

### النقل اللحائي Phloem Translocation:

عرفنا مما سبق ان معظم الماء والايونات ينتقل بواسطة عناصر الخشب بما يحويه من عناصر خشبية وقصيبيات من الجذر حتى الورقة ، ويوجد نظام اخر يقوم بنقل الذائبات العضوية المصنعة بالورقة . وهذا النظام يتالف من عناصر اللحاء التي تتكون من العناصر الغربالية (لمنخلية ) والخلايا المرافقة . والنقل اللحائي في الحقيقة ماهو الى حركة نواتج التركيب الضوئي من الورق الى بقية اجزاء النبات بما فيها مناطق النمو والخزن كذلك يقوم اللحاء بتوزيع الماء والعناصر الاخرى داخل الجسم النباتي .

يتركب الجهاز الوعائي في النباتات الزهرية من خشب ولحاء. ويختص الأول بنقل الماء وأملاح التربة من الجذور إلى الساق فالأوراق، في حين يختص الثاني (اللحاء) بنقل المادة الغذائية التي تكونت في الأوراق نتيجة لعملية البناء الضوئي إلى جميع أجزاء النبات.

ويوجد اللحاء في الجذر والساق والورقة. ففي الجذر حديث النمو، يكون اللحاء والخشب على أنصاف أقطار مختلفة.

وفي الساق حديثة النمو يوجد اللحاء فوق الخشب على نصف قطر واحد. أما في الورقة فيوجد اللحاء ناحية بساتها السفلى، ويوجد الخشب ناحية بساتها العليا.

وينقسم اللحاء بالنسبة إلى وقت ظهوره إلى لحاء ابتدائي يتكون في الجنين ثم يأخذ في التميز إلى أن يبلغ أقصاه في النبات البالغ، وإلى لحاء ثانوي يتكون في العضو البالغ عندما يحدث له تغلط.

واللحاء نسيج معقد يتكون من أربعة أنواع من الخلايا؛ ثلاثة منها تقوم بالتوصيل:

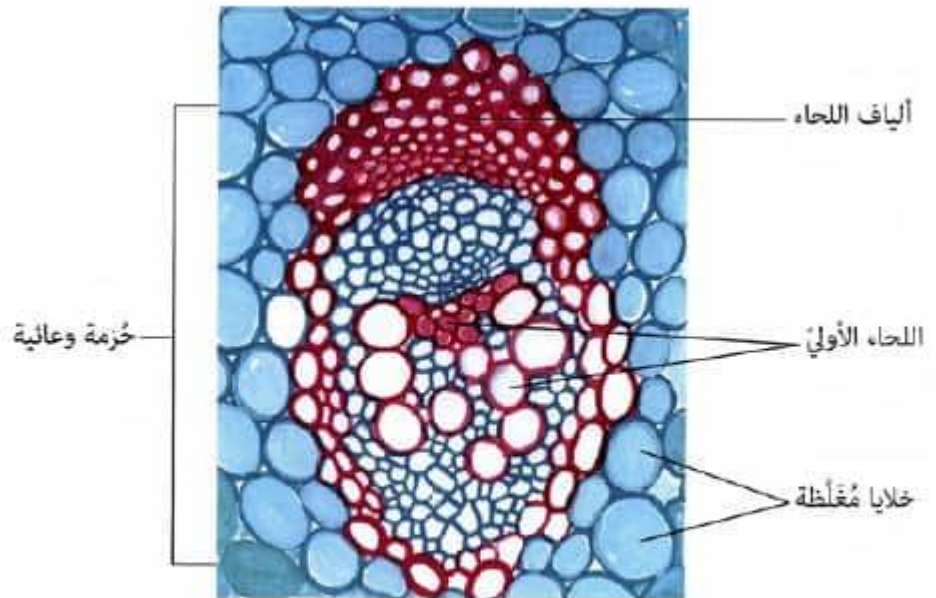
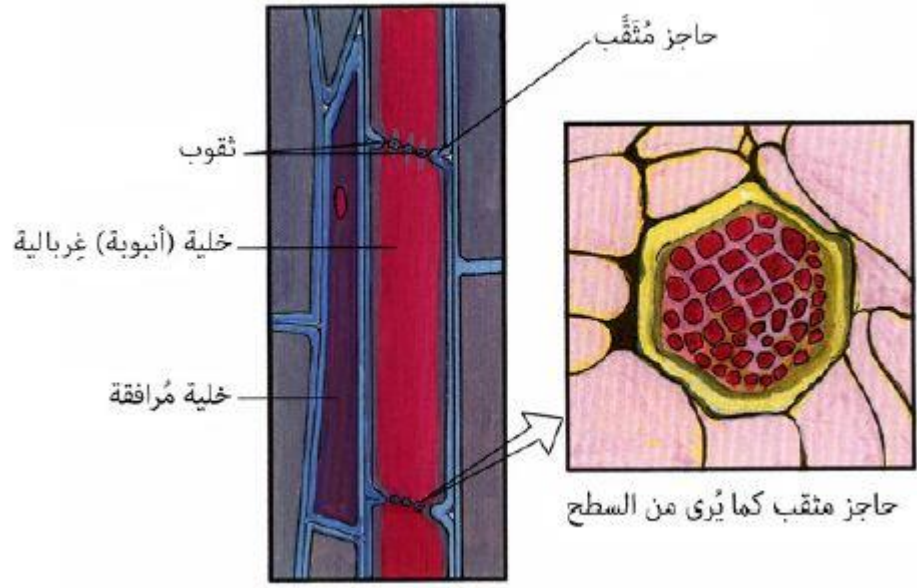
١- الأنابيب الغربالية: وتتركب كل أنبوبة منها من صف رأسي من خلايا مستطيلة ممتدة رقيقة الجدر.

والحواجر العرضية التي تفصل هذه الخلايا تصبح منقبذة، وتتخذ شكل الغرابيل، فيسهل بذلك انتقال الغذاء الذي تم تجهيزه في الأوراق.

٢- الخلايا المرافقة: وهذه خلايا حية أصغر من الأنابيب. وتتصل الخلايا المرافقة بالأنابيب الغربالية بخيوط سيتوبلازمية تمر من فتحات دقيقة في جدر كل منهما.

وهكذا ينتقل الغذاء من الأنبوبة إلى الخلية المرافقة التي توصله بدورها إلى النوع الثالث من الخلايا، وهي برانشيمية اللحاء.

٣- برانشيمية اللحاء: هي خلايا برانشيمية حية رقيقة الجدر تتلقى الغذاء من الخلايا المرافقة وتوصله إلى ما جاورها من الخلايا.



قطاع عرضي في حزمة وعائية في الساق، ويرى بعض الخلايا المغلظة الجدران تحيط باللحاء الأولي والخشب الأولي.

وَبَعْدَ ذَلِكَ يَسْتَمِرُّ انْتِقَالُ الْغِذَاءِ مِنْ خَلِيَّةٍ إِلَى أُخْرَى كَمَا يَصِلُ إِلَى جَمِيعِ الْخَلَايَا. وَتَقُومُ بِرَافِئَةِ اللَّحَاءِ أَيْضًا بِاخْتِزَانِ النَّسَا وَالذُّهُونِ وَالْمَوَادِّ الدَّبَاغِيَّةِ وَالرَّائِجِيَّةِ.

٤- أَلْيَافُ اللَّحَاءِ: هَذِهِ الْخَلَايَا لَا تُشَارِكُ فِي عَمَلِيَّةِ التَّوَصِيلِ. وَهِيَ خَلَايَا مَيْتَةٌ مَغْزَلِيَّةُ الشَّكْلِ وَمُدَبَّبَةُ الْأَطْرَافِ، وَتَتَغَلَّظُ جُذُرُهَا بِمَادَّةِ اللَّجْنِينِ وَتُتَوَجُّعُ اللَّحَاءِ.

وَتَتَسَبَّبُ هَذِهِ الْأَلْيَافُ - مَعَ خَلَايَا أُخْرَى غَلِيظَةِ الْجُذْرِ - فِي صَلَابَةِ وَخُسُونَةِ قَلْبِ بَعْضِ الْأَشْجَارِ الْخَشَبِيَّةِ.

وَاللَّحَاءُ قَلِيلُ الْقِيَمَةِ الْاِقْتِصَادِيَّةِ، فِيمَا عَدَا قَلْبِ بَعْضِ الْأَشْجَارِ الَّذِي يَحْتَوِي عَلَى أَلْيَافِهِ .

وَلَقَدْ تَوَقَّفَ اسْتِعْمَالُ هَذَا الْقَلْبِ فِي الصَّنَاعَةِ فِي الْوَقْتِ الْحَاضِرِ إِلَّا أَنَّهُ كَانَ يُسْتَعْمَلُ فِيمَا مَضَى فِي تَصْنِيعِ الْأَقْمِشَةِ، كَمَا اسْتَعْمَلَهُ قُدَمَاءُ الصِّينِيِّينَ وَالْكُورِيِّينَ وَالرُّومَانَ فِي صِنَاعَةِ أَوْرَاقِ الْكِتَابَةِ.

أَمَّا أَلْيَافُ اللَّحَاءِ الَّتِي لَا تَمْتَزِجُ بِالْقَلْبِ فَهِيَ مُهِمَّةٌ جَدًّا فِي صِنَاعَةِ أَلْيَافِ الْمَنْسُوجَاتِ وَنَبَاتِ الْكَتَّانِ مِنْ أَشْهُرِ النَّبَاتَاتِ الَّتِي تُمَدُّنَا بِهَذَا النَّوعِ مِنَ الْأَلْيَافِ الَّتِي تُصَنَّعُ إِلَى أَنْسِجَةِ الْكَتَّانِ .

**الادلة على دور اللحاء في نقل الذائبات:**

### **1-النضح من الشقوق في القلف-**

عند عمل شق في قلف شجرة نفضية يلاحظ نضح سائل يحوي سكريات بتركيز عالي .وعند اجراء فحص دقيق يتبين ان هذا النضح ناتج من الانابيب الغربالية.

### **2-تجارب التحليق-**

التحليق هو ازالة جزء من قلف( اللحاء )الاشجار بشكل حلقة كاملة وهذا يعني ايقاف الحركة السفلية للذائبات العضوية ومما يؤدي الى تراكم الذائبات وانتفاخ النسيج في اعلى الحلقة.

### **3-تجارب النظائر المشعة-**

اجريت العديد من التجارب باستعمال الكربون المشع (  $C^{14}$  ) أو الهيدروجين الثقيل (Tritium( $H_3$ )) لدراسة حركة المتمثلات المنتجة بعملية البناء الضوئي .وجاءت لتؤكد ما ذهب اليه الباحثين منذ وقت مبكر بأن اللحاء هو الذي يقوم بعملية نقل الذائبات.

## طبيعة المواد المنقولة في اللحاء:

يعد الماء من اكثر المواد المنقولة باللحاء فضلا عن الذائبات التي تتكون من المواد السكرية والاحماض الامينية والعضوية والبروتينات وبعض المعادن ودلت نتائج التجارب ان الكربوهيدرات المنقولة تكون دائما بشكل سكريات غير مختزلة ذلك لانها اقل فعالية من السكريات المختزلة ويعد السكروز او المركبات الكربوهيرائية الحاوية على السكروز هي المركبات الاكثر نقلا في اللحاء ومن امثلة تلك المركبات رافينوز Raffinose واستاكيوز Stachyose وفيرباسكوس . Verbascose ويمكن ملاحظة المانيتول والسربتول اما المركبات النتروجينية فهي مركبات عضوية بشكل احماض امينية مثل الكلوتاميك والسبارتك والاميدات مثل الكلوتامين والسبارجين . وجد ان سرعة حركة المواد المنقولة في اللحاء هي ما بين 811 الى 5111 ملم بالساعة اما الكمية فقد وجد انها تعادل تقريبا 10561 غم بالساعة.

## تحميل وتفريغ اللحاء :

ان عملية تحميل وتفريغ اللحاء من اهم العمليات الخاصة بتنظيم نقل وتوزيع المتمثلات بين المصببات Sinks المتنافسة وبالتالي تؤدي دور كبير في انتاجية النبات .ويمكن وصف عملية التحميل بأنها اقبال المواد المصنعة في النسيج الذي يقوم بعملية البناء الضوئي Source الى اللحاء الغربالي اما عملية التفريغ فهي اقبال تلك المواد من العناصر الغربالية الى اماكن الخزن ( المصببات .) هناك ثلاث خطوات رئيسة لعملية التحميل هي:-

أ تتحرك السكريات الثلاثية المفسفرة من البلاستيده الخضراء الى الساييتوسول اذ تجري سلسلة من- تفاعلات كيموحيوية تنتهي بتكوين السكروز.

ب يتحرك السكروز من خلايا النسيج المتوسط الى منطقة قريبة من العناصر الغربالية في العروق- الصغيرة للورقية ويكون هذا المسار لمسافة خليتين او ثلاث خلايا ويدعى النقل للمسافات القصيرة.

ج نقل السكر بألية نشطة الى عناصر اللحاء تتم بنقل الذائبات خلال النظام الوعائي وصولا للمصببات- وتسمى عملية النقل للمسافات الطويلة.

ان عملية تحميل اللحاء تحتاج طاقة حيوية وهي تجري ضد التدرج في الجهد الكيميائي ومن الادلة على ذلك ان استعمال مثبطات عملية التنفس التي تنقص تركيز ATP تثبط عملية تحميل السكروز المعامل

للنبات خارجيا.

ومن جانب اخر فان عملية تفريغ اللحاء هي اخراج السكريات (وغيرها من الذائبات) المنقولة في عناصر اللحاء الغربالية الى انسجة المصببات والتي قد تكون اماكن خزن لتلك المركبات مثل الجذور النامية او الدرنات او التراكيب التكاثرية، قد تكون عملية التفريغ من خلال نظام الساييتوبلازم او نظام الجدر الخلوية وتقوم المركبات الحاملة بتسهيل مرور السكرور اذا كان ذلك عن طريق الاغشية البلازمية ومن جانب اخر فان مرور السكريات عن طريق الخيوط البلازمية يكون بألية غير نشطة (سلبية) حيث ينتقل السكرور من منطقة التركيز العالي الى منطقة التركيز المنخفض في خلايا المصبب وفي الحالات كلها فان عملية التنفس التي توفر ATP لتحويل السكرور الى مركبات اخرى مهمة في عملية النمو. الطاقة الحيوية المطلوبة بشكل مباشر للمصببات النامية لاغراض التنفس وتفاعلات البناء الحيوي وبشكل غير مباشر لامتصاص المغذيات.

### اليات النقل

اجريت دراسات متعددة حول اليات النقل اللحائي من الثلاثينات وحتى منتصف السبعينيات من القرن العشرين وحاليا فان النظرية الوحيدة المقبولة هي نظرية الانسياب الضغطي (نظرية مونخ) والتي تفسر معظم النتائج المتعلقة بموضوع النقل اللحائي وهناك Pressure-flow hypothesis مجموعة من اليات تفسر حركة الذائبات داخل عناصر اللحاء او عبر جدر تلك العناصر. ويمكن تصنيف النظريات على انها نشطة active وغير نشطة passive لكن الطاقة مطلوبة لغرض تحميل اللحاء من المصادر . Sources وتفترض النظريات النشطة بانه هناك صرف طاقة يكون مطلوب لتوجيه عملية النقل في العناصر الغربالية في حين في النظريات السلبية فان الطاقة مطلوبة فقط لغرض الحفاظ على السلامة الوظيفية للعناصر الغربالية فحسب وليس لتوجيه عملية النقل.

### اليات النقل قصيرة المدى

- 1- نظريات التيار الساييتوبلازمي : اقترحت هذه النظرية لأول مرة عام 5991 وتنص على ان الذائبات تحمل - من مكان لأخر بواسطة التيار الساييتوبلازمي مع النقل عبر الصفيحة الغربالية بألية الانتشار ويمكن ان يحدث النقل الى اعلى او اسفل حسب الحاجة وبالتالي فان هذه النظرية تستطيع تفسير النقل المزدوج. وفي السنوات الاخيرة وجهت لهذه النظرية انتقادات اهمها هي ان حركة الذائبات بهذه الطريقة تحتاج الى

سايتوبلازم نشط ايضيا، في حين أن الأنابيب الغربالية المكتملة النمو غير فعالة لدرجة كبيرة لانها تفتقر للنواة.

2- **نظرية التيار عبر الخلايا**: تعد هذه النظرية تحويل للنظرية الاولى، لوحظ وجود أشرطة عابرة للخلايا في - -

الأنابيب الغربالية، ويمكن وصف التيار عبر الخلايا بأنه حركة دقائق أو مكونات سائلة للسايتوبلازم خلال صف طولي من خلايا مرتبة طولياً. وقد افترض أن تلك الأشرطة هي انبيبات بروتينية الخصائص لإضفاء تمدد وتقلص ايقاعي على حركة الأشرطة. تفسر هذه النظرية النقل المزدوج وذلك لأن الأشرطة المختلفة ضمن الانبوب الغربالي الواحد بإمكانها ان تنقل السكريات باتجاهات متعاكسة في أن واحد. الانتقادات الموجهة لهذه النظرية هي كيفية تحول الطاقة الحيوية الى قوة فيزيائية ضمن الانبوب الغربالي. كما أن الأنابيب غير واضحة الخصائص فيما إذا كانت صلبة أو انبوبية. باستعمال تجارب النظائر المشعة تأكد وجود نقل مزدوج في الأنابيب الغربالية لكن لم يتأكد وجود النقل في الإتجاهين في الإنبوب الغربالي نفسه.

3- **النظرية الكهروأزموزية**: تفترض هذه النظرية أن ايونات البوتاسيوم تمر خلال الفتحات الغربالية - -

بالكهروأزموزية وان جزيئات السكر الملتصقة بقوة مع ايونات البوتاسيوم تمر سوية، وبلاستفادة من ATP فان الأنابيب الغربالية تنقل ايونات البوتاسيوم و عليه فإن كل صفيحة غربالية تمثل محطة ضخ كهروأزموزية تدعم الانسياب الكتلي لمحلول السكر على طول الانبوب الغربالي. الانتقادات الموجهة لهذه النظرية هي انها تفتقر للدلة التجريبية وان الهجرة المستمرة للبوتاسيوم عبر الصفيحة الغربالية غير مقبولة إذ تكون الطاقة المطلوبة لتحريك البوتاسيوم كبيرة. فضلاً عن انها لا تفسر النقل في الاتجاهين.

4- **الإنتشار والضخ المنشط**: لاحظ علماء فسيولوجيا النبات في الثلاثينيات من القرن العشرين ان معدل النقل - -

يتباين مع تدرج تركيز السكر في اللحاء اذ لوحظ ان توزيع السكر المشع وعلى طول الساق بعد مدة قصيرة من تجهيزه للنبات يمثل دالة لوغارتمية للمسافة عن مصدر التجهيز. وحركة السكر هنا ناتجة عن الانتشار لا الضخ او اليات الانسياب او التدفق الكتلي وقد اكد العلماء بأن هناك خاصية غير محددة للبروتوبلازم تقلل مقاومة الانتشار ولها دور في تنشيط عملية الانتشار.

لم تقبل اي من هذه الفرضيات بشكل عام وذلك لعدم وجود مايببرهن صحتها.

## الآلية النقل بعيد المدى

لاقت نظرية الانسياب الضغطي التي اقترحها مونخ عام 1885 والتي تنص على ان تدفق المحلول في العناصر الغربالية يكون موجها بواسطة تدرج الضغط المتولد از موزيا بين المصدر والمصب. وينشأ تدرج الضغط نتيجة لتحميل اللحاء في المصدر وتفريره في المصب، وهذا يعني ان طاقة تحميل اللحاء تولد جهد از موزي منخفض في العناصر الغربالية لنسيج المصدر والتي تؤدي الى هبوط حاد في قيمة الجهد المائي ، واستجابة للتدرج في الجهد المائي فإن الماء يدخل عناصر اللحاء ليزيد من جهد الضغط ، وعند نهاية العنصر اللحائي لمسار النقل فان تفرير اللحاء يقود الى تقليل الجهد الازموزي عند نسيج المصب وبزيادة قيمة الجهد المائي في عناصر اللحاء قياسا مع عناصر الخشب فإن الماء ينتقل من اللحاء استجابة للتدرج في الجهد المائي مؤديا الى نقص في جهد الضغط لعناصر الانبوب الغربالي في المصب.

### الدعم لهذه النظرية:-

- 1- ثقب الصفائح الغربالية هي قنوات مفتوحة وتصل بين عناصر اللحاء الغربالي- .
- 2- النقل المزدوج غير موجود ضمن العنصر اللحائي الواحد ، لكنه لوحظ في الحزم المختلفة- .
- 3- دلت الدراسات على وجود تدرج في جهد الضغط بين خلايا المصدر وخلايا المصب وقدرت بعض- الدراسات الفرق في جهد الضغط بحوالي 1015 ميكاباسكال وهو كافٍ لتحريك العصارة اللحائية بين المصدر والمصب.

### الانتقادات لهذه النظرية:-

- 1- اكدت هذه النظرية على ان النقل يكون وفق الية غير نشطة اي بعملية فيزيائية الا ان نتائج الابحاث- باستعمال درجات الحرارة المنخفضة او المثبطات الايضية اكدت تثبيط عملية النقل تحت تلك الظروف مما يدل على انها نشطة.
- 2- وجد ان السكر يمكنه ان ينتشر ضد تدرج الجهد الازموزي في خلايا النسيج المتوسط والانابيب الغربالية- وقد افترض ان ATP يعجل معدل عملية النقل من خلايا النسيج المتوسط الى خلايا اللحاء.
- 8- هناك من يعتقد بان فتحات الصفائح الغربالية تبقى مسدودة بالبروتوبلازم الكثيف الذي يعمل حاجزا ضد- التدفق الكتلي.
- 3- لا بد من وجود ضغط انتفاخي كبير للسيطرة على مقاومة الجدر العرضية والخيوط البلازمية وهذا غير-

موجود فعليا.

٤- لا توجد ادلة واضحة على وجود مضخة في النباتات تشكل تدرج في الجهد الضغط بين الانبوب الغربالي-  
وخلايا النسيج المتوسط. وقد ذكر بعض الباحثين ان تركيز السكر في الانبوب الغربالي هو اعلى ب  
28 مرة من مما في خلايا النسيج المتوسط للورقة وهذا يضعف نظرية مونخ بوصفها الية لتفسير عملية  
النقل اللحائي. ومع ذلك فليس لهذه النظرية بديل في الوقت الحاضر لتفسير الية النقل بعيد المدى.

