العصارة الصاعدة في الخشب

Xylem Translocation / The Ascent of Sap

تسمى العملية التي يتحرك فيها الماء والمغذيات خلال النبات إلى الاعلى بالنسغ الصاعد .الانسجة الخشبية هي التي تقوم بنقل الماء . في النباتات المعمرة تفقد الاجزاء القديمة من الخشب وظيفة النقل بسبب امتلاء الاوعية بالفقاعات الهوائية او ترسب المواد الكربوهيدراتية المعقدة مثل Gum /Resins /Tyloses ولهذا يجري الماء وما فيه من ذائبات في انسجة جديدة .

مسلك الماء من التربة الى أعلى النبات

خلايا البشرة والشعيرات الجذرية تمتص الماء والمواد الذائبة فيه ثم يمر الماء عرضيا خلال القشرة الحشوية غير المتراصة بعملية حرة او حيوية حتى الوصول الى القشرة الداخلية (endodermis) والمرتبة خلاياها بشكل اسطواني والحاوية على طبقة شريطية هي الشريط الكاسبري والذي يوصف بانه صلب غير قابل للنفوذ ومحتوى على مادة السوبرين ولهذا يصبح لزاما على المواد المارة ان تمر عن طريق البروتوبلازم لخلايا القشرة الداخلية بالحركة المسماة Symplastic movement .

تم تاتي الاسطوانة المركزية في الجذر (Stele) واولها الدائرة المحيطية بعدها يصل الماء والمغذيات الى الاوعية الخشبية (القصيبات) في الجذر .

نتيجة لاتصال خشب الجذر بخشب الساق لذا يتحرك الماء في خشب الساق عموديا للاعلى بسبب قوة سحب النتح وبمساعدة التماسك والتلاصق حتى خشب الفروع ثم شبكة الفروع الناقلة واخيرا العروق الدقيقة في الاوراق .

بعدها يتحرك الماء الى العديد من الحزم الوعائية المبعثرة في النسيج المتوسط واخيرا العروق الدقيقة او خلايا الميزوفيل الخضراء القائمة بعملية التركيب الضوئي نتيجة لوجود فرق في الـ Ψ.P بين خلايا الورقة وخلايا الخشب .

ثم يتبخر الجزء الاكبر من الماء من الاوراق بعملية النتح .

الجدول التالي يوضح فرق الـ Ψ.P لها في شجرة صغيرة عندما كانت الرطوبة النسبية 50% ودرجة الحرارة 22C .

	Ψ (bar)	فرقΨ
Soil water	**−0.5**	**−1.5**
root	**−2.0**	**−3.0**
Stem	**−5.0**	**−10**
Leaf	**−15.0**	**−985**
air	**−1000**	

قسم من الحزم الوعائية محاطة بحزام من خلايا حشوية تسمى Bundle sheath وتكون متخصصة لنقل الماء والمواد الذائبة في الخشب الى خلايا الميزوفيل الخضراء كما تنقل المواد الغذائية المصنوعة في الاوراق (الخلايا الخضراء) الى انسجة اللحاء ، حركة النقل هي من الاسفل الى الاعلى الا انه توجد حركة جانبية lateral transport للماء والمواد المذابة خلال النقر كما توجد حركة نقل جانبية بين الخشب واللحاء .

حركة الايونات مع الماء

تمر الايونات بحرية الى الفراغ الحر او بحركة الـ apoplast الى جدران الخلايا في القشرة وتستمر حتى القشرة الداخلية حيث تعرقل الحركة اشرطة كاسبر ولذلك فالايونات يجب ان تمر خلال برتوبلازم القشرة بحركة Symplastic .

هذه الايونات لا تعبر الغشاء البلازمي بل خلال الـ plasmodosmata . بعد النفوذ الى الدائرة المحيطية تترك الايونات مجرى الـ Symplast وتصل الى الاوعية الناقلة غير الحية وترتفع في انسجة الخشب مع الماء بحركة الـ apoplast بتأثير الضغط السالب الناتج من عملية سحب النتح .

في النهاية تصل الايونات الى العروق المتفرعة في الاوراق كما ان خلايا النسيج المتوسط في الورقة تجمع الايونات بطريقة حيوية active transport ولهذا فان معظم ايونات العناصر الغذائية تمتص حيويا مرتين واحدة في الجذور والاخرى في خلايا الورقة .

مكونات العصارة الخشبية

نسبة الذائبات في العصارة 0.1-0.4 % ونسبة المواد غير العضوية فيها الثلث ، اما الباقي فهو مواد عضوية كالسكريات والاحماض العضوية والقلويات العضوية واللاكتونات وبعض المركبات النتروجينية العضوية .

يمكن استخلاص العصارة بطريقة السحب Suction ثم يجمع المستخرج Exudates وقد لوحظ فيه زيادة الاملاح غير العضوية خلال مدة الازهار (في الازهار) اما السكريات فتكون قليلة اثناء الازهار .

اهم المكونات العضوية النتروجينية تشمل الاحماض الامينية والـ Amides كما ان بعض الاشجار تمتلك Citrulline وهو مركب نتروجيني عضوي في العصارة الخشبية (نوع من الاحماض الامينية التي لا تدخل في تركيب البروتين) .

اما المواد غير العضوية فهي الكبريت والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم والفوسفور والحديد ، يجري الحديد في العصارة بشكل مركب معقد (مخلب) chalates مع الاحماض العضوية .

نوعية حركة العصارة

الانتشار والجريان الكبير **diffusion & bulk flow**

تسبب عملية الانتشار نقل الماء الى خلايا الجذور الا ان الانتشار لا يكفي لرفع العصارة الى مسافات عالية جدا في النباتات .

اذا تعرض السائل (العصارة) الى ضغط عالي في منطقة وقليل في منطقة اخرى فان الماء سيجري الى المنطقة الاقل ضغطا ويطلق على حركة الماء بصورة كثيرة اسم **Mass flow or Bulk flow** .

$F=(K)(\triangle P)$ الجريان الكثير سم3/ثانية

$\triangle P$ فرق الضغط في نهايتي النظام

K معامل توصيل النظام (سم3/ضغط جو/ثانية)

وعند التعبير عن فرق الضغط بمنحدر الضغط فيمكن كتابة العلاقة :

$$F = K (P/L)$$

(P/L) منحدر الضغط (ضغط جو / سم)

L طول ممر حركة السائل .

لذا يكون (Bulk flow) مختلفا عن الانتشار لكونه يتناسب مع منحدر الضغط بدلا من منحدر التركيز . ولأجل ان تصعد العصارة في النباتات يجب ان يتوفر منحدر الضغط الكافي للتغلب على المقاومات التي تعرقل حركة الماء .

ومن هذه المقاومات هي مقاومة الاحتكاك التي تتمثل بلزوجة الماء لهذا يمكن توضيح العلاقة بين جريان الماء (السائل) خلال الانبوب الافقي واللزوجة بقانون (Pioseulles) الاتي :

$$F = (Pr^2) / 8 Ln$$

P فرق الضغط بين نهايتي الانبوب

r^2 نصف قطر الانبوب

L طول الانبوب

n اللزوجة (poise)

حيث ان $r^2/8n$ ثابت وتمثل قيمة K في المعادلة السابقة ويمكن اعادة ترتيب القانون لتقدير الضغط اللازم لحدوث الجريان كالاتي :

$$P = 8\ FLn / r^2$$

وهذا القانون ينطبق على السوائل الجارية في الانبوب الافقي .

اما في الاشجار فيجب ان يزداد الضغط للتغلب على مقاومة الجاذبية الارضية .

حركة العصارة الخشبية تتبع قوانين الحركة او الجريان الكبير كما ان قوانين بويسول ينطبق على الانابيب القصبية ذات الثقوب المفتوحة نسبيا وقد لا ينطبق على القنوات غير المنتظمة والمسامية كجدران الخلايا .

ما هو الاختلاف بين الـ (Bulk flow) والانتشار

الاول اسرع ومقترن بمنحدر الضغط عكس الانتشار حيث يكون بطئ (اقل سرعة) ومقترن بفرق التركيز .

معدل حركة العصارة يختلف باختلاف النباتات والظروف البيئية ، معدل حركة الماء في عاريات البذور 1.5 م/ساعة اما في مغطاة البذور يكون 60-150م/ساعة .

ميكانيكية صعود العصارة

1- الضغط الجذري تعني ان حركة الماء في الخشب يعتمد على الضخ الناتج عن الضغط الجذري الموجب وقد استدل على ذلك بوضع مانوميتر على عقب نبات خشبي او عشبي بشرط تجنب ادخال الهواء يلاحظ ارتفاع السائل الموجود في المانوميتر مما يؤيد فرضية الضغط الجذري .

<u>الضغط الجذري</u> هو عملية حيوية تنجم عن الفعاليات الحيوية في خلايا الجذور الحية اما حركة الماء علويا في الساق بسبب الضغط الجذري فيعتقد انها نتيجة الميكانيكية الازموزية او الـ Ψ (أي انها عملية حرة) نشأت عن امتصاص الاملاح حيويا من قبل الجذر .

وقد وجد ان الماء يتحرك ضد الجاذبية الارضية ويتطلب صعود الماء ضغطا جويا واحدا لكل خمسة امتار ، أي نحتاج 20 ضغط جوي لصعود الماء في شجرة ارتفاعها 100متر ويتطلب 10 ضغوط اخرى للتغلب على مقاومة الاحتكاك .

حجم الماء الجاري بسبب الضغط الجذري (سم3/ساعة) هو :

$$Fr=K\ (\Pi s- \Pi v)$$

حيث K معامل توصيل الجذر للماء (ثابت)

Πs الطاقة الازموزية لمحلول التربة Πv الطاقة الازموزية للعصارة الخشبية .

وبما ان نتائج قياس الضغط الجذري لعدة الاشجار مختلفة هي بحدود 2-1 ضغط جوي لهذا لا يكفي الضغط الجذري لرفع العصارة الى القمم في بعض الاشجار .

ارتفاع الماء في الساق نتيجة للضغط الجذري غير صحيح للاسباب التالية :

1. الضغط الجذري قليل لا يستطيع رفع العصارة وقد يكون الضغط الجذري معدوم في المخروطيات كما ان الاحتكاك ومقاومة حركة الماء قد تزيد على الضغط الجذري وتعرقل الحركة .

2 . معدلات النزف Exudation بسبب الضغط الجذري واطئة جدا مقارنة بمعدل النتح .

3 . العصارة الخشبية واقعة تحت سحب او ضغط سالب (بسبب النتح) بدلا من الضغط الجذري الموجب .

ولكن في بعض الظروف الرديئة للنتح مثل سقوط الاوراق في النباتات النفضية فان الضغط الجذري قد يكون عامل في رفع العصارة .

2. النظرية الحيوية Vital Theory

بعض الباحثين الاوائل اعتقد ان انتقال الماء الى اعلى النبات يعزى الى وجود خلايا في الساق مثل الخلايا الحشوية في الخشب ، الحقيقة اظهرت ان الخلايا الحية في الساق لا تأثير لها على حركة الماء .

3. نظرية سحب النتح والتماسك والتلاصق

Cohesion –Adhesion & Transpiration Pull Theory

وضعت هذه النظرية من قبل Dixon & Joly عام 1894 وكذلك من قبل Askenasy عام 1895 وخلاصتها ان الماء وما فيه من ذائبات يرتفع بشكل اعمدة مائية متصلة في انسجة الخشب نتيجة لقوى التماسك بين جزيئات الماء داخل العمود وكذلك قوى التلاصق بين الماء وجدران الاوعية ثم الضغط السالب والسحب المتولد في الاوراق نتيجة النتح .

ويمكن اظهار قوة الشد وذلك بقطع ساق نباتية تحت سطح الماء وملاحظة ارتفاع الزئبق في ساق القمع بسبب تبخر الماء من الاوراق . في البحوث التي اخذت بنظر الاعتبار قطر الخشب وطبيعة جدرانه ووجود الذائبات والغازات المذابة في العصارة ثم تقدير الشد المتسبب عن النتح والتماسك والتلاصق والخاصية الشعرية ووجد انه يقارب 30 ضغط جو .

فاذا كان قطر الانبوب الخشبي 0.1 ملم (0.01سم) فان قوة سحب الخاصية الشعرية سوف ترفع العصارة الى علو 30 سم فقط .

في النباتات فان نظام الماء في الاوعية الخشبية يبقى متصلا ولا ينكسر حيث تكون الاوعية مملوءة بالعصارة ولكن يظهر ان قوة السحب الرئيسية تحدث في خلال خلايا الميزوفيل في الاوراق بسبب قوة النتح حيث ان المسافات البينية لجدران هذه الخلايا تشكل ما يسمى بالانابيب الشعرية الدقيقة Micro capillaries وان قطر هذه الانابيب هو 0.1 مايكرون وعليه فان السحب يكفي لرفع العصارة الى علو 300م .

هذا وتعتمد عملية السحب بفعل النتح هي القوة الساحبة لمعظم حركة الماء والذائبات االى الاعلى تحت الظروف الاعتيادية .

<u>الانتقادات الموجهة لهذه النظرية</u>

1- أي انكسار في اعمدة الماء في الخشب او دخول أي فقاعة هوائية يفترض ان تسبب توقف حركة الماء كما ان ادخال مادة غريبة الى مكان قطع الغصن المقطوع يفترض ان يوقف سريان العصارة والحقيقة هي بالعكس .
2- انجماد العصارة في الشتاء وبقاء الهواء المذاب بشكل فقاعات يفترض ان يعرقل حركة العصارة في الربيع ولكن الحقيقة بالعكس .

افترض ان الفقاعات الهوائية الداخلية في الخشب قد تضطر الى الذوبان في المحلول ثانية او قد يتحول سريان العصارة في الربيع الى اوعية خشبية جديدة . لا توجد نظرية احسن من هذه النظرية .

بينت الدراسات انه بالامكان قياس الشد او الضغط السالب للغصن النباتي المقطوع او للنبات الصغير الكامل عن طريق تقنية غرفة الضغط pressure bomb حيث يوضع الغصن النباتي في الغرفة ويسلط ضغط على الغرفة كافي لارجاع العصارة التي كانت تحت سحب الضغط الخارجي الى مكان القطع ثم قراءة الضغط المسلط والمساوي للضغط السالب بصورة مباشرة .