الفصل الثاني

(النقل فى الكائنات الحية)

مفهوم النقل :

هو الدراسة العملية للطرق المتنوعة للنقل في الكائنات الحية .

حاجة الكائن الحي للنقل :

كل كائن يحتاج إلى مواد مختلفة يدخلها إلى جسمه أو ينقلها من عضو إلى عضو أو إلى أماكن الإنتاج أو الاستهلاك أو إلى أماكن التخزين بطريقة أو بأخرى .

أمثلة ذلك :

أولاً: في النبات :

يحتاج النبات إلى نقل المواد الأولية الآتية (ثاني أكسيد الكربون – الماء – الأملاح المعدنية) وأيضا يحتاج النبات إلى نقل نواتج البناء الضوئي ويتم ذلك بطريقتين هما :

أ- فى النباتات البدائية كالطحالب :

تتحرك هذه المواد من خلية إلى أخرى **بالانتشار أو النقل النشط** لعدم وجود أنسجة النقل المتخصصة.

ب- فى النباتات الراقية :

تنتقل الغازات **بالإنتشار** أما الماء والأملاح المعدنية ونواتج البناء الضوئي الذاتية فيتم نقلها بواسطة **أنسجة وعائية متخصصة** (الخشب واللحاء) .

ثانياً: فى الحيوان :

يحتاج الحيوان إلى نقل الغذاء المهضوم والأكسجين إلى جميع أجزاء جسم الحيوان ويتم ذلك بطريقتين :

أ) في الحيوانات الصغيرة كالبروتوزوا (الحيوانات الأولية) والهيدرا يتم بالإنتشار.

ب) في الحيوانات الأكبر والأكثر تعقيدا يوجد جهاز نقل متخصص لأن الإنتشار في هذه الحالة لا يكفى .

أولاً: النقل في النباتات الراقية

درسنا فيما سبق أن الماء والأملاح تنتقل عبر أنسجة الجذر حتى تصل إلى أنسجة **الخشب في الجذر** ثم إلى **خشب الساق** ثم إلى الأوراق التي تقوم بعملية البناء الضوئي وتكون المواد الغذائية عالية الطاقة (المواد كربوهيدراتية و البروتينية والدهنية) ثم تنتقل هذه المواد إلى أماكن التخزين و الإستهلاك في أنسجة الجذر والساق و الثمار و البذور عن طريق **الأنابيب الغربالية** في لحاء الورقة والساق و الجذر .

فحص قطاع عرضي في ساق نبات حديث ذو فلقتين :

يتركب من الأنسجة التالية :

١) البشرة Epidermis:

صف واحد من الخلايا البارانشيمية برميلية الشكل متلاصقة يغطى جدارها الخارجي طبقة من **الكيوتين** .

٢) القشرة Cortex:

- تتميز بانها تتكون من:

أ- نسيج كولنشيمى :

عدة صفوف من الخلايا الكولنشيمية مغلظة الأركان بالسليلوز.

وظيفته : الدعامة – البناء الضوئي لإحتواءها على بلاستيدات خضراء .

ب- نشيج بارنشيمى :

عدة صفوف من الخلايا البارنشيمية يتخللها الكثير من المسافات البينية .

وظيفته : التهوية .

جـ- الغلاف النشوى :

آخر صف من خلايا القشرة .

وظيفته : حفظ حبيبات النشا .

٣) الأسطوانة الوعائية Vascular Cylinder:

تشغل حيز كبير في الساق وتتكون من :

أ- البريسيكل Pericycle:

مجموعات من خلايا بارنشيمية متبادلة مع مجموعة من الخلايا الليفية وكل مجموعة ألياف تقابل حزمة وعائية من الخارج .

وظيفته : تقوية الساق وجعلها قائمة مرنة حتي لا تتأثر بالتيارات الهوائية.

ب- الحزمة الوعائية Vascular bundle:

هي حزمة مثلثة الشكل قاعدتها للخارج وتترتب في محيط دائرة وتتكون من :

١) **اللحاء Phloem**: يقع جهة الخارج (جهة البشرة) ويتكون من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة وخلايا برانشيمية .

وظيفته : نقل المواد الغذائية العضوية عالية الطاقة (العصارة الناضجة) .

٢) **الكامبيوم Cambium**: ويتكون من صف واحد أو أكثر من خلايا مرستيمية تقع بين اللحاء والخشب .

وظيفته : ينقسم الكامبيوم فيعطى لحاء ثانوي للخارج وخشب ثانوى للداخل فيزيد من سمك الساق.

٣) **الخشب Xylem**: يقع جهة الداخل من الحزمة (ناحية النخاع) ويتكون من :

أوعية خشبية – قصيبات – خلايا برانشيمية تسمى برانشيما الخشب وهى عبارة عن صفوف من الخلايا توجد بين أوعية الخشب .

وظيفته : نقل والماء والأملاح الذائبة من الجذر إلى الساق والأوراق وتدعيم الساق وسندرسه فيما بعد.

جـ) النخاع Pith :

يوجد في مركز الساق ويتكون من خلايا برانشيمية .

وظيفته : تخزين المواد الغذائية .

د) الأشعة النخاعية Medullary rays:

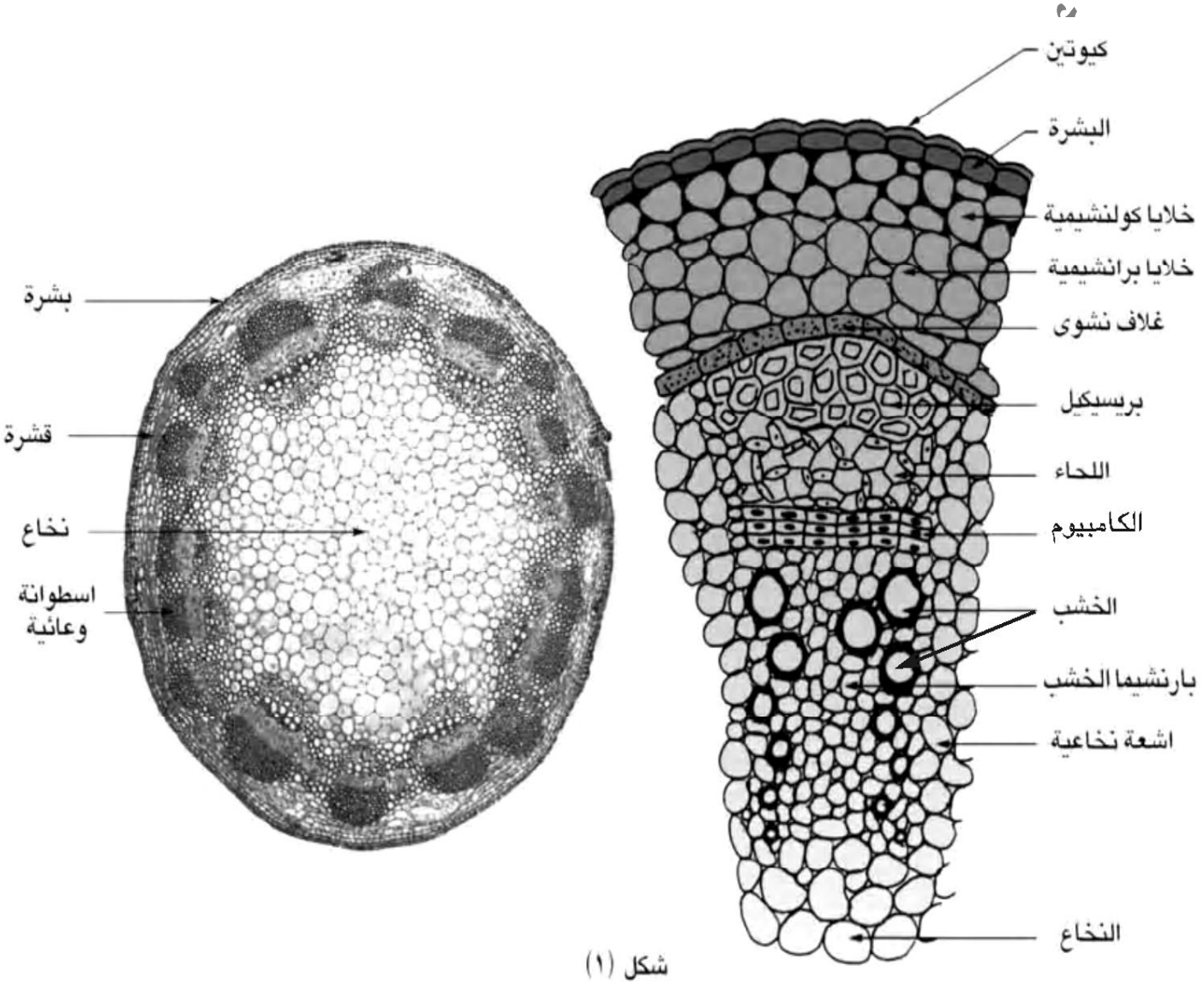
خلايا برانشيمية تمتد بين الحزم الوعائية .

وظيفتها : تصل بين القشرة والنخاع وتخزن فيها المواد الغذائية .

ملحوظة :

☒ **بارنشيما الخشب** عبارة عن صفوف من الخلايا البارنشيمية توجد بين أوعية الخشب .

☒ **يتصل خشب ولحاء** الحزمة الوعائية في الساق **بخشب ولحاء** كل من الجذر والورقة فيتكون شبكة متصلة من أوعية النقل في كل أجزاء النبات .



شكل (١)

قطاع تفصيلى يوضح التركيب الداخلى
فى الساق والحزمة الوعائية كجهاز للنقل

نسيج الخشب :

- وظيفته : نقل الماء والأملاح الذائبة من **الجذر إلى الساق والأوراق** وتدعيم الساق .

- يتكون من :

أوعية خشبية – قصيبات – خلايا برانشيمية تسمى برانشيما الخشب وهى عبارة عن صفوف من الخلايا توجد بين أوعية الخشب .

ـ الأوعية Vessels: سلسلة من خلايا اسطوانية طويلة تتصل نهاية كل منها بالأخرى .

س) كيف يتكون الوعاء الخشبي ؟

أ) في البداية تتكسر الجدر الأفقية للخلايا المكونة للوعاء الخشبي بحيث تصبح الخلايا متصلة الفتحات .

ب) في نفس الوقت يتغلظ جدارها السليلوزى بمادة اللجنين غير المنفذة للماء والذائبات .

جـ) يموت البروتوبلازم (السيتوبلازم + النواة) وتتحلل محتوياته فتتكون أنبوبة مجوفة .

د) يظهر بجدار الوعاء كثيرا من **النقر** : وهى مناطق تركت بدون تغلظ على الجدار الأولى (علل) **لتسمح للماء بالمرور من داخل الوعاء إلى خارجه .**

ملحوظة :

يشاهد ببطانة الوعاء شرائط من اللجنين تأخذ عدة أشكال منها **الحلزوني و الدائري** .

وظيفتها : تقوية الوعاء وعدم تقوس جداره للداخل .

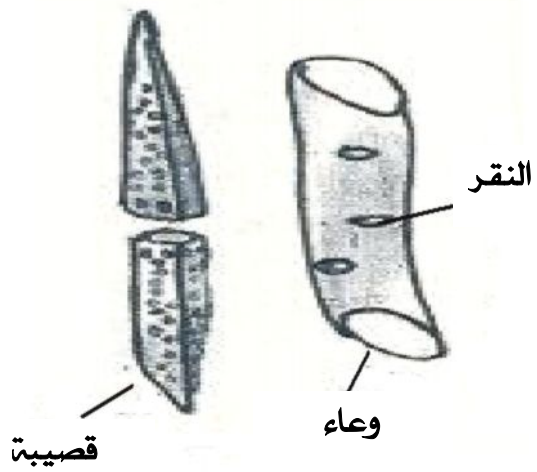
ـ القصيبات Tracheids:

ـ تشبه الأوعية إلا أنها تختلف في الآتي:

أ) تظهر في القطاع العرضي بشكل خماسي أو سداسي .

ب) تكون مسحوبة الطرف وليست مفتوحة الطرفين .

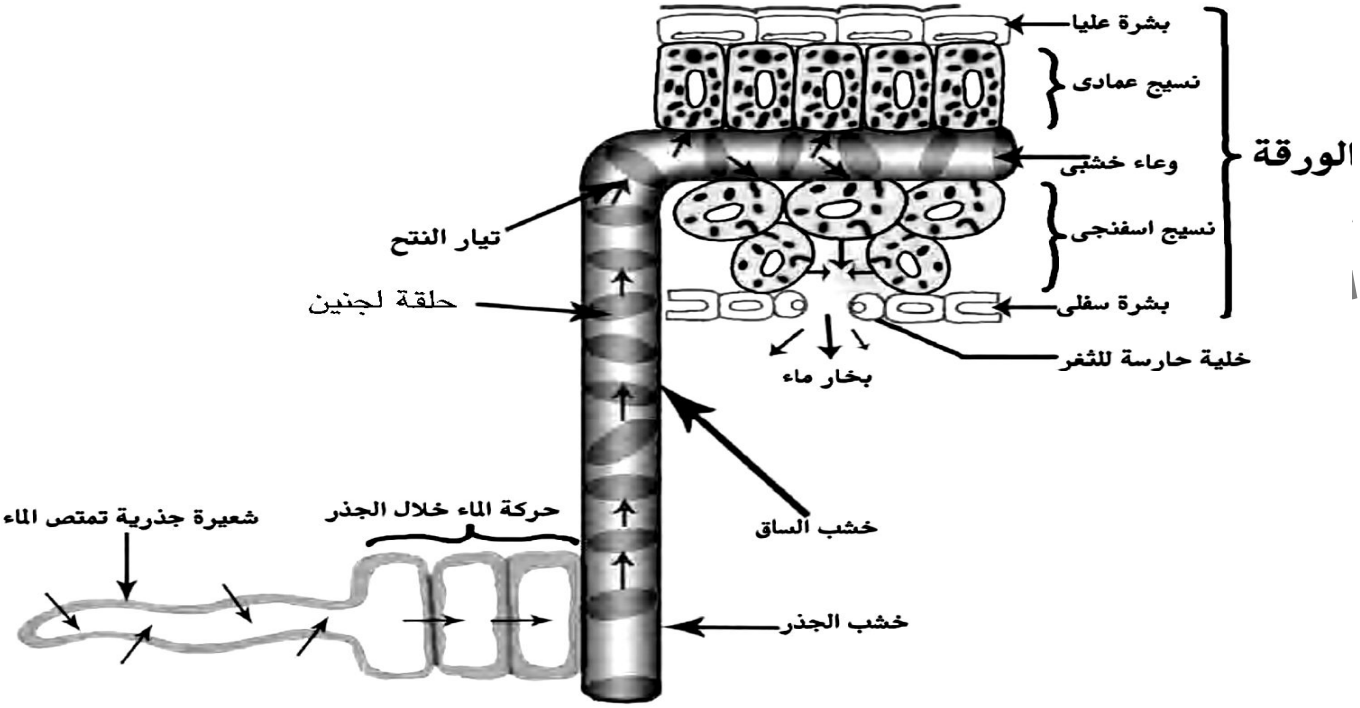
جـ) جدرها المسحوبة مثقبة بالنقر .



شكل (٢) الخشب

أولاً : آلية نقل الماء والأملاح من الجذر إلى الورقة :

يقوم الخشب بنقل الماء والأملاح من الجذر إلى الأوراق كما هو موضح بالرسم التالي .



شكل (٣)

شكل تخطيطي يوضح صعود الماء (العصارة) في أوعية الخشب

القوى التي تعمل على صعود العصارة :

- وضعت عدة نظريات لتفسير صعود الماء منها ما يلي :

١) الضغط الجذري Root pressure:

هو الضغط الناشئ في الجذر نتيجة إمتصاصه للماء بالخاصية الأسموزية .

النظرية تنص على :

- أن الماء يندفع في أنابيب وأوعية الخشب بفعل قوى الضغط الجذري كما يلي :

١- يتم امتصاص الجذر للماء بالخاصية الاسموزية فيتراكم الماء في أوعية الخشب مسببا ضغطا جذريا يدفع الماء عموديا لأعلى مسافة قصيرة .

٢- يتوقف إندفاع الماء عند حد معين وذلك لتساوى الضغط الجذري (لأعلي) مع ضغط عمود الماء في أوعية الخشب (لأسفل) المعاكس للضغط الجذري .

الدليل على ذلك

ظاهرة الإدماء وهى خروج الماء من ساق النبات إذا قطعت بالقرب من سطح التربة وتتم بفعل الضغط الجذرى .

نقد النظرية :

تفسير صعود العصارة بالضغط الجذري لا يفسر صعود الماء إلى مسافات شاهقة كما في الأشجار العالية **وذلك للأسباب الآتية** :

١ـ الضغط الجذري في أحسن الأحوال لا يزيد ٢ ض / جو .

٢ـ الضغط الجذري معدوم في النباتات عارية البذور كالصنوبر .

٣ـ الضغط الجذري يتأثر بالعوامل الخارجية بسرعة مثل (تركيز محلول التربة – درجة الحرارة) .

٢) خاصية التشرب Imbibition:

ـ هي خاصية تمتاز بها الدقائق الصلبة خاصة الغروية ويقصد بها قدرة هذه الدقائق على إمتصاص السوائل و الإنتفاخ فتزداد في الحجم وتمتص جدر خلايا النبات الماء بهذه الخاصية .

النظرية تنص على :

الماء يرتفع في أنابيب أوعية الخشب بفعل خاصية التشرب

الدليل على ذلك :

جدر الأوعية الخشبية تتكون من السليلوز و اللجنين ذات الطبيعة الغروية التي تستطيع أن تتشرب الماء .

نقد هذا التفسير :

١ـ أن خاصية التشرب ذات أثر محدود في رفع العصارة (**علل**) حيث ثبت أن معظم العصارة تسير في تجاويف أوعية الخشب وليس فقط من خلال جدرانها .

٢ـ أهمية خاصية التشرب محدودة جدا في صعود العصارة وتنحصر أهميتها في نقل الماء خلال جدران الخلايا حتى تصل إلى جدران الأوعية الخشبية و القصيبات في الجذر ثم الساق فالأوراق ثم خروجه من هذه الأوعية إلى الخلايا المجاورة لها في الأوراق .

ملحوظة :

خاصية التشرب لا تفسر إرتفاع الماء إلى قمم الأشجار العالية (**علل**)حيث أن العصارة تسير فى تجاويف أوعية الخشب وليس فقط من خلال جدرانها .

أيمن أبو عيش ٠١٠٦٧٤٦٩٦٢

٣) الخاصية الشعرية Capillarity:

هي خاصية إرتفاع الماء في الأنابيب الضيقة .

النظرية تنص على :

أن الماء يرتفع في الأنابيب الخشبية بالخاصية الشعرية .

والدليل على ذلك :

أن أوعية الخشب من الأنابيب الضيقة التي يتراوح قطرها بين **٠,٢ – ٠,٥ مم** لذلك يرتفع الماء في هذه الأوعية بالخاصية الشعرية .

نقد النظرية :

أن الخاصية الشعرية من القوى الضعيفة لرفع العصارة (**علل**) لان أقصى مدى لإرتفاع الماء في أضيق الأنابيب لا يزيد عن **١٥٠ سم** لذلك تعتبر الخاصية الشعرية من القوى الثانوية الضعيفة لرفع الماء .

٤) نظرية التماسك والتلاصق وقوة الشد الناتجة عن النتح :

- وضع أسس هذه النظرية العالمان **ديكسون وجولى** .
- اثبت علماء فسيولوجيا النبات أن هذه القوي هي القوي الأساسية التي تعمل علي سحب الماء في الساق إلي مسافات شاهقة تصل **الي ١٠٠ م** .
- اثبت ديكسون وجولى **أن الماء يسحب من قبل الورقة نتيجة استهلاك الماء في عمليات الأيض** (التحول الغذائي) **والنتح والتبخر في الأوراق** .

وتتلخص النظرية في أن عمود الماء يرتفع في **الأنابيب الخشبية بالقوى الثلاثة التالية :**

أ) قوة التماسك Cohesive force:

قوة تماسك جزيئات الماء مع بعضها البعض داخل أوعية الخشب والقصيبات **وهى السبب في أن تجعل عمود الماء متصل ليس به فقاعات هوائية .**

ب) قوة التلاصق Adhesive force :

قوة التلاصق بين جزيئات الماء و جدران الأنابيب الخشبية وهى السبب في **بقاء عمود الماء معلقاً باستمرار ومقاوم لتأثير الجاذبية الأرضية .**

جـ) القوة الناشئة عن النتح :

- عمليات الأيض (التحول الغذائى) والنتح والبخر المستمر فى الأوراق هى السبب **فى جذب أعمدة الماء إلى أعلى** .
- تعتبر القوى السابقة هى الأساسية التى تعمل على سحب الماء فى الساق إلى مسافات شاهقة تصل إلى ١٠٠ متر .
- **وقد ثبت أن للماء قوة شد عالية داخل الأنابيب الخشبية وذلك عند توافر الشروط التالية :**

أ) أن تكون الأنابيب شعرية .

ب) أن تكون جدران الأنابيب ذات خاصية إلتصاق مع الماء .

جـ) أن تخلو الأنابيب من الغازات أو فقاعات الهواء (**علل**) حتى لا ينقطع عمود الماء فيها .

- لا تنجح عملية نقل بعض الشتلات من المشاتل لزراعتها فى الأرض المستديمة إذا تأخرت زراعتها بعد النقل وتعرضت للشمس مدة طويلة (**علل**) وذلك لأن تعرض الشتلات للشمس مدة طويلة يعمل على جفافها وتسرب فقاعات الهواء داخل الأنابيب الخشبية الموصلة للعصارة فينقطع عمود الماء بداخلها مما يحول دون وصول العصارة بها ويؤدى إلى ذبول الشتلة وموت النبات .

مسار صعود العصارة (الماء والأملاح) من الجذر إلي الأوراق:

١- **تفقد** الأوراق بخار الماء الموجود في الغرف الهوائية عن طريق الثغور فيما يسمي بـ **عملية النتح**.

٢- يقلل **النتح** الرطوبة في الغرفة الهوائية للجهاز الثغري في الورقة.

٣- يزداد التبخر من خلايا النسيج الوسطي المحيط بغرفة الثغر الهوائي فتسحب الغرف الهوائية الماء منها.

٤- يقل امتلاء خلايا **النسيج الوسطي** بالماء مما **يرفع** تركيز عصارتها **فيزداد جذبها** للماء من الخلايا المجاورة **حتي تصل** إلي أوعية الخشب في العروق الدقيقة فالكبيرة فالعرق الوسطي للورقة فيقع الماء الموجود في أوعية الخشب تحت قوة شد كبيرة فيرتفع الماء في أوعية الخشب وقصيبات الساق والجذر المتصلة ببعضها **ولا يقف الشد الورقي** عند حد سحب الماء الذي وصل الي الاسطوانة الوعائية في الجذر بل يساعد أيضا علي الشد الجانبي من الشعيرات الجذرية.

ثانياً: نقل الغذاء الجاهز من الورقة إلى جميع أجزاء النبات :

يقوم اللحاء بنقل العصارة الناضجة (التي تتكون من المواد العضوية عالية الطاقة المتكونه في الورقة اثناء عملية البناء الضوئي)إلى أسفل حتى يغذى الساق والمجموع الجذرى وإلى أعلى حتي يغذى البراعم والأزهار والثمار .

فمم يتكون اللحاء وكيف يلائم وظيفته ؟

نسيج اللحاء :

مكونات اللحاء :

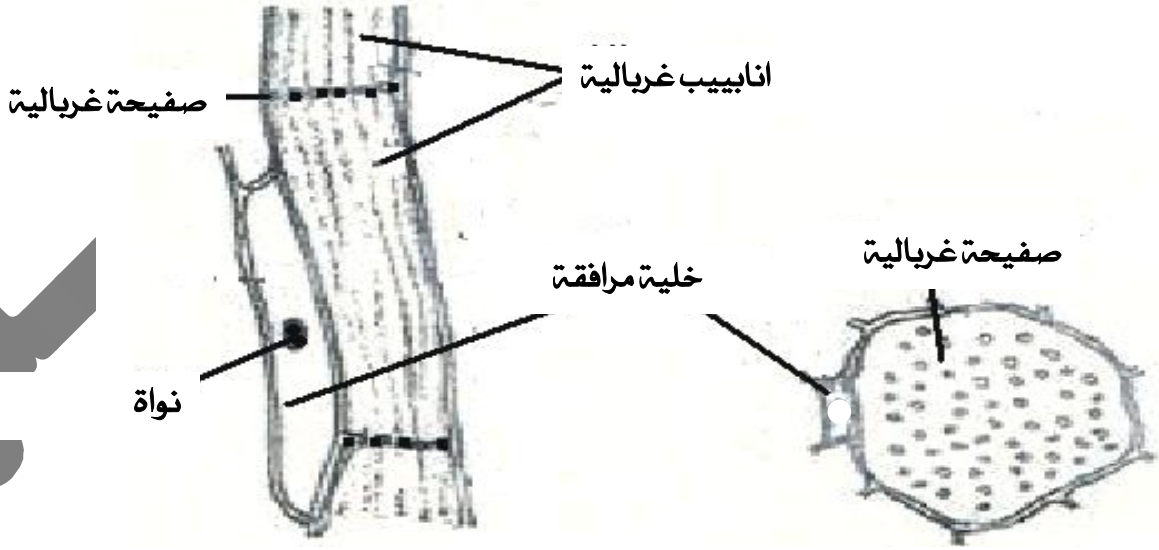
يتكون اللحاء من :

١- **أنابيب غربالية** : هى خلايا تظهر فى القطاع الطولى مستطيلة ومتراصة فوق بعضها وعند نضجها تكون عديمة النواة وتتخللها خيوط سيتوبلازمية و تفصلها عن بعضها جـــــدران مستعرضة مثقبة تسمى صفائح غربالية (حواجز غربالية) .

٢- **خلايا مرافقة** : يرافق كل أنبوبة غربالية خلية مرافقة ذات نواة تعمل علي تنظيم العمليات الحيوية للأنبوبة الغربالية بما تحتويه من قدر كبير من الريبوسومات والميتوكوندريا .

- كما توجد الياف وخلايا بارنشيمية تسمي بارنشيما اللحاء .

وظيفته : نقل المواد الغذائية العضوية عالية الطاقة (العصارة الناضجة) "التي كونتها الورقة اثناء عملية البناء الضوئي" في جميع الاتجاهات لأعلي ولأسفل كي تغذي الساق والمجموع الجذري .



شكل (٤)

دور الأنابيب الغربالية فى نقل المواد الغذائية الجاهزة :

يتضح دور الأنابيب الغربالية من خلال التجربتين التاليتين :

١) تجربة رابيدن وبور :

الخطوات :

١ـ أتاح العالمان رابيدن وبور عام ١٩٤٥ الظروف لورقة واحدة من **نبات الفول** للقيام بعملية البناء الضوئى فى وجود CO_2 به **كربون مشع C^{14} كي تتكون مواد كربوهيدراتية مشعة** .

٢ـ تتبعا مسار المواد الكربوهيدراتية المشعة المتكونة فى النبات .

المشاهدة والاستنتاج :

وجد أن المواد الكربوهيدراتية المشعة تنتقل إلى أعلى وإلى أسفل في الساق.

ملحوظة:

الكربون المشع C^{14} استخدم في تجربتين هما:

١ـ تجربة الكشف عن طبيعة التفاعلات اللاضوئية لميلفن كلفن.

٢ـ تجربة رابيدن وبور لبيان دور الأنابيب الغربالية في نقل الغذاء واثبات ان الغذاء ينتقل لأعلي ولأسفل.

٢) تجربة متلر:

الخطوات :

١ـ استعان متلر بحشرة المن التى تتغذى على عصارة النبات الناضجة حيث تغرس فمها **الثاقب** حتى يصل إلى الأنابيب الغربالية ومن ثم ينتقل الغذاء من فمها إلى معدتها

٢ـ فصل متلر جسم الحشرة عن فمها أثناء تغذيتها واستطاع أن يجمع عينة من غذاء الحشرة وحللها .

المشاهدة :

أثبت بتحليل غذاء الحشرة أنه مكون من المواد العضوية التى تصنع فى الأوراق (**سكر القصب والأحماض الأمينية**) .

الاستنتاج :

أن أنسجة اللحاء (الأنابيب الغربالية) هي المسئولة عن نقل الغذاء.

التأكد:

ـ تحقق متلر أن العصارة التى حصل عليها هى **عصارة اللحاء** بأن عمل قطاع فى المنطقة المغروس فيها خرطوم الحشرة ، فظهر أنه مغروس فى أنبوبة غربالية من لحاء النبات .

اللحاء ونظرية الانسياب السيتوبلازمى :

- استطاع العالمان **ثاين وكانى** في عام ١٩٦١ رؤية **خيوط سيتوبلازمية** طويلة محملة بالمواد العضوية داخل الأنبوبة وتمتد هذه الخيوط من أنبوبة إلى أخرى عبر ثقوب الصفائح الغربالية.
- لذا أمكن تفسير ألية إنتقال المواد العضوية فى اللحاء على أساس الإنسياب السيتوبلازمى .

المقصود بالإنسياب السيتوبلازمى :

هو حركة السيتوبلازم حركة دائرية داخل الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة .

آلية انتقال المواد العضوية فى اللحاء :

١ـ أثناء الإنسياب السيتوبلازمى تنتقل المواد العضوية من طرف الخلية إلى الطرف الأخر عن طريق الحركة الدائرية للسيتوبلازم .

٢ـ تمر المواد العضوية إلى أنبوبة غربالية مجاورة عن طريق الخيوط السيتوبلازمية التى تمر من أنبوبة إلى أخرى .

ـ **عملية النقل فى اللحاء عملية نشطة** يلزمها مواد ناقلة للطاقة ATP وهذه المواد تتكون بوفرة في الخلايا المرافقة وتنقل عبر خيوط البلازموديزما التي تصل سيتوبلازم الخلايا المرافقة بسيتوبلازم الأنابيب الغربالية.

والدليل على ذلك :

أن عملية النقل فى اللحاء تبطئ عند خفض درجة الحرارة أو نقص الأكسجين فى الخلايا مما يبطئ حركة السيتوبلازم و إنسيابه فى الأنابيب الغربالية .

ملحوظة:

الأساس العلمي لتفسير آلية نقل الغذاء هو الانسياب السيتوبلازمي .

أبو عيش ٠١٠٦٧٤٦٩٦٢