مدرستي معكم
خطوة بخطوة
للنجاح والتفوق

مدرستي
الكويتية
حمل التطبيق

اضغط هنا

الدرس 1-3

النقل في النباتات
Transport in Plants

الأهداف العامة

* يشرح دور كلّ من الجذور والأوراق في نقل الماء في النباتات .
* يفسّر آليّات نقل الماء والسكّريات في النباتات .



(شكل 29)

حين تلمس نباتًا من نوع ما برفق، قد تتدلّى أوراقه وتُصبِح ضعيفة خلال ثوانٍ قليلة . فنبات الميموزا الحساسّ الموضَّح في الشكل (29)، يستجيب للّمس بتقليد مظهر النبات الذابل . ربّما تجعل هذه الاستجابة النباتات أقلّ عرضة لأن تكون وجبة لأحد الحيوانات آكلة الأعشاب .

1. النقل في الجذور Transport in Roots

هل تركْتَ مرّة بعضًا من نبات الكرفس بعيدًا عن الماء حتّى ذبل؟ حين يحدث ذلك في المرّة القادمة، جرّب وضع الكرفس في وعاء فيه ماء لساعات قليلة، ولاحِظ كيف يستعيد صلابته . فقد يكون ذبل لأنّه فقد الماء الذي تبخّر في الهواء، فيُقال إنّ خلايا نبات الكرفس فقدت ضغط امتلائها . **وضغط الامتلاء Turgor Pressure هو الذي يعطي دعامة للخليّة الناتجة عن الضغط الأسموزي لغشاء الخليّة على جدارها .**

ويعتمد ضغط الامتلاء على الماء . فعندما تكون الفجوات العصارية المركزية في الخلايا النباتية ممتلئة بالماء، تضغط على الجدر الخلوية بالطريقة نفسها التي يحفظ بها الهواء البالون منتفِخًا . وعندما تكون الفجوات المركزية غير ممتلئة، تنكمش الخلايا النباتية مثل بالون خالٍ من الهواء .

كيف يحصل النبات على الماء الضروري ليحتفظ بضغط الامتلاء؟ تقوم الجذور بتثبيت النباتات في التربة وبامتصاص الماء والمعادن الذائبة بالماء . وتتطلّب عملية الامتصاص هذه طاقة لكي تحدث، فلا يدخل الماء مباشرة من التربة إلى الجذور بل تتمّ بالأسموزية .

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

النباتات الغارقة

يُمكِن أن يكون الريّ الزائد مؤذيًا للنباتات تمامًا مثل عدم ريّها بماء كافٍ . فعندما تتشبّع التربة بالماء، قد لا يصل الأكسجين إلى الجذور . وإذا لم يكن متاحًا لخلايا الجذور المقدار الكافي من الأكسجين للتنفّس الخلوي، لن تستطيع أن تُنتِج الطاقة اللازمة لأداء الأنشطة الخلوية .

ويتطلّب حدوث عملية الأسموزية، انتقال الماء من محيط ذي تركيز مائي عالٍ Hypotonic Medium أو ذي جهد مائي عالٍ High Water Potential إلى محيط ذي تركيز مائي منخفِض Hypertonic Medium أو ذي جهد مائي منخفِض Low Water Potential. تؤدّي تركيبة التربة دورًا في عملية الامتصاص. التربة هي عبارة عن خليط من الرمل، الطين أو الطمي، الأملاح المعدنية (شوارد الأملاح)، الهواء وأنسجة الكائنات الحيّة المتحلِّلة. تحتوي التربة في مستويات مختلِفة على كمّيات مختلِفة من هذه المكوّنات. تحتاج النباتات إلى الأملاح المعدنية لكي تنمو بشكل سليم (شكل 30).

في معظم الأحيان، يكون تركيز شوارد المعادن في التربة (جهد مائي منخفِض) أكبر من تركيز شوارد المعادن داخل خلايا الجذور (جهد مائي عالٍ). تُؤدّي هذه الحالة إلى انتقال الماء من الجذور إلى التربة بحسب قانون الأسموزية، وهذا يُشكّل خطرًا كبيرًا على حياة النباتات. لذلك تكيّفت الجذور مع هذا الواقع بعمليات تُوفّر الشروط اللازمة لانتقال الماء من التربة إلى داخل الجذور، وصولًا إلى الأنسجة الوعائية. لكن **في حال وجود كمّيات كبيرة من المعادن في التربة** (زيادة كمّية السماد المضافة إلى التربة)، **سيخرج الماء من الجذور إلى التربة، وهذا ما يُسمّى بحرق الجذور Root Burn الذي يؤدّي إلى موت النباتات**. أنظر الشكل (31) لتتعرّف كيف تبقى نباتات المنجروف الأحمر حيّة على الرغم من كون جذورها مغروسة في المياه المالحة.





(شكل 30)
إذا لم تمتصّ النبتة عناصر معدنية كافية مثل النيترات الذي يحتوي على النيتروجين، سيتوقّف نموّها وتزول ألوان أوراقها.

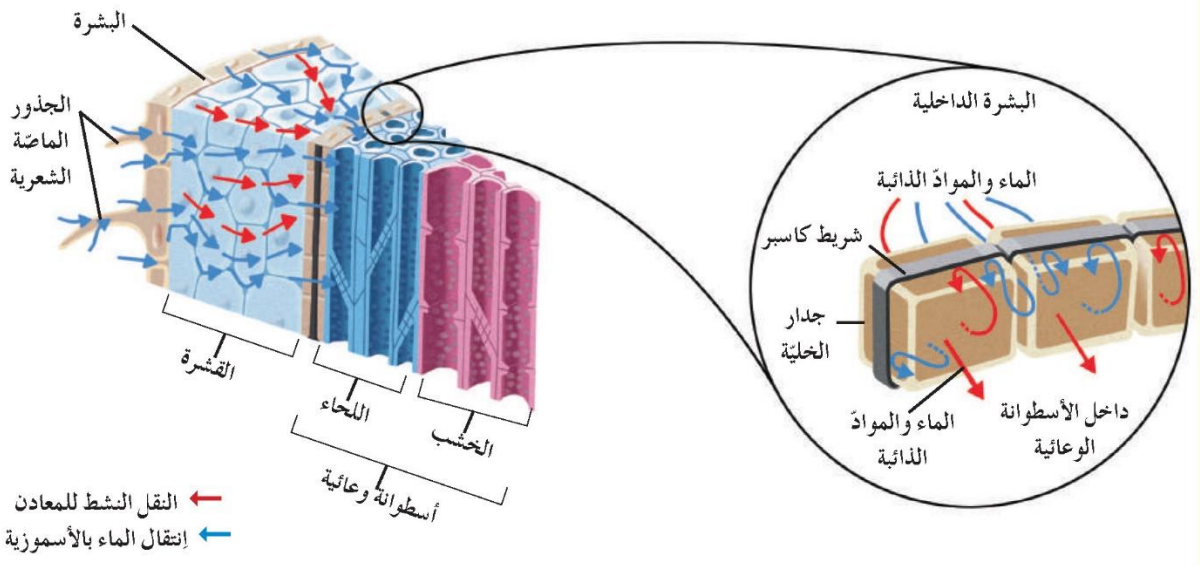


(شكل 31)
تظلّ نبتة المنجروف الأحمر حيّة في مياه الشواطئ المالحة التي تقتل معظم النباتات الأخرى. فشبكة جذور نبتة المنجروف تدعم الأفرع المورقة للنبتة فوق الماء والطمي.

1.1 النقل النشط للمعادن
Active Transport of Minerals

يحتوي غشاء خليّة الشعيرات الجذرية الماصّة وخلايا البشرة الأخرى على **بروتينات ناقلة نشطة Active Transport Proteins، تُضَخّ شوارد المعادن بواسطة النقل النشط من التربة إلى داخل الجذور**. تستخدم هذه النواقل الطاقة الكيميائية المختزَنة في جزيئات الـ ATP. يجعل هذا النقل البيئة داخل جذور النبتة ذات تركيز عالٍ بالشوارد المعدنية (جهد مائي منخفِض) بالنسبة إلى التربة (جهد مائي عالٍ). عندئذ، ينتقل الماء من التربة إلى الجذور بالأسموزية (شكل 32).

تتطلّب عملية النقل النشط للمعادن تأمين غاز الأكسجين إلى خلايا الجذور بكمّية كافية، بالإضافة إلى السكّريات، من أجل حدوث عملية التنفّس الخلوي التي تُؤمّن الطاقة إلى هذه الخلايا. وتعتمد كمّية الماء المُمتَصّة من التربة بواسطة الأسموزية على كمّية الماء في التربة. فعندما تحتوي التربة على كمّية كبيرة من الماء، يكون معدّل الامتصاص عاليًا. أمّا أثناء الجفاف أو تدنّي مستوى هطول الأمطار، فتكون نسبة الماء في التربة أقلّ، وينخفض معدّل امتصاص الماء من التربة.



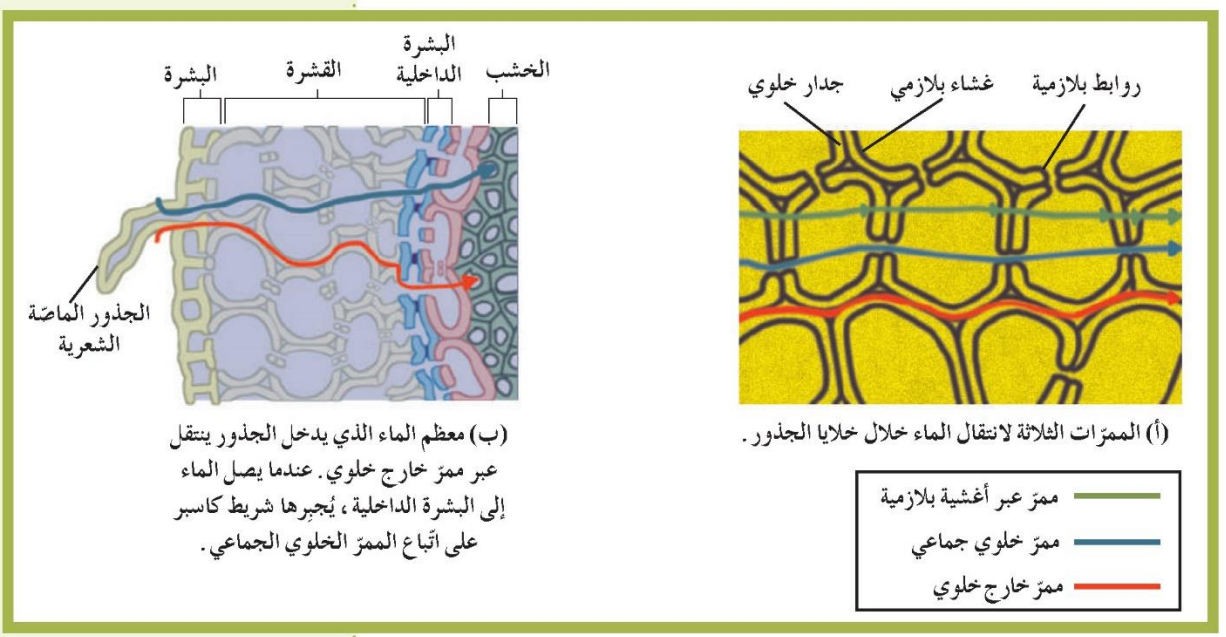
(شكل 32)
إنتقال الماء من التربة إلى الجذور لتصل إلى الأنسجة الوعائية.

2.1 الانتقال إلى داخل الأسطوانة الوعائية
Movement into the Vascular Bundle

ينتقل الماء والأملاح من نسيج البشرة إلى الأسطوانة الوعائية عبر ثلاثة ممرّات موضّحة في الشكل (53). الأوّل هو **الممرّ خارج خلوي Apoplast، وهو انتقال الماء عبر الجدر الخلوية، من القشرة وصولًا إلى البشرة الداخلية.** وهذه الطريقة لا تعتمد على الأسموزية نظرًا إلى أنّ هذه الأخيرة تتطلّب وجود الغشاء الاختياري النفاذية. وعلى هذا الأساس، يتمّ انتقال الماء بهذه الطريقة بواسطة الانتشار الحرّ أو السلبي الذي لا يستوجب وجود طاقة أيضية ATP. الثاني **هو الممرّ الخلوي الجماعي Symplast حيث ينتقل الماء والأملاح من خليّة إلى الخلايا المجاورة عبر الروابط البلازمية Plasmodesmata. والثالث هو الممرّ عبر الغشائي Transmembrane حيث ينتقل الماء والأملاح الذائبة من خليّة إلى أخرى عبر الجدر الخلوية والأغشية.**

يُؤدّي النقل النشط والأسموزية دورًا في انتقال الماء والأملاح المعدنية من البشرة وصولًا إلى الحدود الداخلية للقشرة، حيث توجَد طبقة البشرة الداخلية المؤلَّفة من خلايا ذات شكل قرميدي، والتي تُغلِّف الأسطوانة الوعائية كما في الشكل (32).

يُغلِّف جدر خلايا البشرة الداخلية الأربعة الجانبية شريط غير منفذ للماء يُسمّى شريط كاسبر Casparian Strip، وهو شريط شمعي يمنع مرور الماء عبر الممرّ خارج خلوي، وبالتالي يُجبِر الماء على اتّباع الممرّين الآخرين باتّجاه واحد نحو الأسطوانة الوعائية (شكل 33).



(ب) معظم الماء الذي يدخل الجذور ينتقل عبر ممرّ خارج خلوي. عندما يصل الماء إلى البشرة الداخلية، يُجبِرها شريط كاسبر على اتّباع الممرّ الخلوي الجماعي.

(أ) الممرّات الثلاثة لانتقال الماء خلال خلايا الجذور.

(شكل 33)
انتقال الماء والأملاح إلى الأسطوانة الوعائية عبر ثلاثة ممرات

3.1 الضغط الجذري Root Pressure

لماذا تحتاج النبتة إلى آلية فاعلة تُؤمّن تحرّكًا باتّجاه واحد؟ تُتيح هذه الآلية للنبتة تأمين ضغط كافٍ لنقل الماء بعيدًا عن التربة باتّجاه الجذور، ثمّ من البشرة باتّجاه الأسطوانة الوعائية، فصعودًا خلال الخشب في جذور النبتة وساقها. في البداية تُضَخّ شوارد المعادن من التربة إلى البشرة، ثمّ إلى الخلايا الداخلية في القشرة بواسطة النقل النشط. وهذا يُؤمّن الشروط اللازمة لانتقال الماء بالأسموزية باتّجاه واحد من البشرة إلى القشرة، فإلى البشرة الداخلية، ثمّ إلى الأسطوانة الوعائية. يُنتِج انتقال الماء هذا ضغطًا كبيرًا يسمح بدفع الماء داخل الأسطوانة الوعائية باتّجاه الخشب، ثمّ صعودًا خلال الخشب نحو الساق. **يُعتبَر الضغط الجذري Root Pressure نقطة الانطلاق لتحرُّك الماء داخل الجهاز الوعائي.** لكن لا يكفي هذا الضغط لتحريك الماء صعودًا عشرات الأمتار كما في شجر غابات الشجر الأحمر التي يبلغ طولها 90 مترًا. يُظهِر الشكل (34) عرضًا توضيحيًّا لمفهوم ضغط الجذور في جذر نبتة الجزر.

لكي تحصل النباتات على العناصر المعدنية من التربة، تُساعِدها كائنات أخرى. فالكائنات المحلِّلة مثل الفطريات مهمّة للغاية بالنسبة إلى النباتات، لأنها تُحرِّر المركّبات العضوية والعناصر المعدنية من أجسام الكائنات الميتة، ما يجعل هذه الموادّ متاحة للامتصاص بواسطة النباتات.



(شكل 34)
حين يمتصّ الجذر الماء، يدفع الضغط الجذري الماء صعودًا في الأنبوب الزجاجي الذي يُؤدّي دور ساق النبتة وأوراقها.

ففطر الميكوريزا أو الفطر الجذري عبارة عن فطريات خاصّة تعيش في علاقة تكافلية مع جذور بعض النباتات. فتفرز الميكوريزا الأنزيمات الهاضمة التي تُساعِد في تكسير الموادّ العضوية في التربة، وتُحرِّر العناصر المعدنية التي تُصبِح النباتات قادرة على امتصاصها، وفي المقابِل تُؤمِّن النبتة الغذاء كالسكّريات للفطريات.

2. النقل إلى الأعلى في الخشب

Upward Translocation in the Xylem

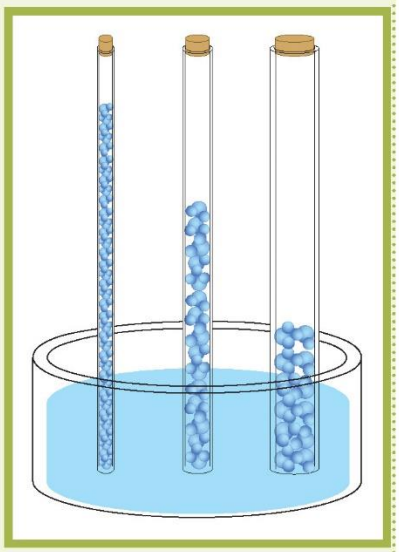
لقد وضّحنا أنّ الضغط الجذري غير كافٍ لنقل الماء والمعادن عاليًا في الساق. تذكَّرْ أنّ الخشب عبارة عن أنابيب خشبية متواصلة من الجذور مرورًا بالساق ووصولًا إلى الأوراق. تُشكِّل هذه الأنابيب نظام نقل مؤلَّف من أنسجة متخصِّصة. بالإضافة إلى الضغط الجذري، هناك قوًى وآليّات أخرى تعمل على سحب الماء صعودًا، وهما الخاصّية الشعرية Capillary Action والنتح Transpiration.

1.2 الخاصّية الشعرية (عمود متواصل من الماء)

Capillary Action(Continuous Column of Water)

يُمكِن تفسير الخاصّية الشعرية بالاعتماد على **نظرية الشدّ والتماسك Cohesion–Tension Theory المسؤولة عن تشكّل عمود الماء المتواصل**. تنطلق هذه النظرية من الخواصّ المميِّزة للماء، وأهمّها التماسك Cohesion بين جزيئات الماء والتلاصق Adhesion بين جزيئات الماء وجدار الأنبوبة (الخشب) أو الإناء الذي يوضَع فيه الماء. بالتالي، إذا وُضِع الماء في أنبوب شعري وأُغلِق طرفاه، لا ينقطع عمود الماء داخل الأنبوب، كما هو موضَّح في الشكل (35).

فإذا ملأنا أنبوبًا زجاجيًّا طويلًا مفتوح الطرفين بالماء، ثمّ ثبّتنا على طرفه العلوي إسفنجة مبلَّلة بالماء، وغمّسنا طرفه السفلي في كأس فيه ماء، نُلاحِظ وجود اتّصال مستمرّ بين كلّ من الإسفنجة والأنبوب الزجاجي والكأس، من دون أيّ انقطاع لاتّصال الماء في هذا النظام. كيف يكون ممكنًا دفع الماء في الأنبوب الزجاجي من دون أن يحدث انقطاع لعمود الماء؟ كيف يندفع عمود الماء إلى أعلى على جدار الأنبوب الزجاجي بالرغم من أنّ عمود الماء هذا يخضع لتأثير شدّ الجاذبية والاحتكاك بجدر الأنبوب؟ يُمكِن أن تُفسِّر صفات الماء التماسكية والتلاصقية استمرارية وجود عمود الماء داخل الأنبوب من دون انقطاع. لكن علامَ يعتمد تحرّك الماء هذا؟ إنّ أيّ فقدان للماء عن طريق تبخّر ماء الإسفنجة يسحب مكانه ماء من الأنبوب الزجاجي الذي يسحب بدوره ماء من الكأس. وبالتالي، إنّ معدَّل صعود الماء في الأنبوب الزجاجي يتناسب طرديًّا مع معدَّل تبخّر الماء من الإسفنجة.



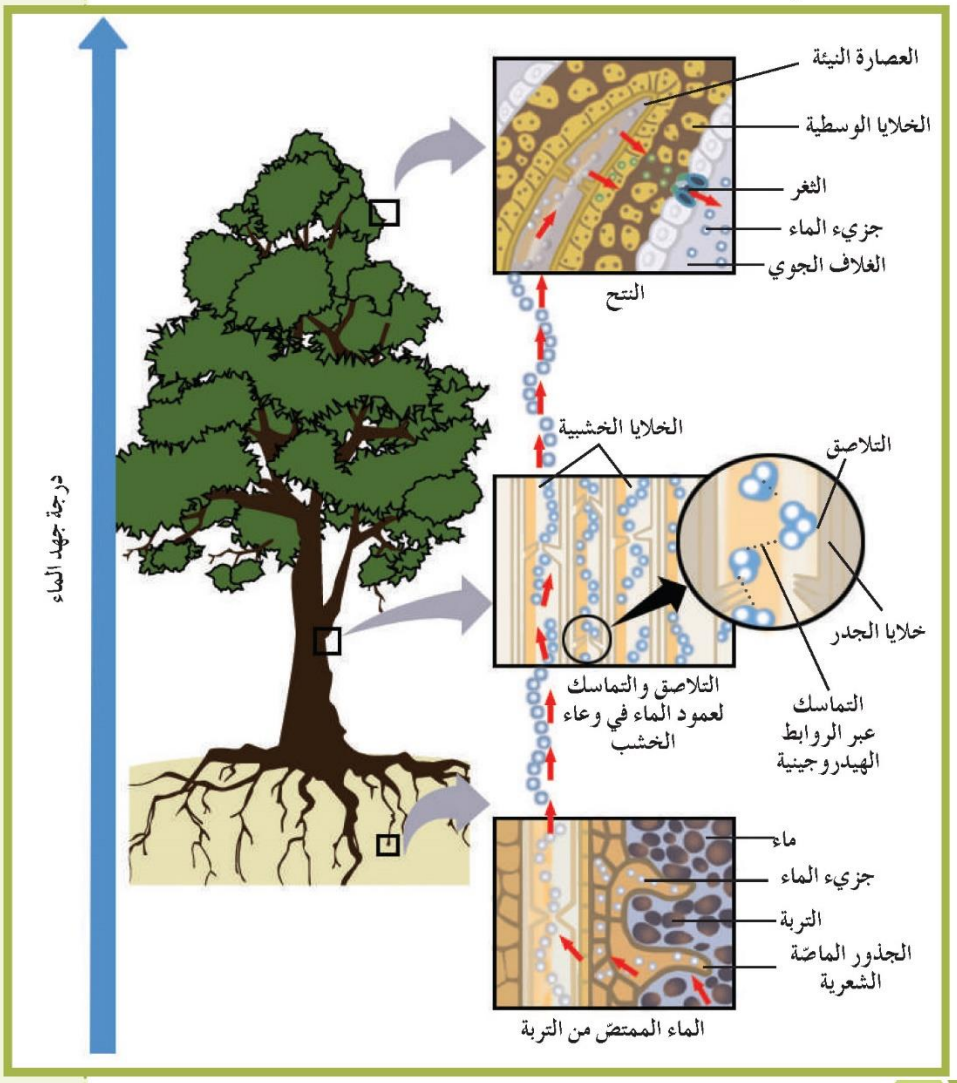
(شكل 35)
الخاصّية الشعرية، وهي نتيجة قدرة جزيئات الماء على الالتصاق بعضها ببعض وبجدر أنبوب ما، تجعل الماء يعلو في أنبوب رفيع أكثر منه في أنبوب عريض. ما الذي يجعل الماء يتحرّك عموديًّا في الأنبوب بعكس الجاذبية؟

يُمكِننا المضاهاة بين هذه الشعيرات الزجاجية، وعلى رأسها الإسفنجة، وبين النبات الذي ينمو في التربة الطبيعية. فيُمكِن أن نُشبّه ماء الكأس بماء التربة، والأنبوبة الشعرية بالخشب الناقل للماء، والإسفنجة بالسطح المبخّر أي النتح في أوراق الأشجار.

ولكن هل تكفي الخاصية الشعرية لتفسير كيفية انتقال الماء من التربة إلى الأجزاء العالية في النبات، بعكس الجاذبية الأرضية وقوى الاحتكاك في جدر الأوعية الخشبية؟ نحن نعلم أنّ الماء لا يصعد إلى أعلى إلّا إذا كان يخضع لقوى شدّ وجذب من أعلى، وقوى دفع من أسفل. لكن في المضاهاة السابقة، لا توجَد قوى دفع من أسفل، وهذا يُبرِّر أنّ صعود الماء يعتمد أساسًا على قوى الجذب والشدّ من أعلى. ما الذي يُشكِّل قوى الجذب والشدّ من أعلى في النباتات؟

2.2 الشدّ النتحي Transpiration Pull

إنّ قوّة جهد الماء الناتجة عن عملية التبخّر والنتح Evapo–transpiration من خلال ثغور الورقة تشدّ وتجذب الماء صعودًا، وهذا ممكن بوجود عمود الماء في وعاء الخشب (شكل 36).



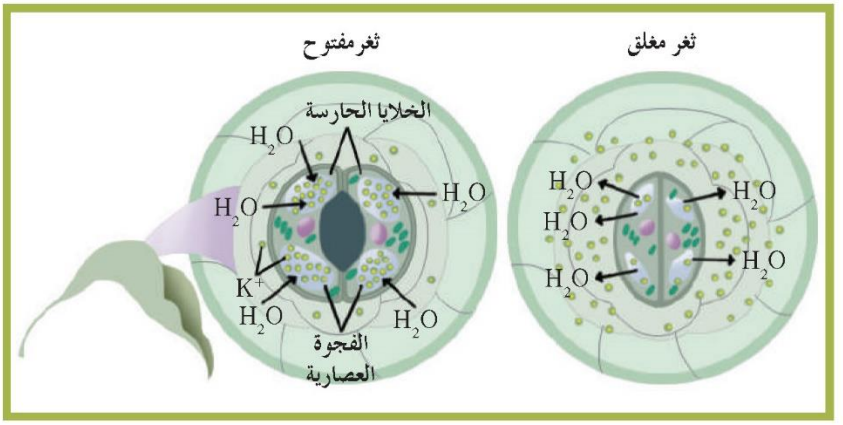
(شكل 36)
يُسبِّب انحدار الجهد المائي من التربة إلى الساق (خلال النبات) فإلى الهواء قوّة الشدّ النتحي. ينتقل الماء من منطقة جهد مائي عالٍ إلى منطقة جهد مائي منخفِض.

إنّ تحرّك الماء الناتج عن خاصّية الماء التماسكية والتلاصقية يُمكِن أن يُفسَّر بجهد الماء. هناك انحدار في جهد الماء من الأكبر جهدًا في التربة إلى الأصغر جهدًا في الهواء. هذا الانحدار في المبدأ يدفع الماء صعودًا في خشب النبتة نحو الغلاف الجوّي.

ومثل القاطرة التي تسحب وراءها مئات العربات، **إنّ تحرّك الماء خارج الأوراق من خلال الثغور خلال عملية التبخّر والنتح يشدّ الماء صعودًا خلال الخشب من الجذور وحتّى من التربة. تُسمّى هذه العملية قوّة الشدّ النتحي Transpiration Pull.** يُؤدّي ازدياد معدَّل النتح في الطقس الجافّ إلى تدنّي الضغط الأسموزي في خلايا النباتات، فتنكمش النباتات وتذبل. وعندما تذبل، تُقفَل الثغور. لماذا؟

3.2 ضبط النتح Controlling Transpiration

هل يُمكِن تفسير إغلاق الثغور وضبطها باستخدام مفهوم جهد الماء؟ تحدث عملية النتح على مستوى الثغور، وتُحفَّز عملية إقفال الثغور وفتحها بوجود الانحدار في جهد الماء بين الخلايا الحارسة والخلايا المحيطة. في المقابل، ينتج هذا الانحدار عن آلية نقل أملاح البوتاسيوم (K^+). يُحفِّز وجود الضوء النقل النشط لأملاح البوتاسيوم عبر قنوات خاصّة في غشاء الخلايا الحارسة الذي يتطلّب وجود طاقة الـ ATP. تتراكم أملاح البوتاسيوم في فجوات الخلايا الحارسة (شكل 37)، ما يُؤدّي إلى انخفاض جهد الماء فيها نسبة إلى جهد الماء في الخلايا المحيطة. وبناء على ذلك، يتحرّك الماء بحسب انحدار جهد الماء من الخلايا المحيطة في البشرة (جهد مائي عالٍ) إلى داخل الخلايا الحارسة (جهد مائي منخفِض) بالأسموزية، ما يُؤدّي إلى انتفاخ الخلايا الحارسة وفتح الثغور. خلال الليل وأثناء غياب الضوء، يحدث العكس وتُقفَل الثغور.



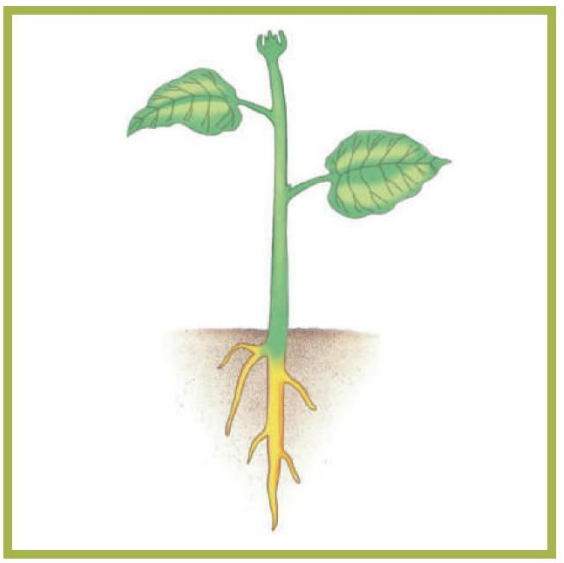
(شكل 37)
انتقال أملاح البوتاسيوم إلى داخل الخلايا الحارسة أو خارجها يُؤثّر على عملية فتح الثغور.

تضمن عملية النتح جذب الماء إلى أعلى قمّة في الشجرة مع الحفاظ على ضبط هذه العملية، في إطار الحفاظ على اتّزان الماء داخل النبتة، وذلك بضبط عملية فتح الثغور وإغلاقها. وكما رأينا، إنّ التحكّم في عملية فتح الثغور وإغلاقها يتأثّر بجهد الماء في الغلاف الجوّي والتربة، أي يعتمد على الظروف البيئية المحيطة بالشجرة. عندما تكون الظروف البيئية صعبة (حارّة وجافّة وتكون سرعة الرياح قويّة)، يزداد معدَّل النتح وتزداد خسارة النبتة للماء. في هذه الحالة، تُقفِل النبتة ثغورها لكي لا تذبل وتموت. في حال وجود كمّية كبيرة من الماء في التربة، بالإضافة إلى أمطار وفيرة وهواء رطب، تفتح النبتة ثغورها ويرتفع معدَّل النتح بشكل لا يُؤثّر على فقدان النبتة لكمّيات كبيرة من الماء.

3. انتقال العصارة الناضجة في اللحاء

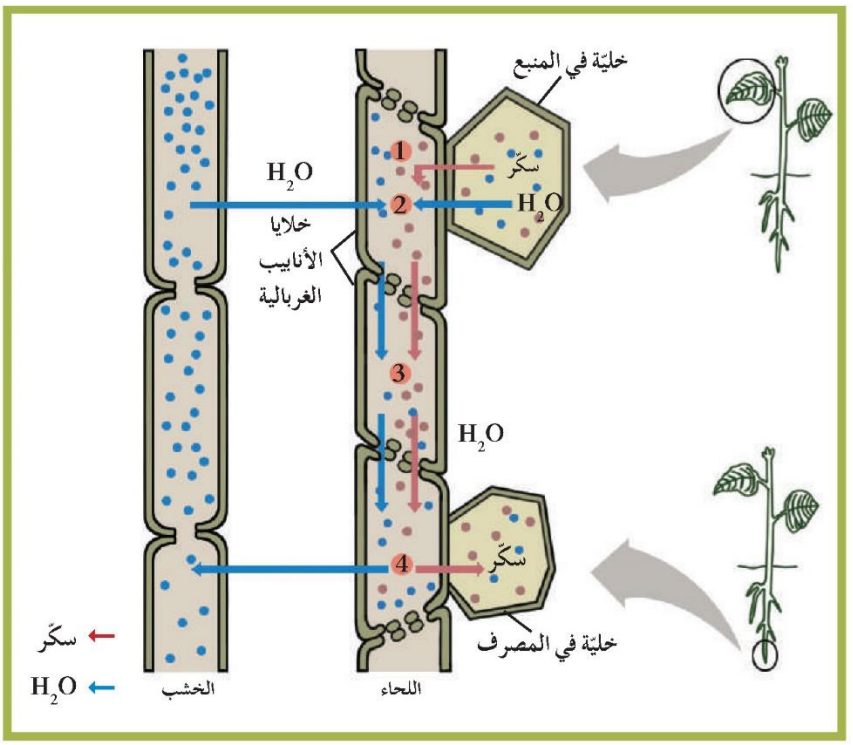
Transportation of the Elaborated Sap in Phloem

يتمّ تحويل السكّر المنتَج خلال عملية البناء الضوئي إلى سكّر ثنائي "السكّروز"، قبل أن يتمّ تحميله في اللحاء ونقله إلى أجزاء النبتة. السكّروز هو الشكل السائد للسكّر الذي ينقله اللحاء. ويُعتبَر نقل هذا المذاب في اللحاء سريعًا (2.5 سم في الدقيقة الواحدة)، لكن ليس بسرعة انتقال العصارة النيئة الصاعدة في الخشب. تتحرّك العصارة الناضجة داخل أنسجة اللحاء صعودًا أو هبوطًا على حدّ سواء. من الممكن نقل السكّروز من مكان صنعه (الورقة) إلى مكان للتخزين (الجذر، الفواكه أو البذور) أو إلى المناطق النشطة بالنموّ، مثل الأنسجة الإنشائية القمّية في قمّة الجذر والساق (شكل 38).



(شكل 38)
جهاز النقل في النبات
الأوراق: تنقل خلايا المنبع في الأوراق السكّريات إلى اللحاء لينقلها إلى باقي أجزاء النبات، في حين تستقبل الماء والمعادن من الخشب. يتبخّر الماء من خلال الثغور في الورقة.
السوق: ينتقل الماء والموادّ الغذائية والسكّريات خلال النسيج الوعائي في السوق إلى جميع أجزاء النبتة.
الجذور: يمتصّ الخشب في جذور النبتة الماء. تستهلك الجذور السكّريات التي وصلت إليها بواسطة اللحاء وتُخزّنها.

وقد فُسِّر انتقال السكّريات على أحسن وجه بواسطة **فرضية التدفّق بالضغط The Pressure–Flow Hypothesis**. **فالسكّريات تُنقَل من منطقة في النبتة تُسمّى المنبع Source إلى منطقة تُسمّى المصرف Sink**. ويُمكِنك تتبّع الخطوات التي تصفها هذه الفرضية في الشكل (39). والمنبع عبارة عن أيّ جزء في النبتة حيث تُنتَج السكّريات عن طريق عملية البناء الضوئي أو عملية تكسّر لجزيئات النشا. أمّا المصرف، فهو الجزء حيث تُستهلَك السكّريات أو يتمّ تخزينها.



(شكل 39)
1. تنتقل السكّريات من خلايا المنبع إلى خلايا الأنابيب الغربالية خلال عملية النقل النشط، فيُصبح تركيز السكّر في اللحاء عاليًا.
2. بسبب التركيز العالي للسكّر في اللحاء، ينتشر الماء إلى داخل خلايا الأنابيب الغربالية رافعًا ضغط الماء.
3. يُسبِّب الضغط تدفّق العصارة (المحلول السكّري) خلال اللحاء.
4. تنتقل السكّريات من اللحاء إلى خلايا المصرف. ينتشر الماء إلى الخشب خافضًا ضغط الماء في اللحاء.

وتُعَدّ أوراق النبتة منابع نموذجية، أمّا الجذور فتُعَدّ مصارف نموذجية. ومن ناحية ثانية، إنّ الجذور التي اختُزِنت فيها السكّريات يُمكِن أن تعمل كمنبع أيضًا. أين المصارف في نبتة البطاطا؟

في درنة البطاطا

في بداية العملية، تُضَخّ السكّريات بالنقل النشط من المنبع إلى الأنابيب الغربالية، ثمّ يدخل الماء إلى خلايا الأنابيب الغربالية بحسب انحدار الجهد المائي في الخشب بالأسموزية رافعًا ضغط الماء. يتحرّك كلّ من الماء والسكّريات إلى أسفل بحسب منحدر (أو تدرّج) التركيز.

وفي النهاية، تنتقل السكّريات من الأنابيب الغربالية إلى خلايا المصرف بالنقل النشط، ويترك الماء الأنابيب الغربالية إلى الخشب بالأسموزية.

يجب أن تتوفّر الطاقة لكي تتمّ عملية ضخّ السكّريات إلى داخل الأنابيب الغربالية، وإلى خارجها في بعض الأحيان. ومن اللازم أن تكون خلايا الأنابيب الغربالية في اللحاء حيّة لكي تُؤدّي وظيفتها، لأنّ الخلايا الحيّة فقط يُمكِنها أن تُوفِّر الطاقة اللازمة لعملية النقل النشط.

تتحرّك السكّريات خلال النباتات بشكل أبطأ من سرعة تحرّك الماء. ويبلغ أسرع معدَّل للنقل باللحاء حوالي 2 متر في الساعة. عند هذه السرعة، كم من الوقت تستغرق السكّريات لكي تنتقل إلى أسفل خلال جذع شجرة طوله 30 مترًا؟

مراجعة الدرس 1-3

1. لماذا تكون الخاصّية الشعرية غير كافية لانتقال الماء صعودًا داخل النبتة؟
2. صِفْ الآليّات التي تستخدمها النباتات للحصول على الماء والمغذّيات ولنقل السكّريات.
3. **سؤال للتفكير الناقد:** لماذا يكون نقل الماء في النباتات أسرع في الظهيرة وأبطأ في الليل؟ ما العوامل البيئية التي قد تُؤثّر في ذلك؟
4. **أضِف إلى معلوماتك:** كيف يُؤثّر منحدر (أو تدرّج) التركيز على الأسموزية؟

ج1: لا يؤمّن الفعل الشعري القوّة الكافية لدفع الماء صعودًا إلى أعلى الشجر المرتفع

ج2: فقدان الماء خلال عملية النتح في الأوراق يولد ضغطا سالبًا في خشب الجذر دافعًا الماء والموادّ الغذائية الذائبة لأعلى خلال خلايا نسيج الخشب الجوفاء. يقل السكر المصنّع في الأوراق بواسطة النقل النشط خلال اللحاء إلى مكان استخدامه

ج3: خلال الظهيرة يكون ضوء الشمس أقوى من وقت الليل؛ وبذلك تنشط عملية البناء الضوئي التي تستلزم الماء إضافة إلى ضوء الشمس، لذلك يكون نقل الماء أسرع في الظهيرة، العوامل البيئية التي تؤثر في عملية البناء الضوئي هي ضوء الشمس، الماء ودرجة الحرارة

ج4: خلال الأسموزية؛ تتحرّك السوائل من منطقة منخفضة التركيز في الموادّ الذائبة إلى منطقة عالية التركيز في الذائبة