فسلجـــة النـبـات Plant physiology

إعداد: د. أنـــس منـيـر تـوفـيـق

كـلـيـة الزراعـة/جـامعـة تـكـريـت

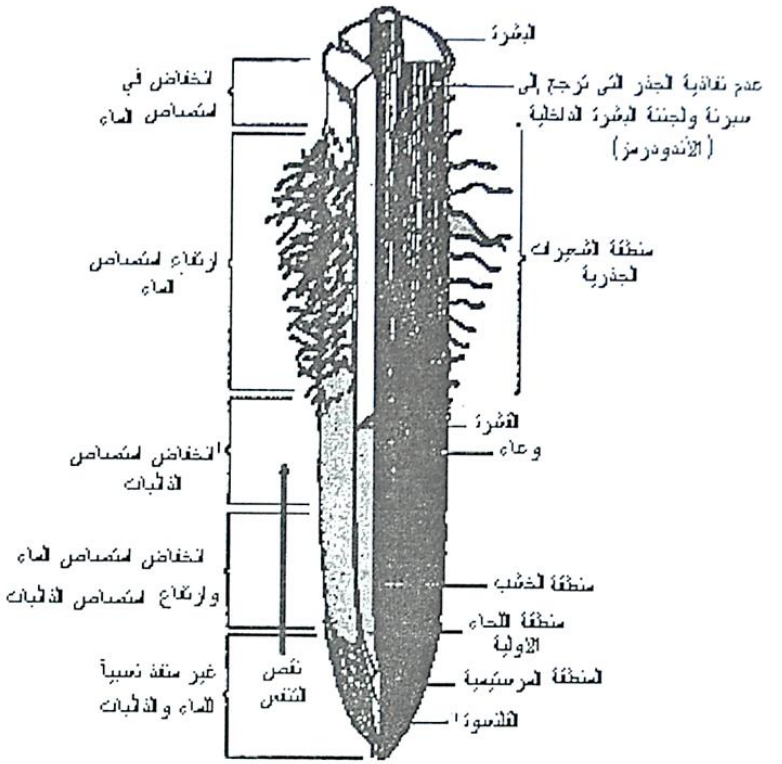
امتصاص الماء Water absorption

علاقة النبات بالبيئة المحيطة به ومايتعلق منها بالماء من حيث حركة الماء وانتقاله تشمل:

١- الامتصاص Absorption ٢- النقل Translocation

٣- النتح Transpiration ٤- العزل او الافراز Elimination

يحتاج النبات للتربة الّتي تزوده بالماء والعناصر الغذائية المهمة من خلال الجذور الّتي تكون في الوضع الطبيعي داخل التربة. تعد منطقة الشعيرات الجذرية المسؤولة عن امتصاص الماء كونها خالية من المواد الشمعية والكيوتين والسوبرين. ان معدل امتصاص المغذيات يقل كلما ابتعدنا عن طرف الجذر وان الماء يدخل الجذر نتيجة لمنحدر الـ Water Potential ويحدث المنحدر بسبب ازدياد الذائبات في الخلية. ويظهر ان اكثرية الماء ياخذه النبات عن طريق الخاصية الازموزية.



وهنالك آليتان لإمتصاص النباتات للماء وهما كالآتي :

١- الامتصاص السلبي Passive absorption: وفيه يتم سحب الماء إلى أعلى النبات من أسفله ويكون ضغط الماء داخل الساق سالباً.

٢- الامتصاص النشط Active absorption: فيه يتم دفع الماء من قبل الجذر إلى أعلى النبات، بحيث يكون ضغط الماء داخل الساق موجباً.

الامتصاص السلبي Passive absorption

يحدث الامتصاص الحر اثناء تلامس جذور النبات مع محلول التربة او مع دقائق التربة القريبة جداً. ومن صفاته:

١- متعاكس في حال ان الاغشية الخلوية غير معرقلة تماماً لامتصاص الجزيئات، يعتمد بشكل رئيسي على فرق التركيز concentration gradient، كما يعتمد على مساحة المقطع العرضي للغشاء ومعامل النفاذية. ويستمر الامتصاص حتى حدوث التوازن الكيميائي، وبعبارة اخرى فان الامتصاص يتبع قانون Fick الذي ينص:

$$dn_s^i/dt = K_s A (C_s - C_s^i)$$

حيث ان n_s^i هو عدد مولات المادة المذابة والنافذة للخلية

t هو الوقت بالثواني

dn_s^i/dt هو معدل الامتصاص الحر مول\ثانية (معدل سرعة الانتشار)

A هي مساحة المقطع العرضي للغشاء التي عبرت خلاله المادة بالـ سم^2

K_s هو معامل النفاذية سم\ثانية

وان $C_s - C_s^i$ هو فرق تركيز المادة المذابة بين خارج وداخل الخلية بالـ مول\سم^3 ويمثل القوة الدافعة لحركة الجزيئات.

٢- لايحتاج الامتصاص الحر الى صرف طاقة حيوية لنقل الايونات

٣- يحدث الامتصاص الحر في الفراغ الحر او الفراغ الخارجي المتمثل بجداران الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا.

٤- الامتصاص الحر يكون غير متخصص، فمثلا بالنسبة للايونات؛ قد تكون متنوعة كأن تكون سالبة وموجبة احادية او ثنائية او ثلاثية الشحنة لايونات عناصر ضرورية وغير ضرورية لنمو النبات او حتى قد تكون سامة.

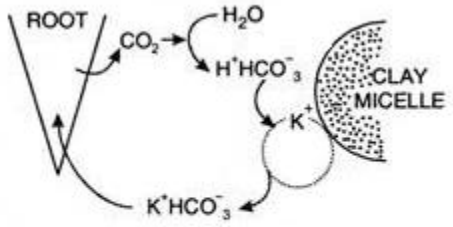
ويحدث الامتصاص الحر بعدة طرق منها:

١- الانتشار Diffusion :وهي الانتقال حسب اختلاف التركيز من التركيز الاعلى الى التركيز الاقل.

٢- التبادل الايوني : ومن حالاته هي تفاعل CO_2 الذي تطلقه الجذور الى التربة مع ماء التربة

$$H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3$$

مكوناً حامض الكاربونيك الذي يتفاعل مع الايونات الموجبة وينقلها الى داخل الجذور.



the carbonic acid exchange theory.

٣- الجريان الكتلي Mass flow: كما هو معروف ان احدى العمليات التي تجري في النبات هي النتح Transpiration والتي تنتج ضغط على الجذور Transpiration pull نتيجة تبخر الماء من الثغور وزيادة الضغط الازموزي وقلة الضغط الانتفاخي في خلايا الورقة فيصبح الـ water potential لخلايا الورقة اكثر سالبية فتمتصخلايا الورقة الماء من الخلايا المجاورة التي بدورها تمتص من التي تجاورها وهكذا حتى خلايا الجذور فمحلول التربة ليدخل داخل النبات. علما ان تأثير النتح يعتبر غير مباشر. وقد تؤثر العمليات الحيوية نفس تأثير النتح من ناحية انتصاص الماء الذي يدخل في تفاعلاتها الا ان كمية الماء في هذه الحالة تكون قليلة جدا مقارنة بكمية الماء المفقود في النتح.

الأمتصاص النشط Active absorption

تعتبر هذه العملية من العمليات الفسيولوجية المهمة التي تجري في الاغشية الخلوية النباتية كغشاء البلازما وغشاء الفجوة tonoplast واغشية الاجزاء الخلوية organelle كأغشية المايتوكوندريا والكلوروبلاست والنواة المزدوجة، وتعتبر الفجوة هي المكان المناسب لتجمع ايونات العناصر الغذائية السالبة والموجبة في محاليلها وبكميات متكافئة كهربائياً. ويمتاز الامتصاص النشط بعدة خصائص اهمها:-

١- نظراً لان الامتصاص النشط عملية حيوية، لذا فهي تقل بانخفاض نسبة الاوكسجين او في الظلام او بارتفاع وانخفاض درجة الحرارة الشديدين او وجود المواد المثبطة والسامة.

٢- اختياري غير متعاكس حيث يوجد نوع من التخصص بالنسبة للايونات الداخلة للخلية.

٣- ان الامتصاص النشط يحتاج لصرف طاقة حيوية لغرض دفع او ضخ الايونات الى داخل الخلية او لغرض تجمع الايونات ومنع خروجها من الخلية، وان كمية هذه الطاقة يمكن تخمينها من المعادلة التالية:- $\Delta G = 2.303\ RT\ log(C_2/C_1)$

حيث ان **ΔG** هي الطاقة الحرة اللازمة لضخ الايونات الى الخلية وحفظها في داخل الخلية بوحدة cal/mole

R هو معامل الغاز الثابت والذي يساوي **١.٩٨٧** cal/mole.degree

T درجة الحرارة المطلقة (**٢٧٣**+درجة الحرارة)

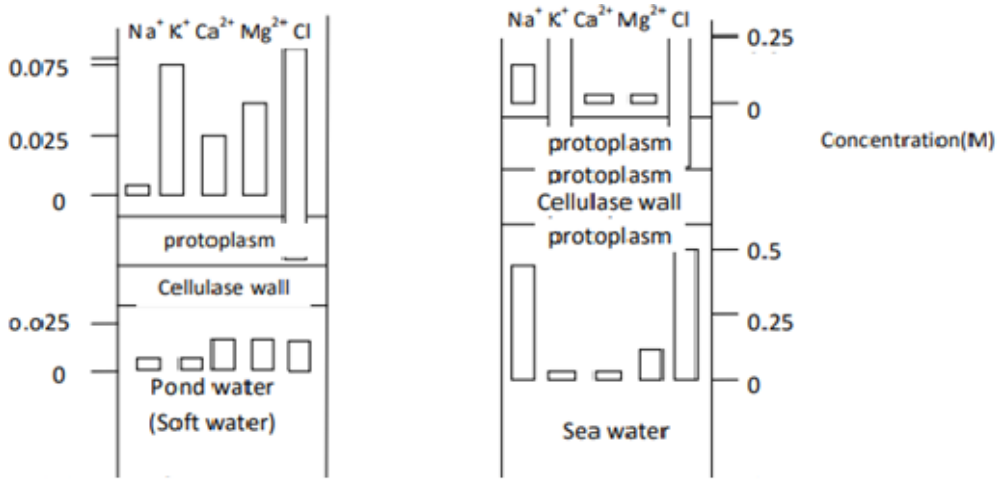
ln هو اللوغارتم الطبيعي ويساوي **٢.٣**

$\mathbf{C_2}$, $\mathbf{C_1}$ تركيز الايونات داخل وخارج الخلية على التوالي بوحدة mol/liter

٤- سريع جداً ويحدث عكس منحدر التركيز في الجزء الداخلي للخلية والذي يشمل مختلف الاغشية الخلوية والسايتوبلازم والفجوة.

٥- توجد علاقة مع فعالية الخلية حيث يمتاز بتجميع الايونات داخل الخلية اكثر او اقل مما موجود خارجها او في الفراغ الحر. ويمكن الاستدلال على الامتصاص النشط من خلال تراكم ايونات معينة في بعض انواع الاعشاب البحرية والطحالب والتي تكون اعلى او اقل بكثير من

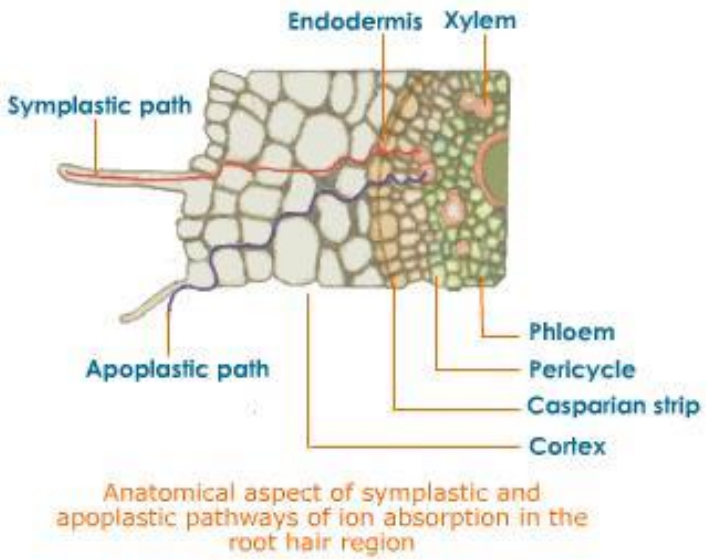
تركيز ذلك الايون في الوسط الذي يحيط به مثل ايوني K^+ in Nitella و Na^+ in Valonia alga



تركيز الأيونات في فجوة كل من Nitella و Valonia وعلاقتها بتراكيز الأيونات في الوسط الخارجي

امتصاص الماء النشط يتعلق بميكانيكية ازموزية للجذر واخرى غير ازموزية.

١- امتصاص الماء النشط بالميكانيكية الازموزية. بهذ الطريقة يحتاج الى صرف طاقة حيوية بل تحرك الماء يتم بفعل وجود منحدر الـ water potential باتجاه الخلية حيث يجري الماء باتجاه البشرة ثم القشرة ثم القنوات الخشبية بسب ازدياد تركيز الذائبات كلما اتجهنا الى الخلايا الداخلية للجذر. ان الماء يمر من البشرة ثم القشرة ثم القشرة الخارجية ثم الدائرة المحيطة ثم الاوعية الخشبية. ولايعرف بالظبط كيف يمر الماء بصورف عرضية من البشرة حتى الانسجة الخشبية، فهل يسير داخل المسافات البينية او جدران الخلايا او خلال السايتوبلازم او الفجوات.



Anatomical aspect of symplastic and apoplastic pathways of ion absorption in the root hair region

وبما ان الحركة خلال المسافات البينية قليلة الاحتمال بسبب احتوائها على الهواء لذا يعتقد ان طريقة مرور الماء عرضياً من البشرة حتى الخشب قد يكون باحدى الطرق :-

١ - خلال الجدار السليلوزي فقط .

٢ - خلال الجدار السليلوزي والسايتوبلازم دون المرور بالفجوة.

٣ - خلال القشرة ،اي مارة بجدار الخلية ثم السايتوبلازم ثم الفجوة.

الفراغ الحر Free Space or Outer Space Concept

هو الفراغ الموجود في الخلايا والذي تنتقل اليه المواد بطريقة حرة و تشمل جدران الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا وألاوعية والقصيبات الخشبية.

نظرية انظمة الـ Apoplast - Symplast

ان النظام المتصل بين جدران الخلايا والمسافات البينية والاوعية القصبية المملوءة بالماء او الهواء يمكن ان تكون نظاما واحداً يسمىApoplast . اما السايتوبلازم والقنوات السايتوبلازمية التي تربط الخلايا فتشكل نظاما متواصلا لنقل الماء والمواد المذابة ويطلق على هذه النظام بـ Symplast.

الاستنتاجات المبنية على قوانين Fick تؤكد فكرة حركة الماء خلال الـ apoplast بانها الممر المهم لحركة الماء في النبات. اما حركة الماء خلال القشرة الداخلية فان وجود شريط كاسبر المكون من اللگـنين والسوبرين في جدران الخلايا يجعل من الصعب حركة الماء خلال الجدار الخلوي. كما انه ايضا تصعب الحركة الى السايتوبلازم بسبب مقاومة السايتوبلازم بسبب نشاط الحركة الانسيابية للسايتوبلازم وكثرة العضيات. وعليه افترض حدوث حركة الماء خلال السايتوبلازم والفجوة.

٢ .امتصاص الماء المعتمد على الطاقة وليس على الازموزية

يرى البعض ان الماء يدخل الى الخلايا ضد منحدر الطاقة الكامنة للماء وان ذلك يتطلب ضخاً حيوياً وصرف طاقة قد تأتي من التنفس. اما الادلة على امتصاص الماء حيوياً فهي:

أ- القيم الازموزية المستحصل عليها من الانسجة الحية اقل من تلك للانسجة الميتة.

ب- يمكن تثبيط امتصاص الماء بمثبطات التنفس.

العوامل المؤثرة على امتصاص الماء

يمكن تقسيم العوامل المؤثرة على امتصاص الماء الى:

أ - عوامل التربة :

١- توفر الماء

ان الماء المتوفر للنبات هو الماء الذي تحتويه التربة بين السعة الحقلية ونقطة الذبول و تعتمد كمية الماء المتوفرة على تركيب التربة وعموما تكون هذه الكمية كبيرة في التربة الثقيلة وقليلة في التربة الرملية. والجهد المائي لماء التربة عند السعة الحقلية يساوي سالب ١ / ٣ بار تقريبا و يقل هذا الجهد كلما قلت نسبة الماء في التربة وذلك لزيادة شد الماء والتصاقه بحبيبات التربة. ويقل امتصاص الماء كلما قل الماء عن السعة الحقلية .

٢- درجة الحرارة :

يلاحظ أن النبات يمتص كمية قليلة من الماء عند درجات حرارة التربة المنخفضة ويرجع ذلك لعدة عوامل منها قلة نمو الجذور و تفرعاتها، انخفاض سرعة حركة الماء من التربة الى الجذر، زيادة مقاومة الجذور، حيث تقل نفاذية أغلفة خلايا الجذور و تزداد لزوجة البرتوبلازم. كما تزداد لزوجة الماء في درجات الحرارة المنخفضة حيث تصل الى الضعف عندما تقل درجة الحرارة من ٢٥ مئوية الى الصفر. ويقل امتصاص العناصر والأيونات المختلفة عندما تقل درجة الحرارة فيقل دخول الماء بفرق الأزموزية .

٣- التهوية :

تزداد سرعة امتصاص الماء في التربة جيدة الصرف حيث أن قلة تركيز الأوكسجين وزيادة تركيز CO_2 يؤدي الى زيادة مقاومة الجذور لدخول الماء للأسباب التالية:-

- تزداد لزوجة البرتوبلازم و تقل نفاذية الغشاء الخلوي لزيادة تركيز CO_2 .
- قلة التفرعات الجذرية والنمو الجذري .
- تقل فاعلية الخلايا الجذرية فيقل الضغط الجذري .

٤- تركيز محلول التربة :

تمتص الجذور الماء نتيجة فرق الجهد بين التربة والجذر. والجهد المائي لماء التربة هو محصلة الجهد الازموزي لمحلول التربة والجهد الحبيبي الناتج من جذب حبيبات التربة للماء. وعليه فزيادة تركيز محلول التربة تعني قلة الجهد الازموزي وقلة الجهد المائي الكلي لمحلول التربة وبالتالي قلة حركة الماء باتجاه الجذر و صعوبة امتصاصه. ان سرعة دخول الماء الي الجذر تعتمد علي فرق الجهد بين التربة و الجذر ،وهو ما يسمي بانحدار الجهد G و كلما كان هذا الفرق كبيرا زادت سرعة الامتصاص (في حدود معينة). و يتوقف الماء عن الدخول إذا تساوى الجهد المائي للتربة مع الجهد المائي للجذر و قد يتحرك الماء من الجذر الي التربة إذا زاد الجهد المائي للجذر عن الجهد المائي للتربة و هذا ما يحدث عند ري النباتات بمحلول ملحي مركز.

و تسبب إضافة الأسمدة أحيانا قلة امتصاص الماء و ظهور علامات الذبول على الأوراق وذلك لزيادة تركيز الأيونات وقلة الجهد الازموزي لمحلول التربة. وهذا الانخفاض في الجهد الازموزي الناتج عن إضافة الأملاح نادر الحدوث في الحقل وإذا حدث فانه يكون في طبقة التربة السطحية بعد وضع السماد مباشرة فالأيونات المذابة سوف تنتشر بسرعة في محلول التربة. إلا أن ظاهرة ذبول النباتات المزروعة في الأصص بعد إضافة الأسمدة أمر مألوف. بالإضافة الي تأثير الأملاح في تقليل الجهد الازموزي فأنها تسبب قلة امتصاص الماء نتيجة التأثير المباشر على خلايا الجذور من الأيونات المؤثرة K^+ , SO_4, Cl^- حيث تؤثر هذه الأيونات على فعالية خلايا الجذور كما قد تؤثر هذه الأيونات في غلق الثغور وعملية البناء الضوئي .

٥-التوصيل المائي للتربة (التوصيل الهيدروليكي):

تختلف سرعة حركة الماء في التربة باختلاف نوع التربة فالتوصيل الرطوبي للتربة الرملية أقل من التوصيل الرطوبي للتربة الطينية. و تؤثر حركة الماء في التربة على سرعة إمداد الجذور بالماء من مناطق بعيدة بعد نفاذها من محيط الجذر. و حركة الماء باتجاه الجذور تتم نتيجة فرق الجهد فالجذر يمتص الماء من حبيبات التربة القريبة منه فيقل جهدها المائي فيندفع الماء من مناطق التربة المجاورة و نتيجة لامتصاص الماء من قبل الجذور، ومقاومة التربة تنشأ حول الجذر مناطق مدرجة الجهد وعمق هذه المسافة يعتمد على سرعة امتصاص الماء والتوصيل الرطوبي للتربة فكلما كان النتح سريعا والتوصيل الرطوبي بطيئا زاد عمق هذه الطبقة.

أ - عوامل بيئية:

تتناسب كمية الماء الممتصة تناسبا طرديا مع كمية الماء المفقودة بالنتح إذا كانت رطوبة التربة عاملا غير محدد. و من أهم العوامل التى تؤثر على سرعة النتح و بالتالي تلعب دورا هاما في سرعة الامتصاص هي:

١-شدة الإضاءة ٢- درجة حرارة الهواء٣- الرطوبة النسبية ٤- سرعة الرياح

ب - صفات المجموع الجذري :

١ - تعمق الجذور و انتشارها :

تختلف جذور النباتات اختلافا كبيرا من حيث عدد التفرعات وانتشارها والعمق الذي تصل إليه. تمتص جذور النباتات معظم الماء من أطراف الجذور الحديثة النمو ويقل الامتصاص من مناطق الجذور المتصلبة وتزداد أهمية انتشار الجذور وتعمقها في الأراضي ذات التوصيل الرطوبي المنخفض عنها في ذات التوصيل الرطوبي الجيد. و عندما يقل الماء في إحدى مناطق التربة تمتص الجذور الماء بسرعة من مناطق التربة الرطبة لسد النقص. وعموما يمتص الماء من الطبقة السطحية للتربة أولا ثم تدريجيا لاسفل في النباتات الحولية أما في النباتات المعمرة فان امتصاص الماء قد يتم من مناطق مختلفة. و للعمق الذي يصل اليه الجذر تأثير كبير في مقاومة النبات للجفاف، فالنباتات ذات الجذور السطحية تتعرض للجفاف حال نفاذ الماء من الطبقة السطحية كما أنها تعاني من الشد بعد أجراء العزق الذي يؤدي الي قطع تفرعات الجذر السطحية.

٢ - نفاذية الجذر:

حيث أن الجذور تختلف من حيث التركيب فأنها لابد أن تختلف من حيث النفاذية ولما كانت نفاذية أطراف الجذر أكثر من قاعدته فان المجاميع الجذرية ذات العدد الكبير من الأطراف ذات نفاذية عالية كما تختلف النفاذية باختلاف عمر الجذور و الظروف البيئية المحيطة.

٣ - اختلاف فعالية الجذر:

تختلف الجذور في قابلية امتصاصها للأيونات ومقاومتها للظروف البيئية المحيطة وترجع هذه الاختلافات لعوامل وراثية. بعض الجذور ذات قابلية عالية لجمع الأيونات من مناطق التربة المختلفة وتجمع الأيونات في الجذر يساعد على امتصاص الماء النشط ويزيد من فرق الأزموزية بين الجذر ومحلول التربة كما أن الجذور تختلف في مقاومتها للظروف السائدة كما تختلف جذور

النباتات من حيث تأثرها بسرعة التهوية ودرجات الحرارة غير الملائمة، فجذور الصفصاف يمكنها القيام بفعاليتها المختلفة وهي مغمورة بالماء.

٤ ـ صفات المجموع الخضري:

كل صفات المجموع الخضري التي تؤدي لزيادة النتح تؤدي الى زيادة سرعة امتصاص الماء، حيث أن العمليتين مترابطتين تماما. وعموما تزداد سرعة امتصاص الماء كلما زادت نسبة المساحة السطحية للجزء الخضري الى المساحة السطحية للجذور لان المساحة الخضرية تمثل سطح الفقد و معظم الماء الداخل الي النبات يجد طريقه عبر الجذور.

انتقال الماء والعناصر الغذائية في الخشب

ينتقل الماء والعناصر الغذائية من محلول التربة بواسطة الشعيرات الجذرية الى نسيج الخشب من خلال القشرة الداخلية وعبر شريط كاسبر Casparian strip المشبع بالسوبرين من خلال سايتوبلازم الخلايا المتجاورة والمرتبطة بالخيوط السايتوبلازمية plasmodesmata بواسطة طريقة السمبلاست Symplast. ان انسجة الخشب تتكون من مايلي:

أ- الاوعية القصبية Xylem vessels

وتتكون من خلايا طويلة مات بروتوبلازمها عند النضج وذابت جدران اطرافها (منتهياتها) وتثخنت جدرانها الثانوية باللكنين باشكال مختلفة منها الحلقية والحلزونية والشريطية او المنقرة وتوجد فقط في مغطاة البذور وتتراوح اقطارها من ٢٠-٥٠٠ مايكرون حسب نوع النبات.

ب- القصيبات Tracheids

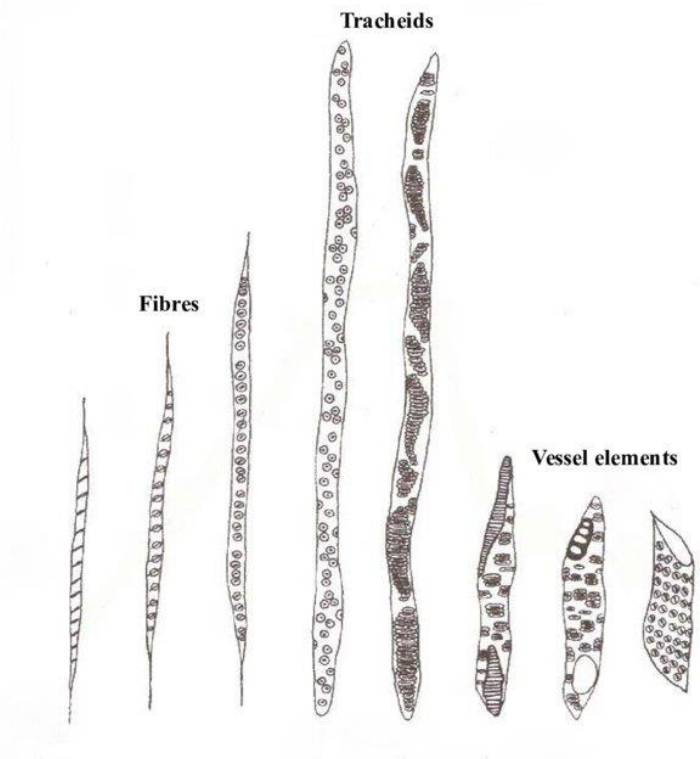
وهي خلايا طولية مدببة الطرفين مات بروتوبلازمها عند النضج وتثخنت جدرانها الثانوية باللكنين باشكال مختلفة منها الحلقية والحلزونية والشبكية او المنقرة ونهايات القصيبات تكون مثقبة بما يشبه الصفيحة المثقبة وباشكال مختلفة منها البسيطة او السلمية او الشبكية وتوجد في مغطاة وعاريات البذور.

جـ- الالياف الخشبية Xylem fibres

وهي خلايا طويلة مستدقة وذات جدران ثانوية مثخنة باللكنين تموت عند نضجها وتؤدي وظيفة تقوية النبات ميكانيكيا وقد ينقل قسم من الماء خلال الالياف.

د- الخلايا الحشوية الخشبية Xylem parenchyma

وهي خلايا حية تنتشر في انسجة الخشب وقد تكون مرتبة بشكل الاشعة xylem rays وتؤدي وظيفة النقل الجانبي للماء والمواد الغذائية وكذلك قد تخزن المواد الغذائية احياناً.



ميكانيكية صعود العصارة الخشبية

هنالك قوى تسبب صعود العصارة الخشبية وهي:

أ- الضغط الجذري Root Pressure

تقع العصارة النباتية تحت تأثير ضغط او قوة دفع تسمى بالضغط الجذري الموجب والذي تقدر قوته بـ ١-٢ ضغط جوي، ويزداد مقدار هذا الضغط في جذور النباتات حتى يصل الى ٧-٨ ضغط جوي. وتنتج هذه القوة عن العملية الازموزية (جهد الماء) الذي يحدث بسبب تجمع الماء في خلايا الجذر والذي يؤدي الى انخفاض جهد الماء في تلك الخلايا مقارنة بمحلول التربة مما يؤدي الى حركة الماء الى داخل الجذر واستمرار حركة الماء الى اعلى النبات. وتعتبر قوة هذا الضغط قليلة وغير كافية لرفع العصارة الخشبية في النباتات التي قد يصل ارتفاعها الى ١٠٠-١٢٠ متر. ويعتمد مقدار او قوة الضغط الجذري على الظروف المنشطة اوالمثبطة للفعاليات

الحيوية للجذور، كتوفر الاوكسجين وارتفاع او انخفاض درجات الحرارة وتوفر المغذيات. ومن الادلة التي تثبت وجود الضغط الجذري الموجب هي:

١- النزف Bleeding or exudation

هو انسياب العصارة الخشبية عند قطع الغصن النباتي او عمل جرح في الغصن النباتي، وخاصة في فترة نشاط النبات كما في وقت الربيع حين تكون الاوراق قليلة على النبات ويكون النتح قليلاً. وان سبب حدوث هذه الحالة هي وجود الضغط الجذري الذي يعمل على دفع العصارة الخشبية من الجذور الى اعلى النبات في الاوعية الخشبية.

٢- الإدماع Guttation

وهي ظاهرة تسرب السوائل على شكل قطرات مائية من الاعضاء النباتية غير المجروحة، وتحدث هذه الظاهرة في الظروف الرطبة والدافئة وخاصة في النباتات الصغيرة الحجم حيث يكون معدل امتصاص الماء اعلى من معدل فقدانه عن طريق النتح. ويحدث الادماع عندما يقوم النبات بافراز الماء من خلال فتحات خاصة في الاعضاء النباتية تسمى بالثغور المائية Hydathodes والتي توجد في نهايات تفرع العروق الخشبية. كما توجد بعض الفتحات في مختلف اعضاء النبات التي تفرز الماء بصورة نشطة، وان الخلايا التي تحيط بالفتحات تشترك في دفع الماء خلال الفتحات وتسمى هذه الخلايا بالغدد المائية water glands او active hydathods. وان الماء المفرز لايكون نقياً بل يحتوي على بعض المواد العضوية وغير العضوية.

ب- سحب النتح Transpiration pull

نتيجة لقوة التماسك والتلاصق بين جزيئات الماء مع بعضها، وبين جزيئات الماء من جهة وجدران الاوعية الخشبية من جهة اخرى؛ يرتفع الماء بشكل اعمدة مائية متصلة داخل الوعاء الخشبي ليصل الى الاوراق. كذلك يعمل الضغط السالب الذي ينتج عن سحب الاوراق للماء نتيجة فقدانه في عملية النتح وانخفاض جهد الماء في الخلايا الورقية مم ايساعد على صعود العصارة الخشبية الى قمة النبات. وقد اختلف العلماء في تقدير قوة الشد الذي يربط اعمدة الماء في الخشب والذي قد يصل الى مايقارب ٢٠٠-٣٠٠ ضغط جوي في الانابيب الشعرية. ويعتمد مقدار قوة الشد على قطر الانبوب الناقل وطبيعة جدران الاوعية الخشبية ومقدار توفر الذائبات في العصارة الخشبية. ومن جهة اخرى يعتقد ان ضغطا جويا واحد يكون كافي لرفع الماء خمسة امتار داخل اوعية الخشب، لذا فان ٣٠ ضغطا جويا يكون كافي لرفع الماء ١٥٠ متر.

لقد وجهت بعض الانتقادات لفرضية سحب النتح منها احتمال انكسار الاعمدة المائية بسبب اهتزاز النبات بالرياح او الامطار او بسبب جرح وانكسار الاغصان والافرع مما يؤدي الى دخول الهواء بشكل فقاعات هوائية الى الاوعية الخشبية معرقلة بذلك ارتفاع العصارة الخشبية. ومع ذلك فان صعود العصارة النباتية لاتتوقف مع تعرض النبات لكل هذه الظروف، مما يدل على وجود الية اخرى مسؤولة عن صعود العصارة في الاوعية الخشبية الى اعلى النبات.

وهناك اراء تفسر استمرار عملية النقل رغم تعرض النبات للاضرار الميكانيكية منها ان فاعات الهواء تذوب في العصارة النباتية او ان العصارة تغير مسارها الى الاوعية الخشبية الجانبية السليمة.

جـ- النقل الجانبي

وهي عملية انتقال مباشر بين الخشب واللحاء اعتماداً على فرق التركيز ومن خلال الكامبيوم وباتجاه واحد. حيث يسمح الكامبيوم بمرور بعض المواد من الخشب الى اللحاء في حال انخفض تركيزها في اللحاء ولكن لايسمح بالحركة العكسية من اللحاء الى الخشب حتى وان انخفض التركيز في الخشب عن ما هو موجود في اللحاء.

الانتقال في اللحاء

تعتبر انسجة اللحاء وكما هو الحال في انسجة الخشب من الانسجة المعقدة وتتكون ممت يلي:

أ- الانابيب المنخلية Sieve tube elements

هي خلايا حية متصلة مع بعضها البعض بواسطة الصفيحة المنخلية، وتمتاز الانابيب المنخلية الناضجة بما يلي:

١- تكون عديمة النواة ٢- تمتلك غشاء بلازما رقيق ٣- قلة عدد المايتوكوندريا مع صغرها ٤- لاتحتوي على غشاء الفجوة Tonoplast مما يؤدي الى امتزاج العصير الخلوي بالسايتوبلازم. ٥- انحلال الشبكة الاندوبلازمية ٦- وجود بعض البلاستيدات ٧- وجود اجسام بروتينية تسمى Slime bodies قرب الصفيحة المنخلية.

٨- وجود ظاهرة الانسياب البروتوبلازمي Streaming في الانبوب المنخلي.

٩- قصر عمر الانبوب المنخلي فقد يعمر لفصل نمو واحد بصورة عامه

١٠-ترسب الكالوس Callose (مادة كاربوهيدراتية) قرب الصفيحة المنخلية اضافه الى تجمع مواد معقدة مثل Tylosides (كاربوهيدرات معقده) والـ lime مسببة غلق الانبوب المنخلي.

ب- الخلايا المرافقة Companion cell

وهي خلايا حشوية حية ترافق الانابيب المنخلية وتمتلك نواة فعالة وتساعد الانبوب المنخلي في نقل المواد الغذائية وتموت عندما يفقد الانبوب المنخلي وظيفته.

جـ- الخلايا الحشوية اللحائية والاشعة اللبية Phloem parenchyma and ray cells

وهي خلايا حشوية حية تقوم بالوظائف الاتية:

١- خزن المواد الغذائية.

٢ - نقل المواد الغذائية جانبا.

٣ - تجهيز الطاقة لضخ المغذيات في الانابيب المنخلية من منطقة انتاج المغذيات sources الى منطقة استغلال المغذيات sinks.

د- الياف اللحاء Phloem Fibers وانسجة الـ Sclereids

وهي انسجه ميته تقوم بوظيفه اسناد انسجة اللحاء ميكانيكيا . ومما يجدر ذكره بان العلماء المهتمين بتشريح النبات قد لاحظوا خلايا تسمى بـ Teansfer والتي تحتوي على مايسمى بالجهاز الجداري للخليه بـ cell wall apparatus والذي يزيد من الاسطح الخاصه بالانتقال.

إتجاه حركة النقل اللحائي

ان اتجاه حركة المواد الغذائية العضوية او غير العضوية في اللحاء تكون باتجاهين bidirectional (نحو الاعلى acropetal ونحو الاسفل basepetal). وان الحركة في الاتجاهين تتم في وغائين منخليين مختلفين في نفس الوقت. وتحدث الحركة من المصدر (منج المواد الغذائية source) الى المصرف (مستهلك المواد الغذائية sink) بغظ النظر عن موقع ونوعية المصدر او المصرف. وقد يكون المصرف احد الاجزاء التالية:

١- البذرة مثل بذرة الفاصوليا ٢- الدرنة مثل درنة البطاطا ٣- الجذر مثل جذر الجزر
٤- الكورمة مثل كورمة القلقاس ٥- البصلة مثل نبات البصل ٦- الورقة التي تقوم بعملية التركيب الضوئي

اما المصرق sink فقد يكون احد الانواع التالية:

١- الورقة الفتية الناشئة ٢- البراعم الفتية الناشئة ٣- الزهرة الفتية الناشئة
٤- الثمرة الفتية الناشئة ٥- البذرة الفتية الناشئة ٦- الجذور الفتية الناشئة
٧- الدرنة الفتية الناشئة ٨- البصلة الفتية الناشئة ٩- الكورمة الفتية الناشئة

العوامل المؤثرة في النقل اللحائي:

١- درجة الحرارة Temperature: تؤثر درجة الحرارة على العمليات الفسلجية المتعلقة بالنقل اللحائي كالتركيب الضوئي وتحرير الطاقة بالتنفس.

٢- الاوكسجين O_2: ان قلة الاوكسجين تسبب قلة انتاج الطاقة لذلك فإن قلة الاوكسجين تقلل من عملية النقل اللحائي.

٣- الضوء Light: يزداد التركيب الضوئي بزيادة شدة الضوء وتتكون المادة العضوية. اما النقل اللحائي للمواد العضوية فيكون نحو الاعلى في الضوء، ونحو الجذور في الظلام.

٤- المواد المثبطة Inhibitors: بعض المواد المثبطة مثل Dinitro phenol DNP و iodoacetate تعرقل عملية النقل، حيث يكون تأثيرها إما على العمليات الحيوية في الانسجة اللحائية الناقلة او على العمليات الحيوية النتعلقة بالاماكن المنتجة للغذاء او الاماكن المستهلكة.

٥- انحدار التركيزConcentration gradient: حيث يكون انتقال المغذيات من المنطقة ذات التركيز العالي للسكريات والمواد الذائبة الى المنطقة ذات التركيز الاقل.

٦- نقص المغذيات Lack of nutrients: لم يتضح بشكل كبير تأثير نقص العناصر الغذائية المباشر على النقل اللحائي ما عدا البورون الذي يكون مركبا معقدا قابلا للتأين ويستطيع اختراق الاغشية الخلوية بسهولة مقارنة بالسكروز غير المرتبط بالبورون. وكذلك وجد ان نقص الفسفور يقلل من نقل بعض المركبات الفوسفاتية العضوية في المجرى اللحائي.

٧- الهرمونات النباتية Plant hormones: مثل السايتوكاينين والجبرلين والاوكسين.

ميكانيكية انتقال العصارة اللحائية

لقد وضعت عدة فرضيات لتفسير ميكانيكية انتقال العصارة اللحائية ولاتوجد فرضية واحدة تقدم الادلة الكافية لكيفية سريان العصارة اللحائية، ومن اهم الفرضيات المعروفة:

١- فرضية النقل الكتلي Mass flow:

افترض هذه الفرضية العالم الالماني Munch ١٩٣٠ وتقول بان الضغط الانتفاخي يزداد في خلايا الورقة الحشوية المنتجة للمواد الغذائية (المصدر) في حين يقل هذا الضغط في بقية الانسجة المستهلكة كالجذور. لذلك تسير العصارة اللحائية من المصدر الى المصرف.

تعتمد هذه الفرضية على الادلة التالية:

أ- النزف او النضح عند قطع الساق، حيث ظهر انه عند جرح اللحاء فان العصارة اللحائية تنزف بما يقارب ١-١٠ لتر من العصارة اللحائية حسب نوع النبات.

ب- انحدار التركيز بين المصدر والمصرف، حيث يوجد فرق في تركيز المحاليل بين انسجة المصدر وانسجة المصرف ، اي وجود منحدر في الضغط الانتفاخي والضغط الازموزي وتبين ان الضغط الازموزي والانتفاخي يكونان عاليين في الاوراق (المصدر) وقد يقارب ٣٠ ضغط جوي في حين يكون الضغط واطئٌ في اماكن الاستهلاك كالجذور ويقارب ١ ضغط جوي.

جـ- الوسط المحيط المخفف مقارنة بالعصارة اللحائية والذي يوجد في انسجة الخشب.

د- وجود النظام المتواصل بين المصدر والمصرف، حيث ان النظام المتواصل يمثل الانابيب المنخلية. الا ان عصارة الانابيب المنخلية تكون لزجة وقليلة الحركة اضافة لوجود الصفائح المنخلية المثقبة بثقوب صغيرة جداً.

هـ- سرعة حركة النقل اللحائي والتي يجب ان تكون كافية لغرض تجهيز الانسجة النباتية بالمواد الغذائية في الوقت المناسب.

هذا وقد وجهت بعض الانتقادات لفرضية النقل الكتلي منها ان النقل في اللحاء يتوقف بوجود المواد السامة والمثبطة مما يعني ان عملية النقل اللحائي تعتمد على عمليات فسيولوجية حيوية بصورة رئيسية وليس على مجرد وجود فرق في الضغط الازموزي والانتفاخي بين المصدر والمصرف. كما ان المواد الذائبة في اللحاء تسير باتجاهين متضادين نحو الاعلى والاخر للاسفل مما يعرقل سير حركة العصارة اللحائية. الا ان الفرضية تفترض ان النقل يتم في وعائين منخليين مختلفين احدهما تتحرك فيه علوياً والاخر سفلياً في نفس الوقت وفي نفس الحزمة الوعائية.

٢- فرضية الانسياب السايتوبلازمي Cytoplasmic Streaming:

افترض العالم Devries ١٨٨٥ ومن بعده العالم Curtis بأن انساب سايتوبلازم خلايا اللحاء ومعه المواد المذابة يسير من خلايا منخلية الى اخرى وفي سريان دوري، وان النقل يحدث في كلا الاتجاهينونفس الوعاء المنخلي وفي نفس الوقت. ومما يؤيد هذه الفرضية هو تعثر انتقال العصارة اللحائية تحت الظروف التي تقلل الانسياب السايتوبلازمي كارتفاع درجة الحرارة او انخفاضها الشديدين او وجود المواد المثبطة والسامة. اما نقاط الضعف في هذه الفرضية فهي:

أ- ان حركة الانسياب السايتوبلازمي والمواد المذابة فيه تحتاج الى سايتوبلازم فاعل، وبما ان الانابيب المنخلية تكون عديمة النواة، لذا فان السايتوبلازم يعد غير فاعل من الناحية الفسيولوجية.
ب- عدم كفاية سرعة الحركة العصارية اللحائية المحسوبة بفرضية الانسياب السايتوبلازمي والبالغة (١٠-١٥ سم /ساعة) مقارنة بسرعة الحركة المحسوبة بفرضية الجريان الكتلي والابلغة (١٠٠سم/ساعة).
جـ- لم تنجح الدراسات كثيرا في اثبات وجود الانسياب السايتوبلازمي في الاوعية المنخلية الناضجة.

وتجدر الاشارة الى ان هناك مايسمى بالحركة في الاتجاهين الاعلى والاسفل داخل نفس الانبوب المنخلي، وهي الحركة الاساسية في ميكانيكية الانتقال.