فسلجة النبات Plant Physiology

المصادر

1. فسلجة النبات د. عبد العظيم كاظم

2.Plant Physiology by Solisbury and Ross

3. Introduction to Plant Physiology by Meyer *et al*.

مفردات المنهج

1. تعريف علم فسلجة النبات وأهميته ، الخاية النباتية
2. العلاقات المائية للنبات
3. العلاقات المائية للنبات
4. امتصاص الماء
5. صعود العصارة النباتية
6. فقد الماء من النبات(النتح)
7. البناء الضوئي
8. البناء الضوئي
9. التنفس
10. التغذية النباتية
11. النمو ومنظمات النمو النباتية
12. النمو ومنظمات النمو النباتية
13. الانزيمات
14. فسلجة الازهار

فسلجة النبات Plant Physiology

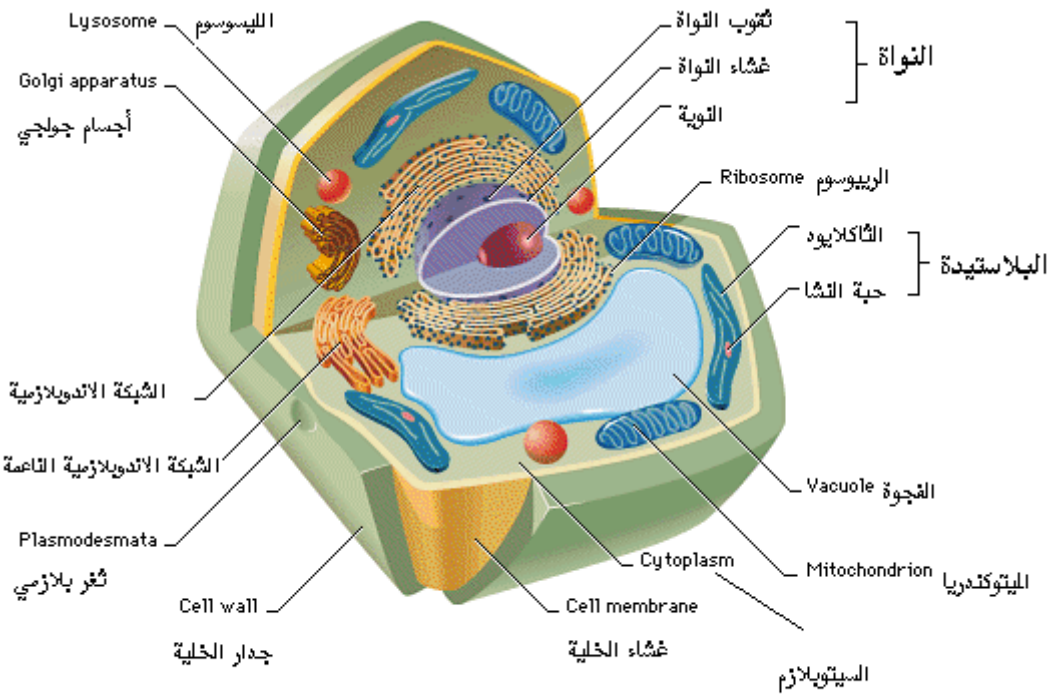
هي أحد فروع علم الحياة (Biology) ويهتم بدراسة كافة العمليات الفسيولوجية التي تحدث خلال حياة النبات وتشمل هذه العمليات تفاعلات كيمياوية مثل التفاعلات التي تحدث في عملية البناء الضوئي والتنفس وعمليات فيزياوية مثل امتصاص الماء ودخول ثاني اوكسيد الكربون.

ان الهدف من دراسة هذا العلم هو اكتشاف العمليات التي تجري اثناء حياة النبات واهميتها ودراسة الظروف المؤثرة فيها.وعلم فسلجة النبات لايكتفي بدراسة ظواهر حياة النبات دراسة وصفية بل يتعدى ذلك الى معرفة الاسباب وايجاد التحليلات لها.وعند معرفة طبيعة العمليات الفسلجية واهميتها وتاثيرها على النبات يصبح من السهولة التحكم بها وبالتالي التحكم بنمو النبات .

ان اشباع الرغبة العلمية في معرفة السبب والنتيجة للعمليات الفسلجية يعد هدف هام من اهداف دراسة فسلجة النبات.ولهذا فان اي باحث في الانتاج النباتي لايستطيع الاستغناء عن دراسة هذا العلم الذي يفيد في توجيه الأبحاث توجيها سليما.

الخلية النباتية Plant cell

يتكون جسم الكائن الحي من وحدة أو اكثر من الوحدات الدقيقة التي تعرف بالخلايا Cells ويسمى الكائن الحي وحيد الخلية اذا تكون من خلية واحدة وعديد الخلايا اذا تكون من اكثر من خلية واحدة.واول من اكتشف التركيب الخلوي للنبات هو الانكليزي روبرت هوك عام 1665.ولم يتطور التركيب التفصيلي للخلية الا بعد اختراع المجهر.ويمكن تعريف الخلية بانها وحدة البناء والوظيفة لجسم الكائن الحي. وهناك نوعان من الخلايا هما **الخلايا حقيقية النواة Eukaryotic cells** والتي تمتاز بوجود النواة كما تمتاز بوجود الميتاكوندريا والبلاستيدات الخضراء والنوع الثاني يعرف **بالخلايا بدائية النواة Prokaryotic cells** والتي تكون أصغر من الأولى ولا تحتوي على نواة حقيقية.



شكل (1) تركيب الخلية النباتية

تتركب الخلية النباتية من جزئين رئيسيين هما

أولا- الجدار الخلوي The cell wall

ويؤدي الوظائف التالية :-

وظائف الجدار الخلوى:

1- تمثل الجدر الخلوية حدودا بين الخلايا ذات الوظائف المختلفة.

2- يحيط بالبروتوبلاست ويحميه ويحدد شكل الخلية واتساعها.

3- يتكون من الجدر الخلوية معا هيكلا مترابطا يحفظ الشكل العام للنبات وأعضائه.

4- قد تصل بعض الجدر الخلوية إلى أعلى درجات التخصص بحيث يصبح عليها وحدها القيام بوظيفة الخلية مثل الأوعية والقصيبات وهى الوحدات الناقلة للماء والألياف وهى التى تقوم بتدعيم جسم النبات وكلاهما عبارة عن جدر خلوية فقط.

5- تقوم جدر بعض الخلايا بدور هام فى عمليات مثل امتصاص الماء النتح وانتفاخ الثغور.

ويتركب الجدار الخلوي من :

1. الصفيحة الوسطى Middle lamella

تقع بين الجدر الابتدائية للخلايا المتجاورة وتمثل المادة البينية التى تربط معا الجدارين الابتدائيين المتجاورين ولهذا فإن إذابتها بالمواد الكيميائية يؤدى إلى تفكك خلايا الأنسجة. تتركب الصفيحة الوسطى بصفة أساسية من بكتات الكالسيوم والمغنسيوم وتظهر فى حالة غير متبلورة تحت المجهر الإلكترونى وواضحة نظراً لاختلاف موادها عن بقية أجزاء الجدار ولكن عندما تتلكنن فإنه يصعب التمييز بينها وبين أجزاء الجدار الأخرى وخاصة عندما تتلجنن هذه الأجزاء، وتسمى عندئذ بالصفيحة المركبة Compound middle lamella وتشمل الصفيحة الوسطى والجدار الابتدائي وجزء من الجدار الثانوي، وتوجد الصفائح المركبة في القصيبات والألياف

2. الجدار الابتدائى Primary wall

عبارة عن طبقة واحدة تتركب أساسا من السليلوز وتختلط به مقادير متفاوتة من أشباه السليولوز والمواد البكتينية ويختلف سمكه من خلية إلى أخرى حسب ترسب مادة السليولوز .الكثير من أنواع الخلايا يكون لها جدار ابتدائى فقط. و يوصف بأنه مرن. وترجع المرونة التى يتميز بها الجدار الابتدائى إلى احتوائه على كمية كبيرة من السليلوز غير المتبلور وإلى المسامات الشعرية الدقيقة التى تكون ممتلئة بالمركبات البكتينية المحبة للماء. وهو الجدار الأساسي والأول الذي يتكون أثناء نمو الخلية . إذا أخذ بعين الاعتبار أن الصفيحة الوسطى عبارة عن مواد بكتية وليست جداراً متميزاً .

3. الجدار الثانوي Secondary wall

يلى الجدار الابتدائى فى ترتيب الظهور حيث يقوم البروتوبلاست بترسيبه على السطح الداخلى، للجدار الابتدائى فى بعض أنواع الخلايا، عندما تصل الخلية لحجمها الكامل ويتحدد شكلها. الخلايا التى يتكون لها جدار ثانوى تكون وظيفتها أساسا التقوية والتدعيم ومن ثم فإنها تكون عادة خالية من البروتوبلاست. ورغم هذا فإن بعض الخلايا مثل بارنكيما الخشب هي خلايا حية رغم احتوائها على جدار ثانوي .

النقر Pits

أثناء تكون الجدر الخلوية لايتم ترسيب مواد الجدار بانتظام بل تترك مساحات محدودة منخفضة عن باقي سطح الجدار . بها عدة ثقوب دقيقة تمر خلالها في الخلايا الحية شرائط سايتوبلازمية تعرف بالروابط البلازمية Plasmodesmata تصل سايتوبلازم الخلايا المتجاورة . ومن أنواع النقر

1. حقول النقر الابتدائية Primary pit fields

تظهر حقول النقر الابتدائية أثناء تكون الجدار الابتدائي فوق الصفيحة الوسطى اذ ان تكون الجدار لايتم بنفس السمك في جميع أجزائه بل تترك مساحات رقيقة تعرف بحقول النقر الابتدائية ويطلق عليها البعض مبادئ النقر Primordial pits وتمر الروابط البلازمية من خلال حقول النقر الابتدائي وتوجد حقول النقر الابتدائية في الخلايا ذات الجدر الابتدائية مثل الخلايا البارنكيمية والانابيب المنخلية والخلايا المرافقة .

2 . النقر البسيطة Simple pits

أثناء تكون الجدار الثانوي فوق الجدار الابتدائي تترك مساحات صغيرة متناثرة بدون تغلظ تسمى النقر البسيطة التي تتكون عادتا في منطقة حقول النقر الابتدائية فتتكون نقرة أو أكثر فوق الحقل الواحدوغالبا ما يقابل كل نقرة في خلية نقلرة اخرى في الخلية المجاورة وتسمى النقرتان المتجاورتان باسم زوج النقر Pit pair ويعرف الجدار الفاصل بين كل نقرتين متجاورتين بغشاء النقرة pit membrane وقد تكون نقرة مقابل مسافة بينية وتسمى النقرة في هذه الحالة بالنقرة العمياء blind pit . وتوجد النقر البسيطة في خلايا البشرة المتغلظة والخلايا البارنكيمية المتغلظة والخلايا السكلرنكيمية وبعض الاوعية والقصيبات .

3 . النقر المضفوفة Bordered pits

تتميز النقر المضفوفة بحدوث تغلظ جزئي في منطقة النقرة وبأن الجدار الثانوي المتكون ينفصل عن الجدار الابتدائي ناميا فوق النقرة بشكل قبة تحيط بغشاء النقرة تاركا فتحة مركزية صغيرة تختلف في شكلها وتعرف بفتحة النقر Pit aperture ويعرف الفراغ الموجود بين غشاء النقرة والجدار الثانوي بتجويف النقرة Pit cavity وفي المخروطيات يحصل علاوة على ماسبق تغلظ غير منفذ للماء في شكل عدسة محدبة الوجهين في منتصف غشاء النقرة يسمى بالسرة torus وقطر السرة اكبر قليلا من قطر فتحة النقرة .

ثانيا- البروتوبلاست protoplast

أما البروتوبلاست فهو كتلة من مادة حية تعرف بالبروتوبلازم وتركيبها الكيميائي معقد غاية التعقيد ويمكن اعتبارها خليطا من البروتينات والمواد الدهنية والماء والاملاح وتدخل في تركيبها عناصر الكربون والهيدروجين والاوكسجين والنيتروجين والكبريت والفسفور.والبروتوبلازم مادة غروية معقدة لها قوام مثل زلال البيض وتحتوي عدد كبير من الحبيبات التي يمكن اعتبارها مواد غذائية او من نتائج التحول

الغذائي كما يظم البروتوبلاست مكونات غير بروتوبلازمية تتمثل بالفجوات العصارية ومواد غير حية مثل النشأ والدهون والبروتين والبلورات

المحتويات الحية للبروتوبلازم

1-الاغشية البلازمية Plasma membranes

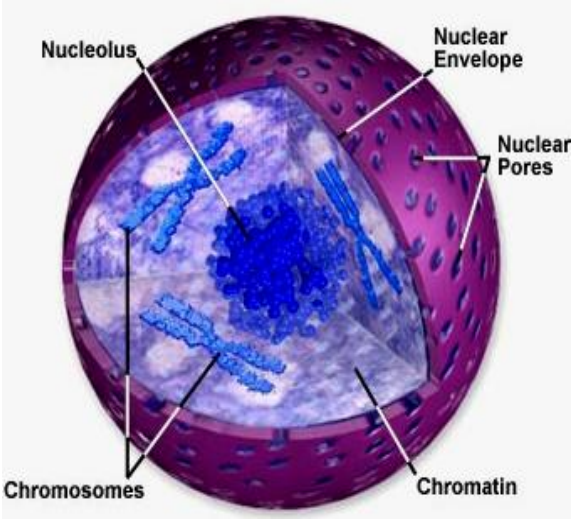
يغلف السايتوبلازم من الخرج بغشاء بلازمي خارجي يعرف ب Ectoplast كما يغلف من الداخل بغشاء بلازمي داخلي يعرف ب Tonoplast ويعتقد ان الغشاء البلازمي يتكون من بروتينات واشباه الدهون كما توجد اغشية بلازمية تغلف غالبية عضيات الخلية وتتميز جميعها بالنفاذية الانتخابية بمعنى انها تتميز بقدرتها على نفاذ ايونات المواد الذائبة بنسب متفاوته.

2.السايتوبلازم Cytoplasm

يملا السايتوبلازم جميع الفراغ الداخلي للخلايا المولدة ولكنه في الخلايا البالغة يكون طبقة رقيقة تبطن الجدار الخلوي من الداخل وتغلف فجوة مركزية ممتلئة بالعصير الخلوي.من خصائص السايتوبلازم الحي انه يتحرك في دوران مستمر داخل الخلية من نسبة كبيرة من الماء ويتركب ايضا من مواد كربوهيدراتية وبروتينيثة واحماض أمينية ودهون ومواد معدنية ويتاثر بالمواد الكيميائية السامة اذ تقتله املاح النحاس والزرنيخ واهم العناصر المعدنية الذائبة هي الكالسيوم والحديد والمغنسيوم والبوتاسيوم والزنك.

3-النواة Nucleus

تحتوي الخلية الحية على جسم كروي أو عديسي الشكل يعرف بالنواة وتكون منغمسة في السايتوبلازم وتتركب من الغشاء النووي والعصير النووي والكروموسومات كما تحتوي على نوية واحدة أو أكثر وتعد الكروموسومات بمثابة المكون الرئيسي للنواة كما تعد النواة بمثابة مستودع تحفظ فيه الكروموسومات وتأخذ شكل شبكة من خيوط دقيقة وتتركب كيميائيا من



شكل (2) تركيب النواة

بروتينات وبروتينات نووية والتي تتكون من الحامض النووي الذي يعرف ب DNA كما يوجد قليل من حامض نووي آخر يعرف ب RNA وتحمل الكروموسومات الجينات التي تتحكم في سائر ما تقوم به الخلية من عمليات حيوية وتظهر الكروموسومات بوضوح أثناء الانقسام الخلوي ويكون عدد الكروموسومات ثابتا ومميزا لكل نوع من أنواع النبات .

أما النوية فتكون عادتا كروية الشكل وتتكون بشكل كبير من البروتينات النووية الحاوية على الحامض النووي RNA وترجع أهميتها الى انها تقوم بدور هام في التحكم بتمثيل المواد البروتينية في الخلية وتحوي بعض أنواع الخلايا على أعداد مختلفة من النويات .

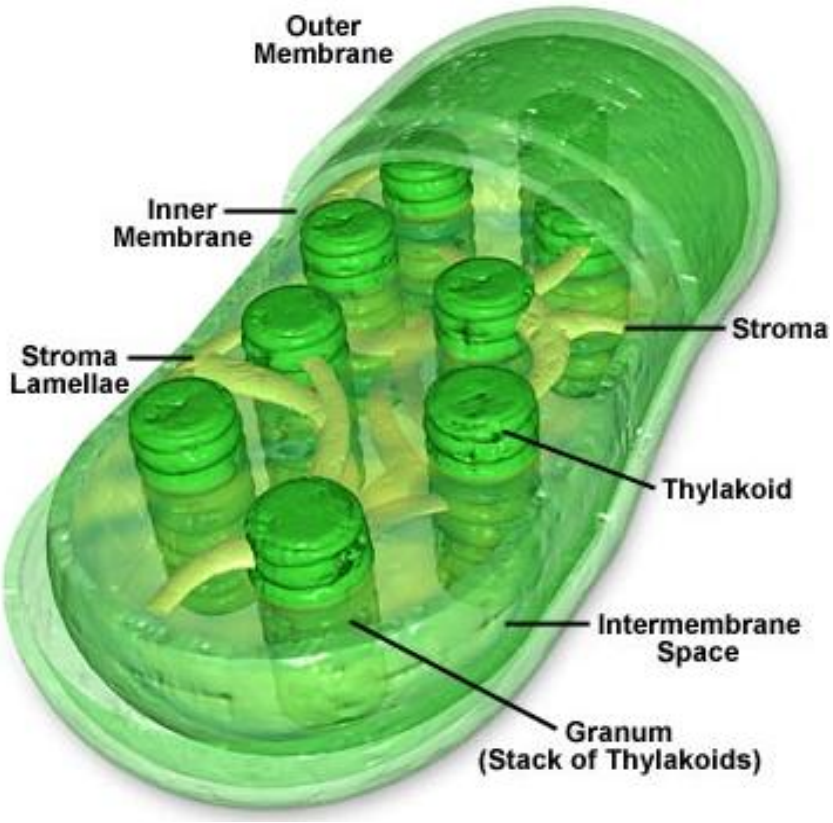
يفصل النواة عن السايتوبلازم المحيط بها غشاء نووي يتركب من بروتينات ومواد دهنية ويتحكم هذا الغشاء في مرور المواد بين السايتوبلازم والنواة .وتعتبر النواة بسبب وجود الجينات المركز الذي توجه منه العمليات الحيوية التي يتم تنفيذها في السايتوبلازم وتوجد صلة وثيقة بين النواة والسايتوبلازم اذ لايمكن لآحدهما ان يعيش بدون الآخر وتعد النواة أهم أجزاء الخلية لآنها تتحكم في الوظائف الحيوية للخلية لذلك فهي موجودة دائما في خلايا القمم النامية ذات النشاط المستمر .

4- البلاستيدات Plastids

هي أجسام بروتوبلازمية توجد منغمسة في السايتوبلازم وهي في النباتات الراقية صغيرة الحجم منتظمة الشكل تؤدي وظائف هامة وهناك ثلاثة أنواع من البلاستيدات

أ- البلاستيدات الخضر Chloroplast

توجد عادة في الخلايا الحية المعرضة للضوء بالأوراق والسيقان وهي مستودع الصبغة الخضراء المعروفة بالكلوروفيل والتي يعتمد عليها النبات للقيام بوظيفة البناء الضوئي . والبلاستيدات الخضر تكون عادة أكبر حجما وأكثر تعقيدا في الشكل في النباتات الأولية كالطحالب منها في النباتات الراقية ففي طحلب الكلاميدوموناس وهو طحلب أخضر وحيد الخلية توجد بلاستيدة واحدة كبيرة تشغل معظم فراغ الخلية وتتخذ شكل كأس مجوف تستقر النواة في تجويفه .أما في النباتات الراقية فالبلاستيدات صغيرة الحجم



شكل (3) تركيب البلاستيدات الخضراء

كثيرة العدد بسيطة الشكل تشبه عدسات محدبة الوجهين .تتمثل الصبغات التي تحتويها البلاستيدات الخضر بصبغات الكلوروفيل وهي على أنواع أهمها (كلوروفيل أ وكلوروفيل ب) وكذلك صبغة الزانثوفيل وصبغة الكاروتين . وقد أمكن باستخدام المجهر الألكتروني الكشف عن التراكيب الدقيقة للبلاستيدات الخضر فوجد ان كل بلاستيدة في النباتات الوعائية تتركب من غشاء مزدوج يحوي بداخله حبيبات دقيقة تعرف بالحشوة Stroma ويتركز الكلوروفيل داخل جسيمات تعرف بالكرانا Grana وهي اسطوانية الشكل ومرتبة في طبقات تعرف بالصفائح أو الأقراص وكل قرص منها مزدوج ومغلق من الطرفين .

2- البلاستيدات الملونة Chromoplast

وهي أجسام ذات أشكال مختلفة وتختلف ألوانه بين الأصفر والأحمر والبرتقالي ويعزى اللون أساسا الى صبغتي الزانثوفيل والكاروتين وتوجد البلاستيدات الملونة في جذور بعض النباتات كالجزر وبتلات بعض الأزهار .

3- البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts

توجد في الأجزاء النباتية البعيدة عن الضوء كالأعضاء الأرضية ونخاع الساق فهي موجودة مثلا في الدرنات اذ تقوم بتحويل المواد السكرية الذائبة الى حبيبات نشوية غير قابلة للذوبان وصالحة للاختزان.ويبدأ تكون حبيبات النشأ الاختزاني داخل البلاستيدات عديمة اللون ثم تكبر هذه الحبيبات بالتدريج حتى تمتلئ بها البلاستيدات تماما ويتسع جدار البلاستيدة ليتلائم مع الزيادة في الحبيبات . البلاستيدات عديمة اللون صغيرة الحجم توجد منه بلاستيدات نشوية وبلاستيدات زيتية.

5- الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum

تتركب الشبكة الاندوبلازمية من أغشية مزدوجة يوجد بينها فراغ مما يجعلها تبدو شفافة تحت المجهر الالكتروني . وتكون هذه الاغشية كثيرة التشعب وتصل هذه الشبكة مابين الغشاء النووي وغيره من الاغشية المحيطة بالسايتوبلازم وهي تقوم بدور هام في بناء المواد البروتينية كما يساعد التجويف الذي يتخلل أغشيتها في نقل البروتينات المجهزة بين أجزاء الخلية خاصة من السايتوبلازم الى النواة والأغشية البلازمية وقد تكون الشبكة الاندوبلازمية ذات سطح أملس أو قد تحتوي على حبيبات دقيقة تعرف بالرايبوسومات .

6- الرايبوسومات Ribosomes

الرايبوسومات هي حبيبات دقيقة للغاية لايمكن رؤيتها الا بالمجهر الألكتروني وتوجد متصلة بالشبكة الاندوبلازمية ومبعثرة في السايتوبلازم وداخل بعض أعضاء الخلية لاسيما البلاستيدات والميتاكوندريا ولكنها لاتوجد في النواة . وتعد الرايبوسومات المراكز الرئيسية لبناء البروتينات بالخلية.

7- الميتاكوندريا Mitochondria

توجد في جميع الخلايا النباتية والحيوانية بوجه عام وتكون على هيئة عصا قصيرة أو خيوط دقيقة يتراوح طولها مابين 0.5 – 2 ميكرون وهي محاطة بغشاء بلازمي مزدوج ويكون الغشاء الخارجي أملس أما الداخلي يحوي على زوائد تعمل على زيادة مساحة السطح الداخلي للميتاكوندريا وتعد الميتاكوندريا من المراكز الهامة التي تتم فيها عملية التنفس .

8- أجسام كولجي Golgi apparatus

سميت نسبة الى مكتشفها وكان سابقا يعتقد وجودها في الخلية الحيوانية فقط الا انه باستخدام المجهر الالكتروني تمكن من مشاهدتها في الخلية النباتية ويعتقد ان وظيفتها ترتبط بافرازات الخلية اذ ترتبط بتكوين الهرمونات والانزيمات في الخلية الحيوانية وتقوم بتكوين جزيئات المواد المعقدة في بعض الخلايا النباتية مثل تكوين بكتات الكالسيوم التي تفرزها خلايا قلنسوة الجذر .

الأهمية الفسيولوجية للماء : -

1. يشكل الماء نسبة 90 – 95 % من وزن النباتات العشبية و 60 – 70 % من وزن النباتات الخشبية وحوالي 15 % من وزن البذور.
2. الماء ضروري للتفاعلات الكيميائية فكثير من المواد لاتدخل التفاعل إلا بعد ذوبانها بالماء
3. الماء ضروري لنقل المواد بين خلية و أخرى أو داخل الخلية .
4. الماء ضروري جدا لإنبات البذور بعد حصول التشرب وتنشيط الـ amylase الذي يحلل النشا إلى سكر لتغذية الجنين ليحصل الإنبات
5. الماء مهم لعمليات التحلل المائي
6. الماء مهم لعملية التمثيل الضوئي فالاكترون الذي تبدأ به عملية الفسفرة الضوئية مصدره الماء
7. الماء مهم لعملية انتفاخ الخلايا مما يعطي النبات شكلا منتصبا و عندما تفقد الخلية مائها فإنها تفقد انتفاخها مما يؤدي إلى انكماش الخلايا و هو ما يلاحظ عند ذبول النبات
8. الماء مهم جدا لامتصاص العناصر الغذائية من التربة ولا يستطيع النبات اخذ العناصر إلا بعد ذوبانها بالماء
9. يؤدي الماء دورا في تبريد النبات من خلال عملية النتح و فقدان الماء على شكل بخار من أسطح الأوراق

امتصاص الماء Water absorption

خلال دورة حياة النبات تمتص كمية كبيرة من الماء باستمرار من التربة وتنتقل خلال النبات الان معظم الماء الممتص يفقد من النبات خلال عملية النتح وهناك كمية محدودة من الماء تستخدم في العمليات الفسلجية تبقى داخل النبات.

يقصد بعملية الامتصاص دخول الماء وما به من ذائبات من محلول التربة الى النبات. في النباتات الواطئة مثل الطحالب لاتوجد أعضاء متخصصة لامتصاص الماء بل ان عملية الامتصاص تحدث من خلال بعض أو كل الأجزاء النباتية التي هي على اتصال بالماء. وفي الحزازيات توجد بعض التراكيب التي تعرف باسم أشباه الجذور تقوم بامتصاص الماء والأملاح.أما في النباتات الراقية توجد أعضاء متخصصة تسمى الجذور تقوم بامتصاص الماء من التربة.ولبعض النباتات الراقية جذور هوائية ولكن مساهمتها في امتصاص الماء قليلة مقارنة بالجذور النامية في التربة. أما النباتات المائية فيحدث فيها الامتصاص خلال الساق والأوراق والجذور وتوجد في النباتات المتسلقة جذور عرضية على السيقان تعمل على امتصاص الماء بالاضافة الى التثبيت.

يمتص الماء من خلايا الجذور في منطقة معينة تعرف بمنطقة الامتصاص التي تمتاز بأنها رقيقة الجدران خالية من المواد الشمعية والفلينية التي تعيق نفاذ الماء. تمتد جدران خلايا الجذر في التربة مكونة الشعيرات اللجذرية التي تزيد من سطح الامتصاص . ان منطقة الشعيرات الجذرية هي المنطقة الجذرية التي يحدث خلالها امتصاص الماء وتمتاز بأنها من أكثر مناطق الجذر نفاذية.

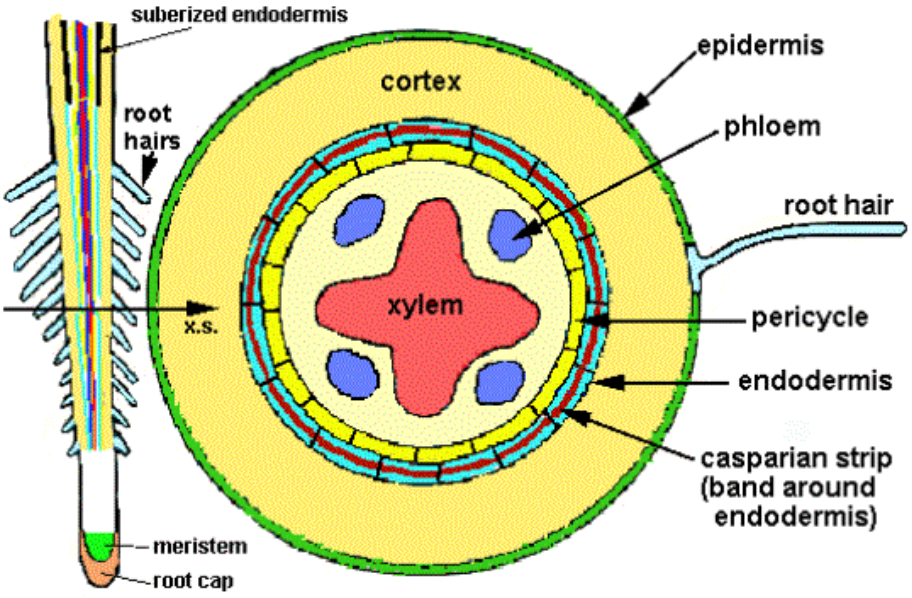
لو عملنا مقطعا عرضيا في منطقة الامتصاص في جذر حديث لنرى الأنسجة المختلفة التي يمر بها الماء عند انتقاله من محلول التربة فسوف نجد أولا طبقة البشرة التي هي عبارة عن اسطوانة سمكها

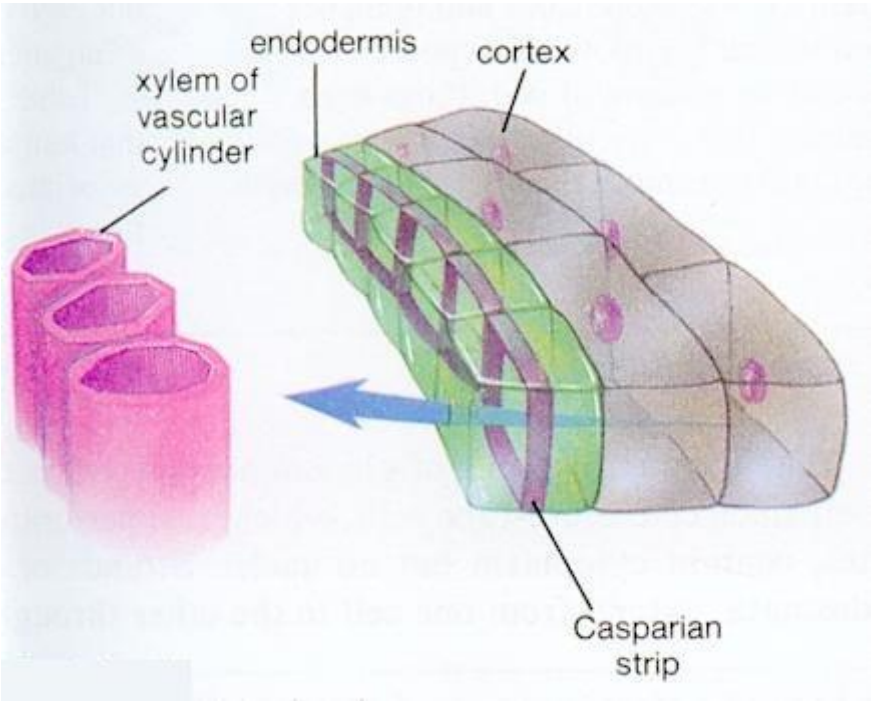
خلية واحدة تغلف الجذر وتخرج منها معظم خلايا الشعيرات الجذرية (النباتات المائية أو النباتات التي تزرع في محاليل مائية لاتتكون على جذورها شعيرات جذرية). الشعيرات الجذرية هي عبارة عن تراكيب رقيقة وحيدة الخلية توجد بها فجوة عصارية كبيرة مملؤة بمحلول له جهد مائي معينوطولها يتراوح من 1-8 مليمتر وتبقى حية لبضعة أيام ثم تموت وتتكون بدلها شعيرات جذرية بأستمرار نتيجة لنمو الجذر. جدران الشعيرات الجذرية تكون مغطاة بطبقة مخاطية تزيد من درجة التصاقها بحبيبات التربة.

تلي طبقة البشرة طبقة القشرة التي هي خالية من اي مادة تمنع نفاذ الماء وتتكون من عدة صفوف من الخلايا واخر طبقات القشرة تسمى الاندوديرم أو القشرة الداخلية Endodermis وهي مكونة من صف واجد من الخلايا المتلاصقة تماما وتكون طبقة تفصل بين القشرة ولاسطوانة الوعائية. خلايا طبقة الاندوديرم مغلفة من الاعلى والاسفل والجوانب ولهذا يدخل الماء عن طريق الجدران الداخلية والخارجية الخالية من شريط كاسبرCasparian strip (والذي هو شريط مكون من مواد كايتينية وفلينية تمنع نفاذ الماء) من القشرة الداخلية الى ان يصل الى الخشب.

عناصر الخشب Xylem elements تتضمن خلايا حية واخرى ميتة وتعد الأوعية والقصيبات أكثر عناصر الخشب فعالية في نقل الماء وتتميز خلاياهما باستطالتها وسمك جدرانها اذ تترسب على الجدار الثانوي مادة اللكنين ونظرا لان كل من القصيبات والأوعية تعد خلايا ميتة لذلك سوف لايلعب البروتوبلاست الموجود في الخلايا دورا يذكر في عملية امتصاص الماء.

الأوعية يكون موقعها داخل النبات على شكل انبوب وعائي ، حيث تكون متصلة عن طريق نهاياتها المثقبة أما القصيبات فأنها تتراكم بعضها على بعض وحيث ان نهاياتها مسدودة فان الماء سوف ينتقل خلال النقر Pits فقط من قصبة الى أخرى وبذلك فان حركة الماء في القصيبات تكون بطيئة لانها غير مباشرة. من عناصر الخشب الأخرى هي بارنكيما الخشب التي هي عبارة عن خلايا حية وظيفتها خزن الغذاء ، اذ تقوم بخزن النشأ في نهاية موسم النمو ثم يستعمل أثناء نشاط الكامبيوم خلال موسم النمو القادم كما يعتقد بأن خلايا بارنكيما الخشب لها دور فعال في نقل الماء. ومن عناصر الخشب الألياف ووظيفتها الاسناد وقد تلعب دورا في مرور الماء عن طريق الثقوب الموجودة فيها.





The **Casparian strips** banding each endodermal cell

ميكانيكية امتصاص الماء

1.الامتصاص السلبي Passive absorption

عندما يتبخر الماء من خلايا النسيج الوسطي للورقة بفعل عملية النتح تقل قيمة جهدها المائي (يصبح أكثر بالسالب) هذه الخلايا تسحب الماء مما جاورها من خلايا وهكذا الى ان يصل السحب الى الأوعية الخشبية والورقة . وعلى ذلك يتعرض الماء في هذه الأوعية الى قوة سحب من الأعلى ولما كان الماء في الأوعية يكون عمود متصل من الورقة الى الجذر فان قوة السحب هذه سوف تنتقل الى أسفل خلال عمود الماء كله ، وعندما تصل قوة السحب الى الماء في القنوات الخشبية للجذور يبدأ الماء بالانتقال الى هذه القنوات من الخلايا الحية (بارنكيما الخشب الملاصقة لها) فتقل قيمة جهدها المائي وبذلك ينتقل اليها الماء من الخلايا المجاورة حتى يصل السحب الى منطقة الشعيرات الجذرية التي بدورها تسحب الماء من محلول التربة. سميت هذه الآلية بالامتصاص السلبي لان امتصاص الماء يحدث نتيجة لفعاليات في الساق (عملية النتح) والجذر يقوم فقط بدور السطح الماص ومما يؤيد ذلك ان الساق يستطيع ان يمتص الماء خلال جذور ميته ولربما تكون عملية الامتصاص أسرع.معظم الماء الممتص من قبل النبات يحدث عن طريق هذه الآلية .

2. الامتصاص الايجابي (النشط) Active absorption

يسمى أحيانا الامتصاص المباشر وفي هذا النوع من الامتصاص يحدث انتقال الماء بوسيلة فيزياوية هي الازموزية ، اذ يعتقد بأن الماء يتحرك من التربة الى داخل الجذر نتيجة لوجود فرق في الجهد المائي وهذا يعني ان الماء يتحرك خلال الجذر وقشرته خلال قنوات الخشب بسبب زيادة تركيز الأملاح من خلايا الجذر الخارجية الى خلايا الجذر الداخلية.

ان امتصاص الأملاح وتجمعها بواسطة الجذر يحتاج الى طاقة تنفسية ولقد اقترح الباحثان Broyer and Crafts نظرية مفادها ان هناك نقص في كمية الأوكسجين وزيادة في كمية ثاني أوكسيد الكاربون كلما تقدمنا من القشرة الداخلية الى الاسطوانة الوعائية وبذلك فان الفعاليات الحيوية سوف تكون منخفضة في الخلايا الداخلية في منطقة الأوعية الخشبية . وحيث ان الطاقة ضرورية لغرض تراكم الأملاح ضد منحدرات تركيزها ، فان خلايا الاسطوانة الوعائية تفضل فقد الأملاح على عكس خلايا القشرة. ونظرا لأن النتشار الى الخلف غير ممكن بسبب وجود شريط كاسبر لذلك سوف يحدث فقد للأملاح باتجاه واحد الى فراغ الأوعية الخشبية وعلى ذلك فان الماء سوف يتبع هذا الطريق في اتجاه واحد منتشرا من المنطقة ذات الجهد الازموزي المرتفع الى المنطقة ذات الجهد الازموزي المنخفض (عصارة القنوات الخشبية في الاسطوانة الوعائية).

أحيانا يقال بأن هناك امتصاص ايجابي أو نشط أو فعال للماء لايعتمد على آلية ازموزية بل يعود بطريقة ما الى عملية التنفس ، حيث وجد ان عملية امتصاص الماء تتأثر بتوفر الأوكسجين وكذلك درجة الحرارة المنخفضة والسموم التنفسية ولكن من الظاهر ان درجة الحرارة الواطئة وقلة الاوكسجين والسموم التنفسية تزيد من مقاومة السايتوبلازم لحركة الماء ولذلك فان الملاحظات التي أظهرت تأثر عملية الامتصاص بهذه المعاملات لاتثبت بأن التنفس له دور مباشر في العملية ويعتقد بان الامتصاص الايجابي أو النشط أو الفعال للماء بوسائل غير ازموزية لايلعب دورا كبيرا في عملية امتصاص الماء.

العوامل التي تؤثر في امتصاص الجذر للماء

1. درجة الحرارة:-

ان درجة حرارة التربة لها تأثير كبير على معدل امتصاص الماء. اذ لوحظ منذ مدة طويلة ان النبات يمتص كمية قليلة من الماء عند درجات حرارة التربة المنخفضة وفسرت هذه

الظاهرة فيما بعد على ان تأثير درجة الحرارة يعود الى تأثيرها على لزوجة الماء حيث تزداد اللزوجة.كما ان درجة الحر ارة المنخفضة تقلل من نفاذية البروتوبلازم بدرجة كبيرة اضافة الى ذلك فان درجة الحرارةتؤثر على نمو الجذر ولذلك فان التأثير المتداخل لهذه العوامل يسبب نقص في امتصاص الماء عند درجات الحرارة المنخفضة.كما ان تأثير درجة الحرارة في امتصاص الماء يفسر لنا أحد أسباب تساقط الأوراق في النباتات متساقطة الأوراق (عدم تكافؤ الامتصاص مع النتح يلجأ النبات الى اسقاط الأوراق).

2. تركيز محلول التربة:-

تقل قدرة المجموع الجذري على امتصاص الماء كلما زاد تركيز محلول التربة الا ان النباتات تستطيع ان تتكيف ضمن حدود معينة الى زيادة تركيز محلول التربة وذلك عن طريق زيادة التركيز الازموزي لعصير الفجوه.

3. تهوية التربة:-

بصورة عامة عملية امتصاص الماء بوسطة الجذور من قبل معظم النباتات تحدث بصورة سريعةفي الترب جيدة التهوية بالمقارنة مع الترب الرديئة التهوية.ففي مثل هذه الترب يقل تركيز الاوكسجين مما يؤدي الى الى التقليل من سرعة تنفس الجذوروهذا بدوره يؤثر على نمو الجذور والفعاليات المختلفة فيها. وعلى الرغم من ان الكثير من النباتات تستطيع ان تعيش لفترة قصيرة في ترب مشبعة بالماء الا ان هناك اختلافات بين النباتات من حيث تحملها للنقص في تهوية التربة وهناك بعض النباتات مثل الرز تمثل لنا حالة متطرفة ،اذ انها تعيش بالماء بصورة طبيعية. أما النباتات المائية فهي تعيش بصورة طبيعية في ترب مشبعة بالماء وتمتص الماء بصورة منتظمة من هذه الترب، اذ تمتاز بأن لها مسافات بينية متطورة التي تكون مستمرة من الاوراق خلال الساق والى الجذر. وقد أظهرت الدراسات ان الأوكسجين ينتقل الى الجذور عن طريق هذه المسافات البينية.

صعود العصارة النباتية :-

هنالك عدة نظريات طرحت لتفسير صعود الماء أو العصارة في النبات

1. النظرية الحيوية:- Vital theory

اعتقد الباحثون الأوائل ان صعود الماء يقع تحت تأثير الأنشطة الحيوية Vital activities في الساق.هذا الاعتقاد مبني على أساس وجود خلايا حية في الخشب وأهمها بارنكيما الخشب . الا ان التجارب التي اجراها الباحثون ادت الى استبعاد النظرية الحيوية لانتقال الماء، اذ وجد على سبيل المثال ان السيقان التي قتلت خلاياها بواسطة امتصاص السموم ما زالت قادرة على نقل الماء.

2. نظرية الضغط الجذري Root pressure theory

ينشأ عن استمرار وصول الماء الممتص الى أوعية الخشب ضغط بالعصير الذي يندفع خلال الأوعية بقوة يعبر عنها باسم الضغط الجذري وتكون مشاهدته بوضوح اذا فصل المجموع الخضري للنبات قرب سطح التربةالتي ينمو فيها اذ سرعان ما يتجمع العصير وينساب من مقطع الساق وتعرف هذه الظاهرة باسم الادماء Breeding .يقدر الضغط الجذري بتوصيل الساق المقطوعة بانبوبة مانومترية وتختلف قيمته باختلاف انواع النبات الا انها من النادر ان تتجاوز 2 بار وتقل عن ذلك كثيرا في انواع من النباتات كما انها تختلف في النبات الواحد باختلاف فصول السنة، حيث تبلغ اعلى قيمة لها مع بداية فصل الربيع قبل اكتمال تكوين الاوراقثم تتناقص قيمته تدريجيا عندما تزداد عملية النتح.

وبدون شك فان الضغط الجذري قد يكون في بعض انواع النبات وتحت ظروف معينة من العوامل التي تساعد على صعود العصارة في النبات الا ان هناك اسباب عدية تحول دون اعتباره الالية الاساسية لصعود الماء وهذه الاسباب من بينها

أ- هناك مجموعة من النباتات من بينها المخروطيات لم تشاهد فيها ظاهرة الضغط الجذري على الاطلاق

ب- قلما يكون مقدار الضغط الجذري كافيا لصعود الماء الى قمة النباتات، فالضغط الجوي الواحد يكفي لرفع عمود الماء نحو 10 أمتار الى اعلى اذا لم تكن هنالك مقاومة.

ظاهرة الإدماع -: (Gutation) خروج الماء على شكل قطرات من الأوراق خلال العديسات الموجودة على حواف الأوراق نتيجة الضغط الجذري الذي يزيد على المقاومة التي يلاقيها الماء في حركته داخل النبات وقد يكون هناك ضغط جذري دون حصول إدماع مثل سيقان العنب في بداية الربيع عند قطع ساق العنب بمقص التقليم نلاحظ انسياب ماء من منطقة القطع هذا يعني إن الماء واقع تحت تأثير ضغط الجذور (ضغط موجب) يزيد عن الضغط الجوي.

3. نظرية التشرب والخاصية الشعرية:-

من المعلوم ان الماء يرتفع في الجدران السميكة المحتوية على اللكنين للاوعية الخشبية بخاصية التشرب.غير ان كمية الماء التي ترتفع بهذه القوة ضئيلة جدا ولا تكفي حاجة النبات للماء.وقد ثبت ايضا ان الماء الصاعد يتحرك اساسا في تجاويف الاوعية الخشبية وليس على جدرانها.كذلك قد تساعد الخاصية الشعرية على رفع العصارة في النبات الا ان اتساع الاوعية الخشبية لا يساعد على رفع العصارة الى ارتفاع كبير.

4. نظرية **التماسك والشد Cohesion-Tension Theory**

تفسر هذه النظرية الطريقة التي ترتفع بها العصارة في النبات مهما بلغ ارتفاعه وذلك عندما تكون القوة التي تعمل على صعود العصارة ناشئة من الورقة وملخص هذه النظرية كما وضعها الباحثان Dixon and Jolly انه نظرا لقوة التماسك بين جزيأت الماء فان أعمدة العصارة التي تملأ تجاويف الأوعية الخشبية ترتفع كوحدة متماسكة الى قمة النبات بقوة سحب عظيمة ناتجة عن النتح. اضافة الى قوة التماسك تعمل قوة أخرى هي قوة التلاصق بين جزيئات الماء وجدران الاوعية الخشبية على ابقاء عمود الماء معلقا.

وكما ذكرنا سابقا بأنه عند فقد خلايا النسيج الوسطي في الورقة لبعض مائها اثناء عملية النتح يحدث شد او سحب في عمود العصارة المتصل بالاوعية الخشبية ليعمل على رفعه الى أعلى فاذا كانت قوة تماسك جزيات الماء كبيرة فان اي فقد من الماء من طرف عمود العصارة في الأوعية الخشبية للورقة يتبعه سحب بقية عمود العصارة الى أعلى كوحدة متصلة تبتدأ بالتربة وعلى ذلك يمكن تصور الماء في النبات كخيط متصل من جدران الخلايا في النسيج الوسطي للورقة الى الشعيرة الجذرية وقد يستمر اتصال هذا الخيط بماء التربة.فاذا جذب هذا الخيط من نهايته في الثغر (بفعل عملية النتح) فانه يسحب من التربة ويرفع الى الاوراق وهكذا يصل الماء الى قمة النباتات الشاهقة بفعل قوة الشد أو السحب الناتجة من عملية النتح.

النتح Transpiration

من المعلوم ان النباتات تحتاج الى الماءمن اجل نموها وبقاءها وانها تحتاج الى كميات وافرة منه.الا ان النبات لايحتفض بكل ما يمتصه من ماء بل يفقد جزء هام على هيئة بخار ماء بالجو ومن ثم لايؤدي هذا الجزء اي دور ايجابي في نمو النبات وتطوره ويطلق على فقد الماء من النبات على هيئة بخار ماء بعملية النتح.

أنواع النتح

1. النتح الثغري Stomatal transpiration

معظم الماء المفقود في عملية النتح يمر عبر ثقوب دقيقة موجودة في بشرة الاوراق تدعى الثغور stomates بالرغم من ان فتحات الثغور لاتؤلف الا نسبة قليلة من المساحة السطحية للاوراق ويعود السبب في ذلك الى المقاومة القليلة التي تبديها الثغور لحركة بخار الماء قياسا الى مناطق البشرة الاخرىوتتحكم الثغور بكمية الماء الخارجة ، فعندما تذبل الاوراق تقل فتحات الثغور أو تغلق كليا فيقل أو يتوقف تبخر الماء عن هذا الطريق.

2. النتح الأدمي Cuticular transpiration هو تبخر الماء بصورة مباشرة خلال بشرة الورقة شاقا طريقه عبر الطبقة الشمعية الكيوتينية المغلفة لسطح البشرة الخارجي.وتختلف نسبة الماء المفقود عن هذا الطريق باختلاف سمك ونفاذية الادمة او الكيوتكل حيث تقل النسبة بزيادة سمك الكيوتكل وزيادة مقاومته.الكيوتكل اكثر سمكا في النباتات الصحراوية ونباتات المناطق الجافة ويقل سمكه في نباتات المناطق المعتدلة والرطبة .وتقدر نسبة الماء المفقود عن هذا الطريق في الاوراق كاملة النضج بحوالي 10% وتزداد هذه النسبة في الليل عندما يقل أو يتوقف النتح خلال الثغور.

3. النتح العديسي Lenticular transpiration

قد يخرج بخار الماء من مناطق اخرى غير الثغور والادمة كالشقوق والفتحات الصغيرة في الانسجة الفلينية التي تغلف سيقان الاشجار.نسبة الماء المفقود بهذه الطريقة قليلة عادتا لان الانسجة الفلينية لاتمثل الا جزء صغير من المساحة السطحية للنبات . يزداد النتح العديسي في فصل الخريف عند سقوط الاوراق لان الاوراق الساقطة تترك طبقة من الخلايا الحشوية معرضة للظروف البيئية السائدة قبل ان تغطيها الطبقة الفلينية بعد فترة من سقوط الاوراق.

ميكانيكية حركة الثغور

تمتاز سطوح الاعضاء الهوائية للنباتات الوعائية باحتوائها على ثقوب صغيرة تعرف باسم الثغور التي يحدث خلالها التبادل الغازي وتمتاز الثغوربانها تختلف كثيرا في الحجم والتوزيع والعدد والتركيب وكل ثغر محاط بخليتين تعرفان بالخلايا الحارسة Guard cells واحيانا خلايا من البشرة اخرى تعرف بالخلايا المساعدة.

وتمتاز الخلايا الحارسة عن غيرها من خلايا البشرة بشكلها الخاص واحتوائها على بلاستيدات خضراء وبتغلض جدرانها الخلوية تغلضات موضعية غير منتظمة فجدران الخلايا الحارسة التي تحيط بالثقب الثغري اغلض من جدرانها المضادة وتتوقف سعة الثغر على درجة امتلاء الخلايا الحارسة فعندما تكون الخلية الحارسة ممتلئة فان ضغط الامتلاء الواقع على جدرانها يجعل جانبها الرقيق يبرز اكثر فاكثر نحو الخارج شادا معه في الوقت نفسه الجدار الداخلي الغليض المحيط بالثغر مما يؤدي الى اتساع الثغر وعندما ينخفض امتلاء الخلايا الحارسة يقل ضغط امتلائها فتنكمش جدرانها مما يؤدي الى تقارب الجدارين الغليضين للخليتين الحارستين فتضيق فتحتا الثغر.

من المعلوم ان الثغور تفتح عندما تتعرض للضوء وتغلق عند وضع الاوراق في الظلام وتختلف كمية الضوء اللازمة لبلوغ ذروة الانفتاح الثغري باختلاف نوع النبات ولكنها تقل كثيرا عن الكمية التي تتطلبها عملية البناء الضوئي.بعض النباتات مثل النباتات العصارية تظهر ثغورها سلوكا مغايرا في كون تلك الثغور تفتح ليلا وتقفل خلال النهار .وكان الاعتقاد سابقا هو ان عند تعرض الخلايا الحارسة للضوء فان هناك زيادة في كمية السكريات نتيجة لعملية البناء الضوئي مما يؤدي الى جعل قيمة الجهد الازموزي للخلايا الحارسة عالي بالسالب فتسحب الماء من الخلايا المجاورفتزداد درجة امتلائها وبالتالي تفتح الثغور.وعلى الرغم نم حصول عملية البناء الضوئي في الخلايا الحارسة الاانها تحدث بسرعة اقل وبالتاكيد فانها غير كافية لحدوث التغيرات في الضغط الازموزي للخلايا الحارسةالتي ترافق استجابة هذه الخلايا للضوء.

الكثير من الباحثين لاحظ ان عملية فتح وغلق الثغور حساسة للتغيرات في رقم الحموضة PH وبصورة عامة تكون الثغور مفتوحة عندما تصبح قيمة PH عالية ويحدث العكس عندما تكون قيمة الPH منخفضة.ولقد لاحظ الباحث Sayre سنة 1926 ان الثغور في اوراق نبات ال pumex تستجيب للتغيرات الحاصلة في رقم الحموضة حيث تفتح الثغور عندما يزداد الPH وتغلق عندما ينقص.

تؤثر حموضة محيط الخلية في فعالية الانزيمات المحللة Hydrolyases التي تقوم بتحويل النشا الى سكريات بسيطة حيث تزداد فعاليتها عندما يكون الوسط قاعديا وزيادة السكريات بدورها تقلل من الجهد المائي للخلايا الحارسة فيدخلها الماء من الخلايا المجاورة ويسبب زيادة ضغطها الانتفاخي ويحدث العكس في الظلام ومن اهم الانزيمات المحللة هو انزيم Phosphorylase الذي يساعد في التفاعل التالي

PH=7

Starch + Pi ----------→ Glucose-1-Phosphate

PH=5

والنشأ غير فعال ازموزيا لانه غير ذائب بينما السكريات فعالة في تغيير الازموزيةوفتح الثغور.وبتحلل النشا ينتج كمية لاباس بها من السكريات الذائبة كافية لخفض الجهد المائي داخل الخلايا الحارسة وفتح الثغور. وتعرف هذه النظرية بنظرية تحول النشا الى سكر ومن الانتقادات الموجهة الى النظرية هو ان عملية فتح وغلق الثغور تتم خلال بظعة ثوان اما عملية تحول النشا الى سكر بطيئة نسبيا. كما ان اوراق بعض النباتات مثل البصل لاتحتوي على النشا بل يوجد الفركتوز بدلا منه ومع ذلك يمكن ملاحظة فتح وغلق الثغور.

في بداية عام 1968 حدث تطور كبير في معرفتنا لفسلجة الثغور ، جاء هذا التطور من البحوث التي أجريت في اليابان حيث لاحظ Fujino انه عند فتح الثغور يحدث انتقال لكميات من البوتاسيوم من الخلايا المرافقة الى الخلايا الحارسة . ان كميات البوتاسيوم التي تنتقل الى فجوات الخلايا الحارسة تكون كافية لاحداث الاستجابة . وقد وجد انه عند فتح الثغور تحدث زيادة في كمية البوتاسيوم في الخلايا الحارسة لدرجة جعلت قيمة الجهد الازموزي للخلايا الحارسة تبلغ -20بار.اما عندما تنقل الاوراق الى الظلام فان البوتاسيوم سوف ينتقل من الخلايا الحارسة الى الخلايا المجاورة وبالتالي تقل درجة امتلائها فينغلق الثغر.

الملاحظات بان الضوء يؤدي الى انتقال البوتاسيوم الى الخلايا الحارسة والظلام يسبب خروجه منها قد تم اثباته في عدد كبير من النباتات . فعند وضع أشرطة من خلايا بشرة الباقلاء لايحدث انتفاخ وفتح للثغور مالم يحتوي المحلول على ايونات البوتاسيوم وفي حالة معاملة الأوراق بالهرمون النباتي حامض الأبسيسك تغلق الثغور وقد وجد ان السبب هو خروج ايون البوتاسيوم من الخلايا الحارسة.وعلى ذلك فان انتقال البوتاسيوم من والى الخلايا الحارسة يؤدي الى فتح وغلق الثغور.

من المعتقد بالنسبة لتجمع البوتاسيوم في الخلايا الحارسة ان الاغشية البلازمية في الخلايا الحارسة تحتوي على مضخة بروتونية تعمل خلال ATP النتاتج من البناء الضوئي وبالذات من عملية الفسفرة الضوئية الدائرية التي تحدث في البلاستيدات الموجودة في الخلايا الحارسة هذه المضخة تسحب أو تضخ أيونات الهيدروجين خارج الخلايا الحارسة . هذا الفقد في البروتونات يتعوض بالحركة السلبية (بدون طاقة) لايونات البوتاسيوم الى داخل الخلية.الفقد في ايونات الهيدروجين من السايتوبلازم في الخلايا الحارسة يعمل على زيادة قيمة الPH بحيث يصبح ملائم لنشاط الانزيم المسؤل عن هذا التحويل (قيمة ال PH

تتراوح من 8-9).هذا الانزيم ينشط التفاعل الذي يتحول فيه مركب ال PEP (Phosphoenol pyruvate) الناتج من النشا الى حمض OAA(Oxaloacetic acid) الذي تحدث له عملية اختزال ويكون الناتج حمض الماليك الذي يتحلل وتتكون املاحه Potassium malate الذي سوف يتجمع داخل الفجوه ويؤدي الى التقليل من قيمة الجهدالمائي نتيجة لذلك فان الفجوة تبدا بسحب الماء من الخلايا المجاورة مما يؤدي الى زيادة امتلاء الخلية الحارسة. وكلما زاد امتلائها ادى ذلك الى زيادة اتساع فتحة الثغر.

العوامل المؤثرة على معدل عملية النتح

أولا .العوامل النباتية

1. نسبة المجموع الجذري إلى المجموع الخضري عندما 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 .
2. مساحة الورقة من المعلوم ا 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
3. تركيب الورقة تختلف عدد الثغور الموجودة وسمك طبقة الكيوتين المغطية للأوراق وسطحية وتعمق الثغور على سطح الورقة وتعريق الأوراق باختلاف الأنواع النباتية مما يؤثر على معدل النتح .

ثانيا -العوامل البيئية

1.الرطوبة النسبية في الجو

ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو يترتب علية زيادة الضغط البخاري لبخار الماء فى هذا الجو ،ويؤدى ذلك بالطبع إلى تقليل البخر وبالتالي تقليل النتح .

2. الرياح :

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 .

3. درجة الحرارة

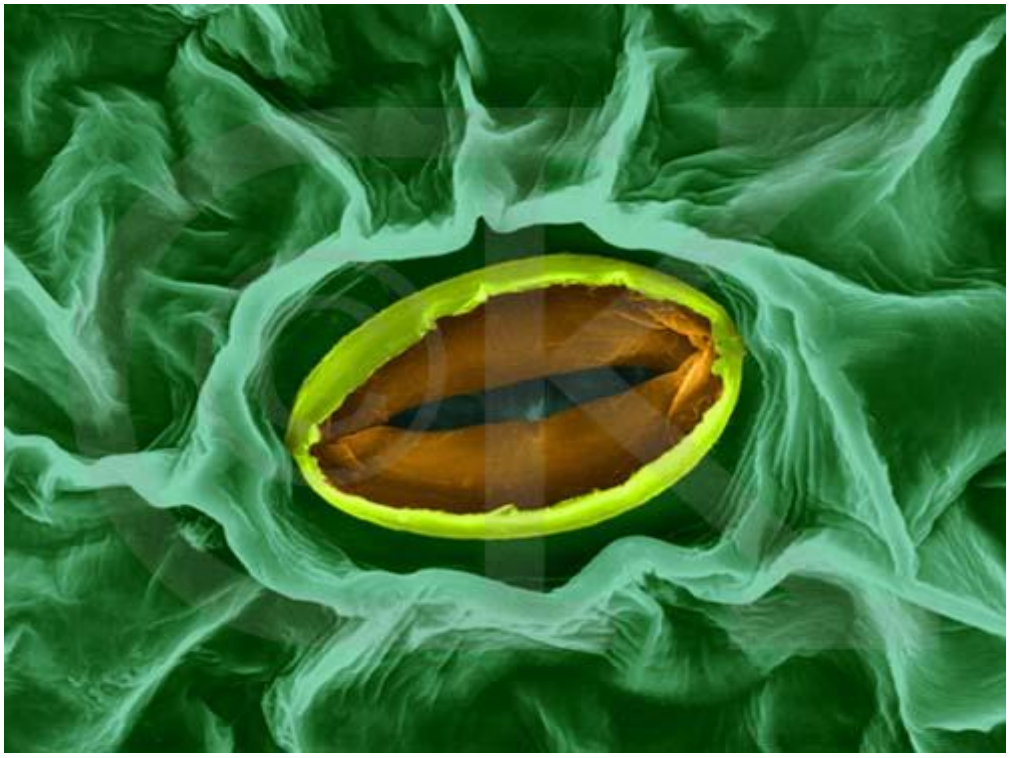
يؤدى ارتفاع درجة الحرارة الى زيادة البخر وبالتالى الى زيادة النتح وتعتبر عملية النتح عملية تلطف من حرارة النبات لان قدر كبير من الحرارة التى تتعرض لها أسطح الأوراق تستنفذ فى تبخير كميات كبيرة من الماء فى صورة نتح .

4. الضوء

تتجلى دور الضوء من خلال تأثيرة على حركة فتح وغلق الثغور كما ان الضوء الشديد يزيد من درجة الحرارة وبالتالى يزيد من معدل النتح

5.تيسر ماء التربة

كلما كان ماء التربة محددا كلما قل امتصاص الجذور للماء ويؤثر ذلك بالطبع على التوازن المائى فى النبات وعلى النتح .



Pea Leaf Stoma