

## الفصل الثامن

انتقال الماء والمغذيات إلى أعلى  
النبات (النسج الطاعد)

obeikandi.com

## انتقال الماء والمغذيات إلى أعلى النبات (النسج الصاعد)

مقدمة:

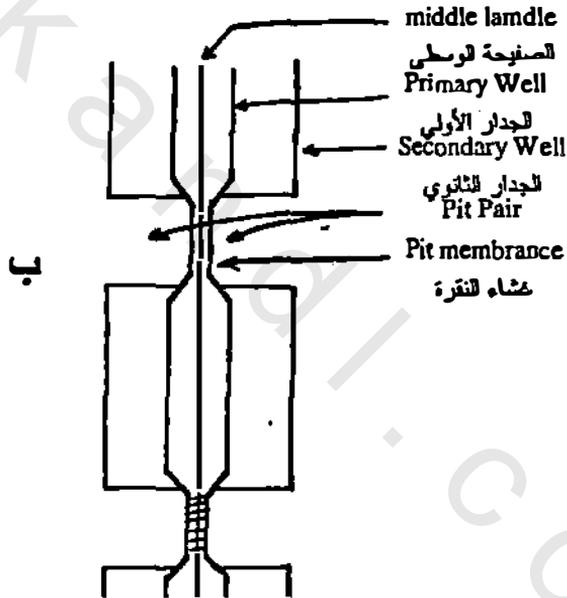
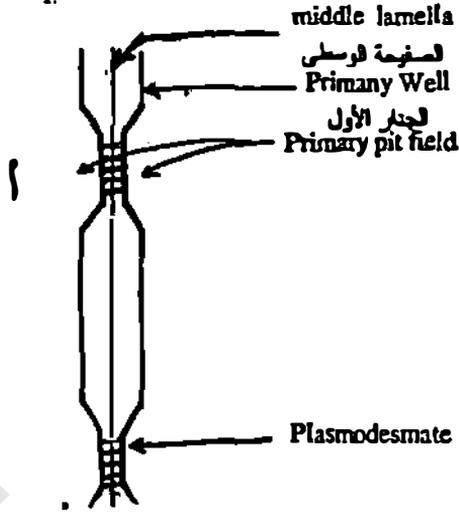
عندما تعقدت الحياة وتطورت بعض النباتات وذلك عند نقلها من بيئة المحيطات إلى الأرض اليابسة أصبح على هذه النباتات أن تطور أجهزة مختلفة لتنظيم عملياتها الحيوية ولهذا أصبح لزاماً على هذه النباتات أن تكون ضماً منها في التربة (المجموعة الجذرية) وقسم آخر ينمو فوق سطح التربة معرضاً لضوء الشمس (القسم الخضري) ولدى هذا الفصل إلى ضرورة تكوين وتطوير أجهزة خاصة لنقل الماء والمغذيات للأعلى والأسفل (الساق).

ونظراً لحاجة النبات إلى تكامل وتنظيم عملياته الحيوية المختلفة أثناء النمو لهذا برزت الحاجة إلى بعض منظمات النمو أو الهرمونات (Plant Hormones) ومن المعلوم أن النباتات الأرضية تحصل على أغلب الماء اللازم من التربة غير أن كميات كبيرة من الماء تفقد أثناء النتح (Transpiration) والادماع (Cuttation) بينما تستخدم كميات صغيرة من الماء في عمليات النمو المختلفة ولهذا فلا بد للماء أن يجري خلال الأنسجة والأعضاء الماصة من الجذر إلى الأنسجة التي تستعمل فيها الماء أو ينطلق منها خارج النبات بعملية النتح هذا وتسمى العملية التي يتحرك فيها الماء والمغذيات خلال النبات إلى الأعلى بالنسج الصاعد.

وفي بعض النباتات العشبية والشجيرات لا يرتفع الماء من الجذر إلى الأوراق أكثر من بضعة أقدام غير أن حالات مذهلة لحركة الماء العلوية تحدث في بعض الأشجار الطويلة فمثلاً أشجار الخشب الأحمر Red Wood (سيكويما سميرفيرنسي) الذي وصل ارتفاعها إلى نحو ١١١ متراً وأشجار (سيكويما جيجانتيا) نحو ٩١ متراً في كاليفورنيا وإذا أضفنا لذلك عمق الجذور في التربة فإن المسافة الرأسية الحقيقية التي يصعد خلالها الماء قد تزيد على ٢١٢ متر.

## الخلايا والأنسجة المتعلقة بالنسغ للصاعد:

نتيجة لانقسام الانسجة المرستيمية في الجذر والساق تتكون خلايا جديدة فتتأشأ أولاً طبقة الـ Phragmoplast التي تتطور في النهاية إلى الصفيحة الوسطى Middle lamella ثم يتكون الجدار الاولي Primary wall للخلايا الجديدة في الساق والجذر وتوجد في الجدار الاولي أماكن غير مثخنة تسمى للنقر Primary pit field وقد تحدث هذه النقر في أزواج pit pairs او منفردة Blind ثم يوضع للجدار الثانوي لخلايا الساق والجذر على الجدار الاولي لهذه الخلايا وعادة يحتوي للجدار الثانوي على نقر (pits) وتكون بحالة مزدوجة (pit pairs) أي واحدة في خلية معينة والاخرى مقابلة لها في الخلية الاخرى كما في شكل رقم (٨-١ أ، ب) والذي يوضح ان النقرتين تشتركان بنفس غشاء النقرة Pit Membrane المكون من الجدار الاولي للخليتين المتجاورتين لما النقر فقد تحدث بأشكال مختلفة تختلف باختلاف النباتات (Esau, 1960 1965)



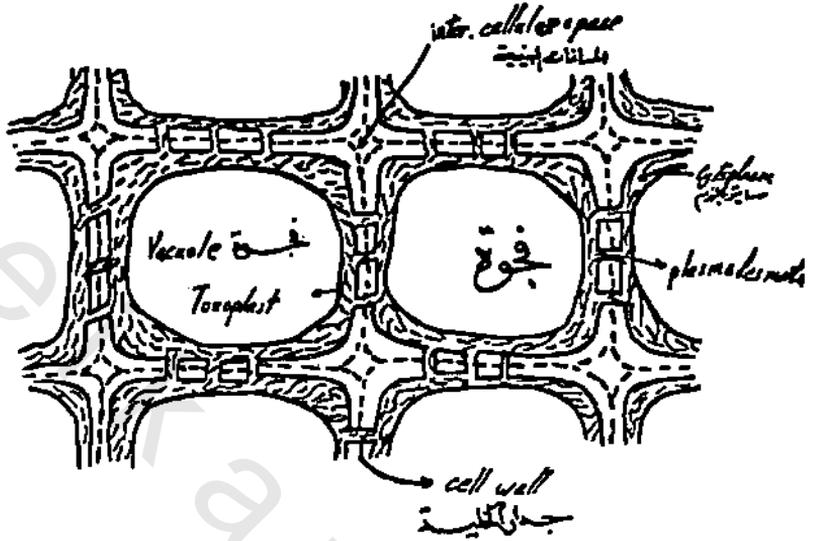
شكل رقم (٨-١): أ- جدار الخلية المكون من الصفحة الوسطى والجدار الأولي مع Primary (Pit Field) التي تخترق بواسطة قنوات بروتوبلازمية (Plasmodesmata).  
 ب- جدار الخلية المكون من الصفحة الوسطى والجدار الأولي والجدار الثانوي مع النقر المزدوجة (Pit Pair) ويرى هنا أن الجدار الثانوي لا يتكون على النقر.

عن: Esau, 1960

كما قد تخترق النقر (Primary pit field) قنوات بروتوبلازمية دقيقة Plasmodesmata تلعب دوراً رئيسياً في الاتصال والتكامل بين بروتوبلازمي الخليتين المتجاورتين ولهذا فإن بروتوبلازم للخلايا في التنبات يكون مرتبطاً وموافاً شبكة متصلة تسمى (symplast) شكل رقم (٨-٢). أما أهمية الـ Primary pit field و pit pairs فتتعلق بموضوع نقل الماء والمغذيات من أنسجة النبات وقد وجد ان الماء والمواد المذابة فيه تتحرك من خلية لأخرى عبر قنوات Plasmodesmata بطريقة الانتشار والتناذ دون عبور غشاء الخلية (Tyree, Plasma membrane 1970). ان هذا النوع من الانتقال عبر طريق Plasmodesmata قد يكون كافياً للنباتات الصغيرة التي تكون خلاياها دائماً مجاورة للماء والمعادن المذابة فيه.

غير ان للنباتات التي يرتفع الماء فيها إلى مسافات كبيرة (حوالي ١٠٠ متر) تحتاج إلى تكيفات وتطورات كافية مصحوبة بوجود الأنسجة الوعائية الناقلة وليذا فالتصنيف الحديث للنباتات أخذ بنظر الاعتبار تطور الأنسجة الوعائية كما في التصنيف الحديث للنباتات (Weir et al, 1970). كما واعتبرت شعبة Tracheophyta أرقى النباتات لاحتوائها على الأنسجة الوعائية الناقلة بينما اعتبرت شعبة الحزازيات والكبديات (Liverworts) والطحلبيات (Mosses) أقل رقياً في سلم التطور.

هذا وتعتبر الأنسجة الوعائية أنسجة معقدة مكونة من أنسجة الخشب المختلفة وأنسجة اللحاء المختلفة.



شكل رقم (٨-٢): رسم تخطيطي للاتصال المسمى (Symplast) ويرى فيه لـ  
Brouwer, 1965 (Plasmodesmata) عن:

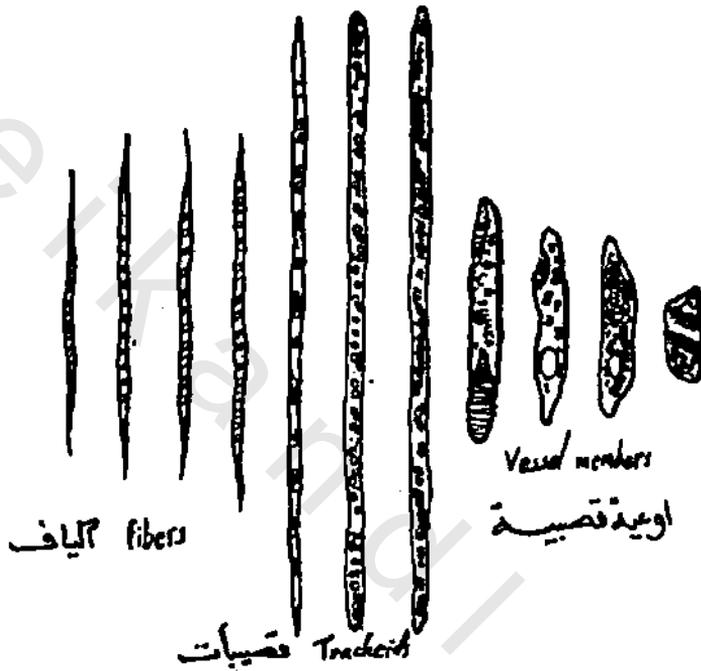
## أنسجة الخشب

عند تشريح مكونات أنسجة الخشب تتضح مكوناته التالية:

### ١- القصيبات والأوعية: Tracheids and Vessel Elements

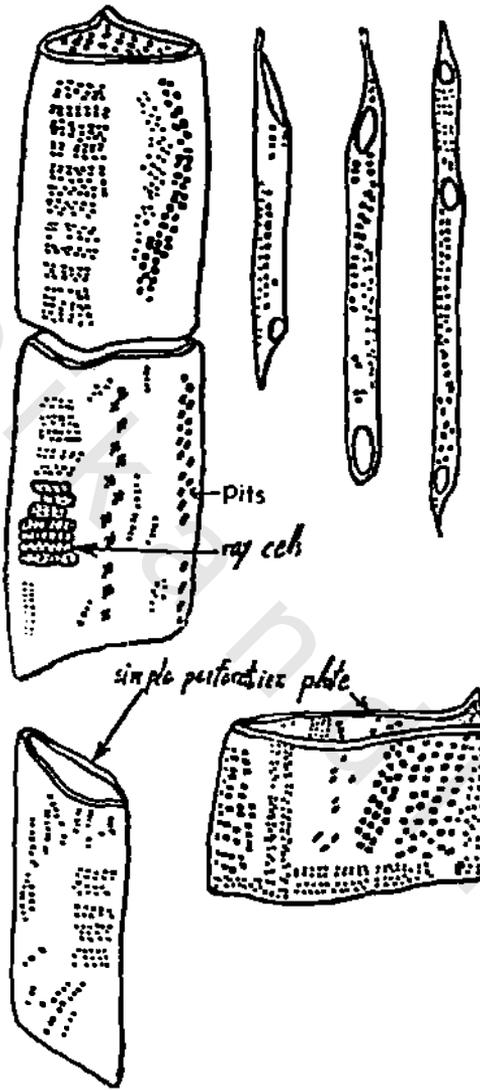
ان القصيبات عبارة عن خلايا طولية الشكل مدببة للطرفين منفردة تقوم بوظائفها الفسيولوجية. تتخذ جدرانها الثانوية بمادة اللكئين Lignin وهي مجمعات من مادة (Phenyl propanoid) ويوجد للتخذ بأشكال مختلفة منها حلزونية أو حلقة أو شبكية وقد يغطي التخذ جميع جدران الخلايا ماعدا نقاط معينة تسمى للنقر Pits كما في الشكل رقم (٨-٣). أما الأوعية vessels فان كل وعاء مكون

من عدة خلايا طويلة للشكل مات بروتوبلازما وذابت جدران منتهياتها وتخذت جدرانها بمادة للكين بأشكال مختلفة مثل الحلقية أو للحلزونية أو الشبكية أو المنقرة. ان موت البروتوبلازم لا يؤدي إلى عرقلة حركة نقل الماء والمواد الذائبة فيه أما نهايات القصبيات فهي مقببة بما يشبه الـ Perforation plate بانكال مختلفة منها بسيطة (simple (perforation plate) أو بشكل السلم (scalariform perforation plate) أو شبكية (Reticulate perforation plate) أو بيضوية الشكل (Formarviate perforation plate) كما في الشكل للمرقم (٨-٤). وتعتبر الأوعية متطورة ومنحدرة من القصبيات أما الأوعية ذات النهاية البسيطة فيه الأكثر تطوراً. وتعتبر الأوعية (Vessels) أهم الأجهزة الناقلة للماء والمواد الذائبة فهي في نباتات مغطاة للبذور (Angiosperms) وهي غير موجودة في عارية البذور وخاصة للمخروطيات (conifers) التي تعتبر للقصبيات فيها أهم الاعضاء الناقلة للماء والمواد الذائبة فيه. وما تجدر الإشارة إليه أن النقل في الأوعية يكون أسهل بكثير مما في للقصبيات نظراً لقلة المقاومة في الأوعية وبالرغم من أن اتجاه النقل هو من الأسفل إلى الأعلى إلا أن حركة جانبية (Lateral Transport) للماء والمواد الذائبة تحدث خلال الـ (Pits) كما أن البعض يعتبر وجود حركة جانبية بين مجرى الخشب واللحاء (Salisbury and Ross, 1969).



شكل رقم (٣-٨): أنواع مختلفة من الأوعية القصبية والقصبيات والألياف الخشبية

عن: Esau, 1965



شكل رقم (٨-٤): أنواع مختلفة من الأوعية القصبية وتوضح (Perforation Plates) والنظر (Pits).

عن: Esau, 1960

## ٢٠٠ Xylem fibers: اليفاف الخشب:

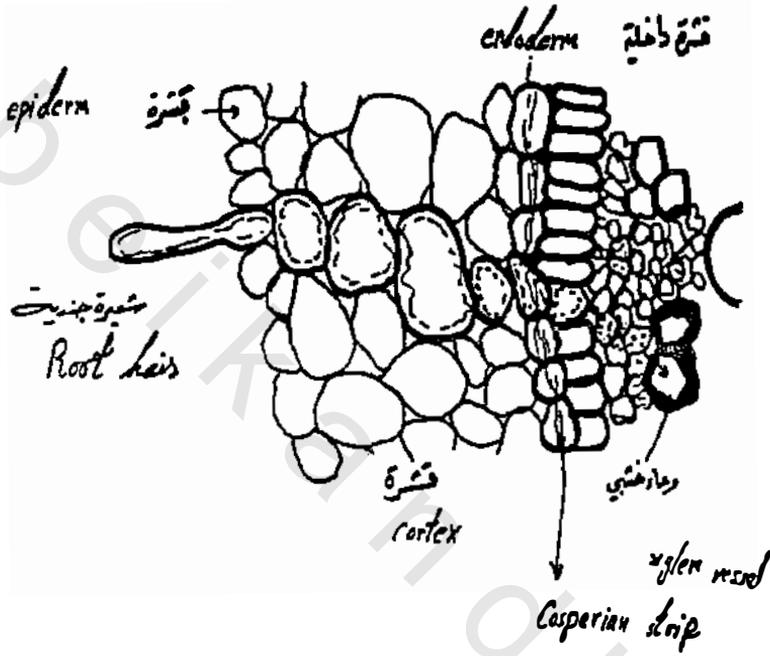
وهي خلايا طويلة رقيقة مستدقة للنهاية وذات جدران متخشنة باللكنين وتموت عند النضج كما في الشكل رقم (٨-٣). ان أهم وظيفة للألياف هي كسب للنبات قوة ومساعدة ميكانيكيته وقد يمر خلال الاليف قسم قليل من الماء.

## ٣- الخلايا الحشوية في الخشب X ylem Parenchyna

وهي خلايا حية منتشرة في نسيج الخشب أو قد تكون مرتبة بشكل الأضعة وتسمى X ylem Rays أما أهم وظائفها فهي خزن للمواد الغذائية كالنشأ (Esua) (1965) كما أنها قد تساعد في حركة النقل الجانبية (Lateral Transport) للماء وللمواد الغذائية بصورة عرضية في الجذر أو الساق.

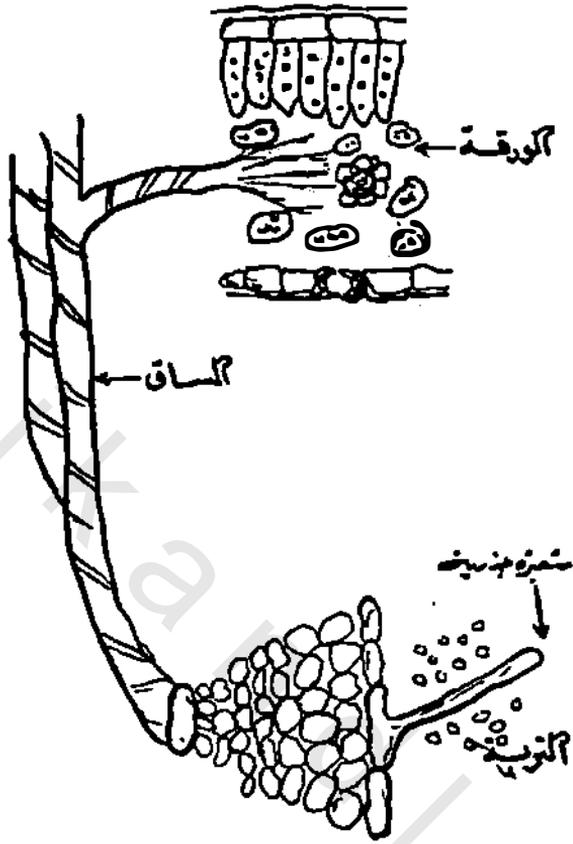
مسلك الماء والمغذيات من التربة للنبات:

ان خلايا البشرة والشعيرات. الجذرية هي الخلايا النبطية في الجذر التي تكون بتماس مع محلول التربة. ويكون تركيب الجذر بمقطعه العرضي كما يلي:  
البشرة Epiderm هي الطبقة الخارجية ثم تليها طبقة القشرة (cortex) ذات الخلايا الحشوية غير المترامة وتنتهي للقشرة بطبقة القشرة الداخلية (endodermis) التي تكون خلاياها مرتبة بشكل اسطواني وتحتوي القشرة الداخلية على طبقة شريطية تسمى (starch sheath) أو (casparian strip) شكل رقم (٨-٥). وهي مادة صلبة غير قابلة للنفوذ ومحتوية على مادة subrin وتحيط احاطة كاملة بالقشرة الداخلية ولهذا فالشريط يعد مانعاً لمرور الماء والمغذيات من القشرة إلى الامسجة الناقلة عن طريق جدران الخلايا (peirson and Dumbroff, 1969).

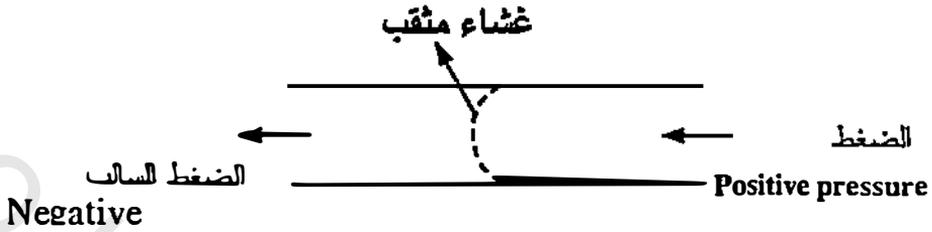


رسم رقم (٨-٥): قسم من مقطع عرضي لجذر الحنطة ويرى فيه ممر (Symplast) لحركة الايونات والماء من المحيط الخارجي إلى اوعاء القصبى.

عن: Esau, 1965



شكل رقم (٦-٨): طريق الماء والمغذيات من التربة فالجذر والساق إلى الأوراق.  
 محورة عن: Devlin, 1966



شكل رقم (٧-٨): رسم تخطيطي يبين الضغط الموجب والسالب.

وأصبح لازماً على المواد المارة أن تمر عن طريق بروتوبلازم خلايا القشرة الداخلية أو ما يسمى Symplastic movement. ثم تأتي الاسطوانة المركزية في الجذر Stele وأولها الدائرة المحيطة pericycle وبعد ذلك يصل الماء والمغذيات إلى الأوعية الخشبية أو القصيبات في الجذر. ومن المعلوم أن أنسجة الخشب هي متصلة من الجذر فخلايا الساق وسويقات الاوراق ثم عروق الأوراق ويتفرع أخيراً في النسيج المتوسط Mesophyll شكل رقم (٨-٦) إلى الآف الحزم الوعائية Vascular bundler للمبعثرة في النسيج المتوسط حتى تكون مجاورة للخلايا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي.

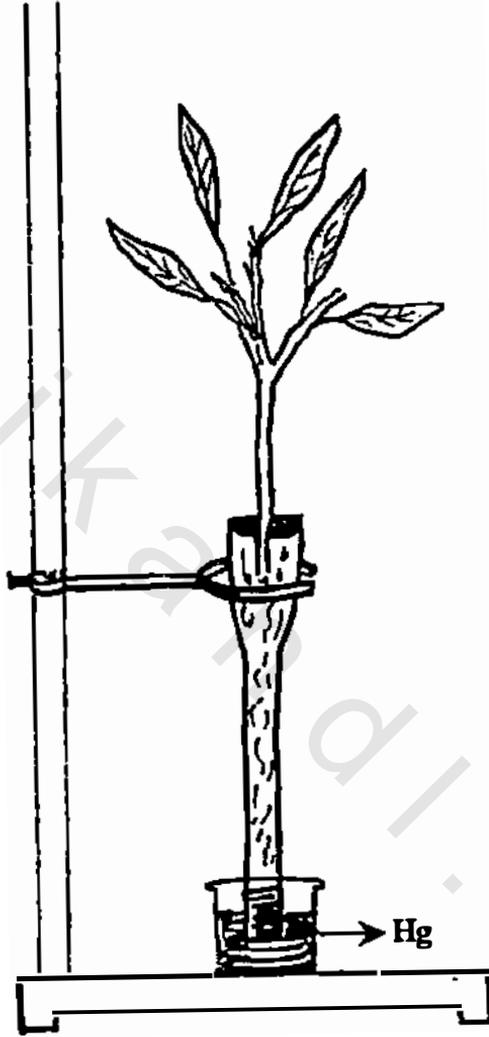
إن قسماً من الحزم الوعائية الطرفية محاطة بحزام من خلايا حشوية bundle sheath متخصصة لنقل الماء والمواد الذائبة من الخشب إلى النسيج المتوسط ويمر الماء عبر هذه الأنسجة المذكورة وتفقد خلايا الورقة معظم الماء بواسطة للنتح عن طريق الثغور Stoma وإذا أراد القارئ التوسع في موضوع تشريح النبات، فيستحسن دراسة كتاب Plant anatomy للمؤلفة (Esua 1965).

نظريات صعود الماء في النبات

(١) نظرية التماسك والتلاصق: Cohesion adhesion theory

عند حدوث عملية للنتح يتبخر الماء من الأوراق الأمر الذي يسبب قلة للماء في الأوراق وبالتالي يحدث فرق تدريجي للقوة الدافعة الكيمياءوية للماء من الجذور

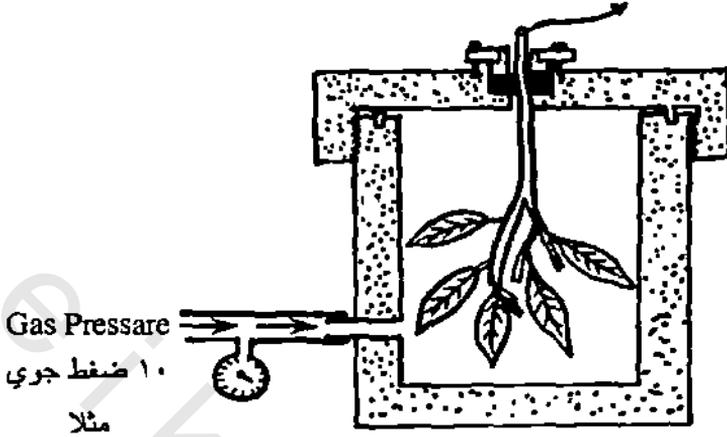
إلى الأوراق خلال النظام المترابط والمتواصل من التربة فالشعيرات الجذرية والقشرة ثم إلى الأنسجة الوعائية للناقلة في الجذر والساق وأخيراً إلى اللورقة وهذا يعني ان الماء واقع تحت توتر أو ضغط سالب كما في شكل رقم (٧-٨) ووجود قوى التماسك والتلاصق وهذا مما جعل Dixon and Joly سنة ١٨٩٥ ان يضعوا نظرية عن صعود الماء بسبب قوة التماسك والتلاصق وأيدت هذه النظرية من قبل عدة علماء منهم (Renner, 1915, Askenesy, 1895) وملخص النظرية ان صعود الماء راجع إلى قوة التماسك بين جزيئات أعمدة الماء التي تملأ الأوعية وللقصبيات الخشبية وان هذه الأعمدة تجذب للأعلى بقوة أو (شد) surface tension أو ضغط سالب والمتسببة عن النتح أضف لذلك للتجاذب بين جزيئات الماء والجدار للانبوبة (الأوعية الناقلة) حيث يسهل صعود الماء في الأوعية الناقلة. أما كمية الشد Negative Pressure فقد وجدها (Runner, 1915) تعادل ٣٠٠ ضغط جوي ويمكن اظهار قوة الشد بعمل تجربة بسيطة حيث تقطع ساقاً نباتية تحت سطح الماء لئلا يدخل الهواء في الأوعية الخشبية ويسبب عدم تماسك جزيئات الماء وتثيت هذه الساق المقطوعة مباشرة في قمع زجاجي فيه ماء وغمس طرفه الرفيع في حوض فيه زنبق فسوف يلاحظ بعد مدة من الوقت ارتفاع الزنبق في ساق القمع بسبب تبخر الماء على الأوراق (النتح) وتولد قوة شد أعمدة الماء Negative Pressure ويتحرك الماء للأعلى ليحل محل الماء المفقود بالنتح شكل رقم (٩-٨) غير ان تجربة حديثة للباحثين (Scholander et al, 1965) لقياس الشد أو الضغط السالب Tension أو Negative Pressure قد جربت فعند قطع غصن أي نبات مثل التفاح أو الطماطة أو الصنوبر ووضعها في غرفة ضغط سميت (Pressure bomb) ثم يسلط ضغط من الخارج على الغرفة كافيًا لارجاع العصارة التي كانت تحت محب للضغط الخارجي إلى مكان القطع وذلك بملاحظة اوعية الخشب بواسطة مكرسكوب ذو عيني binocular microscope ومن ثم قراءة مقدار الضغط المسلط والمساوي للـ Negative Pressure مباشرة كما في شكل رقم (١٠-٨) هذا وقد توصل Scolander ومساعديه إلى قراءة مايقارب ٨٠ ضغط جوي وليس ٣٠٠ ضغط جوي كما ارده Renner ومما تجدر الإشارة إليه ان النتح هو القوة الساحبة لمعظم حركة الماء للأعلى تحت الظروف الاعتيادية.



رسم رقم (٨-٩): تبخر الماء من الاوراق بعملية النتج تؤدي إلى توليد قوة شد تسبب ارتفاع الزئبق.

عن دكتور حسين معيد والدكتور اسماعيل ندا / ١٩٦٤.

الشدة = ١٠٠ ضغط جوي



شكل رقم (٨ - ١٠) رسم تخطيطي لما يسمى Pressure Bomb لقياس Tension  
عن: Scholander et al, 1965

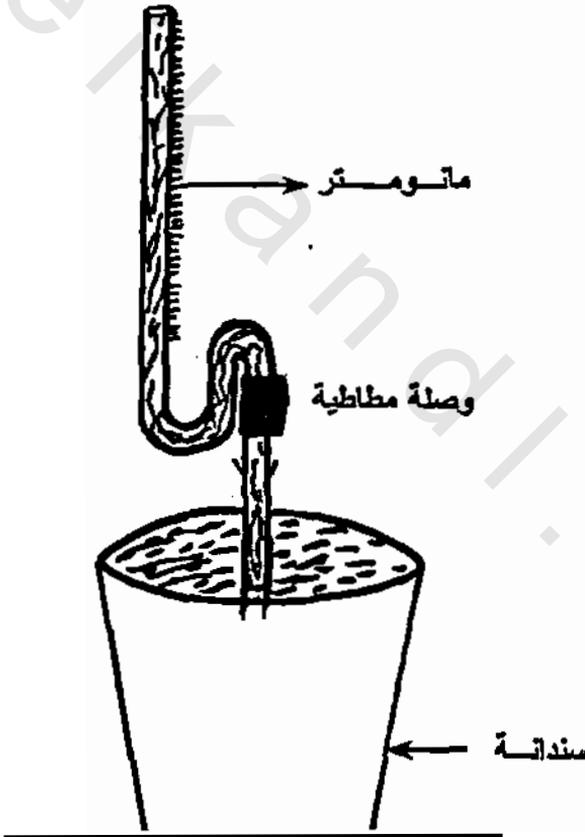
## (٢) الضغط الجذري: Root Pressure

لقد عرف Stocking, 1965 الضغط الجذري بأنه الضغط المتولد في العصارة المخففة الموجودة في القنوات الخشبية كنتيجة للافعال الحيوية في الجذور. في الربيع عندما تكون الاوراق صغيرة والنتح قليلا جداً يكون الضغط الجذري على أشده وهو مسؤول عن حركة ارتفاع الماء في النبات. كما وجد أن قيمة الضغط الجذري تنخفض عندما تنشط عملية النتح. ويقاس الضغط الجذري في أي نبات بواسطة مانومتر شكل رقم (٨-١١) ولا يزيد ماسجل لبعض النباتات من ضغوط جذرية باستثناء القليل على ضغطتين جوبيين وعندما تنمو النباتات في تربة رطبة ودافئة وكان الجو رطباً فتظهر نوعاً من القطرات المائية مع بعض ايونات العناصر على طول حافات الاوراق من بعض الغدد المائية في الاوراق التي تسمى Hydathodes وتدعى هذه العملية بالتنوع Guttation.

وقد وجد ان هذا الماء الممتع يحتوي على ايونات بعض العناصر الغذائية وبتركيز أكثر مما هو موجود في محلول للتربة (Lauchli and Epstein, 1971).

### (٣) النظرية الحيوية Vital Theory

لن بعض الباحثين الاوائل مثل Gold (Westermaier, 1884; Bose, 1923; Lewiski, 1884) قد نادوا بان انتقال الماء إلى أعلى النبات يعزى إلى وجود خلايا في الساق مثل وجود الخلايا الحثوية في الخشب وخلايا الأشعة للبييه في خشب الساق وقد تضح من تجارب Strasburger في ١٨٩١ و ١٨٩٣ بان الوسيلة الابتدائية لصعود العصارة في النباتات لا تتعلق بالخلايا الحية



شكل رقم (٨-١١): تجربة لإيضاح الضغط الجذري في نبتات مزروع في سندانة

محورة عن: Meyer and Anderson, 1952

بالمساق فقد أجرى تجارب كثيرة على حركة الماء في سيقان خشبية قُتلت منها للخلايا الحية بلمتعمل لسموم فمثلاً استعمل شجرة بلوط عمرها ٧٥ سنة وارتفاعها ٢٢ متراً وقطعها بالقرب من الأرض وغمر الطرف المقطوع في حامض الكروميك لقتل للخلايا الحية في المساق بصورة بطيئة. هذا وقد استعان رولد للنظرية الحيوية لاسناد نظريتهم بأن الأوراق تنبل وتموت عندما تموت المساق وقد اتفق هذا الرأي بأن الفيول لا يحدث مباشرة ويكون مرده تسداد الأوعية لنقله.

### حركة الأيونات مع الماء للأعلى

شبهها بحركة الماء فان الأيونات تمر بحرية إلى مسمى *outer space* Movement أو *Apoplatic Movement* أو إلى جدران الخلايا في القشرة وتستمر الحركة حتى القشرة الداخلية *endodermis* حيث تعرق حرية الحركة وجود طبقة *Casparian Strip* وعليه فعلى أيونات العنصر ان تمر خلال بروتوبلازم خلايا القشرة الداخلية أو مسمى (*Symplastic Movement* (Peirson and Dumbroff, 1969).

ومما يجدر الإشارة إليه ان هذه الأيونات لا تعبر غشاء الخلية بل خلال قنوات سايوتوبلازمية *Plasmodesmata* شكل رقم (٥٨) وبعد النفوذ إلى لادائرة المركزية تترك الأيونات طريق *Symplastic Way* وتصل إلى الأوعية لنقله غير الحية من الخشب وبعد ذلك يرتفع مجرى الماء والأيونات للعناصر بتأثير الضغط السالب عن اللتح. وقد أجرى *Hoagland* و *Stout* سنة ١٩٣٩ تجربة لظهور حركة الأيونات العلوية فقد استعملوا نبات للصفصاف للنامي في محلول مغذي ثم شق اللتح أو الانسجة اللحاتية في غصن من النبات بصورة طولية ووضعوا شرائط برفاينية بين الخشب والحاء من ثم غطى قسم منه شرائط برفاينية أخرى لمنع فقدان الماء من الغصن كما في الشكل رقم (٨-١٢) ثم اضيف لحد الأملاح الحاوية على بوتاسيوم مشع *Radioactive Potassium* إلى المحلول المغذي وبعد خمس ساعات قطع الغصن إلى عدة ولحتمبت كمية الإشعاع في القطع الحاوية على الخشب أو للحاء فوجد ان كمية الإشعاع في الخشب لكثير مما في للحاء في المنطقة المغطاة بالبرافين أما لأقسام الغصن غير المغطى بالبرافين فقد وجد ان

كيمية الأشعاع متشابهة تقريبا في كل من الخشب واللحاء واستنتجوا بان حركة الأيونات تحدث بصورة رئيسية في الخشب بيد ان حركة انتقال جانبية Lateral Transport لأيونات البوتاسيوم المشعة تجرى من الخشب إلى اللحاء وسببت وجود الأيونات المشعة في اللحاء.

ان حركة الأيونات في الخشب تصل في النهاية إلى العروق المتفرعة للأوراق. ومن الجدير ذكره أن خلايا النسيج المتوسطة للورقة Mesophyll تجمع الأيونات بطريقة حيوية Transport Active Smith and Epstein, 1964 ولهذا فإن معظم أيونات العناصر الغذائية تمتص حيويا مرتين واحدة في الجذر والاخرى عند خلايا الورقة وبالرغم من كثرة البحوث بشأن امتصاص وحركة أملاح العناصر الغذائية والماء في النباتات فان ميكانيكية هذه العملية الفسيولوجية لا تزال غامضة (Bose, 1923).

بعد اقترح Crafts and Broyer في 1938 فرضية لحركة الأيونات كما يأتي:

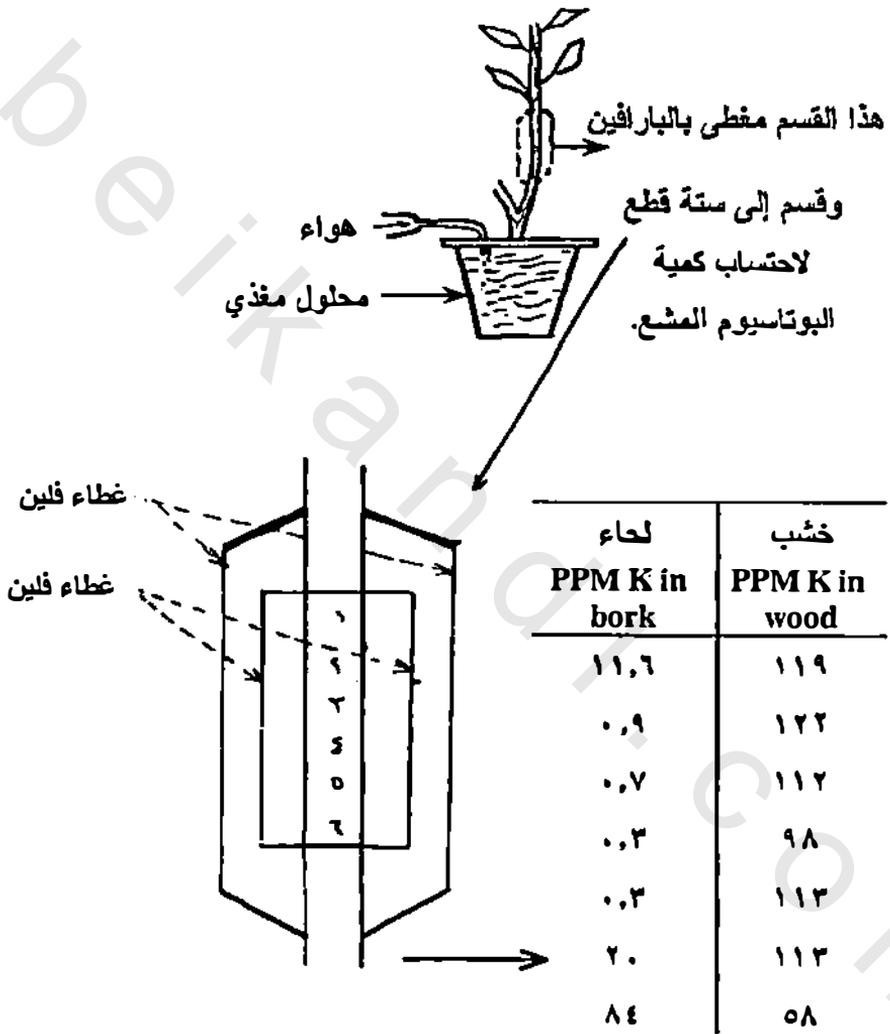
للأيونات تمتص حيويا بواسطة خلايا القشرة ومن ثم تنتشر عبر القنوات السايكوبلازمية Plasmodesmata بواسطة حركة Symplastic Movement من خلية لأخرى حتى تصل الاسطوانة المركزية Stele وبعدها تتضح الأيونات عبر غشاء الخلية Plasma membrane إلى الأنسجة الناقلة الخشبية وجدران الخلايا المحيطية وتفترض هذه الفرضية ان أغشية خلايا الاسطوانة المركزية هي ناضجة لكي تسمح بنفوذ الأيونات إلى خارج السايكوبلازم وتؤديها للنتيجة التي توصل إليها (Latis and Budd, 1964). وبعبارة أخرى ان فرضية (Crafts and Broyer) تفترض ان أنسجة القشرة تجمع الأيونات حيويا ومن أنسجة الاسطوانة المركزية تتضح للأيونات غير أن (Yu and Kramer, 1967) جعلوا مشكلة نقل الأيونات أكثر تعقيدا ولم يفتعوا بفرضية (Crafts and Broyer) بسبب ان الجذور عندما تمتص الأيونات المشعة لبعض العناصر الغذائية مثل  $Ca^{45}$ ,  $P^{32}$ ,  $Cl^{36}$ ,  $S^{35}$  وكذلك  $Ca^{45}$  فقد وجدوا أن تركيز الأيونات المشعة في الاسطوانة المركزية أكثر مما في خلايا القشرة كما أبدت تجارب Lauchli et al, 1971; Lauchli, 1967 هذه النتائج بيد أن (Latis) ومساعديه قبلوا مبدئياً بفرضية (Crafts and Broyer) وقالوا في حالة

تركيز الأيونات الواطيء، فار الايونات تؤخذ بميكانيكية رقم (١) عبر أغشية خلايا القشرة وتتحرك على منوال Symplastic Movement إلى الاسطوانة المركزية وعندئذ تتضح عبر أغشية خلايا الاسطوانة للمركزية حتى لنسجة الخشب ولكن عندما يكون تركيز الايونات في المحلول الغذائي عاليا فان ما يسمى بميكانيكية رقم (٢) تحدث في غشاء الفجوات Tonoplast بطريقة غير معروفة وتصل إلى الاسطوانة المركزية ومن ثم للنضوح إلى للخشب. ومما يجدر ذكره أن فرضية (Crafts and Broyer) تقودنا إلى عدة توقعات مهمة متعلقة بنقل الايونات إلى الخشب وهي:

- ١- العلاقة بين تركيز الايونات في المحيط الخارجي ومعدل النقل إلى الخشب يجب أن تكون علاقة طردية.
- ٢- لا توجد منافسة بين الايونات المتشابهة مثل الروبيديوم ( $Rb^+$ ) والليوتاسيوم  $K^+$  أو البروم  $Br^-$  والكلور  $Cl^-$ .
- ٣- ان انتقال ايونات البوتاسيوم لا تعتمد على نوعية الايونات السالبة مثل  $Cl^-$  أو  $SO_4^{=}$ .
- ٤- عدم توفر ما يمنع العمليات الحيوية كوجود السموم التي تمنع عمليات النقل مقارنة بتأثيرها على امتصاص الايونات (Luttage and Laties, 1967).

فرضية القشرة الداخلية - الاسطوانة المركزية والساق - The Endodermis - Stele and Stem اذا سملنا بفرضية (Crafts and Broyer) أو الاسطوانة الناضجة) والمتضمنة كما ذكر سابقا بان الايونات تمتص مبدئيا بطريقة حيوية Active Transport ثم تنتقل خلال القشرة بحركة Symplastic Movement الأ أن الطبقة الداخلية للقشرة endodermis أو الاسطوانة المركزية تلعب دورا في توصيل الايونات لأوعية للخشب فقد وضعت عدة فرضيات لطريقة العمل منها ان القشرة الداخلية تعمل كمضخة للايونات إلى الأسطوانة المركزية والسؤال المهم هو من هي تلك الأجزاء التي تقوم بدور المضخة ؟ وقد افترضت، أيضا عدة اجزاء منها الاحتمال الضئيل للحايا المصماء Passage

Cells الموجودة في القشرة الداخلية وبصورة معاكسة لوجود الخشب لكي تقوم بهذا الدور كما افترض ايضا عمل الـ (mitochondria) كناقلة للايونات (Bonnett, 1968).



شكل رقم (٨-١٢): رسم تخطيطي لتجربة Stout - Hoagland المتعلقة بحركة ايونات البوتاسيوم في ساق الصفصاف.

عن: Stout and Hoagland, 1939