الفصل الثامن

انتقال الماء والمغذيات إلى أعلى النبات (النسغ الصاعد)

انتقال الماء والمغذيات إلى أعلى النبات (النسغ الصاعد)

مقدمة:

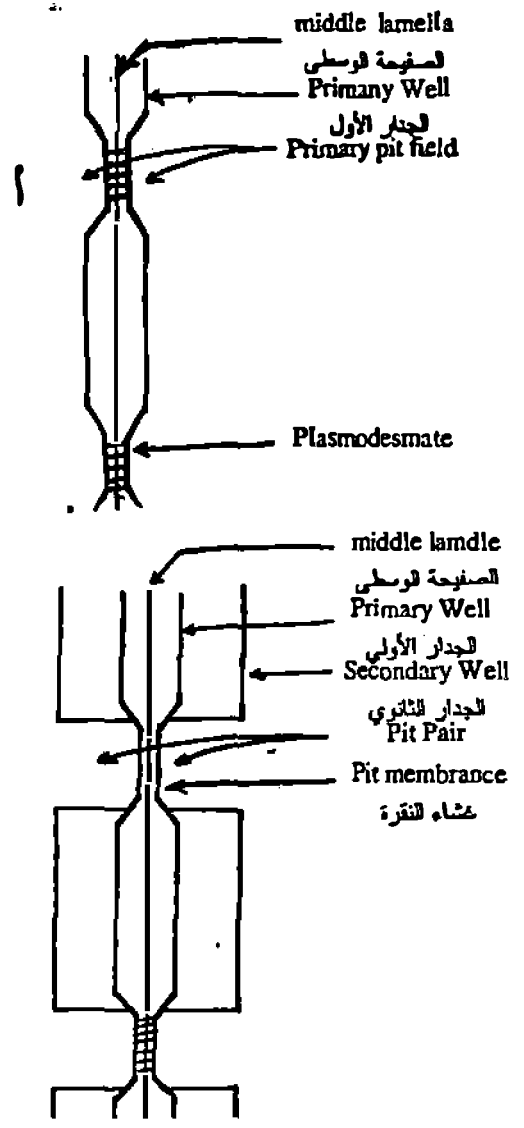
عندما تعقدت الحياة وتطورت بعض النباتات وذلك عند نقلها من بيئة المحيطات إلى الأرض اليابسة أصبح على هذه النباتات أن تطور أجهزة مختلفة لتنظيم عملياتها الحيوية ولهذا أصبح لزاماً على هذه النباتات ان تكون قسما منها في التربة (المجموعة الجذرية) وقسم آخر ينمو فوق سطح التربة معرضاً لضوء الشمس (القسم الخضري) وأدى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

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

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

الخلايا والأنسجة المتعلقة بالنسغ الصاعد:

نتيجة لانقسام الانسجة المرستيمية في الجذر والساق تتكون خلايا جديدة فتنشأ أولا 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 النقر Primary pit field وقد تحدث هذه النقر في أزواج pit pairs او منفردةBlind ثم يوضع الجدار الثانوي لخلايا الساق والجذر على الجدار الاولي لهذه الخلايا وعادة يحتوي الجدار 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 أما النقر فقد تحدث بأشكال مختلفة تختلف باختلاف النباتات (Esau, 1960 1965)



شكل رقم (٨-١): أ- جدار الخلية المكون من الصفيحة الوسطى والجدار الاولي مع (Primary pit Field) التي تخترق بواسطة قنوات بروتوبلازمية(Plasmodesmata) .

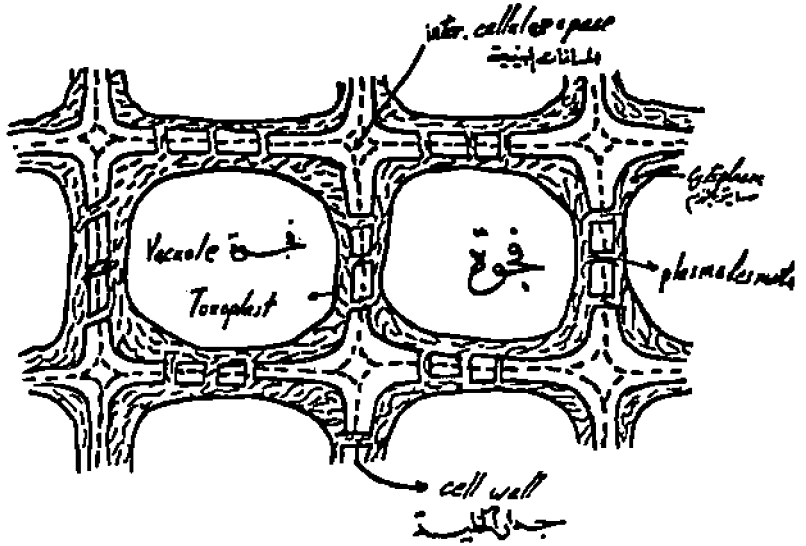
ب- جدار الخلية المكون من الصفيحة الوسطى والجدار الاولي والجدار الثانوي مع النقر المزدوجة (Pit Pair) ويرى هنا ان الجدار الثانوي لا يتكون على النقر.

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 فان بروتوبلازم الخلايا في النبات يكون مرتبطا ومؤلفا شبكة متصلة تسمى (symplast) شكل رقم (٨-٢). أما أهمية الـ Primary pit field وpit 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 والتنافذ دون عبور غشاء الخلية (Tyree, Plasma membrane 1970). ان هذا النوع من الانتقال عبر طريق Plasmodesmata قد يكون كافيا للنباتات الصغيرة التي تكون خلاياها دائماً مجاورة للماء والمعادن المذابة فيه.

غير ان النباتات التي يرتفع الماء فيها إلى مسافات كبيرة (حوالي ١٠٠ متر) تحتاج إلى تكيفات وتطورات كافية مصحوبة بوجود الأنسجة الوعائية الناقلة ولهذا 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 رقيا 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 الـ (Plasmodesmata) عن: Brouwer, 1965

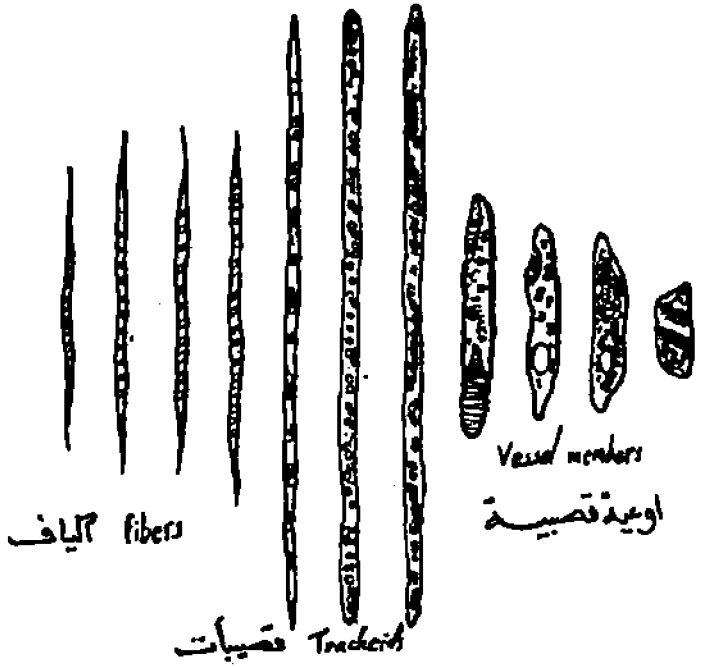
أنسجة الخشب

عند تشريح مكونات أنسجة الخشب تتضح مكوناته التالية:

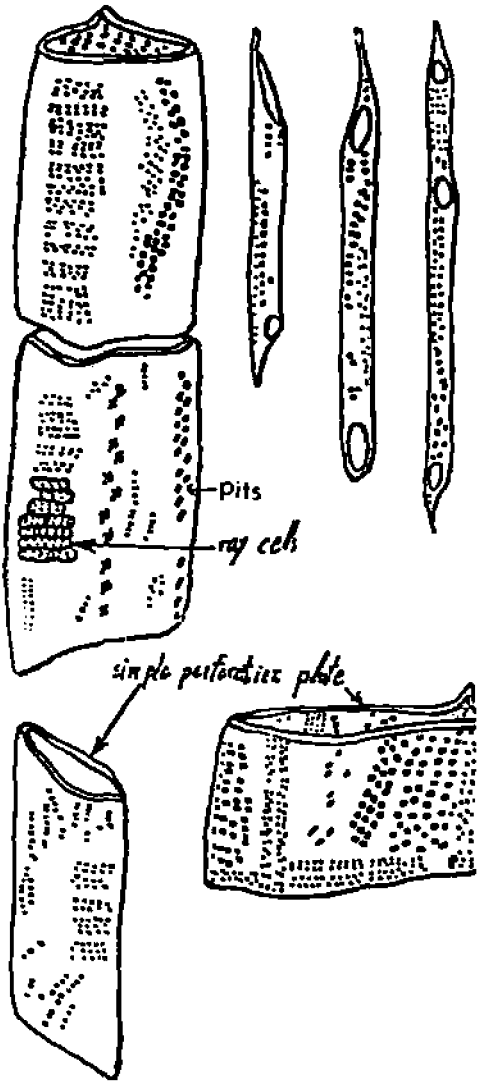
١- القصيبات والأوعية: Tracheids and Vessel Elements

ان القصيبات عبارة عن خلايا طولية الشكل مدببة الطرفين منفردة تقوم بوظائفها الفسيولوجية. تتثخن جدرانها الثانوية بمادة اللكنين Lignin وهي مجمعات من مادة (Phenyl proponoid) ويوجد التثخن باشكال مختلفة منها حلزونية او حلقية أو شبكية وقد يغطى التثخن جميع جدران الخلايا ماعدا نقاط معينة تسمى النقر Pits كما في الشكل رقم (٨-٣). أما الأوعية vessels فان كل وعاء مكون

من عدة خلايا طولية الشكل مات بروتوبلازمها وذابت جدران منتهياتها وتثخنت جدرانها بمادة اللكنين باشكال مختلفة مثل الحلقية أو الحلزونية أو الشبكية أو المنقرة. ان موت البروتوبلازم لا يؤدي إلى عرقلة حركة نقل الماء والمواد الذائبة فيه أما نهايات القصيبات فهي مثقبة بما يشبه الـ Perforation plate باشكال مختلفة منها بسيطة simple (perforation plate) أو بشكل السلم (scalariform perforation plate) أو شبكية (Reticulate perforation plate) أو بيضوية الشكل (Formaniate perforation plate) كما في الشكل المرقم (٨-٤). وتعتبر الأوعية متطورة ومتحدرة من القصيبات أما الأوعية ذات النهاية البسيطة فيه الأكثر تطوراً. وتعتبر الأوعية (Vessels) أهم الأجهزة الناقلة للماء والمواد المذابة فهي في نباتات مغطاة البذور (Angiosperms) وهي غير موجودة في عارية البذور وخاصة المخروطيات (conifers) التي تعتبر القصيبات فيها أهم الاعضاء الناقلة للماء والمواد المذابة فيه. ومما تجدر الاشارة إليه أن النقل في الأوعية يكون أسهل بكثير مما في القصيبات نظرا لقلة المقاومة في الأوعية وبالرغم من ان اتجاه النقل هو من الاسفل إلى الاعلى الا ان حركة جانبية(Lateral Transport) للماء والمواد المذابة تحدث خلال الـ (Pits) كما ان البعض يعتبر وجود حركة جانبية بين مجرى الخشب واللحاء (Salisburry and Ross, 1969).



شكل رقم (٨-٣): أنواع مختلفة من الاوعية القصبية والقصيبات والالياف الخشبية
عن: Esau, 1965



شكل رقم (٨-٤): أنواع مختلفة من الاوعية الخشبية وتوضح(Perforation Plates) والنقر (Pits).

عن: Esau, 1960

٢- الياف الخشب: Xylem fibers

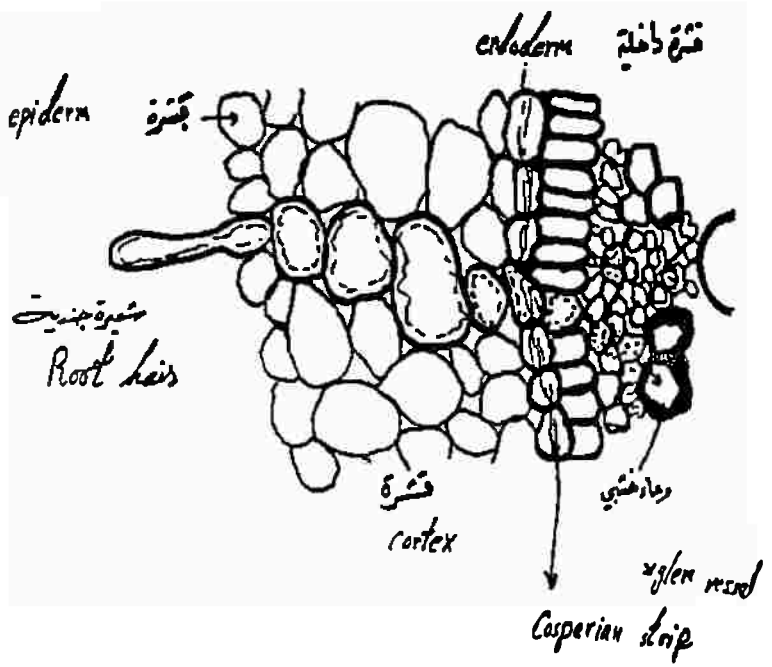
وهي خلايا طويلة رقيقة مستدقة النهاية وذات جدران متخنة باللكنين وتموت عند النضج كما في الشكل رقم (٨-٣). ان أهم وظيفة للألياف هي كسب النبات قوة ومساعدة ميكانيكيته وقد يمر خلال الالياف قسم قليل من الماء.

٣- الخلايا الحشوية فى الخشب X ylem Parenchyna

وهى خلايا حية منتشرة فى انسجة الخشب أو قد تكون مرتبة بشكل الأشعة وتسمى X ylem Rays أما أهم وظائفها فهى خزن المواد الغذائية كالنشأ (Esua, 1965) كما أنها قد تساعد فى حركة النقل الجانبية (Lateral Transport) للماء والمواد الغذائية بصورة عرضية فى الجذر أو الساق.

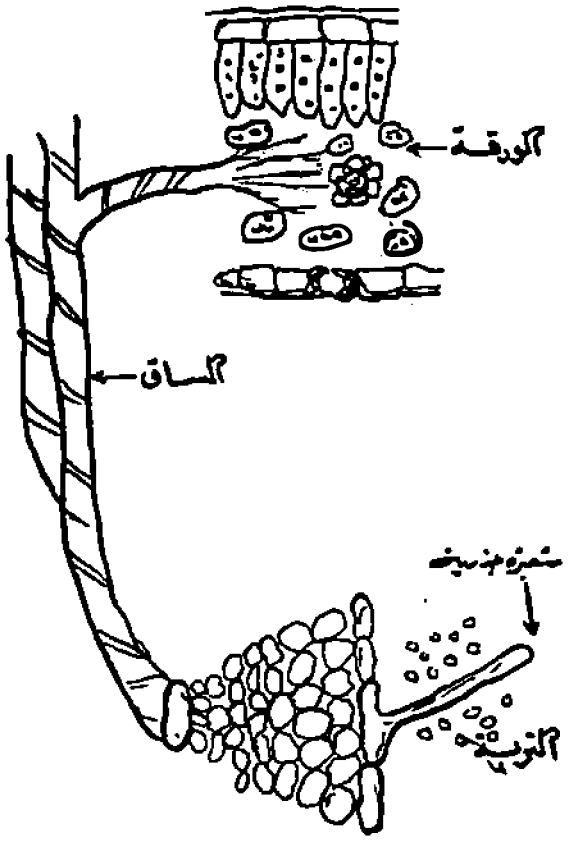
مسلك الماء والمغذيات من التربة للنبات:

ان خلايا البشرة والشعيرات الجذرية هي الخلايا النباتية 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 المتراصة وتنتهي القشرة 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 الانسجة الناقلة عن طريق جدران الخلايا (peirson and Dumbroff, 1969).

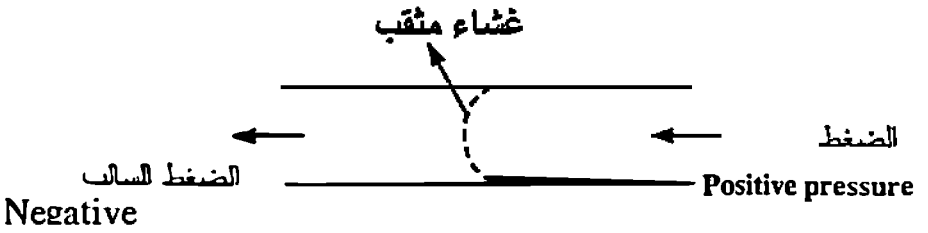


رسم رقم (٨-٥): قسم من مقطع عرضي لجذر الحنطة ويرى فيه ممر (Symplast) لحركة الايونات والماء من المحيط الخارجي إلى الوعاء القصبي.

عن: Esau, 1965



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



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

وأصبح لزاماً على المواد المارة أن تمر عن طريق بروتوبلازم خلايا القشرة الداخلية او مايسمى Symplastic movement. ثم تأتي الاسطوانة المركزية في الجذر Stele وأولها الدائرة المحيطية pericycle وبعد ذلك يصل الماء والمغذيات إلى الأوعية الخشبية او القصيبات في الجذر. ومن المعلوم ان انسجة 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 المبعثرة في النسيج المتوسط حتى تكون مجاورة للخلايا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي.

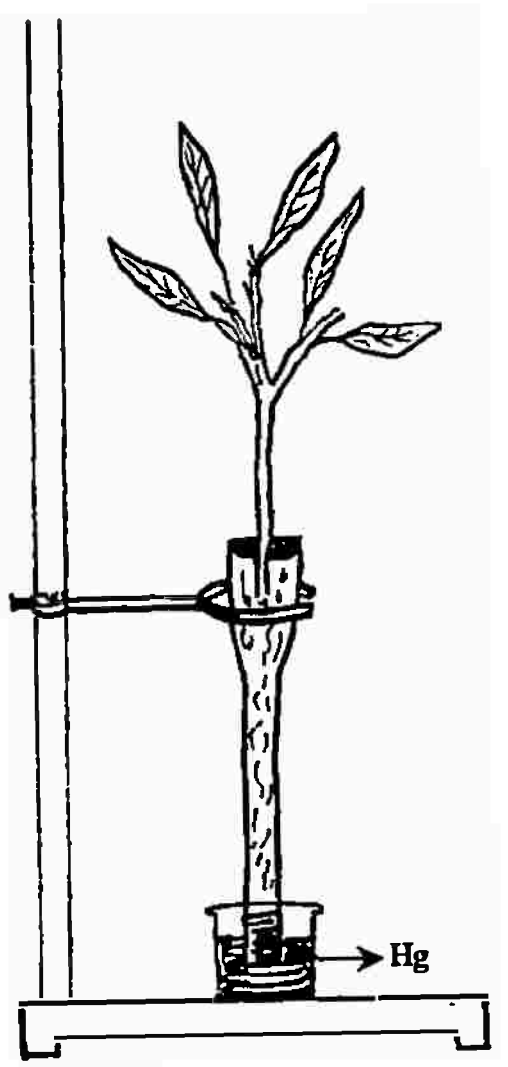
ان قسما من الحزم الوعائية الطرفية محاطة بحزام من خلايا حشوية bundle sheath متخصصة لنقل الماء والمواد الذائبة من الخشب إلى النسيج المتوسط ويمر الماء عبر هذه الانسجة المذكورة وتفقد خلايا الورقة معظم الماء بواسطة النتح عن طريق الثغور Stoma واذا اراد القارئ التوسع في موضوع تشريح النبات فيستحسن دراسة كتاب Plant anatomy للمؤلفة (Esua 1965).

نظريات صعود الماء في النبات

(١) نظرية التماسك والتلاصق: Cohesion adhesion theory

عند حدوث عملية النتح يتبخر الماء من الاوراق الامر الذي يسبب قلة الماء في الأوراق وبالتالي يحدث فرق تدريجي للقوة الدافعة الكيمياوية الماء من الجذور

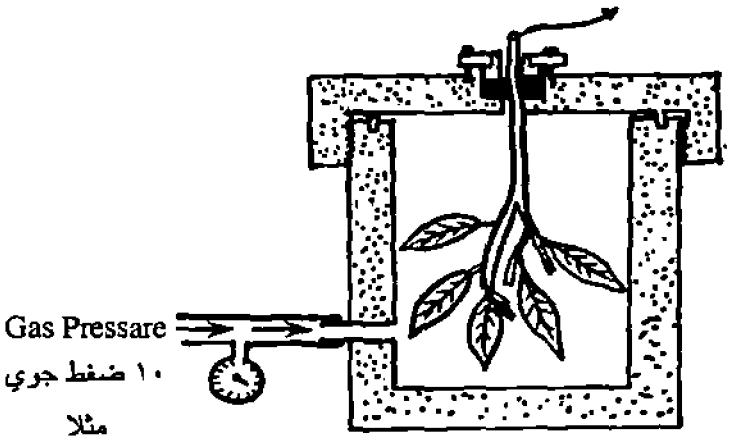
إلى الأوراق خلال النظام المترابط والمتواصل من التربة فالشعيرات الجذرية والقشرة ثم إلى الأنسجة الوعائية الناقلة في الجذر والساق وأخيراً إلى الورقة وهذا يعني ان الماء واقع تحت توتر او ضغط سالب كما في شكل رقم (٨-٧) ووجود قوى التماسك والتلاصق وهذا مما جعل Dixon and Joly سنة ١٨٩٥ ان يضعا نظرية عن صعود الماء 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 الاوعية والقصيبات الخشبية وان هذه الاعمدة تجذب للاعلى بقوة او (شد) surface tension أو ضغط سالب والمتسببة عن النتح أضف لذلك التجاذب 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 وتثبت هذه الساق المقطوعة مباشرة في قمع زجاجي فيه ماء وغمس طرفه الرفيع في حوض فيه زئبق فسوف يلاحظ بعد مدة من الوقت ارتفاع للزئبق في ساق القمع بسبب تبخر الماء على الأوراق (النتح) وتولد قوة شد أعمدة الماء Negative Pressure وتحرك الماء للاعلى ليحل محل الماء المفقود بالنتح شكل رقم (٨-٩) غير ان تجربة حديثة للباحثين (Scholander et al, 1965) لقياس الشد او الضغط السالب Tension او Negative Pressure قد جربت فعند قطع غصن أي نبات مثل التفاح أو الطماطة او الصنوبر ووضعه في غرفة ضغط سميت (Pressure bomb) ثم يسلط ضغط من الخارج على الغرفة كافياً لارجاع العصارة التي كانت تحت سحب الضغط الخارجي إلى مكان القطع وذلك بملاحظة اوعية الخشب بواسطة مكرسكوب ذو عينين binocular microscope ومن ثم قراءة مقدار الضغط المسلط والمساوي للـ Negative Pressure مباشرة كما في شكل رقم (٨-١٠) هذا وقد توصل Scolander ومساعديه إلى قراءة مايقارب ٨٠ ضغط جوي وليس ٣٠٠ ضغط جوي كما اورده Renner ومما تجدر الاشارة إليه ان النتح هو القوة الساحبة لمعظم حركة الماء للاعلى تحت الظروف الاعتيادية.



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

عن دكتور حسين سعيد والدكتور اسماعيل ندا / ١٩٦٤.

الشد = ١٠٠ ضغط جوي



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

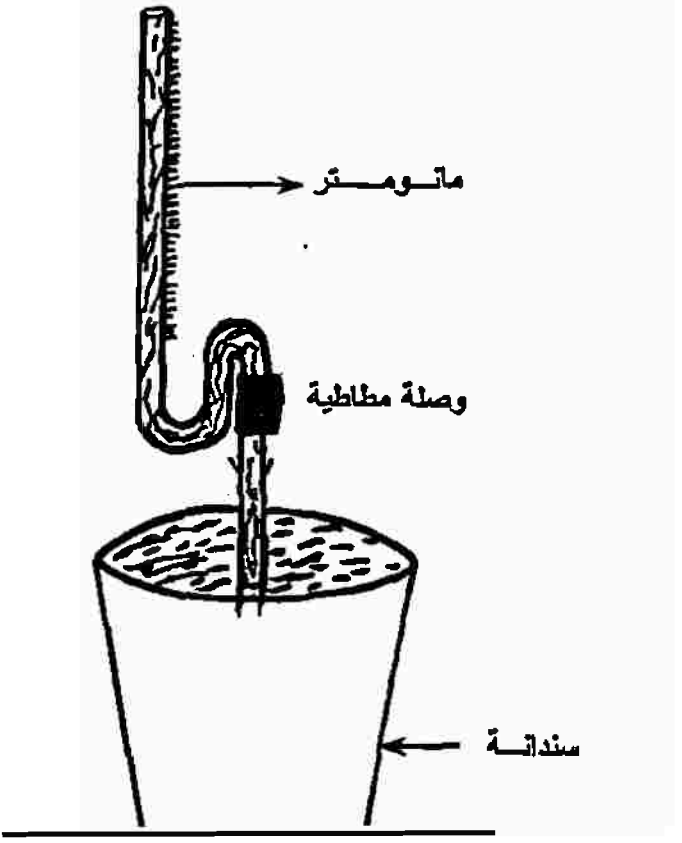
(٢) الضغط الجذري: Root Pressure

لقد عرف Stocking, 1965 الضغط الجذري بانه 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 الجذرى 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 ضغطين جويين وعندما تنمو النباتات في تربة رطبة ودافئة وكان الجو رطبا فتظهر نوعا من القطرات المائية مع بعض ايونات العناصر على طول حافات الاوراق من بعض الغدد المائية في الاوراق التي تسمى Hydathodes وتدعى هذه العملية بالتدمع Guttation.

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

(٣) النظرية الحيوية Vital Theory

ان 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 الحشوية في الخشب وخلايا الأشعة اللبيه في خشب الساق وقد اتضح من تجارب Strasburger في ١٨٩١ و١٨٩٣ بان الوسيلة الابتدائية لصعود العصارة في النباتات لا تتعلق بالخلايا الحية



شكل رقم (٨-١١): تجربة لايضاح الضغط الجذري في نبات مزروع في سندانة

محورة عن: Meyer and Anderson, 1952

بالساق فقد أجرى تجارب كثيرة على حركة الماء في سيقان خشبية قتلت منها الخلايا الحية باستعمال السموم فمثلاً استعمل شجرةً بلوط عمرها ٧٥ سنة وارتفاعها ٢٢ مترا وقطعها بالقرب من الارض وغمر الطرف المقطوع في حامض الكروميك القاتل للخلايا الحية في الساق بصورة بطيئة. هذا وقد استعان رواد النظرية الحيوية لاسناد نظريتهم بان الاوراق تذبل وتموت عندما تموت الساق وقد انتقد هذا الرأي بأن الذبول لا يحدث مباشرة ويكون مرده انسداد الأوعية الناقلة.

حركة الايونات مع الماء للاعلى

شبيها بحركة الماء فان الايونات تمر بحرية إلى مايسمى outer space Movement أو Apoplastic Movement أو إلى جدران الخلايا في القشرة وتستمر الحركة حتى القشرة الداخلية endodermis حيث تعرقل حرية الحركة وجود طبقة Casparian Strip وعليه فعلى ايونات العناصر ان تمر خلال بروتوبلازم خلايا القشرة الداخلية او مايسمى Symplastic Movement (Peirson and Dumbroff, 1969).

ومما يجدر الاشارة إليه ان هذه الأيونات لا تعبر غشاء الخلية بل خلال قنوات سايتوبلازمية Plasmodesmata شكل رقم (٥٨) وبعد النفوذ إلى الدائرة المركزية تترك الايونات طريق Symplastic Way وتصل إلى الاوعية الناقلة غير الحية من الخشب وبعد ذلك يرتفع مجرى الماء وايونات العناصر بتأثير الضغط السالب عن النتح. وقد اجرى Stout وHoagland سنة ١٩٣٩ تجربة لاظهار حركة الايونات العلوية فقد استعملا نبات الصفصاف النامي في محلول مغذي ثم شق القلف أو الانسجة اللحائية في غصن من النبات بصورة طولية ووضعوا شرائط برافينية بين الخشب واللحاء من ثم غطى قسم منه شرائط برافينية أخرى لمنع فقدان الماء من الغصن كما في الشكل رقم (٨-١٢) ثم اضيف لاحد الاملاح الحاوية على بوتاسيوم مشع Radioactive Potassium إلى المحلول المغذي وبعد خمس ساعات قطع الغصن إلى عدة واحتسبت كمية الاشعاع في القطع الحاوية على الخشب او اللحاء فوجد ان كمية الاشعاع في الخشب اكثر مما في اللحاء في المنطقة المغطاة بالبرافين أما أقسام الغصن غير المغطى بالبرافين فقد وجد ان

كمية الاشعاع 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 الايونات بطريقة حيوية Active Smith and Epstein, 1964 Transport ولهذا فان معظم ايونات 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).

وقد افترض Crafts and Broyer في ١٩٣٨ فرضية لحركة الايونات كما يأتي:

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

تركيز الأيونات الواطيء فان الايونات تؤخذ بميكانيكية رقم (١) عبر أغشية خلايا القشرة وتتحرك على منوال Symplastic Movement إلى الاسطوانة المركزية وعندئذ تتضح عبر أغشية خلايا الاسطوانة المركزية حتى انسجة 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 النضوح إلى الخشب. 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.

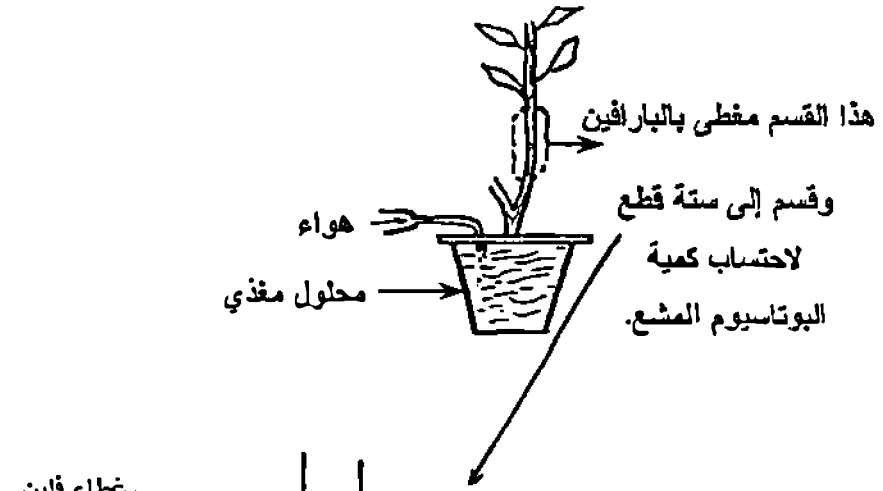
٢- لا توجد منافسة بين الايونات المتشابهة مثل الروبيديوم (Rb^+) والبوتاسيوم K^+ أو البروم Br^- والكلور Cl^-.

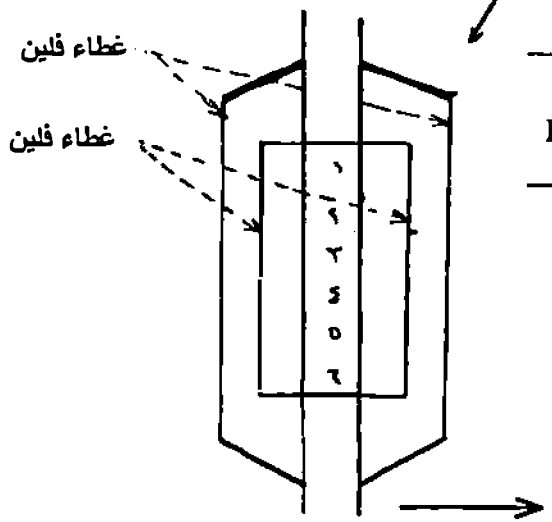
٣- ان انتقال ايونات البوتاسيوم لا تعتمد على نوعية الايونات السالبة مثل Cl^- أو $SO^=_4$.

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 سلمنا بفرضية (Crafts and Broyer) أو الاسطوانة الناضحة) والمتضمنة كما ذكر سابقا بان الايونات تمتص مبدئيا بطريقة حيوية Active Transport ثم تنتقل خلال القشرة بحركة Symplastic Movement الأ ان الطبقة الداخلية للقشرة endodermis أو الاسطوانة المركزية نفسها تلعب دورا في توصيل الايونات لأوعية الخشب 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 للخلايا المسماة Passage

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





لحاء PPM K in bork	خشب PPM K in wood
١١,٦	١١٩
٠,٩	١٢٢
٠,٧	١١٢
٠,٣	٩٨
٠,٣	١١٣
٢٠	١١٣
٨٤	٥٨

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

عن: Stout and Hoagland, 1939