

3.التعرق و التوازن المائي

La transpiration et l'équilibre hydrique

يخرج الماء بظاهرة التعرق و ظاهرة النتح

تقدم ظاهرة النتح دعما لنتقال الماء داخل أوعية الخشب ، وتتمثل بخروج الماء من أوراق النبات على شكل بخار ماء. فالماء الذي يواجه ضغط جذريا في النباتات يخرج عن طريق فتحات موجودة في أطراف الأوراق تسمى المسامات المائية (الثغور).

الضغط الجذري غير ثابت، يرتبط بعوامل كثيرة منها

1- توفر الماء في التربة، إضافة إلى درجة حرارتها وتهويته

2- عمر النبات إذ يزداد ترسب الخشبيين و الفلين في الخلايا المعمرة فيقل ضغطها الجذري والعكس بالنسبة إلى الجذور الفتية.

3- اختلاف الزمن حسب ساعات اليوم، واختلاف الشهور بحسب فصول

السنة (Jean François Morot-Gaudry et al., 2012)

1.3. إظهار عملية التعرق (طرح الماء)

يفقد الماء باستمرار من خلال نتح الورقة. عندما يتم فقدان جزيء واحد من الماء ، يتم سحب جزيء آخر من خلال عمليات التماسك والتوتر. الجر النتحي، باستخدام الحركة الشعرية والتوتر السطحي المتأصل للماء، هو الآلية الأساسية لحركة الماء في النباتات. ومع ذلك ، ليست هذه هي الآلية

يؤدي النتح في الأوراق إلى حدوث توتر (ضغط تفاضلي) في الجدران الخلوية لخلايا النسيج المتوسط. بسبب هذا التوتر ، يتم سحب الماء من الجذور إلى الأوراق ، بمساعدة التماسك (السحب بين جزيئات الماء الفردية ، بسبب الروابط الهيدروجينية) والالتصاق (الالتصاق بين جزيئات الماء وجدران الخلايا المحبة للماء للنباتات). هذه الآلية الوحيدة المعنية. أي استخدام المياه من طرف الأوراق يتسبب Barral, J.A.; Sagnier, H., (1889)

2.3. التوضع و قياس النتح: Localisation et mesure

يقاس النتح بطرق عدة، وهي: الطرق الوزنية، الطرق الحجمية، قياس الفقد في بخار الماء، طريقة الجزء الخضري المقطوع، وسرعة جريان العصارة النباتية، البوتومتر، طريقة ورقة كلوريد الكوبالت.... الخ.

3.3. التغير في عملية النتح

1.3.3 تأثير شكل النبات Influence de la morphologie

يؤثر شكل النبات في عملية النتح بسبب الاختلاف الورفولوجي الكبير بين النباتات.

نسبة المجموع الجذري إلى نسبة المجموع الخضري

عندما تكون جميع الظروف مناسبة للنتح الجيد، فإن كفاءة سطح الامتصاص (سطح الجذر) والسطح الناتج (سطح الورقة) هما المتحكما في معدل النتح. فلو كان امتصاص الماء أقل من النتح، فإن النبات يعاني من نقص الماء 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 الكلي المفقود يكون أعلى في الأشجار غير المقلمة. وربما تنشأ هذه الحالة من تلك الحقيقة، إلا وهي أن المجموع الجذري للأشجار المقلمة يمدّها بكمية أكثر من الماء إلى عدد أقل من الأوراق وبالتالي زيادة كفاءة النتح.

عدد الثغور وتركيب الورقة

تظهر في العادة نباتات المناطق الجافة عددا من التحورات التركيبية خاصة بأوراقها. فلأوراق تلك النباتات طبقة أدمة شمعية سميكة وجدر خلوية سميكة، وخلايا برانشيمية عمادية ذات تطور عالي، وثغور غائرة، وتغطي بشعيرات بشرية ميتة... الخ. فعند مقارنة أوراق نبات من المناطق الجافة مع أوراق نبات من المعتدلة 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 جزئيا 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

(Alain Raveneau et al., 2014)

المرض:

إن تأثير الأمراض على العلاقات المائية للنبات نادرا ما يلفت انتباه الباحثين. ومع ذلك فقد أشار البعض بأنه عند عملية تكوين أبواغ الصدأ، على أوراق الفاصوليا المصابة به، لوحظ ازدياد عملية النتح في هذه النباتات بمقدار 50% عنه في النباتات السليمة؛ كما لوحظ ازدياد النتح عندما تصاب أوراق الشعير بمرض العفن الفطري

2.3.3. تأثير عوامل البيئة

Influence des facteurs de l'environnement

تلعب عوامل البيئية المحيطة أهمية كبيرة، من حيث التأثير على ، نسبة رطوبة CO₂ معدل النتح: كالضوء، درجة حرارة، تركيز الهواء، الرياح ومحتوى الماء في التربة.

الضوء:

يحتل تأثير الضوء العامل الأساسي بين جميع العوامل المؤثرة على النتج 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، لكنها أقل عن تلك التي تحدث أقصى تمثيل ضوئي. ويبدو أن للضوء تأثير على مستوى خلايا النسيج المتوسط للورقة (الميزوفيل) بواسطة البناء الضوئي. بالإضافة إلى أن للضوء الأزرق تأثير مباشرة على الثغور، إلا أن آلية التأثير غير معروفة على وجه التحديد.

(Roland, 1995)

درجة الحرارة:

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.

تركيز ثاني أكسيد الكربون:

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

نسبة الرطوبة:

يمكن إيقاظ وضبط حركة الثغور بواسطة التغيرات في الجهود المائية، داخل خلايا الورقة من جهة والجو المحيط بالثغر من جهة ثانية. فقد لوحظ أن الجو المحيط بالثغر والمشبع بالرطوبة يعمل على غلق الثغور، بينما الجوف الجاف يعمل على فتحها كما أنه في حالة انخفاض طفيف للجهود المائي في التربة يؤدي إلى حث البناء الحيوي لحمض الأبسيسيك الذي يساهم بسرعة عالية في غلق الثغور، للحفاظ على مستوى فسيولوجي مناسب للماء داخل النبات.

الرياح:

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

.المحتوى المائي للتربة:

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

تتشرب الأغلفة الدقيقة لخلايا الأوبار الماصة الماء حتى درجة الإشباع، ينتقل الماء إلى أغلفة خلايا البشرة غير المشبعة ومنه إلى الخلايا البرانشيمية للقشرة (من خلية إلى خلية) ومنه إلى الأدمة الباطنة، يصل إلى المحيط الدائر فالخشب،

حيث يدخل الماء إلى أوعيته بقوة دافعة تنشأ من الفرق بين ضغط محلول التربة وضغط محلول الماء و الأملاح المنحلة فيه (النسغ الناقص) وهو الضغط الجذري.

يتحقق انتقال المحلول المائي بآلية حلولية تعتمد مبدأ الامتصاص السلبي التي تحدث نتيجة قوة فيزيائية لا تحتاج إلى طاقة خارجية وهكذا ترتفع قيمة جهد الماء في التربة مقارنة بقيمة جهده في خلية الوبرة الماصة فينتقل إليها، مما يؤدي إلى امتلائها، فترتفع فيها قيمة ضغط الامتلاء وهذا يعمل على ارتفاع قيمة ضغط الماء فيه مقارنة بالخلية المجاورة فيدخل الماء فيها مقارنة بالخلية المجاورة وهكذا يستمر دخول الماء من خلية إلى خلية أخرى في القشرة حتى يصل إلى الأدمة الباطنة.

الورقة عبارة عن محول للطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية.
مثل أي محول طاقة، فإنه يتطلب التبريد للتشغيل السليم.
ويستخدم الماء لأداء هذه الوظيفة. يتم استخلاصه أولاً من
التربة عن طريق جذور النبات، ثم يتم نقله إلى أعضائه
المختلفة، بما في ذلك الأوراق، حيث يسمح بالحفاظ على
عملية التمثيل الغذائي النشط. وعلى مستوى الأوراق تعود إلى
الغلاف الجوي على شكل بخار. يحدث تبخر الماء في الورقة
على مستوى جدران الخلايا. يترك بخار الماء الورقة بشكل
رئيسي من خلال الثغور (اقرأ تأثيرات درجة الحرارة على
عملية التمثيل الضوئي):

يسمح النتح للأوراق بالتبريد بشكل مستمر. تعتمد درجة حرارة الورقة على الطاقة التي تتلقاها والطاقة التي تتخلص منها. الطاقة المستقبلية تأتي بشكل رئيسي من الإشعاع الشمسي، ولكن أيضًا من الإشعاع طويل الموجة المنبعث من الأجسام في الواقع، يمكن للتعرق أن يزيل جزءًا كبيرًا من الطاقة الممتصة: تبلغ حرارة تبخر الماء عند 20 درجة مئوية 2452 جول لكل غرام. لنفترض أن الورقة التي تم الحفاظ عليها عند درجة حرارة 20 درجة مئوية، تمتص 300 وات-2 (يوم ربيعي جميل) وتفقد 3 ملي مول من الماء م-2 ث-1 (= 18×3 مجم من الماء = 0.054 جم من الماء م-2 ث-1). ثم يزيل عن طريق التعرق 2452×0.054 ي م-2 ث-1 = 132.4 وات-2، أي ما يقرب من نصف الطاقة الممتصة. المحيطة.

ويتم تبديد الباقي بشكل رئيسي عن طريق التوصيل في الطبقة الحدودية بعد تدرج درجة الحرارة، ثم الحمل الحراري (حركة الرياح) فوق الطبقة الحدودية. يتم تخزين جزء صغير جدًا من هذه الطاقة، 1 إلى 2٪، في عملية التمثيل الضوئي.

إن الزيادة في التمثيل الضوئي يصاحبها زيادة في النتج. الثغور مغلقة في الظلام ومفتوحة للضوء. في الظلام تكون درجة حرارة الورقة أقل قليلاً من درجة حرارة الهواء. ويزداد فجأة في الضوء ثم يتناقص مع زيادة العرق. وفي نهاية المراقبة تكون درجة حرارته أقل بحوالي 3 درجات مئوية من درجة حرارة الهواء.

تحتاج النباتات إلى نشر مساحات كبيرة فوق سطح الأرض لاستيعاب الطاقة الشمسية وثنائي أكسيد الكربون اللازم لعملية التمثيل الضوئي. تتكون هذه الأسطح بشكل رئيسي من الأوراق. نسمي مؤشر مساحة الورقة (أو مؤشر مساحة الورقة) مساحة سطح الأوراق مقارنة بمساحة سطح التربة. يتراوح مؤشر مساحة الورقة بين صفر للتربة العارية وأكثر من 10 للنباتات الكثيفة. أما بالنسبة للمحاصيل فهي تتراوح بين 0 و6 بشكل عام. النتح هو فقدان الماء الناتج عن تبخر الماء السائل داخل الورقة، ثم من انتشار بخار الماء نحو الهواء الخارجي.

في معظم النباتات المزروعة، توجد الثغور على جانبي الورقة بكثافة مماثلة. من ناحية أخرى، في الأعشاب من البيئات الجافة، غالبًا ما يحتوي السطح السفلي على عدد أقل من الثغور مقارنة بالسطح العلوي؛ وبهذه الطريقة، عندما تطوى الورقة إلى نصفين أو تلتف استجابةً لنقص الماء، يظل السطح السفلي فقط على اتصال بالهواء، مما يقلل بشكل كبير من النتح، حتى قبل إغلاق الثغور. في معظم الأشجار المتساقطة، توجد الثغور فقط على الجانب السفلي من الورقة. تستجيب الثغور لعدة عوامل بيئية. تفتح خلال النهار استجابةً للضوء وتغلق في الليل. ويزداد الحد الأقصى للفتح مع ارتفاع درجة الحرارة إلى المستوى الأمثل، ولكنه يتناقص عندما يزيد محتوى ثاني أكسيد الكربون أو جفاف الهواء. عدة نماذج من أداء الثغور تفسر هذه الاستجابات بطريقة تجريبية إلى حد ما.

بالنسبة للورقة الطبيعية جيدة الترطيب، يحدث تبادل الغازات بشكل رئيسي من خلال الثغور، والتي تمثل حوالي 1٪ فقط من سطح الورقة. تحتوي السيقان الخضراء أيضًا على ثغور، ولكن بكثافة أقل من الأوراق. يتكون الجزء الداخلي من الأوراق من خلايا ومساحات بين الخلايا مملوءة بهواء رطب جدًا ملامس لهذه الخلايا. يؤدي تدرج الرطوبة بين داخل الورقة وخارجها إلى انتشار بخار الماء وهو ما يسمى النتح. وينتج عن ذلك جفاف طفيف للخلايا الداخلية وبالتالي انخفاض في كمية الماء الموجودة في الأوراق، مما

يؤدي الى جفافها و زيادة امتصاص النسغ الخام والجذور ،
وبالتالي تعويض الماء المفقود من خلال النتح. يتم استخدام
مصطلح التعرق هنا بمعنى مختلف قليلاً عن المنطق السليم:
عندما نتعرق، تفرز البشرة ماءً سائلاً مالحاً (العرق) والذي
يتبخر بعد ذلك؛ في النباتات، يحدث التبخر داخل الورقة،
ويمر الماء عبر البشرة على شكل بخار. لكن في كلتا
الحالتين، هناك تبخر، وهو تغير في طور الماء الذي يتطلب
الكثير من الطاقة، حوالي 2450 جول لكل غرام من الماء
المتبخر، وبشكل عام فإن الشمس هي التي توفر معظم هذه

بشكل عام، يمكن تلخيص العوامل في عوامل فيزيائية تؤثر على التبخر من سطح المياه المفتوحة: الإشعاع الشمسي، وسرعة الرياح، ودرجة حرارة الهواء، والرطوبة. هناك أيضًا عوامل خاصة بالورقة: مقاومة الثغور والمقاومة الديناميكية الهوائية للطبقة الحدودية للهواء المحيطة بالورقة. وتقاوم هذه المقاومات انتشار بخار الماء، كما تمنع المقاومة الكهربائية مرور التيار. تعتمد مقاومة الثغور على عدد الثغور لكل وحدة مساحة ورقة، وحجم وهندسة هذه الثغور (والتي تختلف مع عمر الورقة). وهو الحد الأدنى بالنسبة للأوراق البالغة جيدة الترطيب، وهو ثابت نسبيًا بالنسبة لنوع معين في ظل الظروف الطبيعية. ويزداد بسرعة عند إغلاق الثغور (نقص الماء). ويمكن قياسه على الأوراق السليمة في ظل الظروف الطبيعية.

4.3. الحتمية المائية للنبات: Détermimisme hydrique:

يتم مواجهة الإجهاد خلال فترات الجفاف في التربة أو الغلاف الجوي، ولكن أيضًا أثناء زيادة ملوحة البيئة (مما يؤدي إلى انخفاض الإمكانيات الاسموزية للبيئة) أو خلال فترات البرد الشديد.

1. تحتاج النباتات باستمرار إلى الماء لتعيش، ولكنها تطلق الماء باستمرار للقيام بعملية التمثيل الضوئي. وتسمى هذه الظاهرة النتح النبات
2. إذا أطلق النبات كمية من الماء أكثر مما يمتصه، فإنه يجد نفسه في حالة إجهاد مائي. هناك عدة أسباب يمكن أن تحد من امتصاص النبات للماء: الجفاف بسبب
3. الحرارة الزائدة ووجود الرياح أو قلة الأمطار وانخفاض قياس السوائل في بيئة النبات وكذلك رطوبة التربة؛ التربة شديدة الملوحة 1؛ البرد ؛
4. تعفن الجذور، بسبب المرض أو التربة الرطبة جدًا للنبات 3. كل نبات لديه حاجة خاصة إلى الماء، لذلك لن يجد نفسه في حالة إجهاد مائي في نفس الظروف مثل نبات آخر. على سبيل المثال، نباتات الجفاف (الصبار، اليوكا) هي نباتات معتادة على البيئات شبه القاحلة وستتمكن من البقاء على قيد الحياة خلال فترة الجفاف بسهولة أكبر. تعيش النباتات المائية في الماء، أو على الأقل في بيئة شديدة الرطوبة، وستجد نفسها في حالة جفاف بسرعة أكبر بكثير.

يحد الإجهاد المائي من عملية التمثيل الضوئي في النباتات، مما يقلل من نموها وإنتاجيتها 5،6. هذا التخفيض يمكن أن يقلل من إنتاجية النبات بنسبة 70%7. في بعض الأحيان يمكن أن تؤدي التغيرات في الجينات أو الكيمياء الحيوية للنبات إلى زيادة الإنتاجية، على سبيل المثال، سيصنع النبات جذورًا جديدة، خاصة على السطح، حتى يتمكن من امتصاص المزيد من الماء. على المستوى الخلوي، يتأثر تكوين الغشاء وتنظيم البلاستيدات الخضراء ونشاط الإنزيم. يصبح النبات أكثر حساسية للضغوط الأخرى. والعواقب على النبات هي أنه سيقبل من إنباته وطول جذوره (التي يمكن أن تصاب بالضمور) ؛ ستصبح أوراقها أغمق (أخضر داكن)؛ سطح الورقة، أقل أهمية؛ تحتفظ البشرة بالمياه بشكل أكثر سمكًا. وقد ينتهي الأمر بالنبات إلى الشيخوخة بشكل أسرع والموت

وفي حالة التجفف، يعد تقليل النتح عنصرًا أساسيًا لمقاومة الجفاف لأنه يسمح بالحفاظ على إمكانات مائية عالية. يتم تحقيق هذا التخفيض من خلال تقليل وحماية المساحة السطحية المتعرقة، أو انخفاض الثغور، وحتى إنتاج الهرمونات مثل السيبتوكينين. مثال على الأنواع التي تتكيف مع الإجهاد المائي: النباتات الصلبة، والنباتات الصغيرة، والنباتات الزائلة، والنباتات الحاملة... وهناك أنواع أخرى تتكيف مع الفيضانات، مثل الأرز، وذلك بفضل الإنزيمات المختلفة. يمكن للنباتات أيضًا إجراء تغييرات شكلية لتقليل مساحة سطح أوراقها، أو لف أوراقها، أو تطوير نظامها الجذري بشكل أفضل. في حالة التهرب، يمكن للنباتات أيضًا تكيف وقت نموها لتنمو في الأوقات الأكثر رطوبة (الصباح، في الطقس الممطر)، وتتوقف عندما يكون الطقس شديدًا.

تستخدم النباتات التي تنمو في تربة ذات احتياطي مياه قليل
عدة استراتيجيات: التسامح، والتجنب، والتغيرات
المورفولوجية و/أو التهرب. في حالة التحمل، يعمل التمثيل
الغذائي على الرغم من انخفاض كمية الماء، وتتراكم الأيونات
والمواد المذابة (المركبات النشطة تناضحيًا) في الفجوة. في
الواقع، كلما زاد تركيز المحلول وزادت قوة الجذب، انخفض
احتمال الماء وقل الماء الحر الذي يغادر المحلول. تم تحديد
على أنه *Craterostigma plantagineum* نبات مثل
مقاوم بشكل

خاص للإجهاد المائي.

5.3. التوازن المائي للنبات: L'équilibre hydrique des végétaux

تحصل معظم النباتات على الماء والأملاح المعدنية التي تحتاجها من التربة. وتلعب الجذور – التي تشكل النظام الجذري – والشعيرات الجذرية الموجودة على أصغرها، دورًا أساسيًا في ذلك. في الواقع، فهي تمتص العناصر المعدنية على شكل أيونات، إما من محلول التربة، سواء كانت حرة أو محصورة في مجموعات عضوية معينة (مخلّبات)، أو من الشبكات الغروية في التربة التي تمتاز عليها إن امتصاص الأيونات، وهو ظاهرة معقدة، يتأثر بعوامل عديدة، بعضها يتعلق بطبيعة الكائن الممتص والبعض الآخر بالبيئة البيئية. تشير الحالة الفسيولوجية للأنسجة وتأثير العوامل البيئية (درجة الحرارة، ودرجة الرطوبة، وإجهاد الماء والملح، والأكسجين، وما إلى ذلك) إلى أن الامتصاص، بالإضافة إلى أسبابه الفيزيائية، هو عملية يتم التحكم فيها في كثير من الأحيان عن طريق الخلايا. و الأيض ..

الآليات الخلوية المعنية قريبة جدًا من تلك التي لوحظت في عالم الحيوان (المضخات والناقلات والقنوات الأيونية، وظواهر الأسموزية التي تنطوي على أكوابورينات البلازما أو الأغشية الفراغية)، لكن استراتيجيات التكيف مع البيئة والتغذية تختلف.

6.3. أهمية النتح للنبات

Intérêt de la transpiration pour le végétal

1. خفض درجة حرارة الأوراق (تبريد الأوراق).
2. خفض درجة حرارة أسطح النبات المعرض للجو.
3. قاية النبات من أخطار الحر الشديد حيث أن تبخر الماء يحتاج إلى حرارة يستمدّها من حرارة الورقة فيسبب لها برودة.
4. يسبب رفع العصارة وامتصاص الماء وانتقال كميات كبيرة من الماء والذائبات من الجذور إلى الأوراق وتوزيعها في النبات..