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 تأتي الاسطوانة المركزية في الجذر (Stele **) واولها الدائرة المحيطية بعدها يصل الماء والمغذيات الى الاوعية الخشية (القصيبات) في الجذر.**

نتيجة لاتصال خشب الجذر بخشب الساق لذا يتحرك الماء في خشب الساق عموديا للأعلى 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.

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 القشـــرة الداخلية حيث تعرقل الحركة اشـــرطة كاســـبر ولذلك فالايونات يجب ان تمر خلال برتوبلازم القشرة بحركة Symplastic.

هذه الايونات لا تعبر الغشـــاء البلازمي بل خلال الـــــ plasmodosmata. بعد النفوذ الى الدائرة المحيطية تترك الايونات مجرى الـــ 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 تصـل الايونات الى العروق المتفرعة في الأوراق. كما ان خلايا النسـيج المتوسـط 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 العضـــوية خلال مدة الازهار (في الازهار) اما السكريات فتكون قليلة اثناء الازهار. المواد غير العضوية في العصارة هي الكبريت والبوتاسيوم والمغنيســيوم والكالســيوم والفوســفور والحديد، يجري الحديد في العصـــارة بشـــكل مركب معقد (مخلب) chalates مع الاحماض العضوية.

نوعية حركة العصارة

الانتشار والجريان الكبير Diffusion & Bulk Flow

تســبب عملية الانتشـــار نقل الماء الى خلايا الجذور الا ان الانتشـــار لا يكفي لرفع العصـــارة 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 ضـغطا ويطلق على حركة الماء بصـورة كثيرة اسـم Mass flow or Bulk flow. لذا يكون (Bulk flow) مختلفا عن الانتشـار لكونه يتناسـب مع منحدر الضـغط بدلا من منحدر التركيز. ولأجل ان تصـعد العصـارة في النباتات يجب ان يتوفر منحدر الضـغط الكافي للتغلب على المقاومات التي تعرقل حركة الماء. ومن هذه المقاومات هي مقاومة الاحتكاك التي تتمثل بلزوجة الماء. اما في الاشجار فيجب ان يزداد الضغط للتغلب على مقاومة الجاذبية الارضية.

ما هو الاختلاف بين الـ (Bulk flow) والانتشار

الاول اسـرع ومقترن بمنحدر الضـغط عكس الانتشـار حيث يكون بطئ (اقل سـرعة) ومقترن بفرق التركيز.

معدل حركة العصـــارة 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

أولا: 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>الضـــغط 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 ضـغط جوي لصـعود الماء في شـجرة ارتفاعها 100متر ويتطلب 10 ضـغوط اخرى للتغلب على مقاومة الاحتكاك.

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.

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

1. **الضـــغط الجذري قليل لا يســـتطيع رفع العصـــارة وقد يكون الضـــغط الجذري معدوم في المخروطيات كما ان الاحتكاك ومقاومة حركة الماء قد تزيد على الضـــغط 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 النفضيه فان الضغط الجذري قد يكون عامل في رفع العصارة

ثانيا: النظرية الحيوية Vital Theory

بعض الباحثين الاوائل اعتقد ان انتقال الماء الى اعلى النبات يعزى الى وجود خلايا في الســاق مثل الخلايا الحشــوية في الخشــب. الحقيقة اظهرت ان الخلايا الحية في الســاق لا تأثير لها على حركة الماء.

ثالثا: نظرية سحب النتح والتماسك والتلاصق

Cohesion –Adhesion & Transpiration Pull Theory

وضـعت 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.**

في البحوث التي اخذت بنظر الاعتبار قطر الخشـــب وطبيعة جدرانه ووجود الذائبات والغازات المذابة في العصـارة ثم تقدير الشـد المتسـبب عن النتح والتماسـك والتلاصـق والخاصـية الشـعرية ووجد انه يقارب 30 ضغط جو.

فاذا كان قطر الانبوب الخشـبي 0.1 ملم (0.01 م) فان قوة سـحب الخاصـية الشـعرية سـوف 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 وتعد عملية السحب بفعل النتح هي القوة الساحبة لمعظم حركة الماء والذائبات الى الاعلى تحت الظروف الاعتيادية.

العصارة اللحائية *Phloem Translocation*

خصائص النقل في اللحاء Aspect of Phloem translocation

الادلة المؤيدة لنقل العصارة الغذائية في اللحاء

1.تجارب التحليق Ringing Experiment

ازالة انسجة القلف (اللحاء) بعملية التحليق Gridling (Ringing) يحدث تضخم الجزء الواقع فوق الحلقة مما يشير الى ان نواتج التمثيل الضوئي تجري في انسجة اللحاء.

2.تجارب تحليل العصارة اللحائية

مقارنة تحليل العصارة الخشبية واللحائية لنبات .*Robinia* spp

المادة	تركيز العصارة (mg/L)	
	خشب	لحاء
Ca	85	720
Mg	24	380
K	60	950
$SO4^{-2}$	32	-
$PO4^{-3}$	25	-
سكريات	-	20000
مركبات نتروجينية عضوية	-	425
مركبات نتروجينية غير عضوية	-	135

3.تجارب المواد المعقبة Traces Experiments

مثل استعمال الصبغات كصبغة Fluorescin حيث وجد انها تتحرك في انسجة اللحاء. وكذلك تجارب منظمات النمو مثل اضافة 2,4-D الى النبات في نقطة معينة ثم دراسة ظهور تاثيره الفسيولوجي، مثل انحناء سويقات الأوراق، ووجد ان المركب يتحرك في اللحاء، كذلك استعمال Maleic hydrazide.

4- تجارب النظائر المشعة Radioactive Isotopes

اهم النظائر المشعة هي الكاربون، الفوسفور، الكبريت، الكلور، السترونتيوم، الروبيديوم، الهيدروجين (Tritium) وتستخدم النظائر المشعة بعدة طرق.

هناك طريقة اخرى لدراسة النقل اللحائي باستعمال Microradioautography

" المواد المنقولة في اللحاء "

1- الكربوهيدرات حيث تشكل حوالي 95% من المواد المنقولة ويعد السكر اهمها
2- مواد اخرى مثل بعض الاحماض الامينية حيث تنتقل من الاوراق الهرمة الى الاوراق الفتية ومن اهم المركبات النتروجينية العضوية المنقولة هي , amino butyric acid aspartic acid , glutamic acid

ويظهر ان تركيز المواد النتروجينية في العصارة اللحائية يعتمد على مرحلة النمو حيث يزداد في اواخر فصل النمو.

3. كذلك يوجد في العصارة اللحائية الهورمونات والصبغات والفايروسات كما لوحظ ان الانزيمات والبورون والكالسيوم تكون ضئيلة التركيز في اللحاء.

" اتجاه حركة النقل في اللحاء "

اتجاه حركة العصارة الغذائية في اللحاء هي من مناطق الشحن Source الى مناطق الاستهلاك بغض النظر عن مواقعها ولهذا تكون حركة العصارة متجهه للاعلى Acropetal لتغذي الاوراق الفتية والبراعم والازهار والثمار او للاسفل Basipetal لتغذي الجذور والدرنات الجديدة أي ان اتجاه العصارة يكون ذا اتجاهين Bidirectional Movement.

وهناك من الادلة لوجود اتجاهين متضادين في حركة نقل العصارة اللحائية التي قد تحدث في الحزمة الوعائية مثل انتقال السكريات وصبغات الفلورسين باتجاه مضاد في لحاء ورقة الفاصوليا المركبة. كذلك توجد في اللحاء حركة جانبية تماسية تحدث من اللحاء الى الخشب وبالعكس عبر الكامبيوم.

معدل حركة نقل عصارة اللحاء "

توصل الباحثون ان معدل حركة العصارة أللحائية هو 100-200سم/ساعة ووجد ان كميات كبيرة من المواد المذابة تنتقل في اللحاء وان حركة نقل المواد الغذائية لمسافات بعيدة نسبيا في اللحاء تعد عملية حيوية تحتاج طاقة وعليه فان حركة اللحاء تتأثر بعد عوامل:

1- **الحرارة: النقل يقل بارتفاع او خفض الحرارة، ارتفاعها يسبب تكوين الـــ Callose في الأنابيب المنخلية.**
2- **الأوكسجين: حيث قلته تقلل من النقل بسبب قلة إنتاج الطاقة.**
3- **الضوء: حيث زيادة شدة الإضاءة تزيد من معدل التركيب الضوئي وتنشط نقل اللحاء**
4- **المواد المثبطة حيث تعرقل حركة اللحاء مثل Azide , Dinetrophenol**
5- **منحدر التركيز حيث نقل العصارة يتجه من التركيز العالي للسكريات والمواد المذابة إلى تلك ذات التركيز الواطئ.**
6- **نقص العناصر الغذائية حيث وجد ان امتصاص وانتقال السكروز من قبل ورقة نبات الفاصوليا او الطماطم الغاطسة في محلول السكروز ذي الكاربون المشع ينشط في حالة توفر البورون في المحلول . كما وجد ان تأثير نقص العناصر المغذية الاخرى على النقل في اللحاء لا يزال غير واضح فمثلا وجد ان نقص الفوسفور يؤثر بشدة على نقل 2,4-D.**

7.الهورمونات النباتية حيث يرى البعض ان الهورمونات النباتية تؤثر بصورة غير مباشرة على عملية النقل في اللحاء وتسبب نقل المواد الممثلة Assimilated Substances الى الانسجة الفعالة لغرض البناء. ومن الهورمونات المؤثرة في النقل اللحائي هو السايتوكينين و IAA و GA.

ميكانيكية انتقال العصارة الغذائية في اللحاء

أولا: فرضية النقل الكتلي *Mass flow or pressure flow*

وضعت هذه الفرضية لاول مرة من قبل Munch عام 1930 وقد ايدها الكثير من الباحثين مثل Grafts عام 1961 و Zimmermann عام 1963 وهي تفترض ان زيادة الضغط الانتفاخي في خلايا الورقة الحشوية (والتي تعد مصدرا Source) نتيجة الفعاليات الحيوية وتجمع المواد السكرية فيها وامتصاص الماء بينما يقل هذا الضغط كثيرا في الانسجة المستهلكة (Sink) والموجودة في بقية اجزاء النبات ونتيجة لذلك تسير المواد الغذائية والماء في اماكن التصدير الى

اماكن الاســـتهلاك في الانابيب المنخلية وتســـاعد هذه الحركة الفعاليات الحيوية للخلايا المرافقة للانابيب المنخلية.

الادلة المؤيدة للفرضية :

1- حصــول عملية النزف او النضــح عند قطع الســاق (عملية Exudation) او عند عمل جرح في اللحاء.
2- وجود اختلاف في تركيز المحاليل بين المصدر والمستهلك في الأنسجة النباتية أي وجود منحدر او فرق الازموزية والضــغط الانتفاخي وتظهر هذه الخاصــية عند مقارنة الضــغط الازموزي في خلايا الجذر مع خلايا الورقة

الانتقادات الموجهة للفرضية:

1- المواد الذائبة في اللحاء تسير باتجاهين متضادين احدهما للاعلى والاخرى للاسفل .
2- نقل اللحاء يتوقف على وجود المواد المثبطة مثل الســـيانيد و هذا يعني ان عملية النقل تعتمد على عمليات فسيولوجية حيوية وليست على وجود فرق الضغط الازموزي

ثانيا: فرضية الانسياب البروتوبلازمي Cytoplasmic Streaming

افترض Devries عام 1885 ومن بعده Curtis بان انسياب البروتوبلازم في خلايا اللحاء ومعه المواد المذابة يحدث من خلية لاخرى (خلية منخلية) وفي سريان دوري وان هذا الانتقال للجزيئات يحدث بالانتشار والانسياب البروتوبلازمي.

ثالثا: الانتقال بواسطة الأنابيب Tubules

افترض Thaine بان المواد تتحرك في اللحاء عن طريق اجســـام انبوبية موجودة على طول الانابيب المنخلية مخترقة لثقوب الصفائح المنخلية.

رابعا: فرضية التناضح الكهربائي Electro Osmosis

تفترض ان المواد تعبر الصــفيحة المنخلية اســتجابة لفرق في الطاقة الكهربائية ومثل هذه الطاقة تتكون نتيجة حركة ايونات البوتاسيوم التي تعبر الصفيحة المنخلية، تلك العملية تتطلب طاقة حيوية وقد انتقدت هذه الفرضية لاحتياجها لصرف طاقة كهربائية تقدر بحوالي 100000 فولت

هناك نظريات اخرى اقل اهمية مثل الانتشــار الفعال Activated diffusion والحركة الســريعة Rapid Movement