**: التربة**

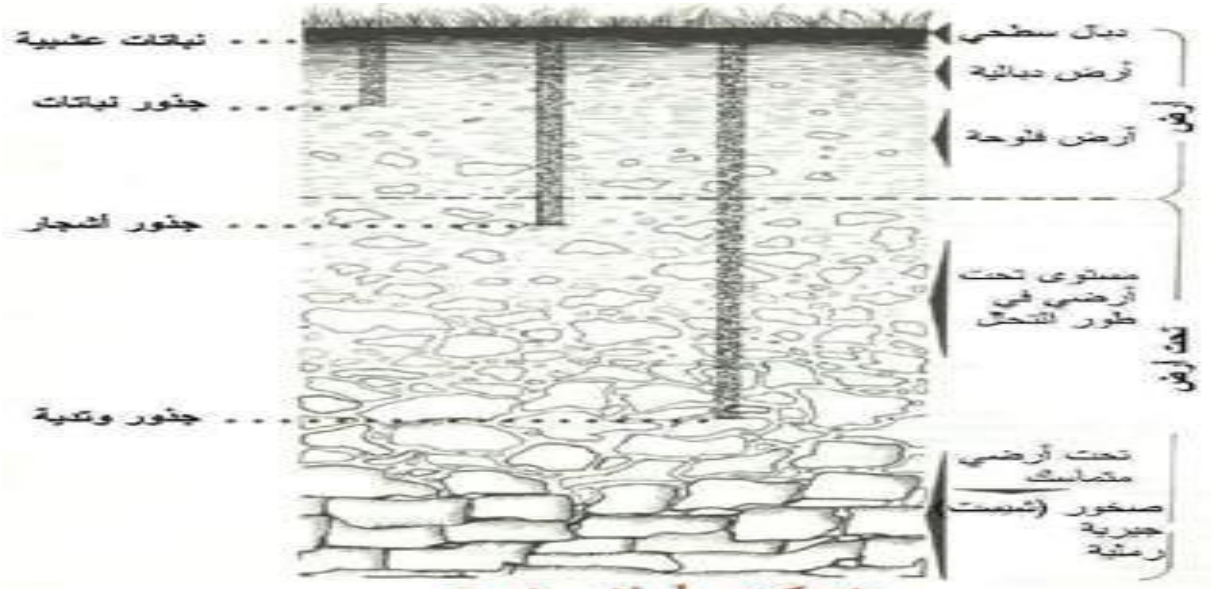
تعني بالتربة في صورتها العامة، ذلك الجزء الهش من سطح الأرض، وهذا ليس مايفكر به الناس بأنها المادة التي تقوم بتغذية وتثبيت النباتات النامية؛ وهذا المفهوم هو أكثر شيوعا، لأنه لا يشمل التربة بمفهومها العادي فحسب، بل يشمل كذلك الصخور والماء والأملاح المعدنية والثلج وحتى الهواء، حيث يمكن للنبات أن ينمو في جميعها، وطبيعي أن للفلاح مفهوما أكثر واقعية للتربة، فهي بالنسبة له الوسط الذي ينمو فيه النبات.

من الناحية الكيميائية فإن التربة تحتوي على العديد من المواد العضوية التي لا توجد في الطبقات السفلى.

أما من الناحية الحيوية فإن التربة كوسط للميكروبات تتميز بخصائص متعددة، فهي تحتوي على مجموعات كثيرة من البكتريا والاكتينوميسيتات والفطريات والطحالب والبرتوزوا (الحيوانات الأولية)، وهي واحدة من أكثر الأماكن في الطبيعة ديناميكية من حيث العلاقات المتبادلة بين الكائنات الحية مع بعضها البعض، كما أنها المنطقة التي يتم فيها كثير من العمليات الكيميائية الحيوية المتعلقة بتحليل المادة العضوية وتجوية (تعرية) الصخور وتغذية المحاصيل الزراعية، وقد قدر وجود 20 طن من الكائنات الحية لسمك واحد سنتمتر في الهكتار.

**:نشأة التربة**

تنتج عن تجوية الصخور الأساسية مخلفات غير صلدة تعمل كمادة أم لتطور مقدات التربة Profils ، والتي يظهر عليها تأثير المناخ والمادة الحية والانحدارات والزمن. فتكشف المادة الأم للجو تحت ظروف ملائمة، سيؤدي إلى اجتياح بعض النباتات لهذه المناطق، خصوصا تلك النباتات القادرة على القيام بعملية التركيب الضوئي، والتي سيؤدي نموها لا محالة إلى تجمع بعض المخلفات العضوية. وسوف تبدأ بعض الحيوانات والبكتيريا والفطريات بالنمو حيث تتغذى على هذه المخلفات العضوية. وكذلك ستتحرر المواد الغذائية من انحلال هذه المواد، حيث تبدأ دورة أخرى لنمو النبات.
وستصبح النباتات والحيوانات التي تتغذى على المخلفات العضوية جزءا من المعقد العضوي الكلي. وحين يصل عمق الطبقة السطحية حدا مناسبا، يكون لونها داكن بسبب تجمع المادة العضوية، وتبدأ ظاهرة تشكل آفاق (أفق) التربة (الشكل 1)



الشكل: 1 أفق التربة

.

**حيوية التربة**

تتركب التربة من خمسة مكونات رئيسية: المادة المعدنية، المادة العضوية، الماء والاملاح المعدنية، الهواء، الكائنات الحية؛ ولا توجد كل من هذه المكونات بكمية ثابتة في جميع أنواع الأراضي، بل تختلف باختلاف موقع التربة. تشكل المادة العضوية من 3 - 6 % من الحجم الكلي للتربة , أما الكائنات الحية بما تشتمل عليه من حيوانات صغيرة وكائنات دقيقة، فهي تشغل حيزا يقترب من 1% من الحجم الكلي , إلا أن وجودها يعتبر عاملا ضروريا دون شك لإنتاج المحاصيل وخصوبة التربة. أما الجزء المعدني فيتكون من 90 – 99% من كتلة التربة . ويمتلك تركيبا كيميائيا ومعدنيا معقدا. أما هواء التربة فيختلف عن الهواء الجوي بارتفاع نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون، وقلة الأوكسجين.

**دور الكائنات الدقيقة في إثراء التربة بالعناصر المعدنية:**

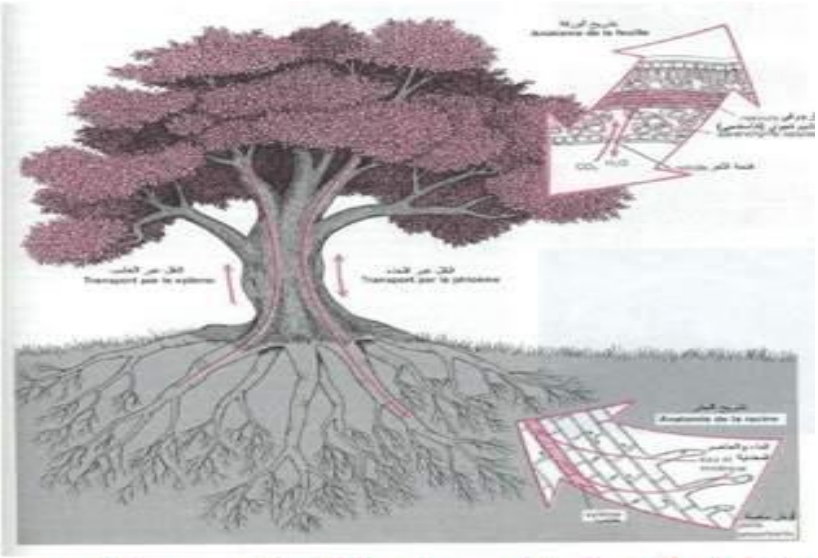
تؤدي الأحياء الدقيقة للتربة بأنواعها الخمسة الرئيسية، البكتريا والاكتينوميسيتات والفطريات والطحالب والبرتوزوا، دورا مهما في تحديد خصوبتها وجاهزية العناصر الغذائية فيها مما يؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على نمو النبات وإنتاجيته؛ ويمكن سرد بشكل موجز وظائف الكائنات الحية الدقيقة للتربة والنبات فيما يلي:

1- تعد الكائنات الحية الدقيقة مفتاحا لتكوين ونشوء التربة.

2- الكائنات الحية الدقيقة هي المسئولة عن عملية تكون الدبال وذلك عن طريق تحلل المادة العضوية للتربة.

3- تلعب الكائنات الحية الدقيقة دورا كبيرا في بناء تركيب التربة.

4- تشارك الكائنات الحية الدقيقة – وبشكل مؤثر وكبير- في دورة العناصر الغذائية في التربة، ومن هذه العناصر الكربون، النيتروجين، الفوسفور والكبريت.



الشكل: 3 مسار الماء من التربة إلى المجموع الجذري، فالمجموع الخضري، فالهواء

إن ضرورة عنصر معدني ما، داخل النبات لا يمكن إثبات حقيقتها إلا بعد تجارب مخبرية دقيقة في مزارع نظامية مضبوطة. وعليه فقد ثبت بالتجربة أن معظم النباتات الراقية تتطلب بالإضافة إلى الكربون، الأوكسيجين، الهيدروجين، الكبريت، الفوسفور، البوتاسيوم، الصوديوم، الكالسيوم، والمغنسيوم، الحديد، والبورن، لضمان إتمام دورة حياتها وأداء وظائفها الأساسية على أحسن وجه.

**تؤدي العناصر المعدنية وظائف عدة نذكر منها:**

1- تساهم في بناء الأحماض الأمينية والنووية والبروتينات اليخضور مثل الأزوت أو النيتروجين.

2- تنشط الأنزيمات، ويزداد تركيزها في الغشاء البلازمي، مثل عنصر البوتاسيوم الذي يساهم في مضخة البوتاسيوم الضرورية في النقل الغشائي.

3- تساهم في سماكة الجدار الهيكلي، والنقل الغشائي مثل الكالسيوم.

4- ضروري للتنفس الخلوي والانقسام الخلوي، كما يدخل في مكونات المركبات الجد طاقوية مثل الفسفور.

5- يدخل في بنية اليخضور وتنشيط الإنزيمات مثل المنغنيز.

6- يدخل في تركيب بعض الأحماض الأمينية كالكبريت.

7- يساهم في التنفس ويدخل في تركيب اليخضور كالحديد ...الخ.

**- التغذية المعدنية :**

لقد أدرك الباحثون في تغذية النبات بأن التربة هي وسط معقد وغير متجانس ولا يصلح لإجراء تجارب دقيقة بشأن تعيين العناصر الضرورية الداخلة في تغذية النبات ولهذا فقد ابتكروا طريقة خاصة لزراعة نباتاتهم في أوساط غذائية غير التربة، كالمحلول المغذي الذي يمكن السيطرة على كمية ونوعية العناصر الغذائية الداخلة في تراكيبه، فاستطاعوا بذلك أن يميزوا العناصر الضرورية من غير الضرورية لنمو النبات وأكدوا على أسس لأوصاف العناصر، بحيث يقال للعنصر المعدني بأنه ضروري للنبات وكما ذكر بالمحاضرة السابقة .

**التشوهات والأضرار الناتجة عن اختلال التغذية المعدنية:**

يسبب النقص أو الزيادة بالعناصر الغذائية إلى إحداث خلل في الوظائف الفسيولوجية للنباتات، يكون مصحوبا بظهور تشوهات وحدوث نمو غير طبيعي فتظهر على النبات أعراض معينة غير اعتيادية وتشمل:-

1- ضعف عام في نمو النبات.

2- تغير في مظهر النبات مثل الذبول.

3- قصر في طول النبات والأفرع.

4- ظهور اصفرار على الأوراق.

5- ظهور جفاف أو حروق على شكل تنخر قد يسبقها حدوث اصفرار.

6- تساقط الأوراق والتي قد تكون من أعلى إلى أسفل أي الموت التراجعي للأوراق كما في حالة الحديد أو من أسفل إلى أعلى كما في والنيتروجين الجيدة الحركة في النبات.

7- جفاف نهاية الأفرع كما في أشجار الخشب.

8- موت القمة النامية للنبات.

9- إطالة فترة النمو الخضري وقصر فترة النمو الثمري مع تأخر في النضج كما في حالة نقص الفسفور.

10- تشوه في النموات الخضرية مثل ظاهرة المكنسة السحرية كما في حالة نقص البورون.

11- رداءة نوعية الثمار والحبوب دون أن يلاحظ عليها ذلك من الخارج.

12- حدوث تشوهات على الثمار مثل النقرة المرة على ثمار التفاح.

13- ضعف في تكوين الثمار أو الحبوب.

14- توقف نمو تماما وموت النبات أو البادرات.

حدوث تغيرات مورفولوجية على الجذور كزيادة طولها أو زيادة تفرعاتها الجانبية أو سمك نهايتها وتلونها بألوان صفراء أو بنية أو سوداء مع تكون مادة مخاطية لزجة كما في حالة نقص البورون أو ظاهرة التوائم في الجذور في حالة نقص المنغنيز.

(ا) نقص الكالسيوم (ب) نقص البورن (ج) نقص الحديد

الشكل: 5 صور نقص العناصر المعدنية لدى نبات الطماطم

**- الامتصاص:**

آلية امتصاص الماء والاملاح المعدنية والأملاح المعدنية:

أهم عوامل التربة المؤثرة على امتصاص الماء والاملاح المعدنية هي:

الحرارة، الجهد الأزموزي للمحلول، التهوية، تركيز $CO_2$، وجاهزية الماء والاملاح المعدنية. وبالرغم من أن للظروف الجوية تأثيرات أيضا، إلا أن التربة تبقى بصفة خاصة هي العامل المحدد في امتصاص الماء والاملاح المعدنية بواسطة الجذور النباتية.

أما انتقال الماء والاملاح المعدنية داخل النبات فيتم تحت تأثير كل من: الضغط الجذري، الخاصية الشعرية، الجهد المائي للنبات، والنتح أو ما يعرف بنظرية الشد المتماسك، وسنقتصر على شرح كل من الضغط الجذري ونظرية الشد المتماسك.

**الضغط الجذري:**

إن جذوع الأشجار المتبقية بعد قطع مجموعها الخضري وكذلك سيقان النباتات العشبية المقطوع قممها الخضرية والمتصلة بالجذور، عادة ما تعطي مظهرا مرئيا للضغط الجذري. وعادة ما نلاحظ عصير الخشب تحت تأثير هذا الضغط خارجا من النهايات المقطوعة والمتبقية من تلك الجذوع. لو قطع ساق نبات الطماطمة مروى جيدا ووضع على الجذع المتبقى أنبوبة مطاط محكمة التثبيت ووضع في نهايتها أنبوبة زجاجية محتوية على بعض الماء والاملاح المعدنية ثم نضع علامة على مستوى سطح الماء والاملاح المعدنية في هذه الأنبوبة الزجاجية وتركها فترة من الزمن نلاحظ بعدها ارتفاع مستوى سطح الماء والاملاح المعدنية في تلك الأنبوبة الناتج عن قوة الدفع الجذري.

**نظرية الشد المتماسك:**

إن هذه النظرية التي تفسر صعود العصارة قد تم وضعها من طرف ديكسون وجولي Dixon & Joly سنة 1814 وكذلك من طرف أسكيناسي Askenasyسنة 1895 وخلاصتها أن الماء والاملاح المعدنية ترتفع بشكل أعمدة مائية متصلة في أنسجة الخشب نتيجة لقوى التماسك بين جزئيات الماء والاملاح المعدنية داخل العمود وكذلك قوى التلاصق بين الماء والاملاح المعدنية وجدران الأوعية الخشبية ثم الضغط السالب أو السحب المتولد في الأوراق نتيجة عملية النتح.

يمكننا القيام بعملية الشد المتماسك مختبريا فمثلا لو نحضر أنبوبة زجاجية طويلة مفتوحة الطرفين وملئت بالماء والاملاح المعدنية ثم ثبتت

على طرفها العلوي إسفنجة مبللة بالماء والاملاح المعدنية وغمس طرفها السفلي في كأس به ماء، يلاحظ هنا أن هناك اتصال مستمر في كل من الأسفنجة والأنبوبة الزجاجية والكأس دون أي انقطاع لاتصال الماء والاملاح المعدنية في هذا النظام، وعليه فإن أي فقد للماء بالتبخر في الإسفنجة يسحب معه ماءاً من عمود الماء والاملاح المعدنية في الأنبوبة الزجاجية والتي بدورها تسحب ماءاً من الكأس.
لقد افترض العديد من الباحثين في الماضي بأن الأملاح غير العضوية يأخذها النبات برفقة الماء بعملية حرة لا تتطلب طاقة، كما افترض بان انتقال المغذيات إلى مناطق النبات المختلفة يعتمد على سحب النتح ولكن بعد ذلك ظهرت عدم كفاية هذه المقترحات في تفسيرها للاختلافات في مكونات الأملاح في النبات مقارنة بمكوناتها في الوسط الذي ينمو فيه النبات. ثم اقترح بان الامتصاص يعتمد على فرق المحتوى الازموزي وانتقالها مع مجرى النتح.
إن أهم طرق الامتصاص التي يعتقد بها في الوقت الراهن هي:

**أولا- الامتصاص الحر أو السالب:**
ويحدث عند تلامس الجذور مع محلول التربة، ولا تصرف فيه طاقة، ويتم بعدة طرق هي:
1- الانتشار: وهو مرور المواد الغذائية من الوسط الأكثر إلى الوسط الأقل تركيزا.
2- تبادل الأيونات: يعتقد بان الأيونات المدمصة السالبة والموجبة على أسطح الجذر الخلوية أو أغشية الأنسجة، تتبادل مع أيونات سالبة وموجبة في المحلول الخارجي المحيط بالعضو النباتي أو محلول ا لتربة، فمثلا البوتاسيوم في محلول التربة يتبادل مع أيونات الهيدروجين المدمصة، وكذلك النترات تتبادل مع ايونات الهيدروكسيل، وبهذه الطريقة قد يحدث الامتصاص بصورة أكبر مما هو متوقع بعملية الانتشار.
3- اتزان دونان: تتناول نظرية تأثير دونان، تأثير الأيونات المثبتة أو غير المنتشرة، كما أنها تستخدم كأحد التفسيرات المقترحة لشرح تراكم الأيونات السلبي ضد منحدر تدرج التركيز كاستجابة لمنحدر الجهد الكهروكيميائي.
4- الجريان أو التدفق الكتلي: يفترض بعض الباحثين بان الأيونات قد تتحرك إلى الجذور مع الماء والاملاح المعدنية بعملية الجريان الكتلي، وأن أية زيادة في النتح ستسبب زيادة في معدل الامتصاص.

**ثانيا- الامتصاص الحيوي أو النشط:**
تعتبر هذه العملية من العمليات الفسيولوجية المهمة التي تمتاز بما يلي:

1- تحدث في الجزء الداخلي من الخلية أي تجري في أغشية الخلايا النباتية مثل الغشاء البلازمي والغشاء الفجوي، وتعتبر الفجوة المحل المهم الذي تتجمع فيه الايونات السالبة والموجبة بكميات متكافئة كهربائيا.

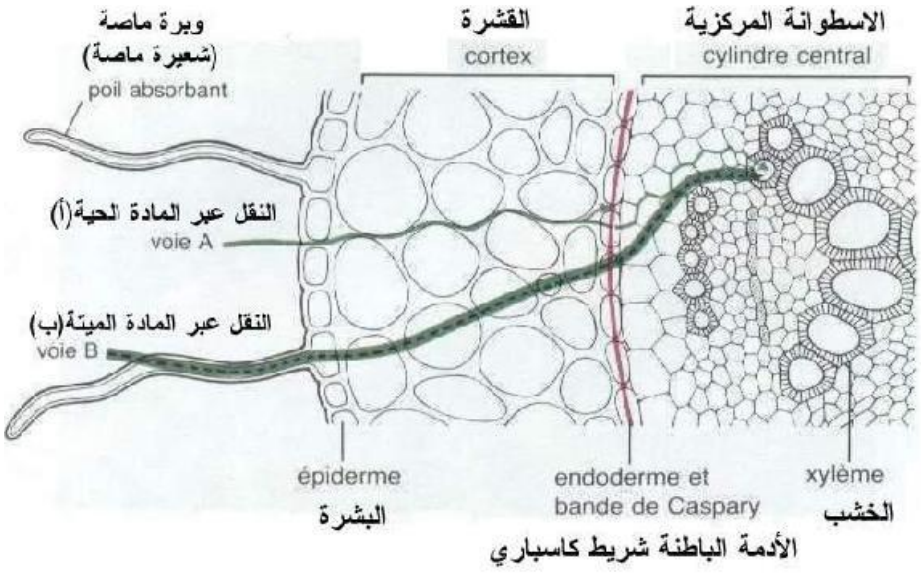
2- تتجمع الأيونات في الخلية أكثر مما في خارج الخلية أي عدم الوصول في النهاية إلى حالة التوازن الديناميكي بين داخل وخارج الخلية.

3- تتطلب صرف طاقة حيوية لضخ الأيونات إلى داخل الخلية.

4- تختص في امتصاص بعض الأيونات بكمية أكبر من الأخرى.

5- يطلق عليها أيضا فرضية المركب الحامل.

تمتص النباتات العناصر المعدنية في صورها الأيونية، أي في شكل جزئيات أو ذرات مشحونة كهربائيا. مثلها مثل الماء والاملاح المعدنية، يمكن للأيونات المعدنية اختراق خلايا البشرة وخلايا القشرة (الشكل 6)، تم تخترق خلايا الأدمة الباطنة، وعندما تكون هناك حاجة ماسة إلى الماء والاملاح المعدنية من طرف المجموع الخضري ينتقل الماء والاملاح المعدنية إلى الأسطوانة المركزية (أي يقطع خلايا محيط الدائرة ثم عناصر الخشب). وإذا كانت الأغشية الخلوية نفوذة للماء، ليست بالضرورة أن تكون نفوذة لجميع الأيونات المعدنية. العناصر المغذية والتي لا تخترق طبقة الأدمة الباطنة، تبقى في القشرة، وعليه فإن طبقة الأدمة الباطنة تنظم مرور العناصر المعدنية المغذية نحو الأسطوانة المركزية.



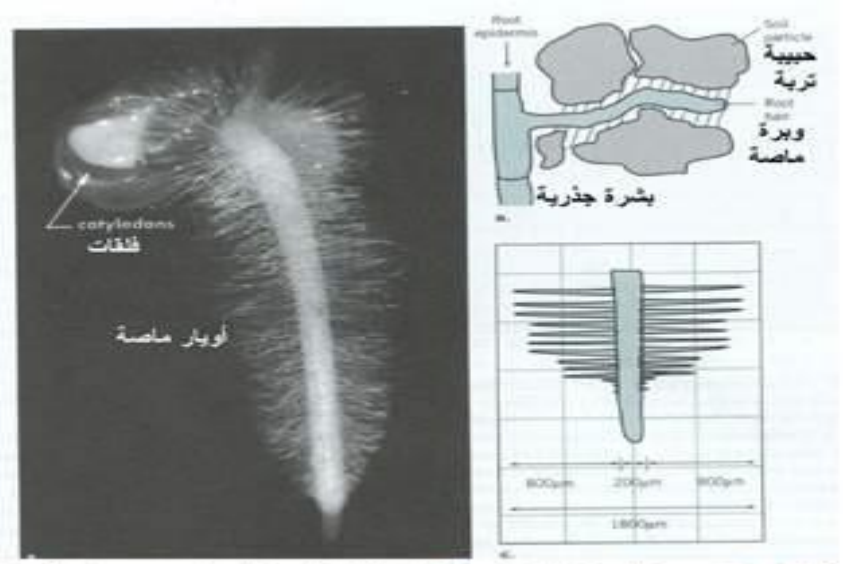

**الشكل 6 : مقطع عرضي لجذر ثنائي الفلقة في منطقة الوبار الماصة، يوضح المسار الأفقي لانتقال الماء**

تنفذ العناصر المعدنية في معظم الحالات إلى خلايا الشعيرات الماصة
بطريقة النقل الفعال

(Transport active)؛ ولا يحدث الانتشار البسيط (Simple diffusion) لبعض الأيونات داخل الجذور، إلا في الحالات التي يتم فيها رفع تركيز تلك الأيونات في ماء التربة، بعد تزويد التربة بذلك.

**بنية الشعيرة الماصة:**

تنشأ الشعيرة الماصة عن طريق تمدد الجدار الخارجي لخلية البشرة الجذرية، مكونة أنبوبا يتطاول لعدة مليمترات، ذا جدار خلوي رقيق جدا يمتد إليه البروتوبلازم ليبطن الجدار بطبقة رقيقة أيضا، كما تتجه النواة إلى الوسط الأنبوب أو طرفه، يتغلل عبر حبيبات التربة بفضل المادة اللزجة التي يفرزها. ويصبح للشعيرة فجوة كبيرة نسبيا. وتقوم الشعيرة الماصة بوظيفتها لوقت قصير عادة (تعيش لمدة أقل من يومين)، بعده تتمزق ثم تسقط أو تتحلل ليحل محلها شعيرات أخرى حديثة في مقدمة الجذر، وهناك شعيرات جذرية دائمة، وهذه نادرة الحدوث، وسرعان ما تتخشب بتقدم في العمر وتفقد قابليتها للامتصاص وبالتالي وظيفتها ( الشكل 7).



الشكل: 7 صورة للنهاية الجذرية وكيفية تغلغل الوبرة الماصة بين حبيبات التربة

**دوران النسغ الناقص:**

الماء الوحيد القابل للامتصاص من طرف النبات داخل التربة، هو الماء الشعري Water capillary ، وهذا الماء ليس ماءا نقيا بل عبارة عن محلول من الأيونات، ويشكل ما يعرف بالنسغ الناقص، ويكون جد مخففا 99 %ماء وحامضي نسبيا (ينحصر الأوس الهيدروجيني ما بين 5.4 إلى 6.5، وينتقل من حبيبات التربة إلى الجذر، ثم ينتقل إلى الخشب الذي يحمله إلى الأوراق، ومن ثم يمكن له أن يتسرب للجو عن طريق ظاهرة النتح، ويمكن أن تسلك العناصر المعدنية الضرورية نفس هذا المسلك.

يمكن للماء أن ينفذ إلى الجذر، عبر المادة الحية (Symeplast)، أو عبر المادة غير الحية (Apoplast) أي عبر الجدران والمسافة البينية، من البشرة إلى طبقة الأدمة الباطنة ليجبر الماء والاملاح المعدنية على المرور عبر المادة الحية، لأن شريط كاسباري (bondes de Caspary) غير منفذ للماء، ويمنع مروره بين الخلايا، ليجبره بالمرور عبر المادة الحية (الشكل 6) ثم ينقل إلى الخشب في الجذر ومنه إلى الساق فالأوراق، ليعود إلى الجو.

**طرح النبات للماء :**

يدرك الجميع أن عملية فقد الماء عن طريق النتح وامتصاص ثاني أكسيد الكربون، تتمان تواقتيا عبر الثغور. إن تغيرات المقاومة الثغرية تمس بدون شك وبنفس الدرجة الظاهرتين، فإذا كانت الثغور جداً مفتوحة، فهي تحد من امتصاص ثاني أكسيد الكربون، ويصبح البناء الضوئي في أدناه، وبالمقابل فإن عملية النتح تكون إجباريا في أقصاها، وبالتالي يحدث خطر فقد ونزع الماء والاملاح المعدنية من النبات؛ أما إذا كانت الثغور محكمة الغلق، فهي تحد من فقد الماء والاملاح المعدنية، ولكن تمنع من دخول ثاني أكسيد الكربون، فيحدث إيقاف لعملية البناء الضوئي، وتصبح نباتات اليابسة ، بين خيارين أحلاهما مر، وهما: إما أن تموت عطشا أو جوعا.

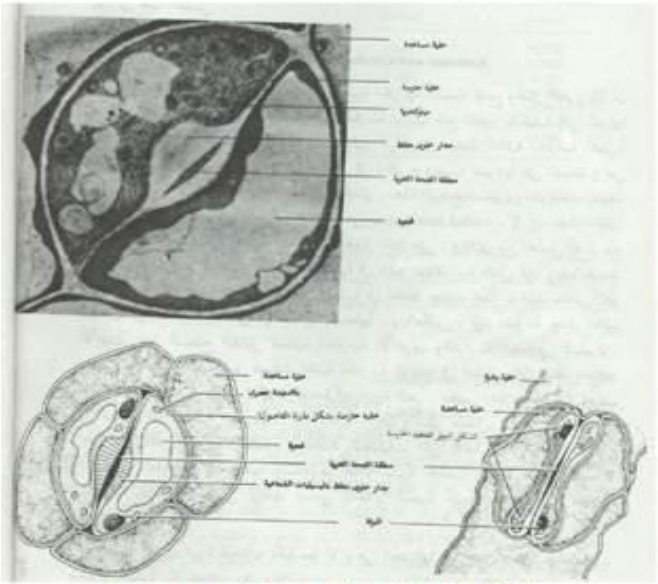
**النتح:**

يمكن تعريف النتح بأنه عملية فقد الماء من النباتات بشكل بخار، على الرغم من أهمية المياه فإن كميته المستغلة فعليا في العمليات الحيوية للنبات، لا تشكل إلا جزءا بسيطا من الكمية الكبيرة التي يمتصها النبات؛ وأن نسبة كبيرة من هذه المياه تصل 99 %من مجموع ما يمتصه النبات تتسرب عبر الأوراق والساق، على هيئة بخار الماء، تسمى هذه العملية بالنتح (Transpiration) (أنظر الشكل 8).

النتح عملية مفيدة للنبات لأنها تقوم بتبريد الأوراق وتسبب صعود العصارة النباتية وتزيد من امتصاص العناصر المعدنية، كما يعزى له دور في نمو وتطور النبات والمحافظة على الانتفاخ الأمثل للخلايا، ويرى البعض بأن أحسن طريقة للتعبير عن عملية النتح بأنها شر لا يمكن تجنبه وان سبب عدم إمكانية تجنبه هو التركيب التشريحي للورقة وسببه كونه شر لأنه غالبا ما يؤدي إلى نقص الماء في النبات وأحداث أضرار له نتيجة جفافه.

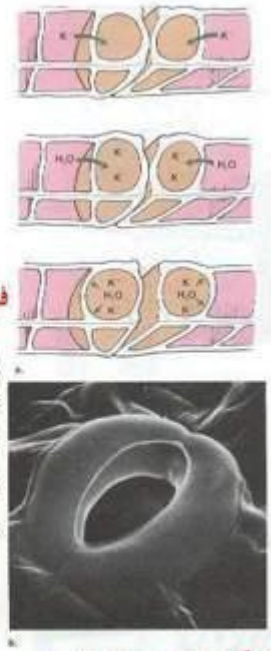
ينقسم النتح إلى صنفين أساسيين، عبر الثغور (Transpiration stomatique)، وعبر الأدمة (Transpiration cuticulaire) أنظر الشكل 7. مع العلم أن أكبر نسبة من الفقد تتم عبر النتح الثغري، بينما لا يمثل نتح الأدمة سوى حوالي 5 إلى 10 % من مجموع ما يفقده النبات من المياه في المناطق المعتدلة وفي العموم لا يكون نتح الأدمة مهما إلا في نباتات المناطق الرطبة ذات الأدمة الرقيقة، ويكون أقل أهمية لدى نباتات المنطق الجافة المحتوية على أدمة غليظة. كما يمكن مشاهدة نوع ثالث يعرف بالنتح العديسي (Transpiration lenticulaire)، وهو أقل أهمية من النوعين السابقين، ويتم عبر فتحات دقيقة في الأنسجة الفلينية التي تغطي أسطح السيقان والأفرع.

يزداد الضغط الانتفاخي للخلايا الحارسة بدخول الماء إليها من الخلايا المجاورة. بانتفاخ الخلايا الحارسة تتأثر جدرانها الخارجية و بشكل اكبر من تأثر الجدران السميكة أي الداخلية، ولذلك تتمدد إلى داخل خلايا البشرة المحيطة. ويؤدي التغير الحاصل في شكل الخلايا الحارسة إلى زيادة مساحة فتحة الثغر. أما نقصان الانتفاخ في الخلايا الحارسة فيحدث بسبب فقدان الماء، ومن ثم يسمح بتقلص الحجم بأن تستعيد الجدران الداخلية المرنة شكلها الأولي مما يسبب في انغلاق الثغر (شكل 9).



الشكل:9 منظر سطحي ومقطع عرضي في مستوى الخلايا الحارسة للثغر

ورغم علمنا بهذه الظاهرة منذ 1856، غير أننا نجهل دائما الحقيقة التي تدفع بالخلايا الحارسة بامتصاص أو فقد الماء. واعتقد الجميع لمدة طويلة أن مواد تحلل النشاء هي التي تساهم بذلك. الا ان عند الإضاءة وفي جو فقير من $CO_2$تنفتح الثغور، لأن الخلايا الحارسة تمتص أيونات البوتاسيوم ($K^+$)، متبوعة بارتفاع للضغط الأزموزي. ويبدو أن النقل الفعال يتدخل في امتصاص أيونات البوتاسيوم ($K^+$) عند بدء عملية البناء الضوئي. ويرجع ذلك إلى أن البناء الضوئي يحدث انخفاضا في تركيز $CO_2$ داخل الورقة، فيتم عندها بسرعة امتصاص لـ ($K^+$) بواسطة الخلايا الحارسة متبوع بفتح الثغر. وبالعكس فإن الحركة العكسيةلـ($K^+$) خارج الخلايا الحارسة يحدث غلق للثغر الناجم عن الانكماش (الشكل 10).




الشكل: 10 دور البوتاسيوم في تنظيم الثغور

لا يمكن للبناء الضوئي أن ينظم لوحده هذه الآلية، إن لكمية الماء المتوفرة في خلايا الورقة دورا تلعبه أيضا. عندما ينقص الورقة الماء، فأنها تذبل، وتغلق الثغور. وهذا ناجم عن هرمون نباتي يعرف بحمض الأبسيسيك (" Acide abscissique"ABA)، تفرزه الخلايا عندما يكون هناك إجهاد أو نقص مائي، مما يجبر الـ(+K) على مغادرة الخلايا الحارسة، ويعرف هذا الهرمون النباتي من طرف علماء فسلجة النبات بهرمون الإجهاد أو النقص المائي (Hormone de stress). كما لوحظ في دراسات عديدة أن الأس الهيدروجيني (pH) المرتفع يحفز فتح الثغور، أما الأس الهيدروجيني (pH) المنخفض فيحفز غلق الثغور.

**- العوامل المؤثرة على شدة النتح:**

**أولا- عوامل النبات:**

*** نسبة المجموع الجذري إلى نسبة المجموع الخضري:**

عندما تكون جميع الظروف مناسبة للنتح الجيد، فإن كفاءة سطح الامتصاص (سطح الجذر) والسطح الناتح (سطح الورقة) هما المتحكمان في معدل النتح. فلو كان امتصاص الماء أقل من النتح، فإن النبات يعاني من نقص الماء والاملاح المعدنية بداخله، وبالتالي سوف يقلل النتح. فقد وجد أن النتح يزداد بزيادة نسبة الجذر إلى الساق.

*** مساحة الورقة:**

من المنطق أن نفترض أنه كلما كبرت مساحة الورقة زاد فقد الماء. هذا الافتراض صحيح، إلا أن التناسب بين مساحة الورقة وفقد الماء غير صحيح. لذلك فقد لوحظ أن تقليم أشجار الفاكهة يزيد من معدل نتحها لكل وحدة من مساحة الورقة، إلا أن الماء والاملاح المعدنية الكلي المفقود يكون أعلى في الأشجار غير المقلمة. وربما تنشأ هذه الحالة من تلك الحقيقة، إلا وهي أن المجموع الجذري للأشجار المقلمة يمدها بكمية أكثر من الماء والاملاح المعدنية إلى عدد أقل من الأوراق وبالتالي زيادة كفاءة النتح.

*** عدد الثغور وتركيب الورقة:**

تظهر في العادة نباتات المناطق الجافة (Xyrophytes) عددا من التحورات التركيبية خاصة بأوراقها. فلأوراق تلك النباتات طبقة أدمة شمعية سميكة وجدر خلوية سميكة، وخلايا برانكيمية عمادية ذات تطور عالي، وثغور غائرة، وتغطى بشعيرات بشرية ميتة...الخ. فعند مقارنة أوراق نبات من المناطق الجافة مع أوراق نبات من المعتدلة (Mésophytes) بالعيش في ظروف الجفاف جنبا إلى جنب؛ فسوف نلاحظ الذبول المبكر على أوراق نباتات المناطق المعتدلة، قبل ظهورها على أوراق نباتات الجفاف بمدة زمنية أطول. كما أن ثغور أوراق نباتات المناطق الجافة تغلق تحت ظروف الجاف وفي وجود الضوء أيضا، وعندها يمثل نتح الأدمة الوسيلة الوحيدة لفقد الماء، كما لاحظ العديد من الباحثين أن الإمداد الكافي بالماء، يؤدي إلى أن معدل النتح لأنواع المناطق الجافة يكون أعلى منه في نباتات المناطق المعتدلة؛ ويرجع ذلك جزيئا إلى العدد الأكبر من الثغور لوحدة المساحة والتشعب الغزير للعروق في أوراق نباتات المناطق الجافة يكون عاليا مقارنة مع نباتات المناطق المعتدلة. كما يمكن تصنيف النباتات وفق أوساطها البيئية المناسبة.

**ثانيا- عوامل البيئة:**

**الضوء ((*Photonastie*:**

يحتل تأثير الضوء العامل الأساسي بين جميع العوامل المؤثرة على النتح حيث أن له التأثير الجوهري على حركة الثغور. تنفتح ثغور الورقة بصفة عامة، عند تعرضها للضوء، وتستمر مفتوحة تحت ظروف الإضاءة المستمرة، ما لم تصبح بعض العوامل الأخرى محددة، وتغلق الثغور عند تعرضها للظلام. وتختلف كمية الضوء اللازمة لإحداث أقصى فتح للثغور باختلاف الأنواع النباتية، وعليه فان امتصاص العناصر الغذائية يكون مرتبط الى حد ما باستمرار عملية النتح وكفائتها.

**درجة حرارة (*Thermonastie*):**

تؤثر درجة الحرارة قليلا على مدى تفتح الثغور، ولكن تؤثر بدرجة أكبر على سرعة حركة الثغور. وتتفاعل الثغور ببطء مع درجات الحرارة المنخفضة. ونظرا لقدرة الحرارة على تغيير عوامل أخرى (مثل الجهد المائي للنبات، شدة البناء الضوئي والشدة التنفسية)، لذلك فإنه من الصعب فصل التأثيرات المباشرة للحرارة عن التأثيرات غير المباشرة ومن ثم تأثيرها في النتح وامتصاص الاملاح المعدنية.

**تركيز $CO_2$(*Chimionastie*):**

للثغور رد فعل كيميائي على تغيرات تركيز الـ $CO_2$داخل الجو، فبالنسبة لتغيرات الـ $CO_2$ في الهواء المحيط بالثغر قليلة التأثير وخاصة عندما تكون الثغور مغلقة. فقد لوحظ أن الانخفاض في تركيز $CO_2$، يحث الثغور على الانفتاح، والتركيز العالي يؤدي إلى إغلاقها.

**نسبة الرطوبة (*Hydronastie*):**

يمكن إيقاظ وضبط حركة الثغور بواسطة التغيرات في الجهد المائي داخل خلايا الورقة من جهة والجو المحيط بالثغر من جهة ثانية. فقد لوحظ أن الجو المحيط بالثغر والمشبع بالرطوبة يعمل على فتح الثغور، بينما الجوف الجاف يعمل على غلقها. كما أنه في حالة انخفاض طفيف للجهد المائي في التربة يؤدي إلى حث البناء الحيوي لحمض الأبسيسيك الذي يساهم بسرعة عالية في غلق الثغور، للحافظ على مستوى فسيولوجي مناسب للماء داخل النبات، وهذا بدوره يؤثر في امتصاص العناصر المعدنية.

**الرياح:**

يمكن للرياح أن تسبب زيادة في معدل النتح، ويمكنها أيضا أن تتسبب في غلق الثغور. وبالتالي فإنها تظهر كلا من التأثير السالب و الموجب على النتح؛ ويتوقف كل ذلك على نسبة الرطوبة فيها وعلى سرعتها أيضا.

**المحتوى المائي للتربة:**

إن معدل امتصاص الماء والاملاح المعدنية من قبل النبات قد يقل عن فقدان الماء بالنتح لمدة قصيرة دون حدوث أي تغير يذكر على النبات. وفي حالة استمرار هذه الوضعية فان نقص الماء والاملاح المعدنية في النبات سوف يحدث ذبولا، وبهذا فان ماء التربة يوفر كفاءة امتصاص من قبل النبات تؤثر على معدل النتح. لذلك فجاهزية ماء التربة لجذور النبات، وكفاءة امتصاصه، لها أهميتها العميقة على معدل النتح وامتصاص المغذيات.