فسلجة النبات Plant physiology

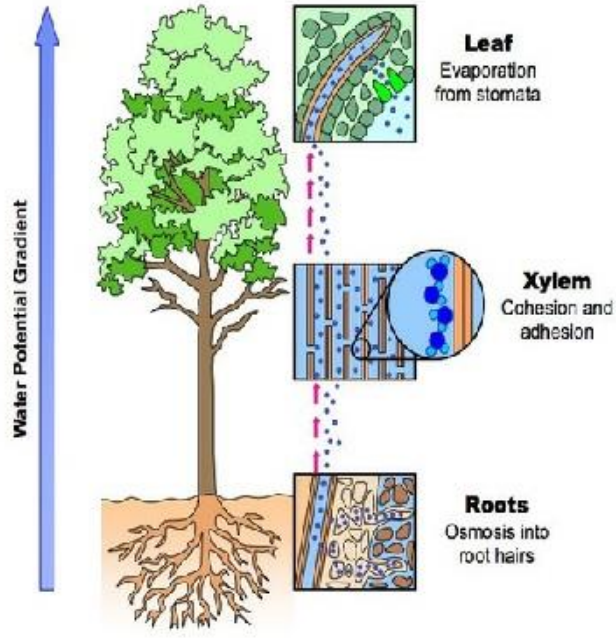
النتح Transpiration

إعداد: د. أنس منير توفيق

كلية الزراعة/جامعة تكريت

النتح هو فقدان الماء من النبات على شكل بخار الماء vapor. حيث يتم امتصاص الماء عن طريق الجذور من التربة ونقلها كسائل إلى الأوراق عبر الخشب. في الأوراق ، تسمح المسام الصغيرة للماء بالخروج كبخار. يخرج في عملية النتح حوالي 95٪ من الماء الذي يدخل للنبات، وما تبقى من ذلك (حوالي أقل من 5 ٪ من الماء) يستهلك في اجزاء النبات المختلفة في نمو الخلايا وبناءها وفي عملية التركيب الضوئي Photosynthesis.

ففي النباتات التي تنمو بنشاط ، يتبخر الماء باستمرار من سطح الخلايا الورقية المعرضة للهواء. يتم استبدال هذه المياه بامتصاص إضافي للماء من التربة. تمتد المياه السائلة عبر النبات من مياه التربة إلى أسطح الخلايا الورقية حيث يتم تحويلها من سائل إلى غاز خلال عملية التبخر. تسمح الخصائص المتماسكة للمياه (الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء المتجاورة) لعمود الماء بالدفع إلى أعلى خلال النبات حيث تتبخر جزيئات الماء على سطح الورقة. وقد سميت هذه العملية بنظرية التماسك في النسغ الصاعد في النباتات Cohesion Theory of Sap Ascent وكما مبين في الشكل ادناه.



مسالك النتح في النبات Transpiration paths

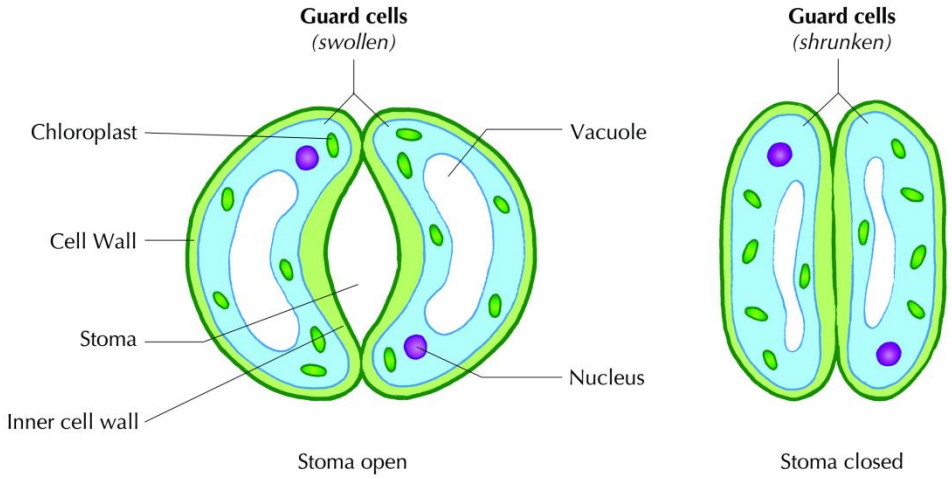
بالنسبة لمنافذ خروج بخار الماء من الاجزاء النباتية، يتم معظم خروج الماء من النبات من خلال الثغور، ولكن اذا قابل البخار مسالك اخرى في النبات يستطيع ان يتسرب منها فانه يخرج خلالها كما في حالة النتح الادمي والعديسي، وبشكل عام يتميز النتح الى ثلاثة انواع هي:

١- النتح الادمي Cuticular transpiration وفيه يفقد بخار الماء عن طريق طبقة الكيوتيكل غير المنفذة للماء والمغلفة للجدران الخارجية لخلايا البشرة. وطبقة الكيوتكل تمنع فقدان الماء من خلال بشرة النبات بدرجة كبيرة ولكن غير تامة بسبب ما قد يوجد بها من شقوق او فتحات اضافة الى انها ليست عديمة النفاذية 100٪. ويشكل هذا النوع من النتح نسبة ضئيلة تقل عن 1٪ من مقدار النتح الكلي في نباتات الظل، ويكاد يكون هذا النوع من النتح معدوماً في النباتات الصحراوية بسبب ثخن طبقة الكيوتكل التي تلعب الدور الرئيسي في تحديد مقدار هذا النوع من النتح. كما ان عمر النبات يلعب دور كبير اذ ان الاجزاء صغيرة السن تكون طبقة الكيوتكل عليها رقيقة مقارنة بالاجزاء كبيرة السن. ولهذا فان مقدار النتح الادمي يختلف من نبات الى اخر تبعاً لسمك الأدمة وكفاءتها في عدم تنفيذ الماء من خلالها.

٢- النتح العديسي Lenticular transpiration وفيه يتم فقدان بخار الماء عن طريق العديسات المنتشرة على سطوح السيقان (القلف). ويفقد الماء ايضاً من خلال الشقوق التي تحدث في الانسجة الفلينية الواقية للبشرة. ويشكل النتح العديسي نسبة قليلة جداً من النتح الكلي ولكنه يشكل نسبة ملحوظة في النباتات المسنة والنفضية وخاصة في فصل الشتاء.

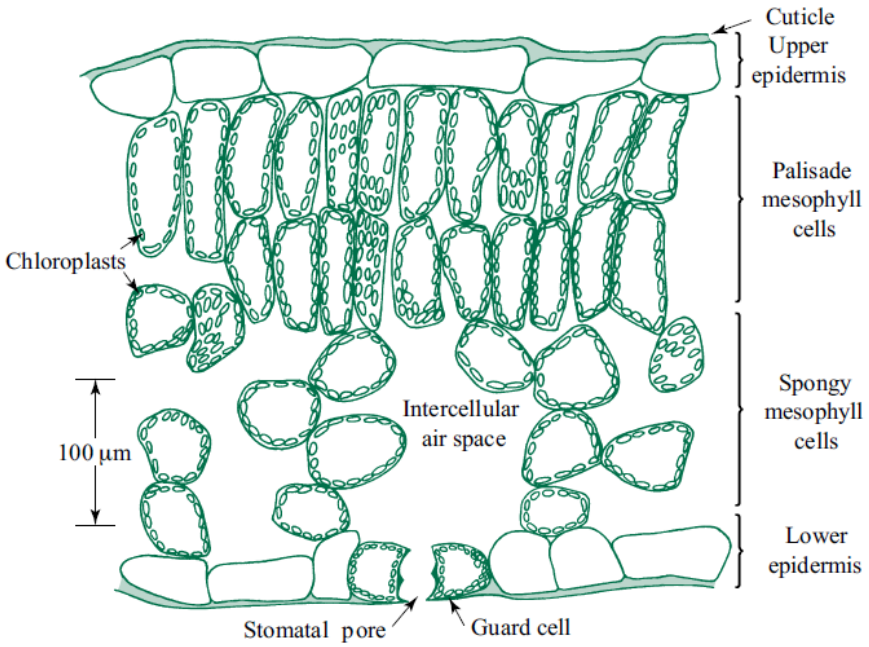
٣- النتح الثغري Stomatal transpiration حيث يفقد بخار الماء من النبات عن طريق فتحات الثغور التي تعتبر اقل مقاومة لمرور بخار الماء. ويكون النتح الثغري القسم الاعظم من النتح حيث تصل نسبة الماء المفقود من خلاله الى اكثر من 90٪.

تتوزع الثغور غالبا على السطح السفلي لورقة النبات، كما ان هناك نباتات كثيرة توجد الثغور فيها على كلا سطحي الورقة، الا ان في الحالة الاخير يكون عدد الثغور على السطح السفلي اكبر مما موجود على السطح العلوي. وعلى العموم فعدد الثغور يكون مختلف من نبات الى اخر ومن عائلة نباتية الى اخرى، ففي العائلة النجيلية يتراوح عدد الثغور من 1000 الى 2000 ثغر/ سم^{٢} من السطح الورقي. وبشكل عام يمكن اعتبار ان 10 الاف ثغر هو متوسط عدد الثغور في سم^{٢} من السطح الورقي للنبات ذات الفلقتين.



يتكون الجهاز الثغري من الخلايا الحارسة guard cells ومن الفتحة الثغرية stomatal opening ومن الغرف الهوائية sub-stomatal chamber (كما في الشكل ادناه). يحمل سطح بشرة الورقة عدد كبير من الثغور تحاط كل منها بخليتين من خلايا البشرة متخصصتين تعرفان بالخلايا الحارسة guard cells يتحكمان فى فتح وغلق الثغور. والحركة الثغرية تعتمد بصفة عامة على الاستجابة المباشرة للزيادة أو النقص للجهد الازموزي للخلايا الحارسة والتغير في الجهد المائي الناتج من التغيرات الأزموزية بسبب تحرك الماء من أو الى الخلايا الحارسة. فعند امتلاء الخلايا الحارسة بالماء، يتمدد الجدار الخلفي الغير مواجه لفتحة الثغر ويستدير مقطع الخلية الحارسة نوعا ما فيبعد الجدار الرقيق الامامي المواجه لفتحة الثغر عن فتحة الثغر وتظهر الخلية وكأنها منكمشة مما يزيد من فتحة الثغر. ويحدث العكس حينما يقل الماء في الخلية اذ ترتخي الجدر (الجدران)، فتعود الجدر المحيطة بالفتحة الثغرية الى مكانها لتقفلها.

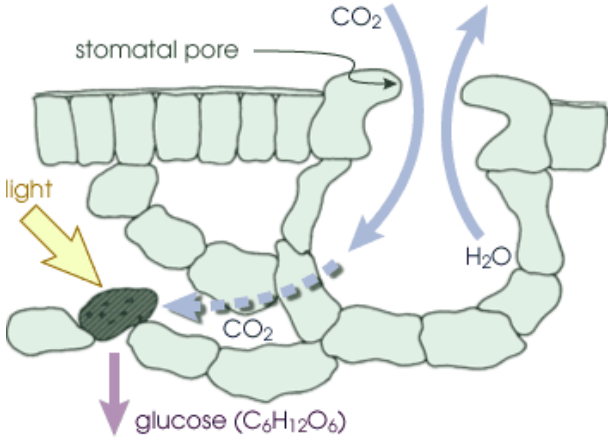
ويرجع سبب زيادة الضغط الازموزى للخلايا الحارسة ونظراً لاحتوائها على البلاستيدات الخضراء الى زيادة السكريات الناتجة من عمليات التمثيل الكاربوهيدراتى، فقد قيس الضغط الازموزي للخلايا الحارسة ووجد أنها 90 ضغط جوي بينما تصل الى ربع هذا المقدار في خلايا البشرة المجاورة. وقد لوحظ أنها بمجرد غلق الثغور يتراكم النشأ في الخلايا الحارسة وفي نفس الوقت ينخفض ضغطها الازموزي حتى يوازي الضغط الازموزي لخلايا البشرة.



ومن الملاحظ أن عملية فتح الثغور أسرع من أن يكون سببها عملية التركيب الضوئي، وهي عملية تتطلب وقتا حتى ينتج السكر. لذلك يوجد اعتقاد بأن يكون هناك سبب أخر مباشر لإحداث التغير اللازم فى الضغط الازموزي للخلايا الحارسة. فهناك رأي أن زيادة الضغط الازموزى ناتج من تحلل النشا تحللاً لاهوائياً الى سكريات تزيد من الضغط الازموزى للخلايا الحارسة وهذا التفاعل عكسي نتيجة عمل أنزيم starch phosphorylase، فعند ارتفاع الرقم الهيدروجيني pH الى حوالي 7 تحدث عملية الفسفرة phsphorolysis، أو التحلل الفسفوري بمساعدة الأنزيم لتكوين Glucose 1-phosphate، وعند انخفاض الرقم الى حوالي 5 فان النشا يتكون مرة اخرى من Glucose 1-phosphate بواسطة نفس الأنزيم وينفرد حامض الفسفوريك Phosphoric acid. وعند حلول الظلام ليلاً يتراكم CO_2 الناتج من عملية التنفس والذي يتحول الى حامض الكاربونيك فيؤدي الي رفع الحموضة وانخفاض رقم الـ pH، ،وهذا الوسط الحامضي يلائم أن يعمل الأنزيم (بأتجاه من سكر الى نشأ) فينخفض الضغط الازموزي في الخلايا الحارسة فتسحب المياه من الخلايا فتنكمش وتضيق فتحة الثغر وتغلق الثغور.

أما في الضوء فعلى العكس حيث أن عملية التركيب الضوئي في العصير الخلوي تستهلك CO_2 الناتج من التنفس وبذلك تقل الحموضة و يرتفع رقم الـ pH للخلايا الحارسة وهذا الوسط القريب للتعادل يلائم عمل الأنزيم في اتجاه (من نشأ الى سكر) فيؤدي الي رفع الضغط الازموزى للخلايا الحارسة وبالتالي تمتص الماء من الخلايا المجاورة فتنفتح الخلايا الحارسة وينفتح الثغر. وهناك رأي أخر للعالم Scarth وضعه لتفسير سرعة الثغور عند تعرضها

للضوء، والذي أنكر على الأنزيم سرعة فتح الثغر لان العمل الأنزيمي يحتاج الي وقت أطول من فتح الثغر عند تعرضه للضوء، فقد أشار الى أن الضوء يسبب نقص تركيز الهيدورجين في عصارة الخلايا الحارسة وهذا يزيد من قوة التشرب للمكونات الغروية للخلايا الحارسة فتمتص الماء من الخلايا المجاورة، وعليه فانتقال الماء فى هذه الحالة ما هو الا نتيجة لقوة التشرب وليس لقوة الامتصاص الأزموزي.



العوامل المؤثرة على الحركة الثغرية

١- شدة الضوء Light intensity :

يؤثر الضوء على فتح وغلق الثغور بالميكانيكية السابق ذكرها. فهو يعمل على فتح الثغور، ولايستهلك النبات في حركة الثغور الا مقداراً ضئيلاً من الضوء (حوالي 1٪) التي تمتصها الأوراق. ومن جهة اخرى فان النبات يحتاج الى طاقة حرارية ليقوم بعملية النتح، وبسقوط الضوء على اوراق النبات يتحول جزء من الطاقة الضوئية الممتصة (حوالي 30٪) الى طاقة حرارية يستفيد منها النبات في النتح.

٢- البوتاسيوم Potassium content :

وجوده يؤدى لانحلال النشأ الى سكريات بسيطة وزيادة التركيز الازموزى فى الخلايا الحارسة مما يؤدي لانتقال الماء الى داخل الخلايا الحارسة وبالتالي يزيد من ضغط الامتلاء فيفتح الثغر.

3- تركيز CO_2

عند زيادة تركيز CO_2 فى المسافات البينية لأنسجة الورقة عن التركيز في الجو الخارجي يؤدى لغلق الثغور وعند التعرض للضوء يستهلك CO_2 في عملية التمثيل الضوئي فيقل تركيز CO_2 ويفتح الثغر.

٤- درجة الحرارة Temperature :

عند درجة حرارة من 0 الى 30°م يزداد فتح الثغر وعند درجة حرارة أقل من 0°م أو أكثر من 30°م يؤدى ذلك إلى غلق الثغور وذلك في معظم النباتات .ويرجع غلق الثغور إلى زيادة معدل التنفس عند هذه الدرجات من الحرارة فيزداد تركيز CO_2 فيغلق الثغر.

٥- نقص الماء وحامض الابسيسيك Water shortage and abscisic acid content :

هناك بعض الحالات لايستطيع فيها النبات امتصاص الماء رغم توفر الظروف الملائمة للامتصاصه فيحدث بالتالي نقص الماء داخل النبات وللحفاظ على القدر الضئيل من الماء داخل النبات يتجه النبات الى تكوين هرمون حامض الابسيسيك ABA وينقل هذا الهرمون إلى الأوراق ويؤدى ذلك لتنشيط غلق الثغور.

العوامل المؤثرة على معدل عملية النتح

(ا) العوامل النباتية

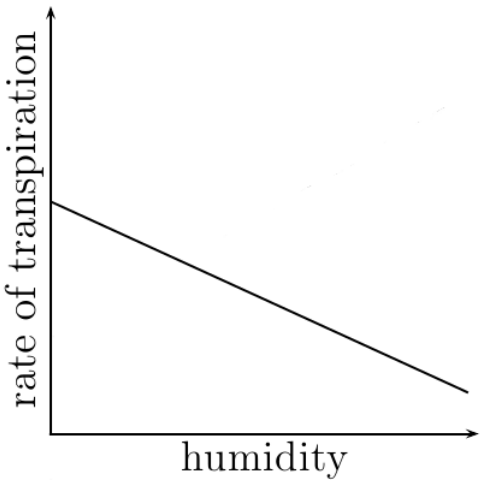
١- نسبة المجموع الجذري إلى المجموع الخضري: فعندما يزداد المجموع الجذري عن المجموع الخضري للنبات ووجود الظروف الملائمة للامتصاص والنتح تكون كمية الماء الممتص اكبر من كمية الماء المفقود بالنتح وبالتالي ينمو النبات والعكس عندما يقل المجموع الجذري عن المجموع الخضري يحدث ذبول للنباتات.

٢ مساحة الورقة: من المعلوم ان زيادة مساحة الورقة يتبعها زيادة الماء المفقود وغالبا ما تنتج النباتات الصغيرة بمعدل اكبر عن النباتات الكبيرة وذلك على أساس وحدة المساحة، ولو أن النباتات الكبيرة تفقد كميات من الماء اكبر إلا أن الماء المفقود بالنسبة لوحدة المساحة يكون اكثر فى النباتات الصغيرة.

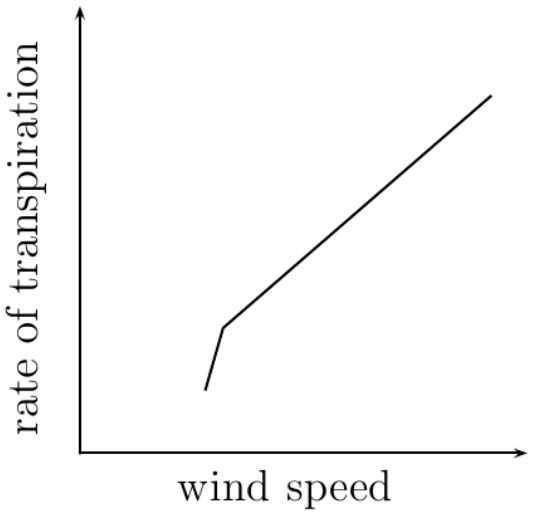
٣- تركيب الورقة: اذ يختلف عدد الثغور الموجودة وسمك طبقة الكيوتين المغطية للأوراق وسطحية وتعمق الثغور على سطح الورقة وتعريق الأوراق باختلاف الأنواع النباتية مما يؤثر على معدل النتح.

(ب) العوامل البيئية

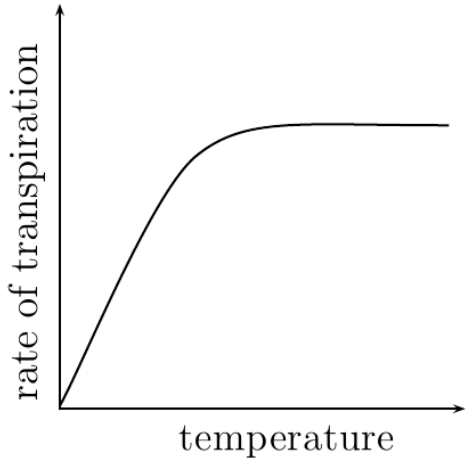
١- الرطوبة النسبية في الجو Atmospheric Humidity: ان ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو يترتب عليه زيادة الضغط البخاري لبخار الماء فى الجو، ويؤدى ذلك بالطبع إلى تقليل التبخر وبالتالي تقليل النتح.



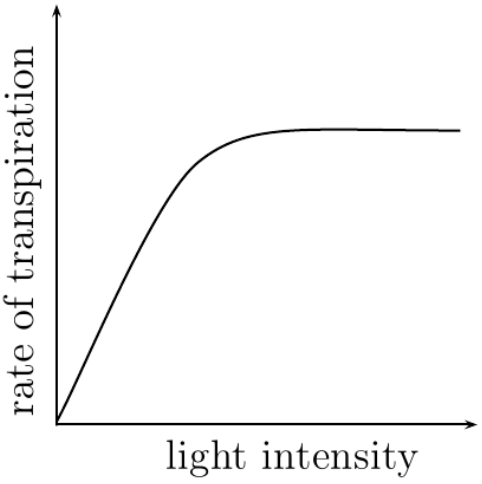
٢- الرياح او حركة الهواء Wind or Air movement: يتسبب عن حركة الهواء تقليل الرطوبة النسبية بإزالة الهواء الرطب في الجو الملامس مباشرة لسطح الأوراق وبالتالي يزداد النتح. أما عند اشتداد الرياح فان الثغور تقفل، وبالتالي يقل معدل النتح. وتقفل الثغور هنا بسبب فقد النبات لكميات هائلة من الماء تؤدى الى نقص شديد فى انتفاخ البشرة والخلايا الحارسة وبالتالى تقفل الثغور.



٣- درجة حرارة الهواء Air temperature: يؤدى ارتفاع درجة الحرارة الى زيادة التبخر وبالتالي الى زيادة النتح. وتعتبر عملية النتح عملية تلطف من حرارة النبات لان قدر كبير من الحرارة التى تتعرض لها أسطح الأوراق تستنفذ فى تبخير كميات كبيرة من الماء بشكل نتح.



٥- الضوء Light: يتجلى دور الضوء من خلال تأثيرة على حركة فتح وغلق الثغور كما ان الضوء الشديد يزيد من درجة الحرارة وبالتالى يزيد من معدل النتح.



٥- تيسر ماء التربة Water availability: كلما كان ماء التربة محددا كلما قل امتصاص الجذور للماء ويؤثر ذلك بالطبع على التوازن المائى فى النبات وعلى النتح.

لماذا تقوم النباتات بعملية النتح؟

لتقليل درجة حرارة النبات (التبريد) Cooling: مع تبخير الماء أو تحويله من سائل إلى غاز في الخلية النباتية والسطح البيني للورقة ، يتم تحرير طاقة. تستخدم هذه العملية الطاردة لحرارة طاقة كسر الروابط الهيدروجينة القوية بين جزيئات الماء السائل. يتم أخذ الطاقة المستخدمة للقيام بذلك من الورقة وتعطى لجزيئات الماء التي تحولت إلى جزيئات غازية عالية الطاقة. يتم إطلاق هذه الجزيئات من الغاز والطاقة المرتبطة بها في الغلاف الجوي لتبريد النبات.

للحصول على المغذيات من التربة: يحتوي الماء الذي يدخل الجذور على مغذيات مذابة ضرورية لنمو النباتات. ويعتقد أن النتح يعزز امتصاص المغذيات في النباتات.

دخول ثاني أكسيد الكربون CO_2 uptake: عندما يقوم النبات بعملية النتح، تكون ثغوره مفتوحة، مما يسمح بتبادل الغازات بين الغلاف الجوي والأوراق. تسمح الثغور المفتوحة لبخار الماء بترك الورقة ولكن تسمح أيضًا بدخول ثاني أكسيد الكاربون (CO_2). ثاني أكسيد الكاربون ضروري للبناء في عمليات البناء الضوئي. ولكن الكثير من المياه تفقد مقابل دخول CO_2 الى النبات.

امتصاص الماء Water uptake: على الرغم من أن أقل من 5 ٪ فقط من المياه التي تمتصها الجذور تبقى في النبات، فإن الماء مهم حيويا لهيكل النبات ووظائفه. إن الماء مهم في اجراء العمليات البيوكيميائية، وأيضاً يخلق ضغط داخلي للنبات بحيث يمكنه أن يقف ويأخذ شكله القائم.