

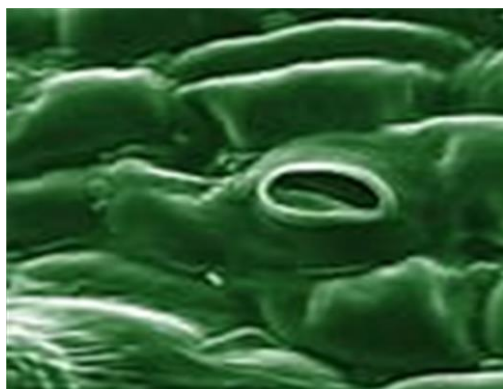
يحتاج النبات الى كميات كبيرة من الماء اثناء فتر نموه غير ان معظم الماء الممتص يفقد بشكل بخار ماء بعملية النتح Transpiration ، يحدث النتح نتيجة الفرق بالجهد المائي بين والهواء وسطح النبات . ولكن الجهد المائي للورقة يحدد اساسا من خلال درجة الحرارة والرطوبة النسبية وعلية فان الجهد المائي يحدد تبعا لذلك .

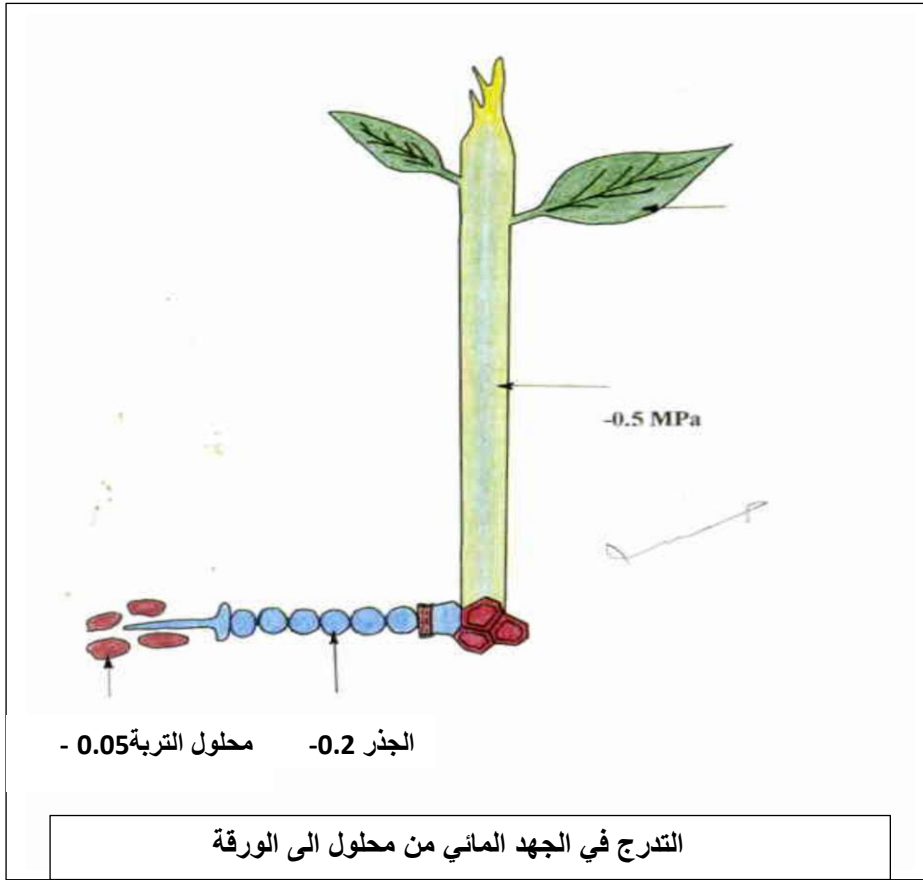
ويفقد الماء من خلال فتحات خاصة موجودة على سطح الورقة والسيقان الفتية تدعى الثغور Stomata ، بالرغم من وجود تبخر للماء بشكل مباشر من سطح البشرة والعديسات Lenticles . وبالتالي يقسم النتح الى ثلاثة اقسام حسب طريقة طريقة فقدان الماء :

- ١- النتح الثغري Stomatal Transpiration ويكون بنسبة كبيرة .
- ٢- اللنتح الادمي Cuticular transpiration ويكون بنسبة ١٠% .
- ٣- النتح العديسي Lentticular Transpiration وتكون نسبته جدا قليلة .

الماء ضروري للنبات ولكن النبات لا يستخدم إلا جزء بسيط فقط من الماء الممتص عن طريق الجذور في النمو والتمثيل الغذائي. في حين يتم فقدان ما تبقى (من ٩٩% إلى ٩٩.٥%) بواسطة النتح.

للنتح أهمية كبرى في النباتات فهو المسبب الأساسي لصعود العصارة المائية (الماء الممتص من التربة والأملاح المذابة فيه) للأوراق والساق في اعالي النباتات وتعرف هذه الظاهرة بالقوة السالبة. فتبدأ بتبخر الماء من النسيج الاسفنجي في الورقة مما يؤدي لزيادة الازموزية في خلايا الورقة مما يؤدي لسحب الماء من الأوعية الخشبية الموجودة في الساق والتي بدورها تسحب الماء من الأوعية الخشبية الموجودة في الجذور والتي تستمد الماء من التربة وهكذا يتم رفع الماء لأعالي الاشجار. و تعتمد هذه الخاصية على قوة تماسك جزيئات الماء مع بعضها البعض وقدرتها على الالتصاق بجدران الأوعية الخشبية الموجودة بها. و يكون عمود الماء في هذه الأوعية الخشبية تحت تأثير السحب من الأعلى بدل الدفع من أسفل لذا تسمى هذه الخاصية بالقوة السالبة كما تسمى بالقوة الأساسية لأنها السبب الرئيسي في ارتفاع العصارة الناضجة للأوراق في النباتات الشاهقة.



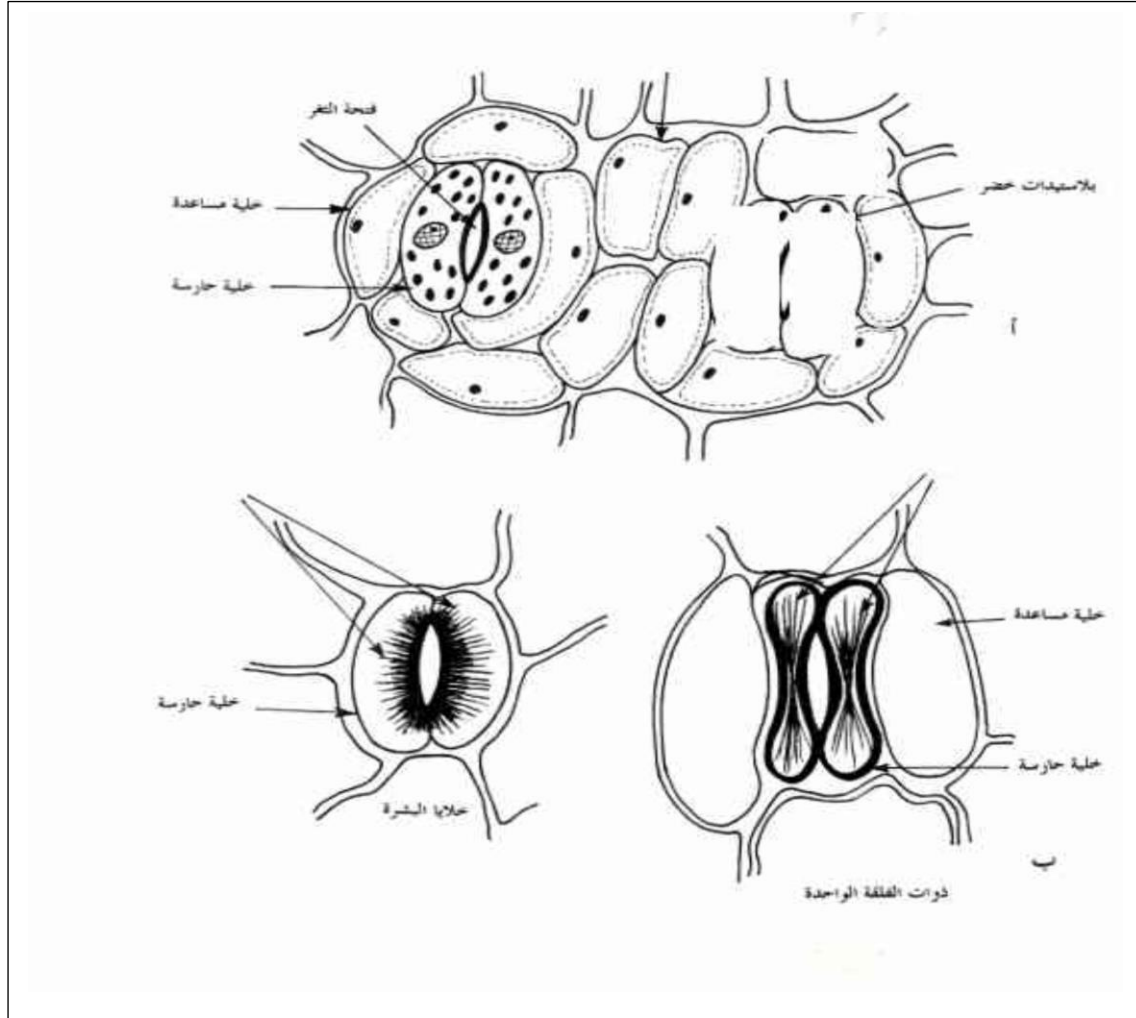


الماء المفقود من النبات اقله نتحا ثغريا ان وجود الثغور ذو اهمية كبيرة في حياة النبات حيث انه عن طريق هذه الفتحات يتم تبادل الغازات خاصة CO_2 ثاني اوكسيد الكربون المهم في عملية البناء الضوئي .

تركيب الثغور Structure of Stomata:

تحاط فتحة الثغور بزوج من الخلايا تدعى الخلايا الحارسة Guard Cell وتمتاز الخلايا الحارسة عن غيرها من الخلايا بانها تحتوي على بلاستيديات خضراء وجدرانها المحيطة بفتحة الثغور تكون سميكة قليلة المرونة بينما الجدران البعيدة تكون رقيقة ذات مرونة عالية بسبب الخيوط السليلوزية التي تترتب بهذا الشكل الذي يكون متجمع عند فتح الثغور ونسبتها قليلة في الجدران البعيدة . كما تحاط الخلايا الحارسة بخلايا تختلف عن خلايا البشرة تدعى الخلايا المساعدة Subsidiary Cell تعتبر هذه الخلايا مخزن للمواد التي تتحرك من الخلايا الحارسة اليها وبالعكس حسب حالة فتح او غلق الثغور . ويطلق احيانا مسمى الجهاز الثغري على فتحة الثغور

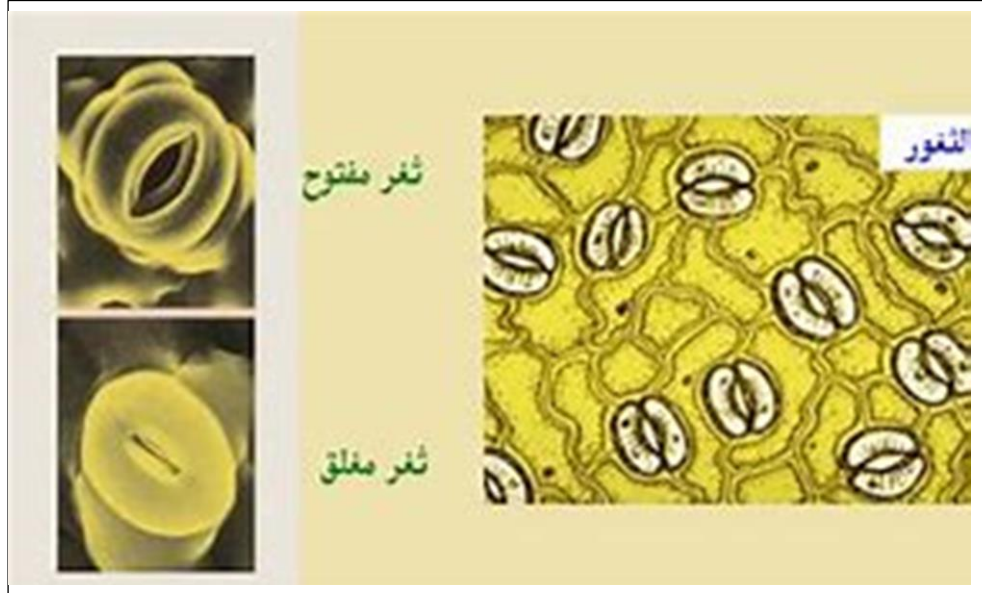
والخلايا الحارسة والخلايا المساعدة . يتراوح عدد الثغور في معظم النباتات ١٠٠٠-٦٠٠٠٠ في السنتمتر الواحد من الورقة اي ١-٣,٦% من مساحة الورقة .



فتح الثغور وغلقها :Opening and Closing of Stomata

ان التغيرات التي تحدث في الخلايا الحارسة لها دور كبير في فتح الثغور وغلقها اي انتفاخها او انكماشها هذا فضلا عن عدم انتظام سماكة جدران الخلايا الحارسة حيث تكون الجدران المحيطة بالفتحة اكثر سماكة من الجدر البعيد عن الفتحة الثغرية . وان زيادة انتفاخ الخلية الثغرية يؤدي الى تمدد الجدار في الجزء المرن بينما تتناثر الجدر السمكة المقابلة لفتح الثغور . ويؤدي التغيير في الجهد المائي في الخلايا الحارسة الى فتح الثغور

وغلاقها ، حصل الامتلاء التام للخلايا الحارس يؤدي الى فتح الثغور بينما انكماش الخلايا الحارس يؤدي الى غلقها ، انخفاض الجهد المائي في الخلايا الحارس يؤدي الى سحب الماء من الخلايا المجاورة وبالتالي تنفتح الثغور بينما ارتفاع الجهد المائي في الخلايا الحارسة مقارنة بالخلايا المساعدة يؤدي الى خروج الماء من الخلايا الحارسة الى الخلايا المجاورة وبالتالي انكماشها و غلق الثغور .



من المعروف ان الثغور تفتح في الضوء وتغلق في الليل ماعدا النباتات العصارية CAM Plants التي تفتح ثغورها في الليل وتغلق في النهار . بما ان الجهد المائي له دور في فتح الثغور و غلقها اذن لابد من دراسة العوامل المؤثرة في الجهد المائي وهي الجهد الازموزي والجهد الضغطي ، الجهد الازموزي له الاهمية الاكبر في فتح الثغور و غلقها لان لها التأثير الكبير في التوازن المائي في الخلية الحارسة ، اما الجهد الضغطي فان تأثيره طفيف في غلق الثغور وفتحها الا في حالات خاصة عندما يتاثر جدار الخلايا الحارسة ببعض العوامل مثل درجة الحرارة والجفاف والملوحة .

النظريات التي تفسر فتح و غلق الثغور Hypotheses Explaining Opening and Closing of Stomata

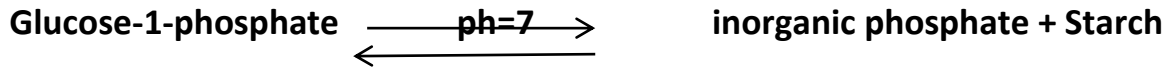
اغلب النظريات التي فسرت عملية فتح و غلق الثغور على نواتج عملية التمثيل الضوئي التي تتراكم في الخلايا الحارسة والتي من شأنها ان تخفض الجهد المائي بسبب ارتفاع سالبية الجهد الازموزي وبالتالي سحب الماء من الخلايا المجاورة وبالتالي انتفاخ الخلايا الحارسة وفتح الثغور ، وهناك بعض الفرضيات التي تفسر هذه الحالة منها .

١- فرضية النشا - السكر **The starch –Suger Hypothesis** : تتخلص هذه الفرضية بتحول النشا

الى سكر في الخلايا الحارسة وبالعكس يعتبر اساسا في فتح الثغور وغلقتها ، حيث ان تحلل النشا الى سكريات يؤدي الى ارتفاع سالبية الجهد الازموزي وانخفاض في الجهد المائي وبالتالي عبور الماء من الخلايا المجاورة الى الخلايا الحارسة وانتفاخها . بينما لا يؤثر النشا في الازموزية ويبقى الجهد المائي عالي في الخلايا الحارسة فيخرج الماء من الخلايا الحارسة مما يؤدي الى انكماشها وغلقت الثغور .

ان عملية تحول النشا الى سكر وبالعكس يتاثر بعوامل الضوء والضلام ودرجة PH في الخلايا الحارسة .
والمعادلة التالية توضح اساس النظرية :

في النهار



عدد كبير من الجزيئات

في الليل Ph=5

جزيئة واحدة

تفتح الثغور في الضوء حيث تقوم عملية البناء الضوئي بانقاص محتوى ثاني اوكسيد الكربون ورفع قيمة PH داخل الخلايا الحارسة وان ذلك يكون مشجعا لتحويل النشالى سكر ، وتراكم السكر يؤدي الى خفض الجهد المائي بسبب زيادة الازموزية وسحب الماء من الخلايا المجاورة للخلايا الحارسة وانتفاخها وبالتالي الى فتح الثغور ، اما في الظلام فيحدث العكس حيث تزداد كمية CO₂ تنقص قيمة الرقم الهيدروجيني PH فيكون عمل الانزيم في صالح تحويل السكر الى نشا وبالتالي الى رفع الجهد المائي بسبب انخفاض الازموزية وبالتالي خروج الماء من الخلايا الحارسة وانكماشها وغلقت الثغور وهناك بعض الادلة المؤيدة لهذه النظرية :

١-قيمة الرقم الهيدروجيني تقل عند اغلاق الثغور وتزداد عند فتح الثغور .

٢-مستوى النشا يكون قليل في الخلايا الحارسة عند فتح الثغور ويزداد بغلاق الثغور وهذا استثناء من القاعدة حيث ان النشا يزداد في النسيج المتوسط في النهار بسبب نشاط عملية البناء الضوئي بينما يتحلل النشا الى سكر في الليل نتيجة احتياج تلك الخلايا الى الطاقة .

وبالرغم من الادلة التي تؤيد هذه النظرية الا انها لاقت بعض الانتقادات منها :

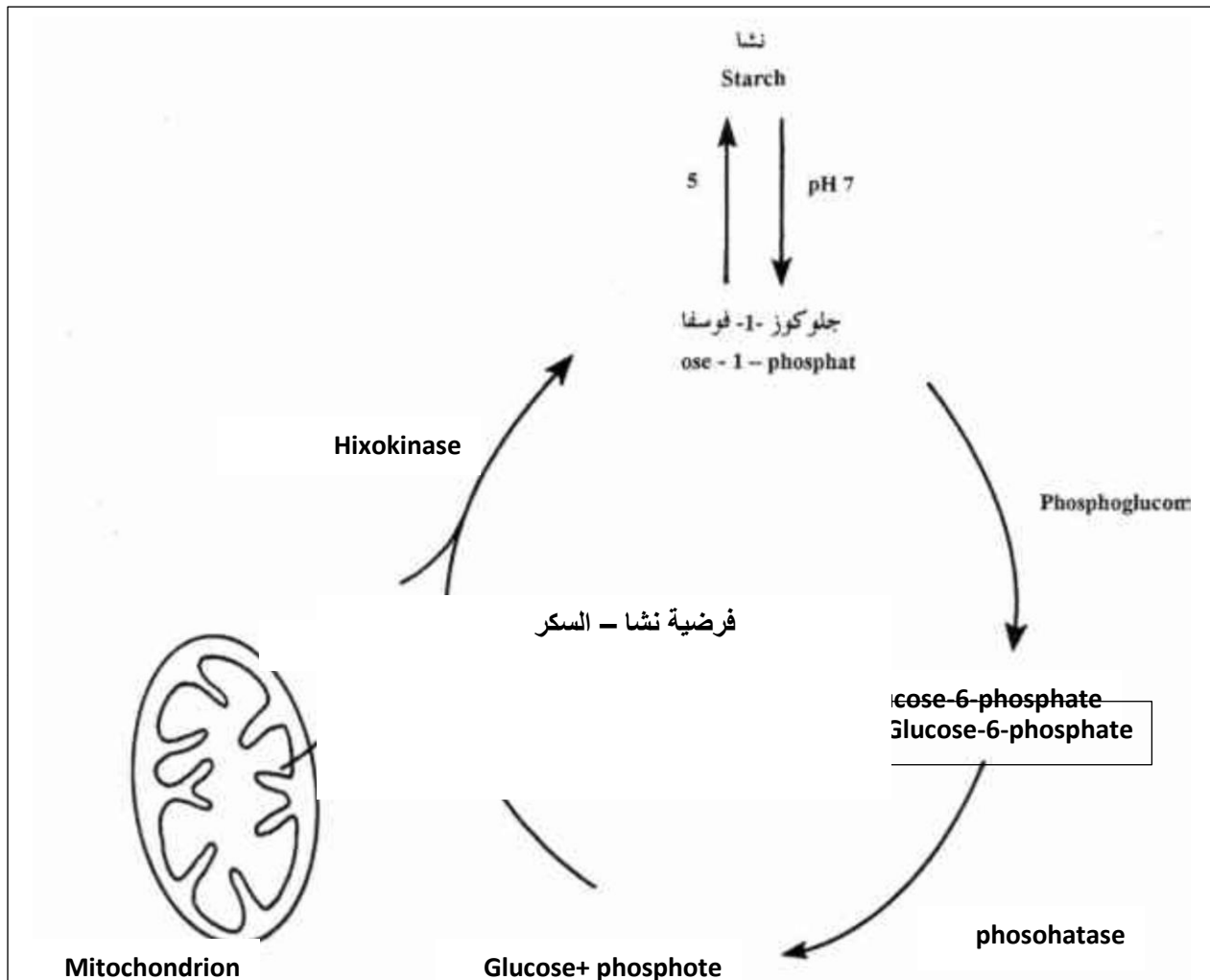
١-قد لا يكون عمل الانزيم phosphorylase في تحليل وبناء النشا . وحتى عند الرقم الهيدروجيني العالي 8 فان وهو محيط البلاستيدات فان التفاعل يبقى لصالح تكوين النشا .

٢- الفوسفات نشط ازموزيا وكذلك السكر المفسفر اذن لا يحتاج ان تزداد الازموزية بتحلل النشا الى سكر .

٣ - ان تغيير تركيز CO_2 هو الذي يسبب تغيير في الرقم الهيدروجيني ، وحسب هذه النظرية فأن تغيير في تركيز هذا الغاز غير كافي لتفسير التغير في الرقم الهيدروجيني من 7- 5 وبالعكس (حيث وجد ان مقدار التغير في الرقم الهيدروجيني من 0.01% - 0.03) فضلا ان التغير في الرقم الهيدروجيني يكون في الفجوات وليس في السايٲوبلازم او البلاستيدات الخضراء .

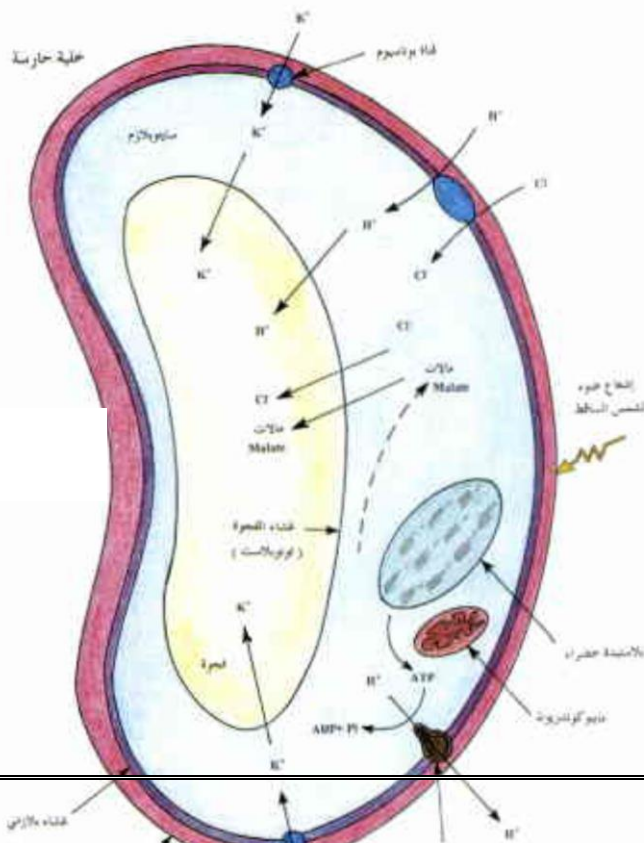
٤-لا يمكن تطبيق هذه الفرضية في النباتات التي تفتقد النشا في الخلايا الحارسة مثل البصل ، كما ان هنالك سكريات متعددة اخرى تقوم مقام النشا .

٥-ان التغير في مستوى النشا اثناء فتح الثغور وغلقتها لا يمكن ان تفسر حركة الثغور السريعة كما ان التحول من النشا الى سكر احادي او العكس لم تلاحظ كثيرا في تغيير الجهد الازموزي والجهد الضغطي وبالتالي فتح الثغور وغلقتها .



خفض الجهد المائي وزيادة الازموزية وبالتالي فتح الثغور واثبت ان امتصاص البوتاسيوم يكون بالية خاصة تتحفز بالضوء . كما وجد ان البوتاسيوم يتراكم في الخلايا الحارسة في النباتات العصارية CAM Plants . وهذا يثبت ان انخفاض CO_2 اضافة الى الضوء يمكن ان تحفز تراكم البوتاسيوم في الخلايا الحارسة . وجد ان اعلى تركيز للبوتاسيوم وجد عندما تكون الثغور مفتوحة نحو 500Mm ويكون تركيزه اقل مايمكن عندما تكون الثغور مغلقة نحو 200Mm وهذه الارقام تتغير حسب ظروف النبات .وقد يدخل البوتاسيوم عكس التركيز وهنا يحتاج الى صرف طاقة لعملية ضخ الايونات ، وتعتبر الخلايا المساعدة مخزن البوتاسيوم حيث يتحرك البوتاسيوم من الخلايا المساعدة الى الحارسة اثناء فتح الثغور ومن الخلايا الحارسة الى الخلايا المساعدة اثناء غلق الثغور .

ب- **الايونات السالبة** : اضافة الى البوتاسيوم فهناك ايونات موجبة تؤدي نفس دور البوتاسيوم في الخلايا الحارسة مثل الصوديوم ولكن بنسبة اقل مثل ما موجود في النبات الملحية . اذن لابد ان تعادل هذه الايونات الموجبة بايونات سالبة ليتم التوازن بين الايونات . حيث ان خروج اي ايون سالب مثل الكلورايد او H^+ لابد ان يتعادل بدخول ايون موجب مثل البوتاسيوم او الصوديوم . وعليه فان الزيادة من البوتاسيوم والتي لايمكن ان تتعادل بكمية من الكلورايد يمكن ان تتعادل بخروج H^+ او امتصاص HO^- بواسطة الخلايا الحارسة . ان مصدر البروتونات يكون من تكوين احماض عضوية من الكربوهيدرات داخل الخلايا الحارسة مثل تكوين حامض المالك اسد Malic acid كذلك تكون حامض الستريك يمكن ان يكون مصدر البروتونات .



نظرية التراكم الايوني

٣- فرضية تكون المالات Malate- swetch hypothesis:

تفسر هذه النظرية تغير في تأين المالات مع الرقم الهيدروجيني PH وتفترض بان المالات احادي التكافؤ¹ H-malate يمتلك القدرة على الحركة خارج الخلايا بينما المالات الثنائي التكافؤ² malate لا تمتلك القدرة على الحركة . وقد لاحظ العلماء تدرج في الرقم الهيدروجيني بين الفجوات والخلايا الحارسة الى الخلايا المساعدة الى خلايا البشرة . وتكون قيمة PH في الخلايا الحارسة اعلى مايمكن (٥,٨) وفي خلايا البشرة (٥,١) عندما تكون الثغور مفتوحة وبالعكس عندما تكون الثغور مغلقة . فعند (PH=٥,١) تكون المالات متساوية بين احادي وثنائي التكافؤ بينما عند (PH=٥,٨) يكون تقريبا ٩٠% من المالات ثنائي التكافؤ والباقي بحالة احادي التكافؤ . واذا كانت عملية فتح الثغور وغلقها تتبع PH فان PH المنخفض في الخلايا الحارسة تؤدي الى تكوين مالات احادية التكافؤ بنسبة كبيرة وهي بالتالي حرة الحركة من الخلايا الحارسة وهذا يسهل غلق الثغور .

كذلك واجهت هذه النظرية بعض الانتقادات :

١- ان ايض المالات متركز في الخلايا الحارسة ولا توجد ادلة عن حركة المالات من والى الخلايا الحارسة وخلال عملية فتح الثغور فان المصدر الكربوني لبناء المالات يأتي من النشا بينما عند غلق الثغور فان كربون المالات يتحول الى نشا .

٢- لم تسجل حركة المالات الى داخل الخلايا الحارسة اثناء فتح الثغور بينما لوحظ حركة المالات الى خارج الخلايا الحارسة اثناء غلق الثغور .

٣- يمكن للثغور ان تكون فعالة بدون مشاركة المالات والتي تمثل المادة المقابلة للبيوتاسيوم فمثلا في البصل يكون ايون الكلورايد هو الايون الموازن للبيوتاسيوم بصورة كاملة.

العوامل المؤثرة في النتح : توجد العديد من العوامل البيئية التي تؤثر في النتح منها :

١- الضوء:

يحتمل 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، لكنها أقل عن تلك التي تحدث أقصى تمثيل ضوئي. ويبدو أن للضوء تأثير على مستوى خلايا النسيج المتوسط

الورقة (الميزوفيل) بواسطة البناء الضوئي. بالإضافة إلى أن للضوء الأزرق تأثير مباشرة على الثغور، إلا أن آلية التأثير غير معروفة على وجه التحديد.

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:

للثغور رد فعل كيميائي على تغيرات تركيز الـCO₂ داخل الجو بين خلوي. وبالعكس فبالنسبة للتغيرات الـCO₂ في الهواء المحيط بالثغور قليلة التأثير وخاصة عندما تكون الثغور مغلقة. فقد لوحظ أن الانخفاض في تركيز CO₂، تحت الثغور على الانفتاح، والتركيز العالي يؤدي إلى إغلاقها.

نسبة الرطوبة:

يمكن إيقاظ وضبط حركة الثغور بواسطة التغيرات في الجهود المائية، داخل خلايا الورقة من جهة والجو المحيط بالثغور من جهة ثانية. فقد لوحظ أن الجو المحيط بالثغور والمشبع بالرطوبة يعمل على غلق الثغور، بينما الجوف الجاف يعمل على فتحها كما أنه في حالة انخفاض طفيف للجهد 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 تغيير يذكر على النبات. وفي حالة استمرار هذه الوضعية فإن نقص الماء في النبات سوف يحدث ذبولاً،

وبهذا فان 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.

الإدماع

الإدماع هو ان يخرج الماء على شكل سائل. الشكل العام لفقد الماء عن طريق بخار الماء، ولكن في بعض الحالات قد تكون عملية الفقد في الصورة السائلة، وقبل البدء في تعريف الإدماع، يجب أن نميز بين ماء الإدماع، وماء الندى (Rosée)، فالأخير يحدث بعد يوم دافئ عندما تكون السماء صافية، وتكون درجة حرارة الأسطح المكشوفة لغالبية الأجسام ومنها الأوراق، أبرد من الهواء المحيط نتيجة للإشعاع، كما يبرد الهواء الملاصق لهذه الأسطح الباردة، مما يترتب عليه تكاثف رطوبة الهواء في صورة ندى. ويختلف الندى عن الإدماع من حيث موضعه وشكله، فهو يتكون على هيئة طبقة رقيقة من الماء، أو يتحد على هيئة قطرات تغطي كامل سطح الورقة.

بينما الإدماع يتجمع ماءه عند أطراف الأوراق فقط، فتعرف الظاهرة عندها بعملية الإدماع أو التدمع أي نضح الماء السائل من الأوراق ويظهر الماء فيها على أطراف وأسطح الأوراق في صورة قطرات لؤلؤية صافية، تشاهد عادة في الصباح الباكر وبارتفاع درجة الحرارة مع طلوع الشمس يتبخر ماء التدمع أو تعيد الورقة امتصاصه.



وفي الغالب يحدث الإدماع، عندما يكون امتصاص الماء بواسطة الدفع الجذري سريعاً نسبياً، مما يزيد من ضغط الجذور ولا تكون الظروف مناسبة لحدوث ارتفاع في معدل النتح.

ويحدث الإدماع في الكثير من النباتات كالتنجليات (Poaceae)، والبادنجانيات (Solanaceae)، ويكون بمعدل كبير في النباتات الاستوائية (Plantes tropicales)؛ فنجد مثلاً أن الورقة الواحدة لنبات أذن الفيل أو القلقاس (Colocasia)، تفقد ما يعادل نصف كوب من الماء بواسطة الإدماع في ليلة واحدة. ويخرج ماء الإدماع في العادة من ثغور متخصصة تعرف بالثغور المائية (Stomates)

(aquifères)، توجد بالقرب من نهايات العروق الرئيسية للورقة، كما هو الحال لدى نبات كاسر الحجر (Saxifraga lingulata)، من فصيلة كاسرات الحجر (Saxifragaceae)؛ وتختلف الثغور المائية عن باقي الثغور في كونها تبقى مفتوحة ليلا ونهارا أثناء عمر الورقة. ويرى بعض علماء الأمراض النباتية بأن ماء الإدماع قد يخلق ظروف ملائمة لإصابة الأوراق بالفطريات والبكتيريا.

ويكون ماء الإدماع ملحوظا في أواخر فصل الربيع وبداية فصل الصيف، خاصة فوق نجيل الحدائق، الذي يظهر في الصباح الباكر على هيئة قطرة كبيرة من الماء في طرف كل نصل ورقي. ويمكن القيام بظاهرة الإدماع مخبريا، وذلك بواسطة تغطية أصيص بناقوس زجاجي فيه بادرات لنبات الذرة المزود بالماء.

