sugar delivery such as roots, young shoots, and developing seeds, are called sinks.

نقاط توزيع السكر

تسمى نقاط توزيع السكر مثل الجذور والبراعم الصغيرة والبذور النامية بأماكن التصريف.

Sinks are divided intwo:

1. **Areas of active growth like:**
    - **Apical and lateral meristems.**
    - **Developing leaves.**
    - **Flowers, seeds, and fruits.**
2. **Areas of sugar storage like:**
    - **Roots, tubers and bulbs.**

يتم تقسيم أماكن التصريف إلى قسمين:

1. مناطق النمو النشط مثل:

- الميرستيم القمي والجانبي.

- الأوراق النامية.

- الأزهار، والبذور، والفواكه.

2. مناطق تخزين السكر مثل:

- الجذور، والدرنات، والأبصال.

How does sugar move from source to sink?

- **Pressure-flow hypothesis** (figure 8)**:**

كيف ينتقل السكر من المصدر إلى مكان التخزين أو التجميع؟

- **فرضية تدفق الضغط** الشكل (2)**:**

1. High concentration of sugar at the source draws water into the phloem from the adjacent xylem.

1. يسحب التركيز المرتفع للسكر في المصدر الماء إلى اللحاء من نسيج الخشب المجاور.

2. This creates a high pressure potential in the phloem.

2. هذا يخلق ضغطًا عالياً في اللحاء.

3. The high pressure drives movement of sugars from source to sink.

3. يدفع الضغط العالي السكريات للحركة من المصدر إلى حوض التخزين.

4. Removal of the sugar causes water to leave the phloem and return to the xylem.

4. تؤدي إزالة السكر إلى خروج الماء من اللحاء والعودة إلى نسيج الخشب.

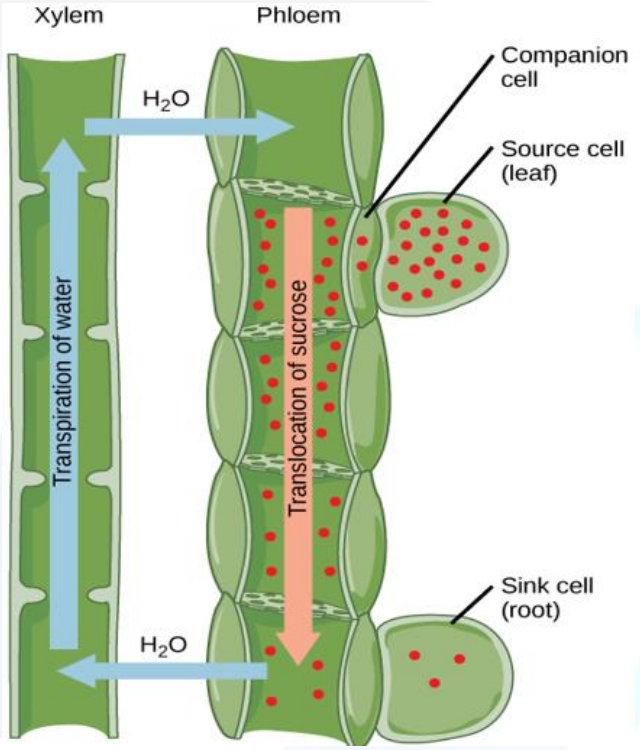

Figure (8): Pressure-flow hypothesis.

Transport pathways in sugar translocation into the cell

1. **Diffusion.**
2. **Proton pumps (activ transporter): use energy from ATP.**
3. **Co-transporters.**

طرق انتقال السكر إلى داخل الخلية

1. الانتشار.

2. مضخات البروتون (ناقل نشط): تستخدم الطاقة من ATP (الأدينوزين ثلاثي الفوسفات).

3. الناقلات المساعدة.

- **Co-transporters:**

  are channels that perform a type of secondary active transport. They move two molecules at the same time: one molecule is transported along its concentration gradient, which releases energy that is used to transport the other molecule against its concentration gradient.

- **الناقلات المساعدة**

هي قنوات تمثل نمط من النقل النشط الثانوي. تحرك جزيئتين في نفس الوقت: جزئية تنقل على باتجاه ممال (تدرج) تركيزها، والذي يصدر (تحرر) طاقة تستخدم في نقل الجزيئة الأخرى بعكس ممال تركيزها.

They are divided (figure 9) into:

1. Symporters: are a type of co-transporter that transports two molecules in the same direction; both into the cell, or both out of the cell.

2. Antiporters: are a type of co-transporter that transports two molecules in opposite directions; one into the cell, and the other out of the cell.

وهي مقسمة الشكل (9) إلى:

1. الناقلات المتماثلة Symporters: نوع من الناقلات المساعدة التي تنقل جزيئين في نفس الاتجاه؛ سواء كلا الجزيئتين إلى داخل الخلية، أو كليهما إلى خارج الخلية.

2. الناقلات المضادة أو المبادلة Antiporters: نوع من الناقلات المساعدة التي تنقل جزيئين في اتجاهين متعاكسين؛ واحدة إلى داخل الخلية والأخرى إلى خارج الخلية.

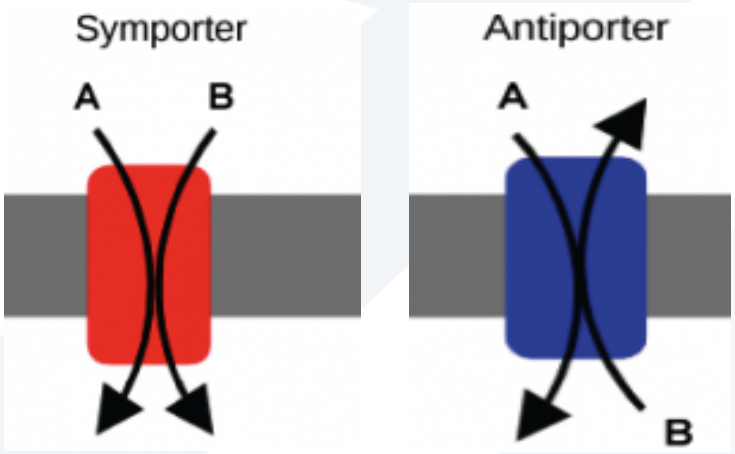

Figure (9): Co-transporters.

End of lecture