العلاقات المائية للخلية والنبات

إمتصاص الماء Absorption of water

يعتبر الجذر هو النسيج النباتى المتخصص لإمتصاص الماء من التربة وهذا بالطبع لا يمنع إمتصاص النبات للماء بواسطة أنسجة أخرى هوائية بجانب الإمتصاص الجذرى. ومن هذه الأنسجة الأوراق والجذور الهوائية أو جميع أسطح النبات فى حالة النباتات المائية المغمورة تحت سطح الماء. كما أن للجذور وظيفة أساسية أخرى للنبات وهى تدعيم جسم النبات وتثبيته فى التربة.

وأهم منطقة فى الجذر هى منطقة الشعيرات الجذرية فمعظم الماء الممتص يكون عن طريقها ويسلك الماء الممتص المسار التالى عند إمتصاصة حتى يصل إلى أوعية الخشب: ــ

- منطقة الشعيرات الجذرية والطبقة الخارجية.
- القشرة وهى من الخلايا البارانشيمية.
- الإندودرمس وهذه الطبقة لا تمثل مشكلة فى جذور ذوات الفلقتين. أما فى ذوات الفلقة الواحدة فمعظم خلايا الإندودرمس غير منفذه لتغليظ جدارها الداخلية وأحياناً الخارجية ، الداخلية بمادة السوبرين وتوجد فقط خلايا ممررة فى إتجاه واحد فقط.
- البريسيكل وخلاياه منفذة للماء وأوعية الخشب ممتدة ومتصلة ببعضها طولياً فى الجذر والساق والأوراق.

إمتصاص الماء بواسطة أجزاء النبات الهوائية:

إمتصاص الماء على صورتية السائلة والبخارية تحدث بدرجة محدودة بواسطة الأجزاء الهوائية لمعظم النباتات. ويتوقف هذا الإمتصاص على درجة إسموزية خلايا الورقة ودرجة نفاذية طبقة الأديم. ويعتقد بعض الباحثين أن الماء الممتص بواسطة الأوراق يمكن أن ينتقل فى الإتجاه العكسى خلال النبات ويمكن أن ينتشر الماء من هلال الجذر إلى التربة.

صور الماء الموجودة بالتربة:

تحتوى التربة على كميات مختلفة من الماء فبعد سقوط الأمطار بغزارة أو بعد الرى يتم صرف جزء منه يسمى الماء الحر ويعتبر غير قابل لإفادة النبات وتحت تأثير الجاذبية الأرضية يرشح جزء من الماء إلى أسفل حيث يصل إلى مستوى الماء الأرضى ويعتبر ذو فائدة قليلة للنبات. ويعتبر الماء الحر ضار بالنبات نتيجة لإزالة الهواء من المسافات البينية لحبيبات التربة واللازم لتنفس الجذور وبالتالى يضمحل نمو الجذور نتيجة لنقص الأكسوجين.

وتحتفظ حبيبات التربة بالجزء الأكبر من ماء المطر ضد الجاذبية الأرضية مما يحافظ على رطوبة التربة فيدمص جزء من هذا الماء بغرويات التربة على هيئة غشاء رقيق ويسمى بالماء الأيجروسكوبى Hygroscopic ويعتبر غير قابل لإفادة النبات ويعرف ما يتبقى من الماء بالماء الشعرى Capillary water الذى يملأ المسافات بين أجزاء التربة أو يكون أغشية حولها ويعتبر ذو أهمية كبيرة للنبات وذلك لأنه قابل لإمتصاص الجذور.

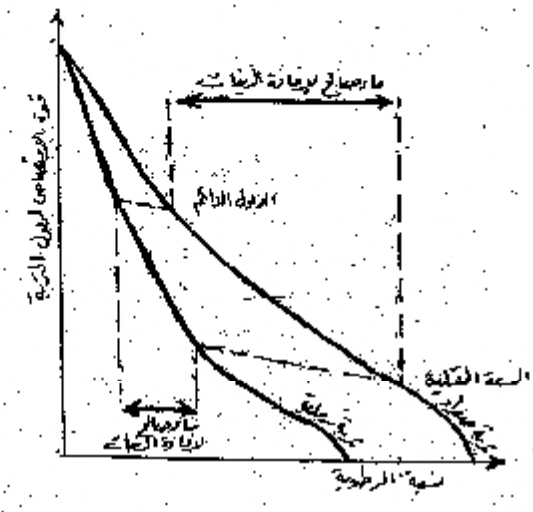
ويرتفع الماء من ماء الرشح أو الماء الأرضى بالخاصية الشعرية لإرتفاعات مختلفة بالتربة معتمدة فى ذلك على تركيبها وقد وجد أن الإنسياب الشعرى يسمح بحركة الماء من الماء الأرضى إلى مسافة حوالى ٣٥ سم فى حالة الرمل الخشن وحوالى ٩٥ سم فى حالة الطين الثقيل.

القوى التى تسبب إمتصاص النبات للماء ورفع العصارة

يمكن تقسيم القوى التى تتسبب فى إمتصاص النبات للماء إلى:

- **قوة الضغط الجذرى.**
- **القوة السالبة (النتح).**
- **نظرية الشد المتماسك.**

كمية الماء الصالحة للامتصاص من التربة



خطوة قوة الامتصاص لجذور النبات حسب الرطوبة في الجزء العلوي من التربة

أولاً: الضغط الجذرى:

وهذه القوة هى إحدى القوى المسئولة عن إمتصاص الماء بواسطة الجذر والإمتصاص عن طريق قوة الضغط الجذرى يكون فعالاً عندما يكون التركيز الإسموزى لمحلول التربة لا يتعدى ١ ــ ٢ ص ج. وتتألف قوة الضغط الجذرى من عدة قوى أخرى منها:

* قوة التشرب:

من المعروف أن الجذور النباتية تتكون من مواد غروية متصلبة لها قدرة كبيرة على التشرب بالماء لذلك نجد أن خلايا الجذر المغمورة فى تربة رطبة أكثر تشرباً بالماء من الخلايا الداخلية (طبقات القشرة) فينتقل الماء بالتالى عن طريق قوة التشرب من الخارج إلى الداخل. وبإستمرار إنتقال الماء يستمر فعل قوة التشرب فى صورة إنسياب مستمر للماء إلى داخل نسيج الجذر خلال طبقات القشرة. ويجدر أن نشير إلى أن كميات الماء التى تدخل أنسجة النبات (الجذور) عن طريق هذا الطريق هى فى الواقع كميات محدودة جداً إلا أن هذه القوة تلعب دوراً أساسياً فى إمتصاص النبات للماء فى مرحلة إنبات البذور.

* قوة الإمتصاص الإسموزية:

ينتقل الماء من خلية إلى أخرى مجاورة لها ويتوقف ذلك على قوة الإمتصاص الإسموزية وليس على قيمة الضغط الإسموزى لعصير الخلايا. حيث ينتقل الماء إلى الخلية ذات قوة الإمتصاص الإسموزية الأكبر وعادة يكون الضغط الإسموزى لمحلول التربة أقل من الضغط الإسموزى لخلايا الطبقة الخارجية فى الجذر.

وفى الشكل نجد أن خلية أ = ٣ ــ ٥ ض ج وعادة يكون الماء فى التربة صالحاً لإفادة النبات عندما تكون قيمة الضغط الإسموزى لمحلول التربة أقل من ١ ــ ١٥ ض ج وفى الأحوال العادية يكون الضغط الإسموزى لمحلول التربة أقل من ١ ض ج وكلما زاد الضغط الإسموزى لمحلول التربة كلما قل الإمتصاص وبإنتقال الماء إلى خلايا الطبقة الخارجية فى الجذر تنتفخ هذه الخلايا وتمتلئ بالماء ويتولد فيها ضغط إنتفاخ متزايد وبالتالى تنقص قوة إمتصاصها الإسموزية لتصبح أقل من الخلية المجاورة لها جهة الداخل (ب) وبذلك تمتص الخلية (ب) الماء من (أ) نظراً لزيادة قوة إمتصاصها الإسموزية كما سبق ونتيجة

لإمتصاص الماء إلى الداخل (خلية ب) تقل قيمة ص لها لتصبح الخلية (ج) ذات قوة إمتصاص أكبر منها فتمتص فيها الماء وهكذا تستمر العملية ويندفع الماء من التربة إلى داخل الجذر (الخلية هـ).

أ ٣ ــ ٥ ض ج	ب	ج	د	هـ	و

التربة أقل من ١ ض ج حوالى ٢ ض ج

وبعد ذلك يتعرض الماء فى الأنبوب الخشبى (و) للشد نتيجة رفع العصارة (القوة السالبة) وبذلك تصب الخلية (هـ) ماءها إلى الأنبوب (و) بعد تولد ضغط إنتفاخ كبير بداخلها وتعرضها أيضاً لضغط جدر الخلايا المجاورة على أسطحها من الخارج من جهة وإستمرار سحب عمود الماء فى الأوعية الخشبية من جهة أخرى. ولذا يمكن تشبيه الخلايا التى تمتص وتنقل الماء خلالها جميعاً من (أ ــ هـ) بغشاء شبه منفذ. ويكون إنتقال الماء عبر هذا الغشاء متأثراً بقيمة الفرق بين الضغط الإسموزى للمحلولين على جانبى هذا الغشاء. وقد وجد فعلاً أن الضغط الإسموزى للمحلول فى الأوعية الخشبية يكون دائماً أعلى من الضغط الإسموزى لمحلول التربة (حوالى ٢ ض ج) ويندفع الماء فى أوعية الخشب بقوة ناشئة عن الفرق بين ضغطى محلول التربة ومحلول أوعية الخشب.

* الطاقة الناتجة عن التنفس:

توضح هذه النظرية أن إمتصاص الماء يتم بمعدلات سريعة عن فروق التركيز لقوة الإمتصاص الإسموزية. وفسر فيها إنتقال الماء إلى الخشب عبر الخلايا المجاورة بمساعدة عمليات الطاقة الناتجة من عمليات التنفس حيث لوحظ أن نقص الأكسوجين وزيادة ثانى أكسيد الكربون تؤدى إلى تقليل إمتصاص الماء بواسطة الجذور.

الظواهر المترتبة على الضغط الجذرى:

ظاهرة الإدماء: التى تحدث عن تقليم أشجار العنب وهذه الظاهرة Bleeding هى خروج قطرات مائية من الأسطح المقطوعة من الساق بعد التقليم.

ظاهرة الإدماع Guttation وهى خروج قطرات مائية من أطراف أوراق بعض النباتات وخاصة النجيليات فى الصباح الباكر فى الجو الدافئ. وعند توفر الرطوبة أثناء الليل ولذا لا يجد الماء سبيلاً إلى الخروج من أنسجة النبات إلا عن طريق فتحات فى أطراف الأوراق تعرف بالثغور المائية.

ثانياً: القوة السالبة (القوة الناشئة عن النتح):

يتضح أن فقد الماء من نسيج الورقة نتيجة لعملية النتح تقلل من درجة إنتفاخ الخلايا أى نقص قيمة الضغط الجدارى أو ضغط الإمتلاء. كما أن عملية البناء الضوئى التى تتم فى نسيج الورقة أيضاً من شأنه أن يزيد تركيز السكريات فى خلايا الورقة أى زيادة بالتالى فى قيمة الضغط الإسموزى لعصير هذه الخلايا.

وبتطبيق المعادلة ص = ض ــ ت وحيث تميل ض للزيادة، ت تميل إلى النقصان إذا لابد أن تكون قيمة ص لنسيج الورقة (الميزوفيل) عالى جداً بالنسبة لبقية خلايا النبات وبذلك يكون نسيج الورقة وحجمه من العوامل المهمة جداً فى إمتصاص وصعود العصارة النباتية.

وفى أوائل الربيع عندما تكون الأوراق صغيرة وغير مكتملة (فى متساقطة الأوراق) يكون الضغط الجذرى هو القوة الفعالة فى إمتصاص وصعود العصارة بينما فى أواخر الربيع وأوائل الصيف حيث تكتمل الأوراق فى النمو والحجم وتقوم بوظائفها الفسيولوجية على أكمل وجه تكون القوة الفعالة فى إمتصاص وصعود العصارة هو القوة السائدة.

ثالثاً: نظرية الشد المتماسك Cohesion-Tension theory:

كى تفهم المقصود بهذه النظرية لابد وأن نتفهم صفات الماء التماسكية Cohesive والاصقة Adhesive. تتماسك جزيئات الماء بعضها البعض وفى نفس الوقت تتماسك مع جدر الأنبوبة الزجاجية (عند مرور الماء فى أنبوبة شعرية). لذلك لا ينقطع عمود الماء ما لم تتغلب قوى الجذب داخل العمود على قوى التماسك والإلتصاق فى العمود أو إنقطاع العمود بالهواء.

وهذه القوى الطبيعية وهى قوة التماسك Cohesion وقوة تماسك جزيئات الماء ببعضها لا يمكن ملاحظتها بصورة واضحة إلا فى الأنابيب الشعرية. فعند جذب الماء من قمة هذه الأنابيب فإن هذا يحدث تخلخلاً فى

عمود الماء كله ويتعرض عمود الماء لعملية شد متصلة هى فى الواقع قوة التماسك بين جزيئات الماء وبعضها. وبجانب ذلك توجد قوة أخرى هى قوة إلتصاق جزيئات الماء بجدران الأنبوب Adhesion وبهذا تعمل أعمدة الماء فى الأوعية الخشبية كما لو كانت خيوط متصلة ببعضها. عند سحبها من القمة ينتقل الفعل التأثيرى للشد لبقية العمود المائى على طول الوعاء الخشبى. وتعريض أطراف الأعمدة المائية فى أوعية الخشب لشد مستمر عن طريق قوة النتح يؤدى بالتالى إلى خلق قوة غير مباشرة (قوة سحب) تساعد على صعود العصارة فى النبات.

وخلايا نسيج الميزوفيل فى أوراق النبات ذات قوة إمتصاص إسموزية عالية نظراً لإرتفاع ضغطها الإسموزى لإحتوائها على سكريات نواتج البناء الضوئى. يؤدى ذلك إلى سحب الماء من أوعية الخشب بإستمرار وتنشأ عن ذلك حالة توتر Tension (شد) لأعمدة الماء فى الأوعية الخشبية من شأنه أن يزيد من قوة الإمتصاص للعصارة فى أوعية الخشب بمقدار هذا الشد وينتقل هذا التأثير إلى أوعية الخشب فى الجذر حيث تصبح قوة إمتصاصها أكبر من قوة الإمتصاص للخلايا المجاورة لها. ولهذا تتوالد قوة محركة لدفع الماء من مناطق الإمتصاص وتوصيل هذا إلى الأنسجة الهوائية العليا للنبات.

العوامل التى تؤثر على امتصاص الجذر للماء

١ ــ كمية الماء الصالحة للامتصاص فى التربة:

غالباً يتحدد نمو النبات بالمحتوى المائى للتربة وذلك لأنة عندما يقل المحتوى المائى فأنة يصبح ممسوكاً بدرجة أكبر إلى حبيبات التربة ولذا يصبح أقل إفادة للنبات. والماء القابل لإفادة النبات ينحصر فى مدى رطوبة التربة من السعة الحلقية إلى نقطة الذبول الدائم والسعة الحلقية Field capacity هو محتواها من الماء بعد أن تبلل جيداً ثم يسمح بحدوث الرشح الذى يحدث تغير قليل فى المحتوى المائى وغالباً ما يسمى الماء المتبقى بالتربة بالماء الشعرى ويكون ممسوكا بقوة الجذب السطحى على هيئة أغشية محيطة بحبيبات التربة وفى المسافات البينية الصغيرة.

ونسبة الذبول الدائم Permanent wilting percentage هو المحتوى المائى الذى تصبح فيه الأوراق ذابلة طول الليل فى غرفة ذات جو رطب. ويعرف المستوى المائى بين السعة الحلقية وتقطة الذبول الدائم

بالماء القابل للإفادة وذلك لأن النبات يتمكن من إمتصاصة بسهولة. كما أن المحتوى المائى فى المدى من السعة الحلقية ونقطة التشبع يكون قابل للإفادة كذلك إلا أنه يتسبب فى طرد كثير من هواء التربة ولذا تعانى الجذور من التهوية غير المناسبة. كما أن النبات عادة ما يستمر فى إمتصاص الماء من تربة أقل فى محتواها عن حالة نقطة الذبول الدائمة إلا أن الإمتصاص يكون بطيء للغاية ليعوض ما فقد من الماء ويؤدى نقص الماء إلى توقف النمو ويؤدى فى النهاية إلى الموت نتيجة الجفاف **Dehydration** ويوضح الشكل هذه العلاقة.

٢ ــ حرارة التربة:

أ. درجة الحرارة المرتفعة:

يزداد معدل الإمتصاص بإرتفاع درجة الحرارة ويرجع ذلك إلى تأثير الحرارة على اللزوجة للماء والبروتوبلازم كما أن إرتفاع الحرارة يؤدى إلى زيادة نشاط البروتوبلازم وبالتالى تزداد عملية التنفس وينطلق قدر من الطاقة يساعد فى زيادة إمتصاص الماء والأملاح.

ب. درجة الحرارة المنخفضة:

تقلل درجة الحرارة المنخفضة من إمتصاص الماء حيث وجد أن نباتات الدخان والكوسة ذبلت بدرجة شديدة عن نباتات الكرنب واللفت فى الأراضى الباردة. وقد وجد العديد من الباحثين إختلافات كبيرة بين الأنواع النباتية وعلاقتها بالحرارة المنخفضة للتربة.

ومن أسباب نقص الإمتصاص عند الحرارة المنخفضة:

- تأخر إستطالة الجذر وبذلك يقل معدل إختراقة لمناطق جديدة بالتربة.
- قلة معدل حركة الماء من التربة إلى الجذر.
- قلة نفاذية الخلية والتى تقل بصفة عامة مع خفض درجة الحرارة.
- زيادة لزوجة الماء مما يقلل حركته داخل خلايا الجذر نفسه وكذلك قلة حركته من التربة للجذر.
- نقص نشاط التحول الغذائى للخلايا الحيه بالجذور ويعتبر ذلك معوقاً لميكانيكية الإمتصاص المباشر.

٣ ــ تركيز محلول التربة:

يؤدى الضغط الإسموزى المرتفع للتربة إلى موت النبات. وعند قلة الماء بالتربة فإن تراكم الملح بالتربة غالباً ما يزيد من الضغط الإسموزى إلى نقطة يختفى عندها إمتصاص الماء وتوقف النمو. وقد وجد أن ضغط إسموزى قدرة (٢) ضغط جوى يقلل النمو وأن ضغط جوى قدرة (٤) ضغط جوى يسبب ضرر معظم نباتات المحاصيل. ولو أنه لوحظ بعض النباتات يمكنها المعيشة فى المناطق الملحية وذلك لزيادة أسموزية عصيرها الخلوى عن تلك التى تنمو فى المناطق الأخرى.

٤ ــ التهوية:

توجد إختلافات كبيرة بين الأنواع النباتية بالنسبة لمقدرتها على النمو فى التربة مشبعة بالماء وقليلة التهوية.

ــ نباتات السعد وذيل القط والأرز تنمو بنجاح فى الأراضى المغمورة بالماء.

ــ نباتات الدخان يصيبها الضرر أو تموت عند غمر الأرض بالماء لفترات قليلة.

ويرجع إختلاف تحمل الأنواع النباتية المختلفة إلى غمر الأرض بالماء إلى كل من الإختلافات المورفولوجية والفسيولوجية. فالجذر النامية فى أرض قليلة التهوية تحتوى على مسافات بينية كبيرة وغرف هوائية عن الجذور النامية فى الأراضى حسنة التهوية. وعموماً يرجع سبب موت النباتات التى لا تتحمل غمر الأرض بالماء إلى نقص التهوية لا إلى زيادة الرطوبة.

ويؤدى نقص التهوية إلى قلة نشاط التحول الغذائى للجذور وقلة نفاذيتها للماء ثم تموت فى النهاية. ولا يؤثر نقص التهوية على إمتصاص الماء فقط بل على إمتصاص العناصر الغذائية كذلك.

٥ ــ تركيز CO2

- **من الواضح أن تراكم CO_2 فى التربة يؤدى إلى تثبيط إمتصاص الماء عن ذلك الذى يحدث بسبب نقص O_2 (الأكسوجين).**
- **زيادة تركيز CO_2 تسبب زيادة فى لزوجة البرتوبلازم وبالتالى نقص فى نفاذية الجذر للماء والتى تؤدى بالطبع إلى نقص إمتصاص الماء.**

٦ ــ كفاءة النظام الماص:

- **يقل إمتصاص الماء بنقص كفاءة المجموع الجذرى.**
- **يزداد معدل الإمتصاص بزيادة السطح الماص وبزيادة تعمق الجذر بالتربة.**
- **يوجد إختلاف واضح فى نفاذية الماء عبر طول الجذر والتى ترجع إلى تركيبة.**

ففى الأجزاء المرستيمية يدخل جزء قليل من الماء وذلك نتيجة للمقاومة الشديدة لحركة الماء خلال الكتلة السيتوبلازمية التى تملأ الخلية وكذلك غياب أوعية الخشب لنقل الماء. ويحدث أعلى إمتصاص فى المنطقة التى يتكشف بها الخشب بدرجة كافية.

٧ ــ النتح:

كلما زاد معدل النتح كلما زاد معدل الإمتصاص.

النتح

من المعروف أن الماء ضرورى لحياه النبات ويعتبر ضرورياً للإبقاء على التوازن المناسب بين فقده وإمتصاصة. كما يعتبر ضروريا للنمو والتكوين. ويتم فقد النبات للماء فى صورة مائية هو من خلال عملية الإدماع ويسمى فقد الماء من المجموع الخضرى للنباتات الحيه فى صورة أبخرة بالنتح.

ويمثل النتح الطريق الرئيسى لفقد الماء من النبات. والنتح أساساً عملية بخر إلا أنه يختلف عنه بعض المظاهر الطبيعية وذلك ناتج عن تركيب النبات وسلوك الثغر. ويتم النتح عامة فى المرحلتين الآتيتين:

- **تبخر الماء من جدر الخلايا الرطبة فى المسافات البينية.**
- **إنتشارها من المسافات البينية إلى الجو الخارجى.**

ويفقد معظم الماء المتبخر خلال الثغر ولكن بعض منها ينتشر للخارج من خلال خلايا البشرة والكيوتيكل. كما ويتم خروج بخار الماء من العديسات وذلك فى النباتات الخشبية. ومن أنواع النتح الثغرى ، النتح العديسى ، النتح الأدمى.

أولاً: النتح العديسى:

فقد يحدث فقد الماء من خلال قلف الأشجار الخشبية ولكنه يخرج بصفة خاصة من العديسات. والنتح العديسى لا ينتج عنه نقصاً معنوياً فى الماء فقد قدر العلماء الفقد الناتج من العديسات بحوالى ٠.١ % من الماء المفقود من قمة الشجرة.

ثانياً: النتح الأدمى:

فقد الماء من أسطح خلايا بشرة الأوراق والسوق العشبية يطلق عليه النتح الكيوتينى لأن هذه الأسطح مغطاة عادة بطبقة شمعية من الكيوتين مختلفة السمك. ويقلل الكيوتين فقد الماء بدرجة كبيرة.

ثالثاً: النتح الثغرى:

يفقد الماء من خلال الثغور فى حالة النتح الثغرى وذلك لأنها الطريقة الأقل مقاومة لإنتشار بخار الماء. والثغور عبارة عن فتحات بالبشرة محاطة بزوج من خلال البشرة تعرف بالخلايا الحارسة وهى التى تتحكم فى حجم فتحاتها.

ويتراوح عدد الثغور من ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ لكل سم^{٢} فى النجيليات ولأكثر من ١٠٠.٠٠٠ لكل/سم^{٢} Quercus coccinea وهذه الثغور عند تمام إنفتاحها تشغل ١ ــ ٢% من سطح الورقة الكلى.

عادة ما تكون عدد الثغور أكثر فى أوراق النباتات المشمسة الجافة عن تلك النامية فى الأماكن الظليلة الرطبة. وتوجد الثغور على السطح السفلى فقط للأوراق فى العديد من أنواع مثل النباتات الخشبية ولكن فى أنواع كثيرة أخرى توجد على كلا السطحين. ويمثل الجدول التالى عدد الثغور فى سم^{٢} من سطح الورقة.

نوع النبات	البشرة السفلى	البشرة العليا
التفاح	٣٨٧٦٠	--
الفاصوليا	٢٤٨٠٦	٤٠٣١
الذرة	٩٩٢٢	٦٠٤٧
البلوط	٥٨١٤٠	--
البرتقال	٤٤٩٦١	--
عباد الشمس	١٥٥٠٤	٨٥٢٦

قد أوضح العلماء أن التعدد الثغرى يتوقف على رطوبة البيئة فتصاحب الظروف الجافة تعدد كبير فى عدد الثغور. أما فى الظروف الرطبة فيصاحبها إنخفاض فى تعدد الثغور. كما لاحظ العلماء أن فتحة الثغر الكلية فى وحدة مساحة سطح الورقة تكون كبيرة فى ظروف الجفاف عنها فى الظروف الرطبة بالرغم من المساحة الكبيرة التى يبلغها الثغر فى الظروف الرطبة.

سعه الثغر الإنتشارية:

تعتبر كفاءة الثغر كطريق للإنتشار ذات قيمة كبيرة. ففى مساحة مسطحة قدرها ١% أو أقل من سطح الورقة تفوق حركة بخار الماء من خلال الثغور عن ٥٠% من سطح مائى حر. ولذلك فإن معدل الإنتشار خلال ثغر واحد أحياناً يكون أكبر ٥٠ مرة على الأقل من الإنتشار من مساحة مساوية لسطح مائى حر. والسبب فى ذلك هو أن الإنتشار خلال الفتحات الصغيرة يتناسب مع محيطاتها وليس مع مساحاتها. وعلى أساس وحدة المساحة فإن الثقوب الصغيرة تسمح بدرجة إنتشار عالية عن الثقوب الكبيرة وذلك لأن إنتشار المواد خلال هذه الثقوب لا تكون حركتها فى خطوط مستقيمة ولكنها تميل إلى الإنتشار للخارج فى جميع الإتجاهات من محيط الفتحات مكونة ما يشبه القصعة أو أغطية من البخار نتيجة الإنتشار.

حركة الثغور:

تتحكم حركة الخلايا الحارسة فى فتحة الثغر والتى تعتمد عادة على إنتفاخها ويوجد عديد من أنواع الخلايا الحارسة فى المملكة النباتية. فزيادة إنتفاخ الخلايا الحارسة تسبب إنكماش جدرها المرنة وقد لخص العالم Stalflet هذه الخطوات كالآتى:

تغير فى المحتويات ← تغير الإنتفاخ ← تغير الحجم ← حركة الخلايا الحارسة

وسبب التغير فى الإنتفاخ يرجع إلى التغير فى الضغط الإسموزى للخلايا الحارسة نتيجة للتغير فى كمية النشا والسكر بالإضافة إلى عوامل أخرى. ويتم فتح الثغر نتيجة لإنتفاخ الخلايا الحارسة.

العوامل المؤثرة على ميكانيكية فتح وغلق الثغور:

١ ــ الضوء:

- **تفتح الثغور فى وجود الضوء فى الظلام حيث يزداد pH فى الضوء (قلوى) ويقل فى الظلام (حامضى).**
- **تفتح الثغور جيداً عند تعرضها للضوء الأحمر أو الأزرق وتغلق عند تعرضها للأحمر البعيد FR أو البنفسجى.**
- **يعمل الضوء على تحرك كمية كبيرة من البوتاسيوم (K) من الخلايا المجاورة إلى الخلايا الحارسة كما يصاحب إنحلال النشا وبالتالى إرتفاع إسموزية الخلايا الحارسة وإمتلائها مما يؤدى إلى فتح الثغور.**
- **فسر العالم Yin والعالم Tung تأثير الـ pH حيث لاحظا وجود إنزيم الفوسفوريليز فى بلاستيدات الخلايا الحارسة الذى يشجع تحليل النشا إلى سكريات عند pH = 7 (قلوى)، بينما يشجع هذا الإنزيم تكوين النشا عند pH = 5 (حامضى) وبالتالى تصبح الخلايا الحارسة نشطة إسموزيا عند pH = 7 نظراً لإحتوائها على سكريات وتمتص الماء من الخلايا المجاورة وينفتح الثغر.**

٢ ــ CO_2 :

يمكن فتح الثغر فى الظلام بتخفيض تركيز CO_2 تحت مستوى التركيز العادى فى الهواء الجوى أما زيادة تركيزه عن الموجود بالهواء الجوى يسبب غلق الثغور حتى مع التعريض للضوء.

٣ ــ نقص الماء وحمض الأبسيسيك (ABA):

- **عند نقص الماء وتعرض النبات للذبول فإن الثغور تغلق ويقل النتح ويزداد تركيز حمض ABA ويتراكم فى أوراق النبات.**
- **لوحظ أنه عند إضافة ABA إلى أوراق النبات فإنه ينشط غلق الثغور.**

٤ - الحرارة:

- **إنخفاض درجة الحرارة أقل من صفر م° يؤدى إلى غلق الثغور.**

- **بإرتفاع درجة الحرارة يزداد إنتفاخ الثغور إلا أنه فى حالة نبات البصل والقطن فإن فتح الثغور يقل عند درجة حرارة أكبر من ٣٠ ْم.**
- **إرتفاع درجة الحرارة من ٣٥ - ٥٠ ْم يؤدى إلى تحويل النشا فى الخلايا الحارسة إلى سكر مالتوز ويزداد إنتفاخ الخلايا الحارسة وبالتالى تفتح الثغور بإتساع.**

٥ - الرطوبة:

الرطوبة المنخفضة فى الجو تؤدى إلى إنتفاخ الثغور بإتساع.

٦ - الوسط الحامضى والعناصر:

- **تفتح الثغور فى وجود الأمونيا حتى مع وجود الظلام وتغلق فى حامضى حتى مع وجود الضوء.**
- **يمكن ترتيب تأثير الأيونات على إطالة تحليل النشا فى الخلايا الحارسة وتأثيرها فى تنشيط فتح الثغور على النحو التالى:**
- **ليثيوم > صوديوم > بوتاسيوم > مغنسيوم > كالسيوم > باريوم > نترات > كبريتات > بروميد.**
- **وجد أن الثغور ذات إستجابة متغيرة عند نقص عناصر معينة خاصة النيتروجين ــ الفسفور ــ البوتاسيوم فنقص أى من هذه العناصر يؤدى إلى أن تكون الثغور أقل إتساعاً.**

طرق قياس النتح:

يمكن إستخدام عدة طرق لقياس النتح وهذه الطرق تقيس الماء الممتص أو بخار الماء المفتوح بواسطة النبات ومن هذه الطرق.

*** الطريقة الوزنية:**

وتعتبر هذه الطريقة من أسهل وأبسط الطرق حيث يوزن نبات بالأصيص عند بداية ونهاية فترة زمنية معينة وفى هذه الحالة لابد من تغطية سطح التربة والأصيص بمادة مانعة وعازلة حتى نتجنب تبخر الماء من تلك الأسطح فيما عدا النبات مع الأخذ فى الاعتبار أن كمية الماء المستهلك فى عملية البناء الضوئى أو التنفس فإنها محدودة للغاية وغير معنوية.

*** طريقة البوتوميتر:**

تعتمد هذه الطريقة على أفتراض أن معدل امتصاص الماء يتساوى مع معدل النتح. وفى هذه الطريقة يتم تثبيت فرع خضرى لنبات ما فى فتحة البوتوميتر ويؤخذ على هذه الطريقة أنها فى الحقيقة تقيس معدل الامتصاص وليس معدل النتح إلا أنها مثالية لدراسة تأثير الظروف البيئية المختلفة من الحرارة وإضاءة وحركة الهواء على معدل النتح.

*** طريق جمع ووزن بخار الماء:**

فى هذه الطريقة يوضع النبات فى إناء زجاجى محكم ومغلق به فتحات معينة ويمرر بهذا الوعاء تيار هوائى معروف محتواة من الرطوبة ويمر الهواء إلى خارج الإناء ويمر على أنبوبة تحتوى على وزنة معلومة من كلوريد الكالسيوم (وهو شره جدا لامتصاص الماء). والفرق فى الوزن لكلوريد الكالسيوم من بداية التجربة ونهايتها يدل على كمية الماء الناتج.

٤ ــ الطريقة الوعائية:

تشبه هذه الطريقة إلى حد بعيد الطريقة السابقة إلا أنها تقيس النتح لورقة فردية وهى طريقة معملية مثالية حيث يمر الهواء المعروف رطوبتة إلى داخل الوعاء ثم يجمع الهواء الخارج من الوعاء ويتم تقدير الرطوبة النسبية به ثم يقدر معدل النتح.

٥ ــ طريقة كلوريد الكوبلت:

وهذه الطريقة تعتمد على اللون وليس الوزن حيث يتم التعرف على بخار الماء المنتوح بالتحول فى اللون. ويتم تشبيع ورق ترشيح بمحلول مائى لكلوريد الكوبلت ٣% ثم تجفيف فيصير لون الأوراق ازرق عند تمام الجفاف . توضع ورقة نبات بين ورقتى ترشيح مشبعتان بكلوريد الكوبلت وجافتين فيتحول لون الورقة بالتدريج من الأزرق إلى القرنفلى وذلك لخروج الماء من ثغور الورقة على شكل فتح. ومعدل التحول التدريجى من الأزرق إلى الأحمر الفرنفلى يعبر عن معدل النتح . ويعد استخدام هذه الطريقة نادراً لأنها غير دقيقة.

العوامل المؤثرة على النتح Factors affecting transpiration

سوف نتناول بعض العوامل النباتية والبيئية على عملية النتح فيما يلى:

أ ــ العوامل النباتية المؤثرة على النتح Factors affecting transpiration

أعتبر دور الثغور كمنظم للنتح. وفى خلال الجزء الأول من هذا القرن وضعت تأكيدات كثيرة على التغيرات التركيبية التى يبدو أنها تقلل من درجة فقد الماء وقد قيمت النباتات إلى نباتات البيئة الجافة Xerophytes ونباتات البيئة المتوسطة Mesophytes وقد وضع التركيب التشريحى والعلاقات المائية للنباتات فى السنوات الحالية تحت الفحص والتقدير حيث ظهر بواسطة عديد من المشتغلين أن أوراق نباتات البيئة الجافة تنتج بدرجة أسرع من نباتات البيئة المتوسطة إذا أمدت جيدا بالماء.

١ ـ مساحة الورقة Leafarea

يفقد الجزء الأكبر من الماء بالنبات من خلال الأوراق . وانه لمن التوقع أن النباتات ذات المساحة الورقية الكبيرة تفقد كثير من الماء بمقارنتها بالنباتات ذات المساحة الورقية الصغيرة . ويعتبر هذا حقيقى ومعقول ولو أن درجة النتح لا تتناسب مع مساحة الورقة.

٢ ـ تركيب الورقة Leaf structure

يؤثر تركيب الورقة بدرجة كبيرة فى درجة فقد الماء. ويعتبر سمك طبقة الكيوتين من العوامل الهامة. ومن المعتقد عامة أن النباتات التى لها طبقة كيوتين سميكة تعيش مدة أطول من النباتات التى لها طبقة كيوتين رقيقة . فقد وجد أن النباتات التى لها أوراق سميكة مغطاة بطبقة كبيرة من الكيوتين وطبقات محكمة من خلايا النسيج العادى Palisade cells وذات مسافات بينية صغيرة غالبا ما تنتج بدرجة الأوراق الرقيقة المغطاة بطبقة قليلة من الكيوتين وتركب خلايا الميزوفيل سائبة وذات مسافات بينية كبيرة وذلك إذا أمدت بكميات مناسبة من الماء. وهذه الإختلافات كان مرجعها إلى الإختلافات فى الأسطح الداخلية المعروضة للمسافات البينية. فقد أوضح Turrell ١٩٣٦ ، ١٩٤٤ أن أوراق نباتات البيئة الجافة عادة يكون لها أسطح كثيرة معرضة للجو الداخلى عما هو موجود فى أوراق النباتات العادية وتؤدى أسطح التبخير الكبيرة الناتجة عن أسطح الخلايا الداخلية لأوراق نباتات البيئة الجافة إلى زيادة معدل النتح عند تفتح الثغور مع

توفر إمداد مناسب من الماء. ولكن طبقات الكيوتين السميكة تؤدى إلى خفض النتح الكيوتينى وذلك عندما تكون الثغور مغلقة.

٣ـ نسبة المجموع الخضرى إلى الجذرى Root – shoot ratio

تعتبر نسب الأسطح الماصة إلى الأسطح الناتجة أكثر أهمية من الأوراق نفسها أو الأسطح الناتجة. ولو لم يحافظ إمتصاص الماء على متابعة تعويض ما يفقد منه فإنه يحدث نقص داخلى للماء والذى يقلل من النتح.

٤ـ المحتوى المائى للأوراق Water content of leaves

من الأمور التى تستوجب التفكير فيها. ما إذا كان نقص المحتوى المائى يقلل من النتح مباشرة أو بطريقة غير مباشرة وذلك بإتصال الثغور فقد أقترح Renner ١٩١٠ ، Livingston ١٩٠٦ ، and Brown Livingston ١٩١٢ أن النتح السريع يقلل المحتوى المائى للخلايا الملامسة للمسافات البينية ولذلك يقل معدل البخر ويعرف هذا بالجفاف المبدئى Incipcut drying وقد وجد Gregory ١٩٥٠ أن المحتوى المائى للورقة يجب أن يقل بدرجة كبيرة قبل أن يقل النتح مباشرة. بينما أوضح Stalfelt سنه ١٩٥٦ أن الجفاف المبدئى لجدر الخلايا الداخلية ليس له علاقة هامة على النتح الثغرى وقد أرجع (أو عزى) معظم النقص فى النتح أثناء الجفاف إلى قفل الثغور.

ب ــ العوامل البيئية المؤثرة على النتح Environmental factors affecting transpiration

النتح أساساً هو بخر الماء وإنتشارة من أنسجة النبات ولهذا فإنه يتأثر بالعوامل التى تؤثر على البخر من الأسطح الأخرى المبللة. ومن هذه العوامل البيئية:

* الرطوبة النسبية.
* الحرارة.
* الضوء.
* الرياح.
* إمداد الماء للأوراق.
* الضغط الجوى.
* طبيعة الغاز الموجود بالجو الذى ينتشر إليه الماء.

قد تؤثر هذه العوامل بطريقة غير مباشرة على النتح من خلال تأثيرها على فتح و/أو قفل الثغور أو على تركيب الورقة ولكن على العكس من ذلك فإن مسببات التأثيرات الوسطية لهذه العوامل المختلفة على النتح ــ فيما عدا الإثنين الآخريتين مما سبق. يمكن شرحها بوضوح من خلال تأثيراتها على الضغط النسبى للبخار فى داخل وخارج الورقة ومن العوامل الأكثر أهمية رطوبة الجو وحرارته وكذلك حرارة النبات والرياح، ويرجع سبب أهمية هذه العوامل إلى أنها تؤثر على فرق ضغط بخار الماء من سطح النبات المبخر عنه فى الجو العادى. ولو أن الضوء المرئى ليس له تأثير مباشر على التبخير إلا أنه يؤثر بدرجة كبيرة على معدل النتح من خلال تأثيرة على فتح الثغور كما تعتبر كمية الرطوبة الصالحة للنبات فى التربة عامل هام وذلك لتأثيرها على الإتزان المائى الداخلى. وسوف نتناول بعض هذه العوامل:

١ ـ رطوبة الجو Humidity of the air

يمكن التعبير عن حالة رطوبة الجو بالرطوبة المطلقة Absolutr humidity أو الرطوبة النسبية أو نقص التشبع أو ضغط البخار أو نقص ضغط البخار. وتعنى الرطوبة النسبية كمية بخار الماء الموجودة فى حجوم معينة فى أى وقت منسوبة إلى ما يمكن أن يوجد منه إذا ما شبعت هذه الحجوم ببخار الماء فى نفس درجة الحرارة.

ولنتخيل فتح الثغور مع ثبات (إستقرار) درجة الحرارة فإن معدل النتح يعتمد على الفرق فى ضغط البخار بين كل من نسيج النبات والهواء ومن ثم فإن ضغط بخار الماء يعتبر مهما.

٢ ـ الحرارة Temperature

زيادة درجة الحرارة تزيد من معدل النتح وذلك لأنها تزيد من فرق ضغط بخار الماء من أنسجة النبات عن الهواء.

٣ ـ الرياح Wind

تسبب الرياح عادة زيادة النتح وذلك لأنها تزيل بخار الماء المجاور للأسطح الناتجة وتؤدى زيادة الفرق بين ضغط بخار الماء فى أنسجة النبات والهواء الخارجى المحيط به. ولكنها تصل كذلك إلى تبريد الأوراق ولذلك

قد يظهر لها أثر عكسى. وسواء كانت الأوراق دافئة أو باردة فإن الحمل بتيارات الهواء يمنع بخـــار المـــاء من الأسطح الناتجة.

٤. الضوء Light

للضوء المرئى تأثير هام على النتح حيث أنه يحكم فتح الثغور وغالباً ما تكون معظم الثغـــور مغلقـــة أثنـــاء الليل ومن ثم فإن معدل النتح أثناء الليل يقل بدرجة كبيرة عن معدل النتح فى النهار.

ويوجد إختلافات واضحة فى إستجابة الأنواع النباتية للضوء ويسبب الجو الملبد بالغيوم قلة فـــتح الثغـــور لمعظم النباتات والتى يكون موطنها بلاد مشمسة وهذا التأثير يلاحظ بصفة خاصة عنـــد درجـــات الحـــرارة المنخفضة. وتداخل الحرارة المنخفضة مع الجو الملبد بالغيوم غالباً ما يكون فى الشتاء ويعتبر ذلـــك غيـــر مناسب لفتح الثغور.

٥. الإمداد بالماء Water supply

قد يكون النقص فى كمية الماء من العوامل البيئية الهامة وذلك للتأثيرات المختلفة الناتجـــة لـــنقص المـــاء الداخلى ويمكن ملاحظة النقص السريع فى نتح النباتات النامية فى تربة جافة.

أهمية النتح:

يؤدى النتح إلى واحد أو أكثر مما يلى:

- **التبخير: أى التحول من السائل إلى البخار مما يؤدى إلى تبريد السطح الذى يتم عنده التبخير.**
- **إنتشار بخار الماء من المسافات البينية إلى الجو الخارجى.**
- **حركة الماء فى الجذور وخلال الأنسجة الناقلة إلى الأوراق.**
- **خفض المحتوى المائى للنبات ونقص المحتوى المائى للبيئة التى يمتص منها الماء.**
- **زيادة محتوى رطوبة الجو.**
- **إستمرار النتح يساعد على إنتقال الأملاح خلال أوعية الخشب وإنتقالها وتوزيعها فى النبات.**