Loss of water فقد الماء

90-98% من الماء المُمتص بواسطة الجذور تفقده النباتات بعدة طرق أهمها النتح Transpiration ويتبقى منه 1 -5 % تستخدمه النباتات في عملياتها الأيضية المختلفة، ويتم فقدان الماء بعدة طرق منها فضلاً عن النتح، ظاهرة الأدماع Guttation والأفراز Secretion والأدماء bleeding.

بالنسبة للأفراز فما هو إلا عملية فقد الماء على صورة محاليل من الغدد glands ومن الغدد الرحيقية Nectaires، أما الأدماء فهو فقد الماء عن طريق الجروح التي قد تصاب بها النباتات، وكمية الماء المفقودة بهاتين الطريقتين تعد بسيطة جداً ولا قيمة لها، أما ظاهرتي الإدماع والنتح فهما الأهم وخصوصاً الأخيرة منهما.

1- الأدماع: Guattation

تحت ظروف التربة الدافئة والرطبة تظهر على طول حواف أو قمم الأوراق نقاط مائية تظل عالقة بحواف النصل في مظهر يشبه الدموع ، لذا فان فقد الماء بهذه الطريقة يسمى الأدماع. العوامل التي تحفز الأدماع هي:-

1. الامتصاص العالي للماء.
2. الضغط الجذري المرتفع.
3. انخفاض أو انعدام النتح لسبب ما.

ان هذه الظروف(الثلاثة) تجعل امتصاص الماء يفوق عملية النتح (التي تعد العملية الأساسية والرئيسة لفقدان الماء)، ولذلك يتم فقدان الماء بواسطة الأدماع عن طريق تراكيب متخصصة تسمى الثغور المائية Hydrothodes التي توجد في أعلى قمم الأوراق في النباتات المتكيفة لتلك الظروف.

ولقد وجد ان سائل الأدماع يحوي على معظم الأملاح المعدنية (P, K, Na, Ca, Mg...) وكذلك كثير من السكريات مثل glucose، Fractose، Sucorose ... الخ. وكثيراً من الأحماض مثل glatomic acid، aspartic acid ... الخ، ومواد كثيرة أخرى مثل الدهون والبروتينات ويتراوح PH هذا السائل من 5.0- 6.7 في غالبية النباتات.

2-النتح: Transpiration

النتح هو صورة من صور فقد الماء في النبات على صورة بخار من سطح اي جزء من اجزاء النبات المعرضة للجو وعلى الاخص الاوراق.

انواع النتح:

1. **النتح الادمي Cuticular transpiration**
2. **النتح العديسي Lenticular transpiration**
3. **النتح الثغري Stomatal transpiration**

النتح الادمي :هو فقد الماء من خلال طبقة الادمة التي تغطي الاجزاء الهوائية للنبات ونسبته تحت الظروف القصوى لاتتجاوز 10 % من نسبة النتح الكلي، والنتح الادمي له اهمية كبيرة عند غلق الثغور في ظروف وجود الهواء الساخن.

النتح العديسي :هو فقد الماء عن طريق العديسيات التي تتخلل نسيج البريديرم في سيقان المسنة ولا تتعدى نسبته% 0.1 من اجمالي الماء المفقود بالنتح.

النتح الثغري :يعتبر النتح الثغرى هو الأساس وهو المسلك الرئيسى والمسئول عن معظم الماء المفقود من النبات وتصل نسبته إلى حوالى 90 % أو أكثر من مجموع ما ينتحه النبات، ويتم فقد الماء بهذه الطريقة عن طريق الثغور (Stomataمفردها) stoma التى توجد فى بشرة الاوراق والسيقان الهوائية الحديثة، وهذه الثغور ميكروسكوبية الحجم ولها تركيب خاص يناسب وظيفتها، وعند فتح هذه الثغور بصورة كاملة فإن عرضها يقاس بحوالي 3 - 12 مايكرومتر وطولها 10 -12 مايكرومتر ويختلف عدد هذه الثغور من نبات إلى آخر ومن بيئة إلى أخرى وحتى من سطح إلى أخر فى نفس الورقة.

فوائد النتح

1. تبريد الاوراق وخفض درجة حرارة أسطح النبات المعرض للجو ووقاية النباتات من أخطار الحر الشديد حيث أن تبخر الماء يحتاج إلى حراراة يستمدها من خلايا الورقة فيسبب له برودة.
2. يسبب رفع العصارة وإمتصاص الماء وإنتقال كميات كبيرة من الماء والذائبات من الجذور إلى الاوراق وتوزيعها في النبات.

فسيولوجيا الثغور:

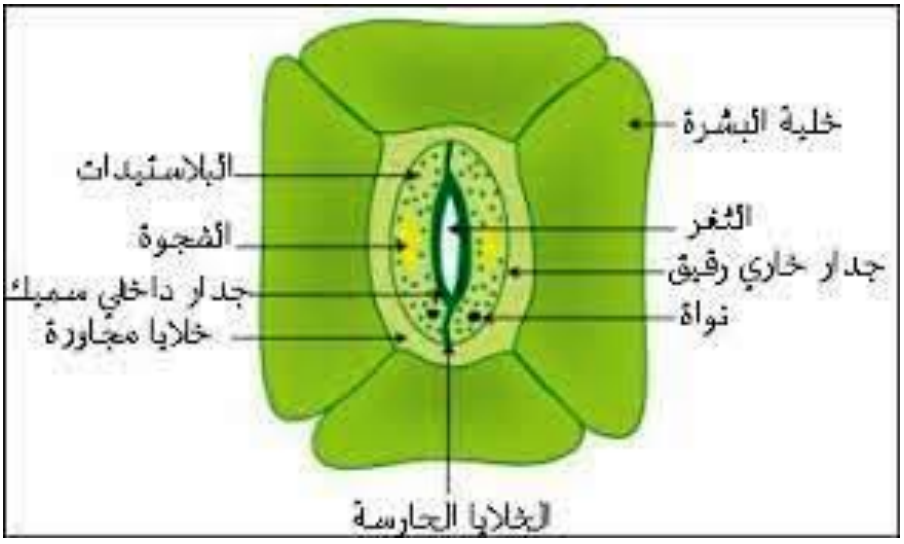
من أهم الصفات الفسيولوجية للنبات هي تبادل الغازات والتى من أهمها الأوكسجين وثانى اوكسيد الكاربون بين الاوراق والجو المحيط وأيضا من هذه الصفات فقد الماء فى صورة بخار عن طريق الثغور إلى خارج النبات فى عملية النتح لكى يحدث الاتزان المائى داخل النبات. و الثغور هي فتحات ميكروسكوبية دقيقة توجد فى بشرة الاوراق والسيقان الهوائية الحديثة ويفقد النبات حوالى% 95 من الماء عن طريقها . يختلف عدد الثغور باختلاف النبات وباختلاف العضو النباتي، وهناك عدد هائل من الثغور

في مساحة الورقة يبلغ عددها 1000 - 10000 ثغر لكل سنتيمتر مربع، وبالرغم من هذا العدد الهائل إلا أن مجموع الثغور لا يمثل أكثر من 2% فقط من سطح الورقة وتوجد الثغور عاد ةً على كلا سطحى الورقة،

الثغر هو عبارة عن تركيب معين يتكون من خليتين تسميان بالخليتين الحارستين Guard cells تتوسطهما فتحة Ostiole وتحاط الخلايا الحارسة بخلايا مساعدة من خلايا البشرة من جميع الجهات والخليتان الحارستان يشابهان في الشكل الكلية ولهما جدر خلوية سميكة جداً والفتحة المتوسطة Ostiole تستجيب مباشرة للتغيرات في الزيادة أو النقص في الجهد الأزموزي للخلايا الحارسة وهذا يسبب تغيراً في الجهد المائي ينتج عنه تحرك الماء من أو إلى الخلايا الحارسة.

فلو تحرك الماء إلى الخلايا الحارسة وعند امتلائها فإن الثغر يفتح ولو تحرك الماء منها للخارج فإن الخلايا تصبح مرتخية وهنا فإن الثغر يغلق.

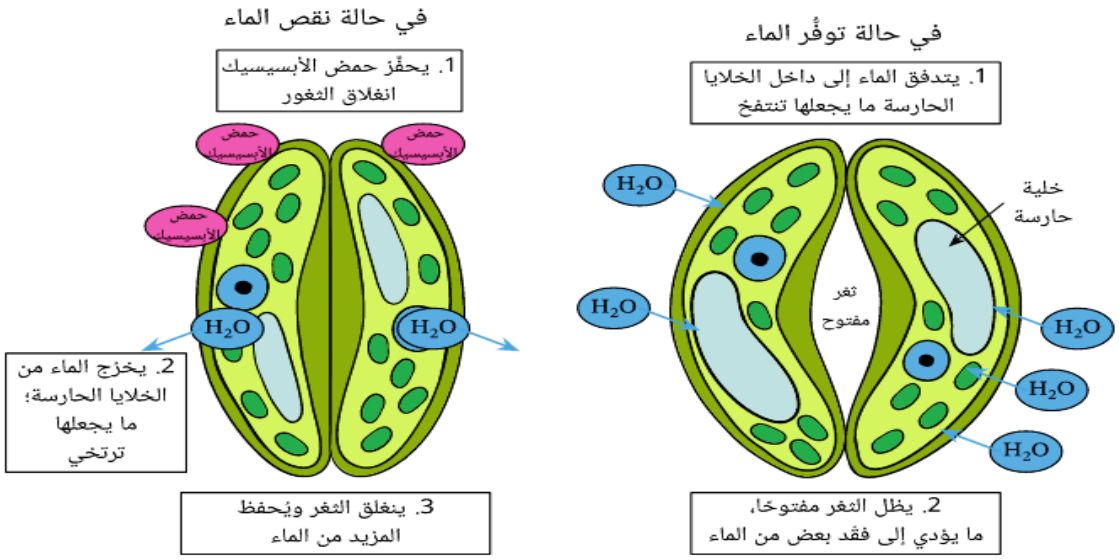
ولكي يحدث هذا التحرك للماء لابد أن يحدث تبادل بين الخلايا الحارسة وكل من خلايا النسيج الوسطي Mesophyle وخلايا البشرة المحيطة وتولد جهد أزموزي أكثر سالبية في الخلايا الحارسة يدفع الماء باتجاهها خارجاً من الخلايا المساعدة المحيطة بها ومن ثم يتدفق الماء للخارج إلى الفتحة.



نظرية Scarth أو نظرية نشأ- سكر The starch-sugar hypothesis

أُعتمدت هذه النظرية بعد ان لاحظ الباحثين ان نسبة النشا تكون مرتفعة في الخلايا الحارسة في الظلام وتكون منخفضة في وجود الضوء في النهار. كما ان ذلك يقترن مع ارتفاع pH عندما تكون الثغور مفتوحة حيث يصل الى 6-7 بينما تنخفض هذه النسبة عند غلق الثغور الى 4-5 من هذه الملاحظات تم الاستنتاج ان فتح الثغور في الضوء ناتج من ارتفاع في pH الذي ينشط انزيمات تحويل النشا الى سكر الذي يعني زيادة سالبية الجهد الأزموزي للخلايا الحارسة.

ارتفاع pH في الضوء ناتج عن خفض نسبة ثاني اكسيد الكربون الذي يستعمل او يمتص في عملية التمثيل الضوئي اثناء النهار أو بوجود الضوء مما يؤدي الى نقص في الحموضة. اما في الليل فيحدث العكس إذ يتم اطلاق كميات كبيرة من CO_2 بسبب توقف عملية التمثيل الضوئي وكذلك بسبب اطلاقة عن طريق عملية التنفس وهذا الأرتفاع يؤدي الى خفض pH أي زيادة الحموضة وهذا ما يعمل على تحول السكر الى نشأ عن طريق تنشيط انزيمات مثل Phosphorylase.



عمليتي الفتح والغلق يتم التحكم بهما بواسطة التغير في الضغط الأزموزي داخل الخلايا الحارسة:

اثناء النهار:

يقوم النبات بعملية التمثيل الضوئي في البلاستيدات الخضراء للخلايا الحارسة ، إذ يتكون السكر اثناء النهار، وهذا السكر المتكون يعمل على خفض الجهد المائي في الخلايا الحارسة ونسبة CO_2 تنخفض نتيجة لامتصاصه واستعماله في عملية التمثيل الضوئي وهذا الانخفاض يعمل على خفض حموضة الخلايا الحارسة او ارتفاع pH أي يصبح وسط الخلايا الحارسة اكثر قاعدية.

هذا الوسط القاعدي يشجع تحول النشاء الى سكر عن طريق تثبيط انزيم Phosphprylase ، هذا الانزيم حساس جدا للتغير في pH .

إذا زيادة السكر من عملية التمثيل الضوئي مباشرة رغم قلة كميتها وكذلك تحول النشاء الى سكر عن طريق خفض CO_2 وزيادة pH يعمل على نقص في تركيز الماء داخل الخلية, وهذا النقص في تركيز الماء يعمل على انخفاض في الجهد المائي للخلايا الحارسة مما يعمل على اندفاع الماء للداخل عن طريق امتصاصها للماء من خلايا البشرة المحيطة بها.

امتلاء الخلايا الحارسة يعمل على انتفاخها وزيادة ضغط الامتلاء وتصبح الخلايا صلبة. فهذا الامتلاء يعمل على تقوس الجدار الرقيق البعيد عن الفتحة للخارج جاذبا معة الغشاء السميك المواجة للثغر الذي ينحني للداخل وهذا يسبب فتح الثغر.

اثناء الليل:

التمثيل الضوئي يتوقف وتكوين السكر يتوقف وبالتالي سحب ثنائي اوكسيد الكاربون يتوقف ويستمر التنفس الخلوي وبالتالي نسبة ثنائي اوكسيد الكربون تزداد في محيط الخلايا الحارسة.

هذهالزيادة تسبب انخفاض pH أي ان الوسط يصبح اكثر حموضة وهذا يسبب تحول السكر الى نشاء في الخلايا الحارسة وبما ان النشاء لايذوب في الماء فسيسبب هذا ارتفاع الجهد المائي للخلايا الحارسة مقارنة مع جهد الخلايا المساعدة او خلايا البشرة المحيطة وهذا الارتفاع يدفع بالماء خارج الخلايا الحارسة فينخفض الضغط على الجدار الخلوي فيعود الى مكانة فيغلق الثغر.

ويجب الإشارة هنا إلى أن العوامل البيئية وبعض المركبات لها تأثير مباشر على عملية انفتاح وإغلاق الثغور

هذه النظرية تعد غير كافية لتفسير فتح وغلق معظم الثغور وذلك نظراً للآتي:-

1- الخلايا الحارسة في البصل لا تحتوي على نشاء مطلقاً والثغور تفتح وتغلق أيضاً.

2- إن التغير في تركيز CO_2 غير كافي لاحداث التغيرات المذكورة في درجة الحموضة للخلايا الحارسة ولا يتناسب مع التغير الفعلي في درجة الحموضة من 5 الى7 أي وحدتين والذي أمكن قياسه في أثناء انتفاخ الخلايا الحارسة.

3- إن التحول الداخلي للنشاء إلى سكر يعد بطيء جداً قياساً بسرعة استجابة الثغور وعملية الفتح.

4- لا توجد في هذه النظرية أي دلالة على تأثير الضوء الأزرق في فتح الثغور والذي ثبت انه يلعب دورا رئيسا في عملية الفتح والغلق.

التفسيرات الحديثة لفتح وغلق الثغور

لتفسير وفهم هذه العملية سنتطرق إلى:

1- ما هي العوامل التي تؤثر في عملية الفتح والغلق؟

2- كيف تتم حركة الثغور للفتح والغلق؟

أولا/ العوامل المؤثرة في عملية الفتح والغلق:

أ- نظام داخلي للثغور أي ما يمكن تعريفة بالساعة البيولوجية - الثغور عادة تفتح اثناء النهار وتغلق اثناء الليل (بعض النباتات العصارية التي تعيش في المناطق الحارة والجافة لها نظام عكسي وذلك حتى تقتصد في فقد الماء وتحافظ عليه). رغم ذلك فإن الثغور تبقى تفتح وتغلق على مدار 24 ساعة لو

عرضت إلى ضوء مستمر. مرحلة الفتح والغلق ممكن أن تتحول أو تتغير في أي وقت من اليوم وذلك بالتحكم في نهاية المرحلة المظلمة.

ب- التوازن المائي: التوازن المائي للنباتات أو مستوى المحتوى المائي يلعب دورا في عملية فتح وغلق الثغور. النباتات الذابلة تغلق ثغورها ويعتقد أن هرمون الأبسسيك (ABA) يلعب دورا وسيطا في هذه الظروف إذ يؤدي إلى الإغلاق حتى في ظروف الفتح العادية. ولوحظ أن نقص الماء الشديد في جذور النبات يمكن أن يرسل عبر أوعية الخشب تأثيره إلى الثغور في الأوراق عبر إشارة حامض الأبسسيك.

ت- المستوى المنخفض من CO_2 يسبب فتح الثغور. وإذا كانت نسبته منخفضة (في هواء الورقة الداخلي) حول الثغور في الظلام ممكن أن يتسبب ذلك في فتح الثغور على غير العادة. والعكس ارتفاع نسبة CO_2 تسبب غلق الثغور.

ث- الضوء: يسبب الضوء فتح الثغور. الحد الأدنى من الضوء لفتح الثغور عند معظم النباتات يتراوح بين33% إلى0.1% من مجمل الضوء وهو الحد الكافي لبدء عمل تمثيل ضوئي كامل. الموجات الزرقاء ذات الأطوال الموجية بين 430-460 nm تعد أكثر فعالية بعشر مرات من موجات الضوء الأحمر ذات الأطوال الموجية 630-680 nm.

ثانيا/ كيفية حركات الفتح والغلق؟

الموجات الضوئية الزرقاء تمتص بواسطة صبغة zeaxanthin هذا يؤدي الى تنشيط تكوين البروتونات في اغشية الخلايا الحارسة مما يعمل على ضخ البروتونات خارج سيتوبلازم الخلايا الحارسة مولدا حركة نشطة للبروتونات عبر الغشاء مما يحدث تغيرات كبيرة في pH (إذ تتغير من 4-5 الى 6-7) هذا مايؤدي الى فتح القنوات البروتينية التي تسمح بالتدفق السلبي لايونات البوتاسيوم الموجبة الى داخل الخلايا الحارسة لكي يعادل خروج البروتونات. يتم ايضا دخول ايونات الكلوريد السالبة عن طريق ارتباطها مع بعض البروتونات العائدة (حتى يتم معادلة واتزان الشحنات الكهربائية). هذا التراكم الايوني يعمل على خفض الجهد داخل الخلايا الحارسة مؤديا الى انتفاخ الخلايا الحارسة وبالتالي فتح الثغور.

هذا التراكم الايوني وانخفاض الجهد داخل الخلايا الحارسة يزداد مع تقدم النهارعن طريق تكوين السكر الناتج من بدء نشاط عملية التمثيل الضوئي وكذلك فإن الضوء الازرق يعمل على تحلل النشا إلى سكر.

يعتقد بعض العلماء حامض الأبسسيك (ABA) في بعض النباتات يعمل على تغير ضغط الامتلاء دون أن يحدث تغير في الجهد المائي داخل وخارج الخلايا الحارسة وهذا التغير غالبا يؤدي إلى غلق الثغور حيث أن هذا الحامض يلعب دورا في الغلق.

أيضا هناك العديد من المعلومات التي تشير إلى زيادة ايونات الكالسيوم في سيتوبلازم الخلايا المساعدة في حالات الغلق وهذا ربما بتأثير فتح وغلق القنوات الأيونية في الغشاء الحيوي (زيادة نفاذية بعض الايونات عبر الغشاء مثل ايونات الكالسيوم).

-

- العوامل المؤثرة في عملية النتح

اولاً- العوامل البيئية

1- الضوء : له تأثير مباشر في عملية فتح وغلق الثغور وبالتالي في معدل النتح.

2- الرطوبة (رطوبة الهواء): Air humidity

ترتبط الرطوبة بدرجة الحرارة، وتزداد قدرة الهواء على حمل بخار الماء كلما ارتفعت درجة حرارته.

يكون الهواء داخل المسافات البينية في خلايا الورقة في حالة تشبع كامل ببخار الماء، بينما يكون الهواء الجوي الخارجي على درجة أقل من التشبع وبنتيجة لذلك يخرج بخار الماء من المسافات البينية للخلايا إلى الهواء ويزداد معدل خروجه بازدياد الفرق في درجة التشبع للهواء وللمسافات البينية بين خلايا الورقة أو بمعنى آخر يزداد النتح بازدياد نقص التشبع في الهواء الخارجي.

ويجب الإشارة هنا أن التشبع ببخار الماء يعني انخفاض سالبية الجهد المائي ونقص التشبع ببخار الماء يعني ارتفاع السالبية للجهد المائي.

3- درجة الحرارة: Air temperature

كما ذكرنا سابقاً بالنسبة للرطوبة فهناك ارتباط بين العاملين حيث أن زيادة درجة الحرارة تزيد الفرق بين كمية البخار التي يحملها الهواء والكمية اللازمة لتشبعه، أي بعبارة أخرى يزداد نقص تشبع الهواء، ومع ازدياد نقص تشبع الهواء المحيط بالأوراق يزداد خروج الماء من الثغور ويرتفع معدل النتح.

4- حركة الرياح: Air movement

تكون طبقة الهواء المحيط أو القريب من سطوح الأوراق النباتية مشبعة ببخار الماء وبازدياد النتح يزداد سمك طبقة الهواء المشبع وهذا ما يؤدي إلى تقليل النتح وهنا يأتي دور الرياح حيث أن تحركها يعمل على إزالة الطبقة المشبعة بالماء من حول الأوراق وتحل محلها طبقة أقل تشبعاً مما يعمل على اختلاف الجهد المائي بين الداخل والخارج وبالتالي يزداد النتح.

وبالتالي كلما زادت سرعة الرياح ازدادت عملية النتح حتى تصل سرعة الرياح إلى 8كم/ساعة وهنا تصبح الزيادة في النتح تدريجية إلى أن تصل سرعة الرياح إلى 34كم/ساعة وهذا ما يؤدي إلى تقليل النتح بسبب التبريد وبالتالي إغلاق الثغور.

تعمل حركة الرياح أيضاً إلى تحريك أوراق الأشجار ويساعد ذلك على تجديد الهواء الموجود في الغرف الهوائية في الجهاز الثغري ليحل محله هواء أكثر جفافاً.

5- الضغط الجوي: Atmospheric pressure :- تؤدي زيادة الضغط إلى زيادة كثافة الهواء وبالتالي انخفاض نسبة تبخر الماء من المسافات البينية إلى الجو وبالتالي انخفاض معدل النتح.

6- رطوبة التربة: Soil Moisture :- نقص رطوبة التربة يعني نقص معدل الامتصاص وبالتالي نقص الماء بالنسبة للنبات و نقص معدل النتح، وبالتالي كل العوامل التي تؤدي إلى نقص امتصاص النبات للماء (تهوية، ارتباط حبيبات الماء بالتربة، زيادة تركيز الأملاح) تعمل على نقص معدل النتح.

7- غاز CO_2 :- يؤدي ازدياد استهلاك CO_2 إلى فتح الثغور وزيادة النتح وزيادة تراكمه يؤدي إلى إغلاق الثغور وبالتالي نقص النتح.

ثانياً - عوامل النبات: Plant factors

1- مساحة سطح الورقة: Leaf surface area

يزداد النتح بازدياد مساحة الورقة، ولكن يجب ملاحظة أن معدل النتح أي وزن الماء المفقود على مساحة السطح الناتح يزداد كلما قلت مساحة السطح الناتح وذلك بشكل اساسي عندما تكون كمية الماء الممتصة ثابتة, ايضا معدل النتح في الأوراق الحديثة قليلة المساحة أكبر من معدل النتح في الأوراق البالغة كبيرة المساحة.

تؤدي إزالة نصف الأوراق من شجرة ما إلى زيادة معدل النتح في الأوراق المتبقية بنسبة تتراوح ما بين 20-90% عما كان عليه قبل إزالة الأوراق، وذلك لأن كمية الماء المفقودة كلياً تنخفض، إلا أن معدل النتح يزداد، ويرجع السبب في ذلك الى ان التوازن القائم اساسا بين المجموع الجذري والخضري يختل فتبقى كمية الماء الممتصة كبيرة وتقل مساحة السطح الناتح فيزداد معدل النتح.

وعلى هذا الاساس ينصح برفع جميع الاوراق عند نقل النبات من منطقة الى اخرى وذلك حتى يتوقف النتح وتحتفظ النبتة او الشجرة بالماء الموجود في داخلها مدة كافية بحيث تستطيع ان تثبت نفسها في المكان الجديد وتعاود نشاطها الامتصاصي.

2- تركيب الورقة: Leaf structure

كلما زادت طبقة الأدمة (المكونة من مادة الكيوتين غير النفاذة) كلما قلت عملية النتح ومن جانب آخر كلما زادت مساحة النسيج المتوسط كلما زادت عملية النتح وهنا نلاحظ عادة ان هناك علاقة بين مساحة النسيج المتوسط وسمك طبقة الكيوتين وذلك حسب النبات وحسب الظروف البيئية والعوامل الفسيولوجية, أيضا فإن وضع الورقة في اتجاه الشمس عمودياً أو أفقياً يؤثر على معدل النتح.

3- نسبة المجموع الجذري/ للمجموع الخضري Root-Shoot Ratio

إن كفاءة سطح الامتصاص (سطح الجذر) والسطح الناتح (سطح الورقة) هما المتحكمان في معدل النتح. فلو أن امتصاص الماء يكون أقل من النتح فإن النبات سوف يعاني من نقص الماء داخله وبالتالي سوف يتأقلم بتقليل النتح.

المصادر

- اساسيات فسيولوجيا النبات ، 2008 ، حشمت سليمان الدسوقي
- عماد فسيولوجيا النبات ، 1998 ، عمادالدين وصفي
- الأسس العلمية لادارة وإنتاج وتحسين المحاصيل الحقلية ، 2018 ، اياد حسن علي و محمد عويد غدير