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*.

4-The physiology of flowering plants by Opik and Roffe

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.

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

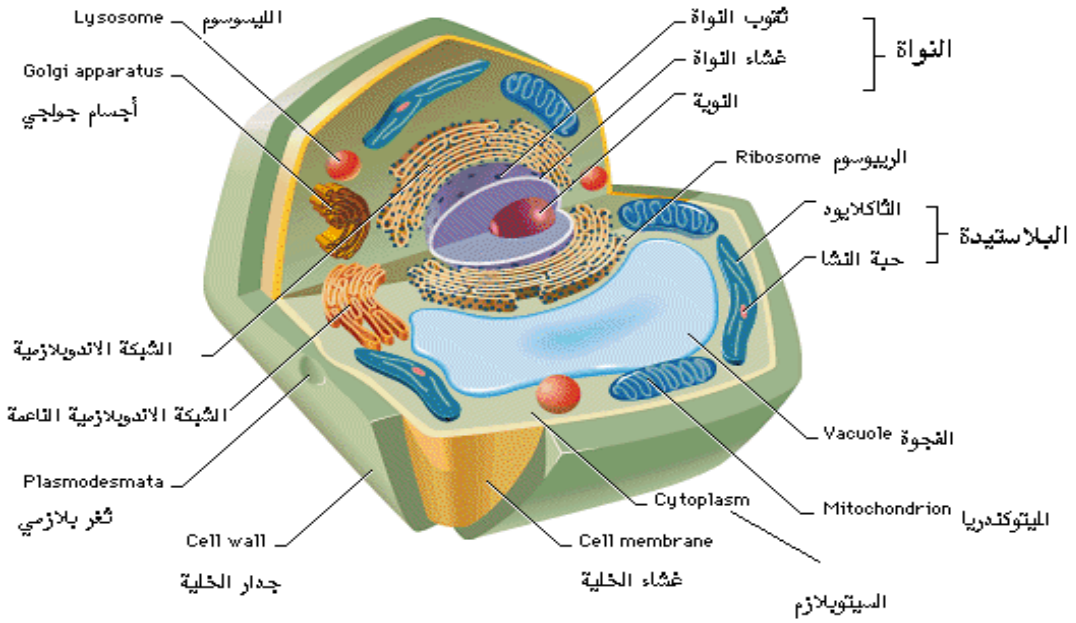
تقع بين الجدر الابتدائية للخلايا المتجاورة وتمثل المادة البينية التى تربط معا الجدارين الابتدائيين المتجاورين ولهذا فإن إذابتها بالمواد الكيميائية يؤدى إلى تفكك خلايا الأنسجة. تتركب الصفيحة الوسطى بصفة أساسية من بكتات الكالسيوم والمغنسيوم وتظهر فى حالة غير متبلورة تحت المجهر الإلكترونى وواضحة نظراً لاختلاف 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 lamellaوتشمل 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 .



شكل (1) تركيب الخلية النباتية

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 pairويعرف 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 تغلض 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 cavityوفي 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 عناص 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

يمتاز السايتوبلازم بأغشيته البلازمية وهي الغشاء البلازمي الخارجي ويعرف ب Ectoplast يفصل بينه وبين الجدار الخلوي و Tonoplast ويفصل بينه وبين الفجوات العصارية و الغشاء البلازمي سمكه رقيق حوالي 75 انكستروم ويتكون من طبقتين بروتينيتين يوجد بينهما طبقة ثالثة

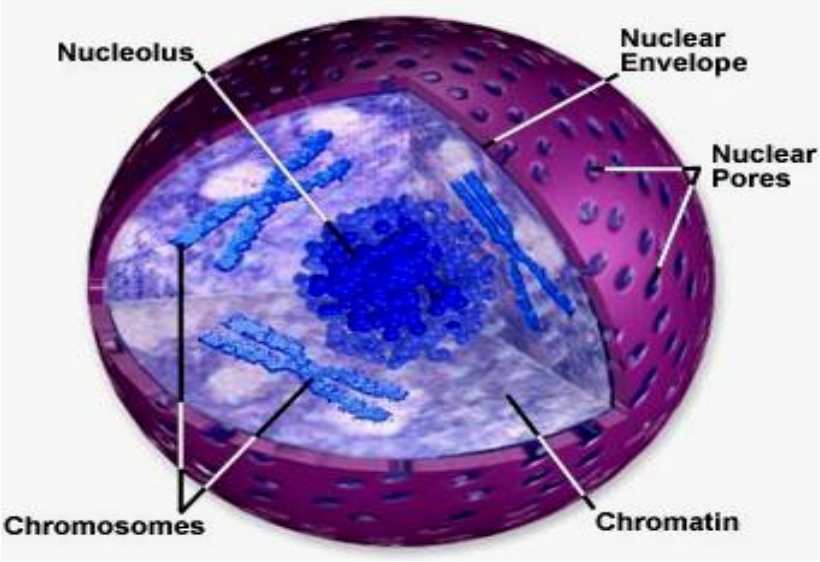
دهنية كما توجد اغشية بلازمية تغلف غالبية عضيات الخلية وتتميز جميعها بالنفاذية الانتخابية بمعنى انها تتميز بقدرتها على نفاذ ايونات المواد الذائبة بنسب متفاوته.

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



بروتينات وبروتينات نووية والتي تتكون من الحامض النووي الذي يعرف ب DNAكما 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 .

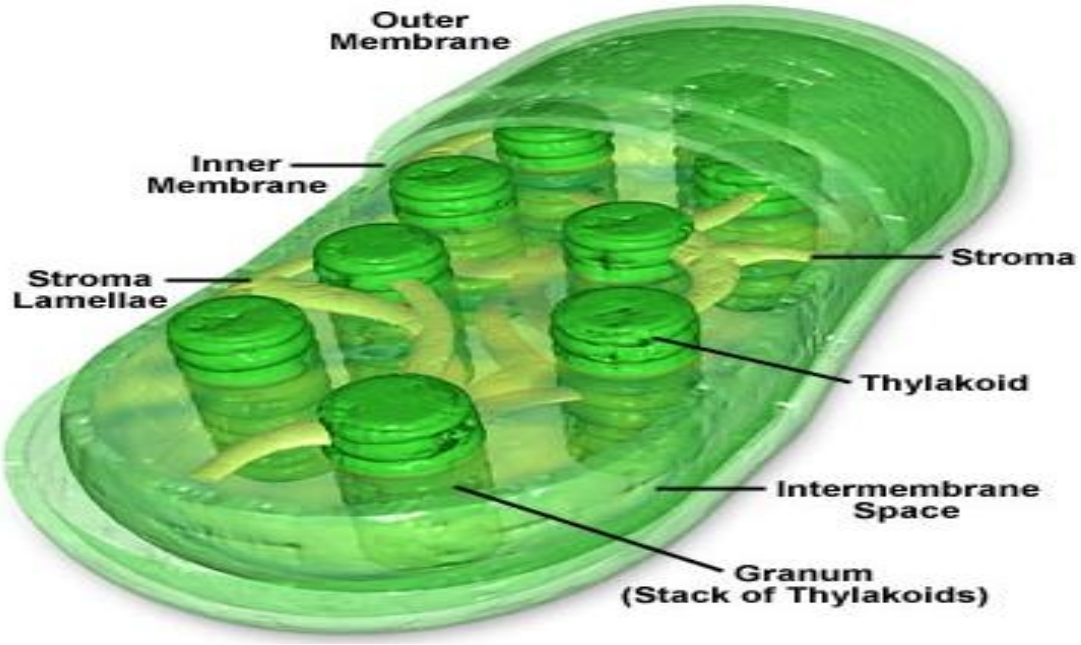
يفصل النواة عن السايتوبلازم المحيط بها غشاء نووي يتركب من بروتينات ومواد دهنية ويتحكم هذا الغشاء في مرور المواد بين السايتوبلازم والنواة .وتعتبر النواة بسبب وجود الجينات المركز الذي توجه منه العمليات الحيوية التي يتم تنفيذها في السايتوبلازم وتوجد صلة وثيقة بين النواة والسايتوبلازم اذ لايمكن لآحدهما ان 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 .

العلاقات المائية للنبات Plant water relationship

المحاليل Solution

المحاليل عبارة عن نظم systems يكون فيها أحد المكونات مذابا solute منتشرا خلال الآخر (المذيب solvent) بصورة جزيئات أو أيونات وقد يكون المذيب من الوجهة النظرية غاز أو صلب أو سائل الا ان أكثر المحاليل أهمية بالنسبة للكائنات الحية هي المحاليل التي يكون فيها المذيب سائلا ويمكن تقسيم المحاليل على أساس وجود المادة المذابة في المادة المذيبة وعلاقة كل منهما بالاخرى الى

1- المحلول الحقيقي True solution

وفيه تتجزأ المادة المذابة الى أيونات أو جزيئات دقيقة بحيث لايمكن زؤيتها بأي وسيلة من وسائل الابصار الشائعة لان قطرها لايزيد عن 0.001 ميكرون وهذه الدقائق تختفي في المذيب الذي يكون الماء أو أي سائل آخر ولا تترسب بمضي الوقت ويبقى المحلول بصفة دائمة رائقا متجانسا اي ان المحلول الحقيقي هو محلول ثابت مثل محلول كلوريد الصوديوم في الماء

2- المعلق والمستحلب Suspension and Emulsion

وفي هذه الحالة تتجزأ المادة الى دقائق يمكن رؤيتها بالعين المجردة بسهولة لان قطرها يزيد عن 0.1 ميكرون وهذا النوع من المحاليل غير ثابت اذ سرعان ما تنفصل فيه دقائق المادة المنتثرة في السائل المذيب فتترسب أو تطفو فمثلا في حالة الرمل المنتثر في الماء وهو محلول معلق نجد ان دقائق الرمل تترسب بفعل الجاذبية اما في حالة الزيت المنتثر في الماء (مستحلب) فان الزيت يطفو فوق سطح الماء لان كثافته اقل من كثافة الماء

3- المحلول الغروي Colloidal solution

وهنا تتجزأ المادة الى اجزاء تقع وسطا بين دقائق النوعين السابقين اذ تتجزأ المادة المذابة الى جزيئات يتراوح قطرها بين 0.001-0.1 ميكرون وبذلك تكون من الصغر بحيث لايمكن رؤيتها بالمجهر العادي ويمكن رؤيتها بالمجهر الالكتروني والمحلول الغروي يكون ثابت نسبيا وعند الكلام عن الغرويات يستحسن ان تسمى المادة المذيبة بالطور المستمر Continuous phase

أو وسط الانتشار Dispersion medium والمادة الذائبة بالطور المنتشر Dispersed phase

أو الطور غير المستمر Discontinuous

توجد عدة حالات غروية في الطبيعة تختلف باختلاف نوع المادة المنتشرة ووسط الانتشار والذي يهمنا نوعين من الغرويات هما

1- الغرويات المحبة لوسط الانتشار Lyophilic colloids

سميت بهذا الاسم لوجود تالف بين دقائقها ودقائق وسط الانتشار ومن امثلتها المحلول الجيلاتيني والنشأ وزلال البيض

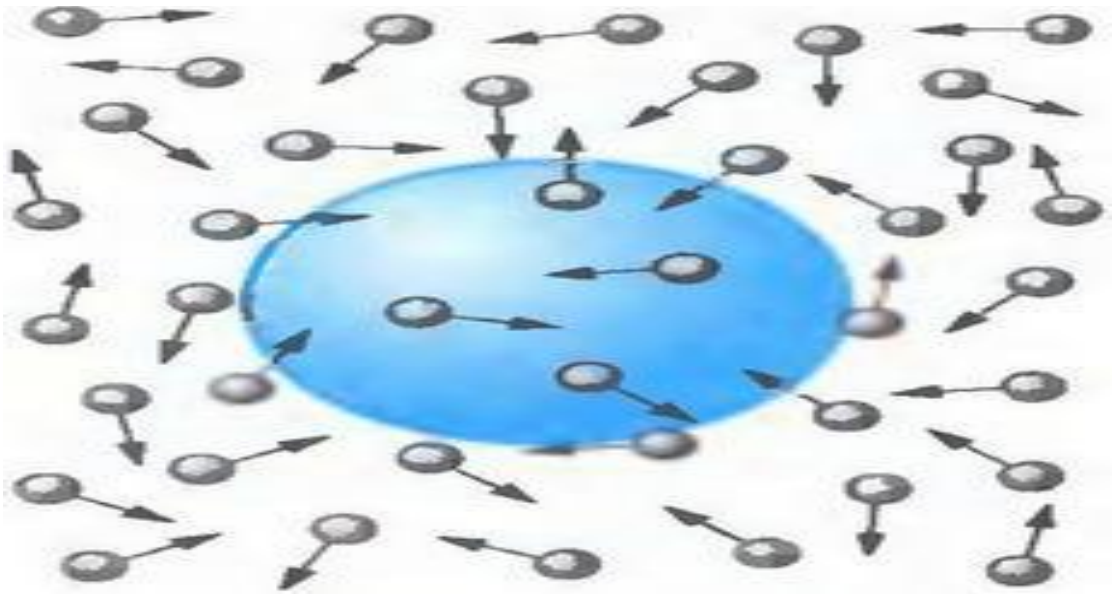
2- الغرويات الكارهة لوسط الانتشار Lyophobic colloids

سميت كذلك لعدم وجود تالف بين دقائقها ودقائق وسط الانتشار ومن امثلتها هيدروكسيد الحديديك الغروي ولما كان وسط الانتشار في الانظمة البايولوجية مثل الخلية النباتية هو الماء لذلك تقسم الغرويات الى غرويات محبة للماء Hydrophilic colloids وغرويات كارهة للماء Hydrophobic colloids

خواص الغرويات :-

1. ظاهرة تندال :- اذا سلطنا حزمة ضوئية على وعاء زجاجي ممتلئ بالماء النقي ثم فحصنا ذلك الوعاء في اتجاه جانبي عمودي على مسار الحزمة الضوئية ففي هذه الحالة لايمكن ملاحظة مسار الضوء خلال الماء النقي ، ويحدث ذلك ايضا اذا استبدلنا الماء بمحلول حقيقي كمحلول ملح الطعام ، اما اذا وضع محلول غروي فاننا نستطيع في هذه الحالة مشاهدة مسار الضوء في المحلول الغروي ويمكننا ان نحدد المنطقة التي يمر بها ، ويرجع ذلك الى انعكاس الضوء بواسطة الدقائق الغروية في المنطقة التي يمر خلالها الشعاع الضوئي وتسمى هذه الظاهرة ظاهرة تندال .

2.الحركة البراونية :- اذا مررنا حزمه ضوئيه في محلول غروي ونظرنا في اتجاه عمودي على مسارها بمجهر دقيق يرى مسار الضوء مكون من نقط متعدده لامعه نتيجه لانعكاس الضوء على الدقائق ويلاحظ ان هذه الدقائق تتحرك حركه ترددیه اهتزازيه تسمى الحركة **البراونيه** وهذه الحركة ناتجة من تصادم الدقائق الغروية بجزيئات المذيب بصورة دائمية وتزداد هذه الحركة بزيادة درجة الحرارة بسبب زيادة الطاقة الحركية لدقائق المذاب والمذيب .



3. ظاهرة انعكاس الآطوار :-

يتغير قوام الغرويات المحبة للماء من السيولة الى الصلابة وبالعكس بتغير درجة الحرارة وتركيز وسط الانتشار وغيرها من العوامل فاذا وضع محلول غروي من هذا النوع كالمحلول الجيلاتيني في انبوبة وسط مخلوط مبرد تصلب قوام محلول الجيلاتين وأصبح على هيئة غروي متصلب Gel فاذا اعيد تسخينه تحول الى محلول غروي سائل Sol وتسمى ظاهرة التجمد والسيولة بظاهرة انعكاس الأطوار للغرويات وهناك نوع من انعكاس الاطوار يسمى انعكاس الاطوار الناقص مثل زلال البيض يتجمد بالتسخين ولايعود للسيولة بالتبريد لذلك يسمى تجمد زلال البيض تجمعا.

4.الشحنات الكهربائية:- توجد الشحنات الكهربائية موزعة على أسطح الدقائق الغروية ،ولكل نوع من الغرويات شحنة محددة أما سالبة أو موجبة . ان السبب وراء وجود الشحنات الكهربائية على اسطح الدقائق الغروية يعزى الى التجمع السطحي للأيونات الموجبة او السالبة للالكتروليت اذ تكون الايونات ذات الشحنة المضادة الغلاف الخارجي للطبقة المزدوجة فهيدروكسيد الحديديك مثلا دقائقه موجبة الشحنة وتعزى الشحنة التي تحملها دقائق هذا الغروي الى تجمع ايونات الحديد المتكونة من تحلل كلوريد الحديديك الذي يستخدم في تحضير هذا المحلول .

تكتسب انواع اخرى من الغرويات عندما تبتل بالماء شحنات سالبة ويرجع السبب في ذلك الى تجمع ايونات الهيدروكسيل الناتجة من الماء المكون لوسط الانتشار على سطح تلك الدقائق وقد تنشأ الشحنة الكهربائية على سطح الدقيقة الغروية نتيجة لتأين المادة كما هو الحال في صبغة احمر الكونغو التي عند ذوبانها في الماء تتأين لتعطي كتيون الصوديوم وأنيون معقد عضوي هو المسؤول عن الشحنة الكهربائية السالبة لهذه الصبغة . واذ عرض محلول غروي الى مجال كهربائي فان دقائقه سوف تتحرك كل حسب شحنتها الى القطب المضاد في الشحنة وتسمى هذه العملية بالهجرة الكهربائية electrophorsis

5. التجمع السطحي :- هو قابلية الجزيئات او الايونات لكي تتركز او تتجمع على السطوح البينية (سطوح التلامس) والتي هي السطوح الفاصلة بين سائلين لايمتزجان او بين غاز وسائل او سائل وصلب وبذلك يمكن تعريف التجمع السطحي بانه قوة جذب وتجمع الجزيئات او

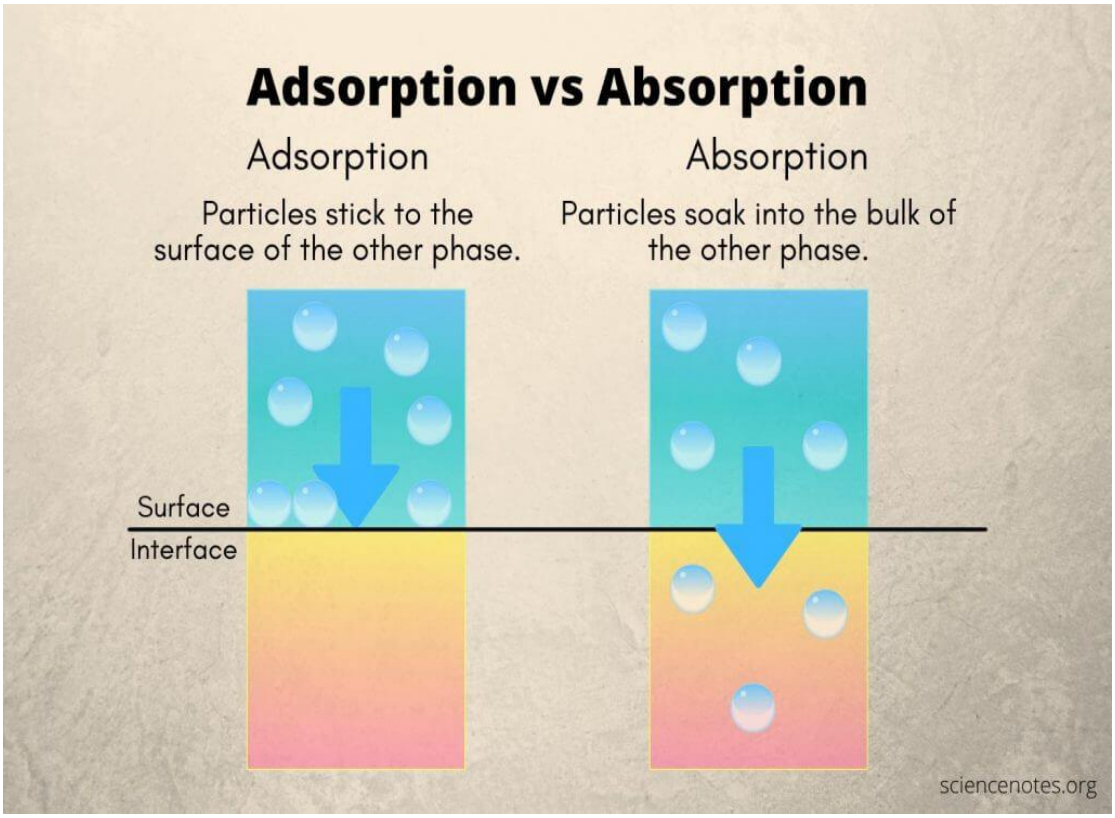
الايونات على السطوح البينية . ان الغرويات تمتلك سطحا هائلا معرض بواسطة الكتلة الصغيرة لدقائقها المنتثرة والمواد التي هي على اتصال بالمحاليل الغروية سوف تصبح متركزة على المساحة الكبيرة للدقائق الغروية وبذلك فان الاخيرة تمتلك مساحة سطحية وقوة تجمع كبيرة . ان السطح لحجم معين سوف يكون كبير جدا عندما يقسم الى حجوم صغيرة جدا وهناك ثلاثة انواع من التجمع السطحي هي

1- التجمع السطحي الميكانيكي ويعتمد على قوى التماسك والتلاصق مثل اختفاء صبغة ازرق المثيل عند اضافة الفحم.

2- التجمع السطحي الكهربائي ويعتمد على الشحنات الكهربائية

3- التجمع السطحي الكيمياوي ويتوقف على الطبيعة الكيمياوية للسطح مثل تفاعل النشأ مع اليود

ومن المعلوم ان ظاهرة التجمع السطحي تقوم بادوار كثيرة في الخلايا الحية وكذلك في بيئتها وربما لها دخل في شتى انواع النشاط الخلوي. البروتوبلازم ومكونات اخرى في الخلية ذات طبيعة غروية بصفة اساسية وظاهرة التجمع السطحي شائعة في النظم الغروية ويوجد في النبات وبيئته الكثير من سطوح التلامس ففي الخلية النباتية توجد مثل هذه السطوح بين البروتوبلازم والعصير الخلوي وبين النواة والسايتوبلازم وكذلك بين البروتوبلازم والماء المبلل للجدار الخلوي وهكذا حيث تتركز الذائبات عند السطوح البينية جميعا.ولقد امكن الحصول على الكثير من المعلومات المتعلقة بتركيب الخلايا عن طريق استخدام اصباغ تتفاوت في تجمعها السطحي على مكونات الخلية ويسود الاعتقاد ان للتجمع السطحي اهمية في امتصاص العناصر الغذائية من الوسط المحيط بالمجموع الجذري للنبات فهناك ما يدل على ان تجمع العناصر تجمعا سطحيا عند الجذور هو الخطوة الاولى في عملية امتصاصها.



الطبيعة الغروية للبروتوبلازم

البروتوبلازم نظام غروي معقد يحتوي على الغرويات المحبة لوسط الانتشار والكارهة له الا ان الغرويات المحبة لوسط الانتشار هي الغالبة في هذا النظام . وللبروتوبلازم بشكل عام الكثير من خواص المحاليل الغروية فمثلا اذا وضعنا قطرة من عصير نبات في كأس وأمررنا فيه حزمة ضوئية فأن ظاهرة تندال تظهر بوضوح كذلك لو اخذنا قطرة من عصير نبات وفحصناها بالمجهر فاننا نلاحظ الحركة البراونية . كما يمكن ملاحظة ظاهرة التجمع السطحي اذا وضعت بشرة من نبات في محلول مخفف من صبغة أزرق المثيل لعدة دقائق ثم غسلت جيدا بالماء وتم فحصها تحت المجهر نلاحظ تجمع صبغة أزرق المثيل اذ ان لون الخلايا يصبح ازرق. وهناك خاصية اخرى تعزى الى طبيعة البروتوبلازم الغروية هي قدرته على التحول من حالة Sol الى حالة Gel نتيجة للتغيرات في درجة الحرارة وتركيز ايون الهيدروجين وغيرها من العوامل . ويمكن القول بوجه عام انهفي الدرجات الحرارية المنخفضة القريبة من الصفر المئوي يميل البروتوبلازم الى حالة Gel وفي درجات الحرارة المرتفعة نوعا ما يميل الى حالةSol فاذا

ارتفعت درجات الحرارة الى 50 °م فان جزيئات البروتين المكونة للبروتوبلازم تتجمع تجمعا غير قابل للانعكاس الامر الذي يؤدي الى موت الخلايا وهذا هو السبب في توقف التنفس والبناء الضوئي وغيرها من الانشطة الحيوية توقفا تاما في درجات الحرارة التي تزيد على 50 °م وهو بذلك يمثل حالة غروية من نوع زلال البيض وقد يحصل تجمع للبروتوبلازم بتاثير عوامل اخرى غير درجة الحرارة مثل بعض المواد الالكتروليتية والمؤثرات الكهربائية وموجات معينة من الطاقة الاشعاعية مثل الآشعة فوق البنفسجية وأشعة X.

في حالة البذور النابتة يتحول البروتوبلازم الذي هو على صورة Gelالى صورته السائلة Sol لتشربه بالماء وقت الانبات وينشأ عن تشرب الجنين بالماء وانتفاخه ضغط يطلق عليه ضغط التشرب وهذا الضغط يؤدي الى تمزق أغلفة البذور . ويعزى ثبات البروتوبلازم الى الشحنات الكهربائية التي تحملها دقائقه البروتينية.وعند تركيز معين لايون الهيدروجين قد تتعادل تماما شحنات دقائق البروتوبلازم الغروية وعندما يحدث ذلك فان البروتوبلازم يكون على درجة اقل من الثبات ويميل الى الترسيب ويتسبب عن ذلك نتائج وخيمة على حياة الخلية وليس من اليسير حدوث ذلك في السايتوبلازم لاحتواءه على املاح السترات والفوسفات والخلات والتي تعمل على تثبيت درجة الحموضة .

الانتشار Diffusion

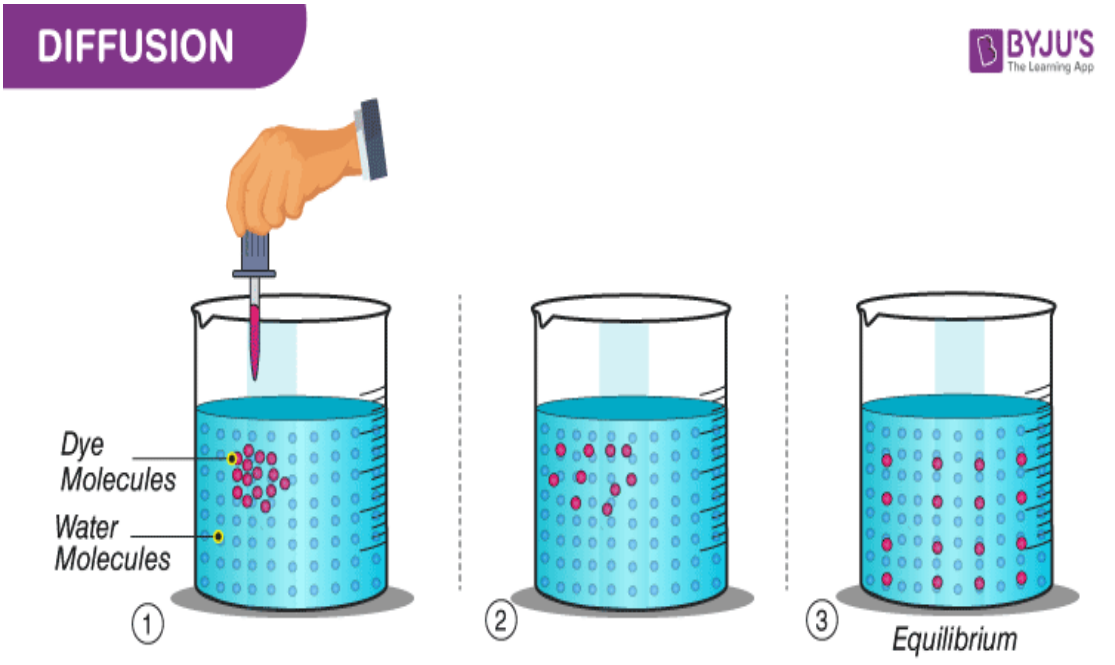
تمتلك جزيئات المواد طاقة حرة تجعلها في حركة دائمية عشوائية في شتى الاتجاهات وتميل جزيئات المواد المتحركة بفعل الطاقة الى ان توزع نفسها بصورة متساوية في الحيز الذي تشغله فتسود حركة الجزيئات من المنطقة التي تكون فيها الطاقة الحرة عالية الى المنطقة التي تكون فيها الطاقة الحرة منخفضة الى ان تصبح طاقتها في وحدة الحجوم متساوية في كافة انحاء الحيز الذي تشغله عندما تصل الى حالة الاتزان الحركي ولكن قبل بلوغ حالة الاتزان الحركي تكون حركة الجزيئات في احد الاتجاهات اكثر منها في الاتجاه المعاكس وهذه الحالة هي التي تسمى بالانتشار .فالانتشار هو صافي حركة الجزيئات الناجمة عن طاقتها الحركية الذاتية ويكون اتجاه الانتشار من منطقة تكون فيها الطاقة الحرة عالية الى منطقة تكون فيها الطاقة الحرة منخفضة . والانتشار تمارسه جزيئات الغازات والسوائل والذائبات والايونات كما ان الدقائق الغروية تنتشر ولكن بمعدل بطئ

ويجب التمييز بين الحركة الجماعية mass movement ولانتشار Diffusion ففي الحركة الجماعية لاتتألف الوحدات المتحركة من جزيئات فردية بل من حشود هائلة من الجزيئات التي تندفع معا بنفس الاتجاه العام بفعل قوى خارجية اي ان الحركة الجماعية انما تعمل على المادة ككتلة بينما يعمل الانتشار على مستوى الجزيئات.

ويعد الباحث Fick اول من عالج موضوع الانتشار بطريقة حسابية وينص قانون Fick للانتشار على ان كمية المادة التي تتحرك ds لكل وحدة زمنية dt تتناسب طرديا مع الفرق في الطاقة الحرة Δ G وعكسيا مع المسافة dx

$$\frac{\Delta G}{dx} = \frac{ds}{dt}$$

ويدل هذا القانون على ان الانتشار عبر مسافات طويلة بطئ للغاية ولكنه سريع نسبيا عبر مسافات تقدر بالمايكرون أو المليميكرون كالانتشار عبر الخلايا.



العوامل المؤثرة في الانتشار

1. درجة الحرارة : تؤدي درجة الحرارة الى زيادة سرعة الانتشار لانها تعمل على زيادة الطاقة الحركية للجزيئات ويعبر عن تأثير درجة الحرارة في عملية الانتشار باصطلاح المعامل الحراري Temperature Quotient [Q10] والمعامل الحراري لاي عملية سواء كانت فيزياوية او كيمياوية او فسلجية هو عبارة عن عدد المرات التي تزداد فيها سرعة التفاعل لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 10°م.

2.كثافة الجزيئات المنتشرة : يتبع انتشار الغازات قانون كراهام للانتشار Graham's law والذي ينص على ان معدلات انتشار الغازات تتناسب عكسيا مع الجذور التربيعية لكثافاتها

$$\frac{V1}{V2} = \frac{\sqrt{d2}}{\sqrt{d1}}$$

حيث V1 و V2معدلي انتشار غازين كثافتيهما النسبية d1 و d2 فاذا استخدمنا هذا القانون لغازي الهيدروجين والاوكسجين نجد ان

$$\frac{V\,H}{V\,O} = \frac{\sqrt{d2}}{\sqrt{d1}} = \frac{16}{1} = \frac{4}{1}$$

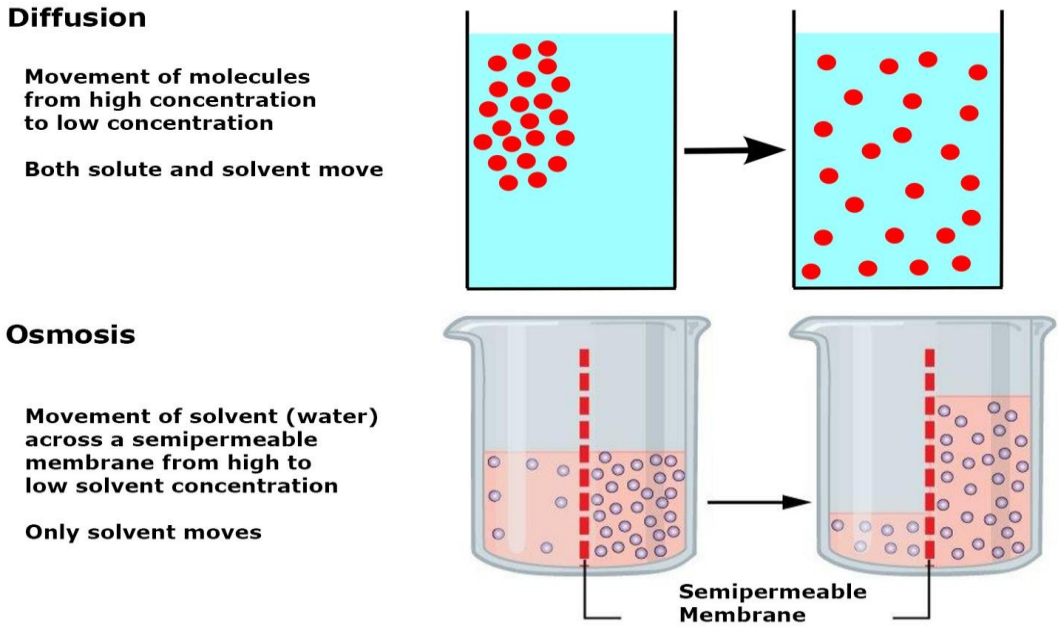
نلاحظ ان كثافة الاوكسجين16 مرة اكبر من كثافة الهيدوجين وعليه معدل انتشار الهيدروجين 4 مرات معدل انتشار الاوكسجين.

3. تركيز وسط الانتشار: كلما كان وسط الانتشار أعلى تركيزا كلما قلت سرعة انتشار الجزيئات خلاله

4. تدرج (منحدر) ضغط الانتشار: يزداد معدل انتشار الجزيئات كلما زاد الفرق في منحدر ضغط الانتشار بين المنطقتين اذ تتناسب سرعة انتشار الجزيئات طرديا مع فرق التركيز وعكسيا مع المسافة .

الانتشار الغشائي (الازموزية) Osmosis

تعد الازموزية نوع من أنواع الانتشار وتطلق عبارة الازموزية على انتشار المذيب وليس المحلول من منطقة تكون فيها الطاقة الحرة عالية الى منطقة تكون فيها الطاقة الحرة واطئة بشرط ان يتم الفصل بين المنطقتين بواسطة غشاء شبه منفذ.وبالنسبة للأغشية الخلوية (البلازمية) فانها تمتاز بانها ذات نفاذية اختيارية أو انتقائية Selectivity permeable membrane اذ تمتاز هذه الاغشية بان لها القابلية على انتقاء أو اختيار بعض الجزيئات أو الايونات دون غيرها بالرغم من تشابهها في الحجم والشحنة وغيرها من الصفات .



الجهد المائي Water potential

الجهد المائي هو عبارة عن مقدار الطاقة الحرة او الجاهزة لحركة الماء او تفاعله لذلك فالجهد المائي هو مقياس للطاقة الجاهزة لحركة الماء او تفاعله ويعبر عن الجهد المائي بوحدات الضغط (ضغط جوي ، بار) اذ ان

1 bar = 0.987 atm

كما يمكن التعبير عنه بوحدة Mega pascal اذ ان

1 Mpa =10 bar = 9.87 atm

الجهد الامتلائي Turgor pressure

لتوضيح الجهد الامتلائي نأخذ كرة مصنوعة من غشاء شبه منفذ تحوي محلول سكري ونضعها في اناء فيه ماء .الماء ينتقل ازموزيا الى داخل الكرة نتيجة للفرق في الجهد المائي مما يؤدي الى زيادة الحجم هذه الزيادة في حجم الكرة ستلاقي مقاومة من جدار الكرة ينشأ من جرائها ضغط في كل انحاء المحلول يسمى بالضغط الامتلائي او الجهد الامتلائي Turgor pressure وفي الوقت الذي يضغط فيه المحلول على على الجدار فان ضغطا من الجدار يقع بدوره على المحلول يتساوى كما ويختلف اتجاها مع ضغط الامتلاء ويعرف باسم ضغط الجدار ونتيجة لهذا الضغط يزداد النشاط الحركي لجزيئات الماء كلما اكتسب المحلول مزيدا من الماءالذي يستمر دخوله الى الكرة حتى يصبح الجهد المائي لماء المحلول يساوي الجهد المائي للماء النقي ويبلغ ضغط الامتلاء حدا اقصى عند بلوغ الاتزان ويسمى اقصى ضغط امتلاء يمكن ان ينشأ في محلول اذا اتيح له الاتزان مع ماء نقي في مقياس ازموزي Osmometer تحت

ظروف مثالية بالضغط الازموزي Osmotic pressure أو الجهد الازموزي Osmotic potential

ويمكن توضيح العلاقة بين القيم الازموزية وهي الجهد المائي والجهد الازموزي وجهد الامتلاء بالشكل التالي

$$\Psi\omega=\Psi s+\Psi p$$

حيث ان الجهد المائي ويرمز له Ψω يساوي الجهد الازموزي ويرمز له Ψs + الجهد الامتلائي ويرمز له Ψ

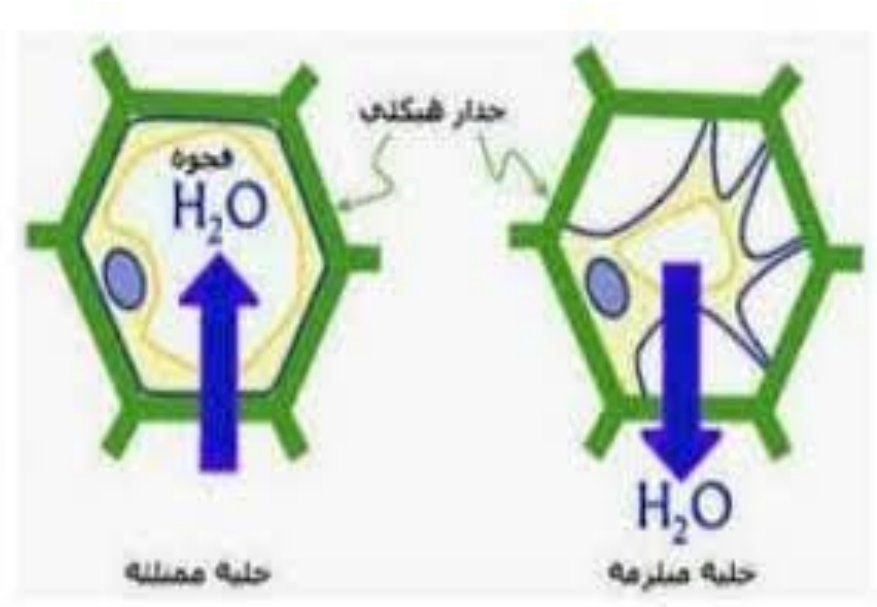
الظواهر الازموزية في الخلية النباتية

تعد الخلية النباتية البالغة جهاز ازموزي اذ تتكون بدرجة اساسية من الجدار الخلوي الذي يعد منفذا للماء والذائبات بحرية تامة.ويوجد داخل الخلية النباتية الاغشية البلازمية وهما الغشاء البلازمي الخارجي الفاصل بين جدار الخلية والسايتوبلازم والغشاء البلازمي الداخلي الذي يحيط بالفجوة ويفصلها عن السايتوبلازم والفجوة العصارية مملؤة بالذائبات ولها جهد ازموزي معين.اذا غمرت الخلية في محلول زائد الازموزية لذائب لايسمح الغشاء البلازمي بانفاذه فان العصير الخلوي يفقد بعض ماءه ازموزيا نحو الخارج ممايؤدي الى انكماش تدريجي في حجم الخلية وحصول نقص في ضغط الامتلاء الواقع من العصير الخلوي على البروتوبلازم والجدار الخلوي ومع ذلك فلمرونة الجدار وبالتالي مدى انكماشه حدا يتوقف عند بلوغه وعلى افتراض بقاء المحلول الذي غمرت فيه الخلية زائد الازموزية عند ذلك يستمر فقد الماء ويستمر انكماش البروتوبلازم بعدها يبدا البروتوبلازم بالانفصال عن الجدار الخلوي وتسمى هذه الظاهرة بالبلزمة Plasmolysis فالبلزمة اذن هي انفصال البروتوبلازم عن جدار الخلية وهي على نوعين

1. البلزمة الدائمة او الثابتة Permanent plasmolysis تحدث عند غمر الخلية في محلول زائد التركيز لذائب لايسمح الغشاء البلازمي بانفاذه مثل محلول السكروز وتبقى الخلية متبلزمة الا بعد اخراجها من المحلول الزائد التركيز ووضعها في الماء المقطر او في محلول ناقص التركيز

2.البلزمة المؤقتة او الابتدائية Temporary or incipient plasmolysis

تحدث عند غمر الخلية في محلول زائد التركيز لذائب يسمح الغشاء البلازمي بانفاذه بدرجة اقل بكثير من انفاذه لجزيئات المذيب النقي كما هو الحال في غمر الخلية في محلول اليوريا او الغليسيرين اذ نلاحظ حصول البلزمة ولكن بعد فترة نلاحظ شفاء الخلية من البلزمة.



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.

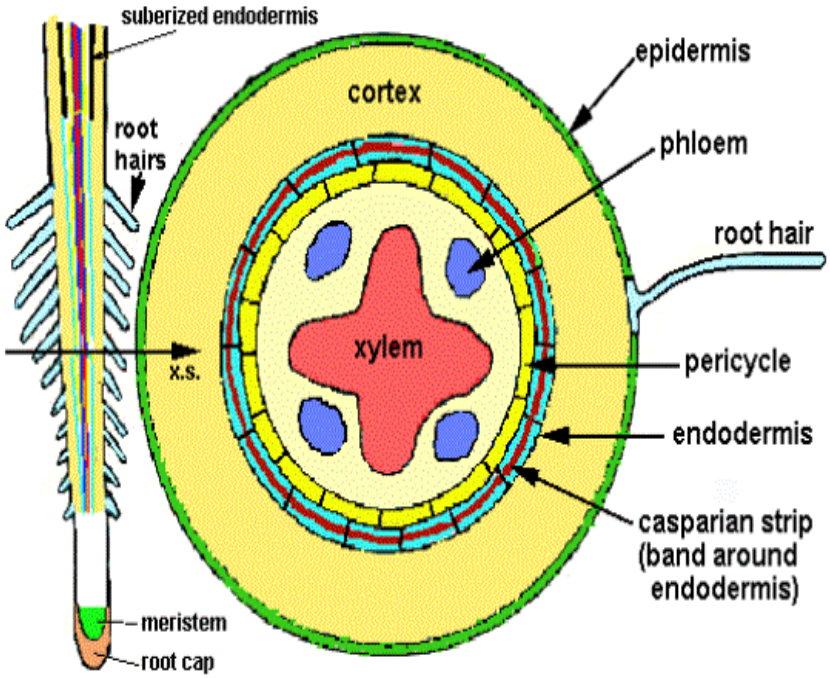
لو عملنا مقطعا عرضيا في منطقة الامتصاص في جذر حديث لنرى الأنسجة المختلفة التي يمر بها الماء عند انتقاله من محلول التربة فسوف نجد أولا طبقة البشرة التي هي عبارة عن اسطوانة

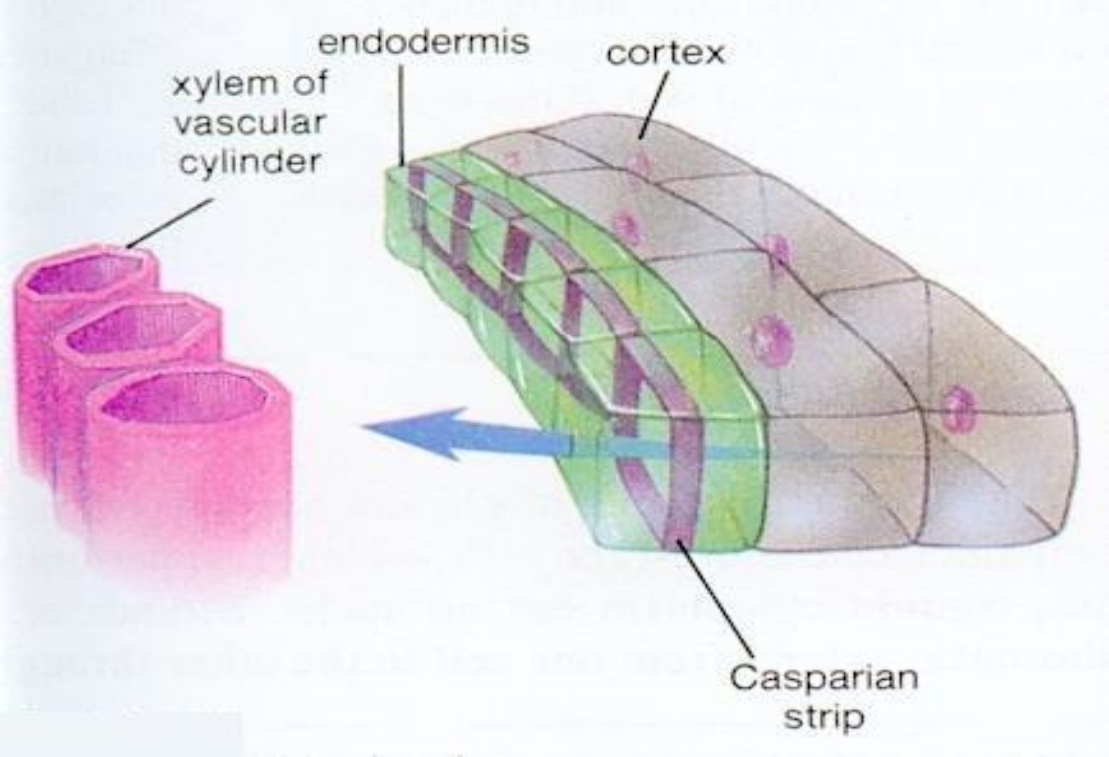
سمكها خلية واحدة تغلف الجذر وتخرج منها معظم خلايا الشعيرات الجذرية (النباتات المائية أو النباتات التي تزرع في محاليل مائية لاتتكون على جذورها شعيرات جذرية). الشعيرات الجذرية هي عبارة عن تراكيب رقيقة وحيدة الخلية توجد بها فجوة عصارية كبيرة مملؤة بمحلول له جهد مائي معينوطولها يتراوح من 1–8 مليمتر وتبقى 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 كاسبر Casparian 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

مسار تحرك الماء خلال الجذور Path of water movement through the root

كما سبق وذكرنا فإن الماء يُمتص بواسطة الشعيرات الماصة الجذرية وخلال البشرة "Epidermis" القريبة منهم ثم يتحرك من هذه الخلايا إلى أنسجة القشرة (Cortex) متجهاً إلى القشرة الداخلية Endoctermis ثم إلى البيربسيكل Perecycle وفي النهاية إلى الخشب

تتم عملية سريان الماء وتحركه من التربة وداخل أنسجة وخلايا النبات من خلال ثلاث طرق:-

1-بواسطة المكون الغير حي: Apoplast

والـ Apoplast هو عبارة عن مجموع الاجزاء والخلايا والأنسجة الغير حية وخاصة الجدران الخلوية cell wall وهذا يعني أن انتقال الماء بهذه الطريقة لا يعتمد على الأزموزية نظراً لأن هذه الأخيرة تتطلب وجود مكونات الخلية الحية وخاصة الغشاء الاختياري النفاذية، وعلى هذا

الأساس فإن انتقال الماء بهذه الطريقة يتم بواسطة الانتقال أو الانتشار الحر أو السلبي الذي لا يستوجب وجود طاقة أيضية أو بشكل أساسي بواسطة القوة أو الفعل الشعري Capillary action وهو عبارة عن توتر أو جهد سطحي يعمل على ربط وشد الماء داخل مسافات صغيرة جداً.

ولكن بهذه الطريقة فإن مرور الماء يعاق بسبب وجود شريط كسبار Casparian strip وهو عبارة عن شريط من مادة Suberein أو Lignin يغطي على شكل حلقة خلايا القشرة الداخلية Endodermis وهاتان المادتان غير نفاذتان وبالتالي فإن الماء مضطر للمرور عبر الغشاء البلازمي والبرتوبلازم لخلايا البشرة الداخلية متجهاً نحو الأوعية الخشبية وهذا ما نسميه بطريقة Symplast.

2- بواسطة المكون الحي: Symplast

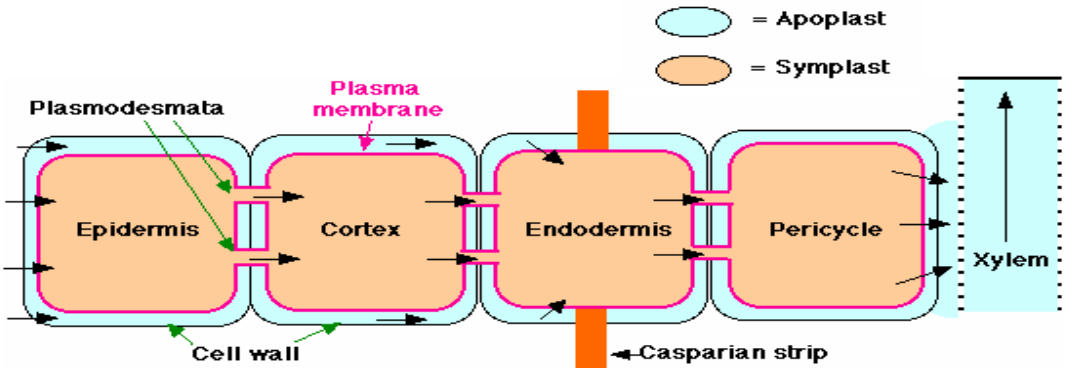
ال Symplast هو مجموع الاجزاء الخلوية الحية والتي تتصل ببعضها البعض بواسطة روابط Plasmodesmata عبر السيتوبلازم مرورا الجدار الخلوي وبناءً على هذه الطريقة فإن الماء والمحاليل تتحرك بناءً على الأزموزية (للماء) والانتشار الحر والامتصاص السلبي للذائبات الذي لا يحتاج لوجود طاقة أيضية وكذلك الانتشار النشط الذي يحتاج لوجود طاقة أيضية, خصوصا عند الاحتياج لاملاح او لمواد يكون تدرج تركيزها عكسيا.

وفي هذه الحالة فإن الماء ينتقل من التربة ويتحرك خلال النبات عن طريق تزايد سالبية تدرج الجهد الأزموزي والتي تتولد وتزداد بواسطة التركيز النسبي للمُذاب.

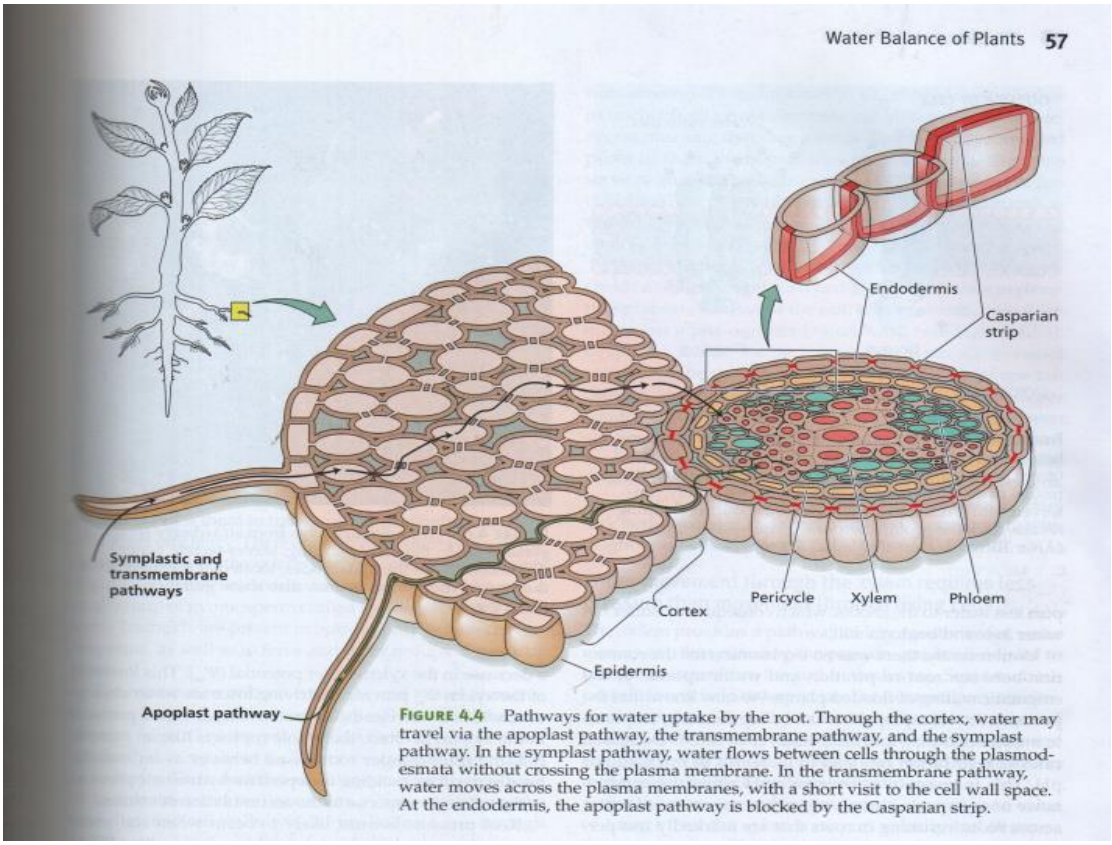
وهنا يمكننا التساول عن كيفية زيادة محتوى الخلايا من الملح خصوصاً بين خلايا الجذر والساق والورقة أي من الخارج نحو الداخل وبالتالي انخفاض الجهد المائي (ψ)، ويمكننا أن نُعزي ذلك إلى فعل الطاقة الأيضية مما يجعلنا نعطي هذه العملية اسم الانتشار النشط ..

3- عبر الفجوات Transallalar

وهو الانتقال من خلية إلى أخرى مروراً بالجدار الخلوي ثم السايتوبلازم فالفجوة ثم السايتوبلازم وينتقل الى الخلية الاخرى أي عن طريق ال Apoplast و ال Symplast في آن واحد.



مسار الماء من من البشرة فخلايا القشرة حتى القشرة الداخلية حيث تصل لشريط كسبار المغطي لخلايا القشرة الداخلية



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

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).

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.

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 الحيويةVital 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

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

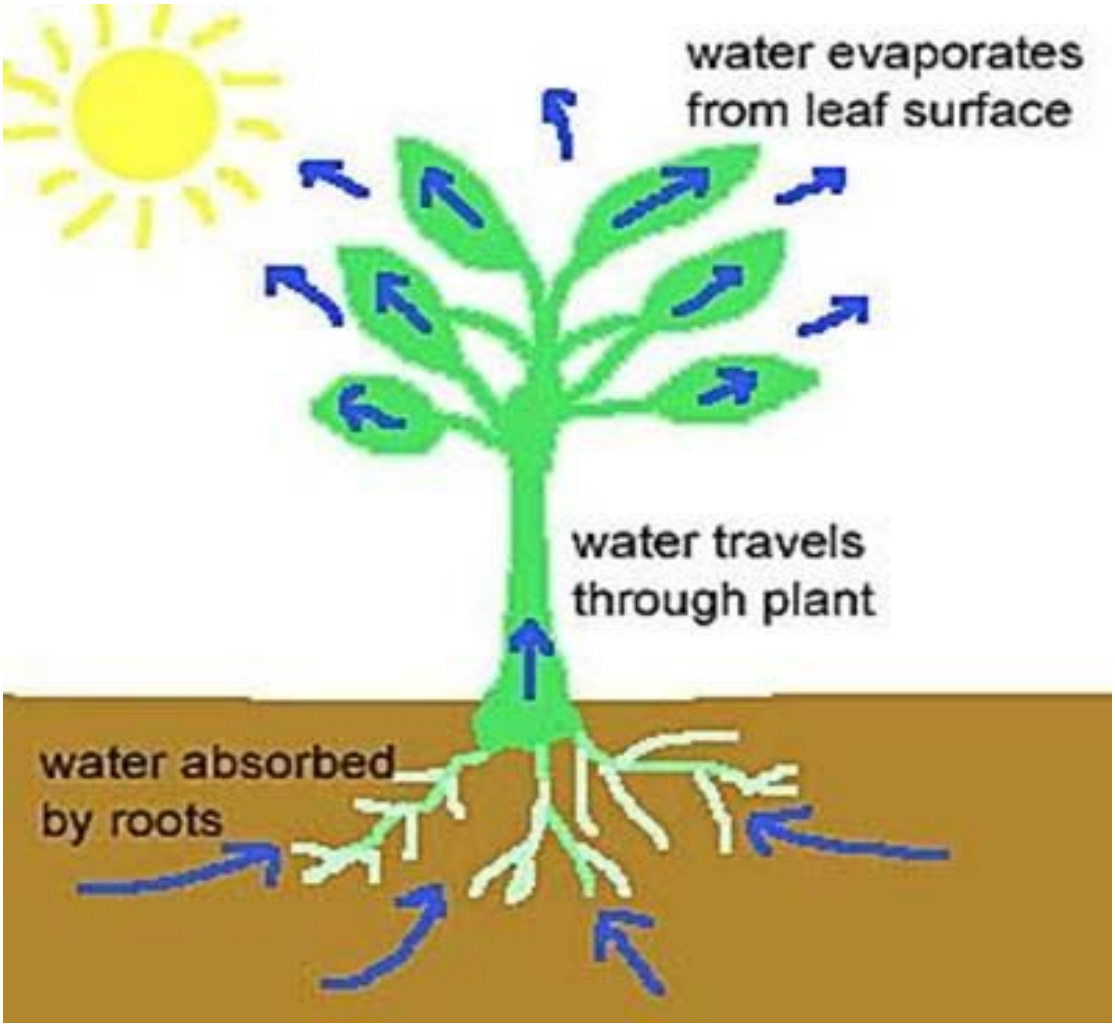
- **4. نظرية التماسك والشد Cohesion–Tension Theory**

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 Jollyانه 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 الماء من اجل نموها وبقاءها وانها تحتاج الى كميات وافرة منه الا ان النبات لايحتفظ 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 شكل بخار ماء من اجزاء النبات المعرضة للهواء خصوصا الأوراق بعملية النتح.**



أنواع النتح

النتح الثغري Stomatal transpiration

معظم الماء المفقود في عملية النتح يمر عبر ثقوب دقيقة موجودة في بشرة الاوراق تدعى الثغور **stomates** على الرغم من ان فتحات الثغور لاتؤلف الا نسبة قليلة من المساحة السطحية

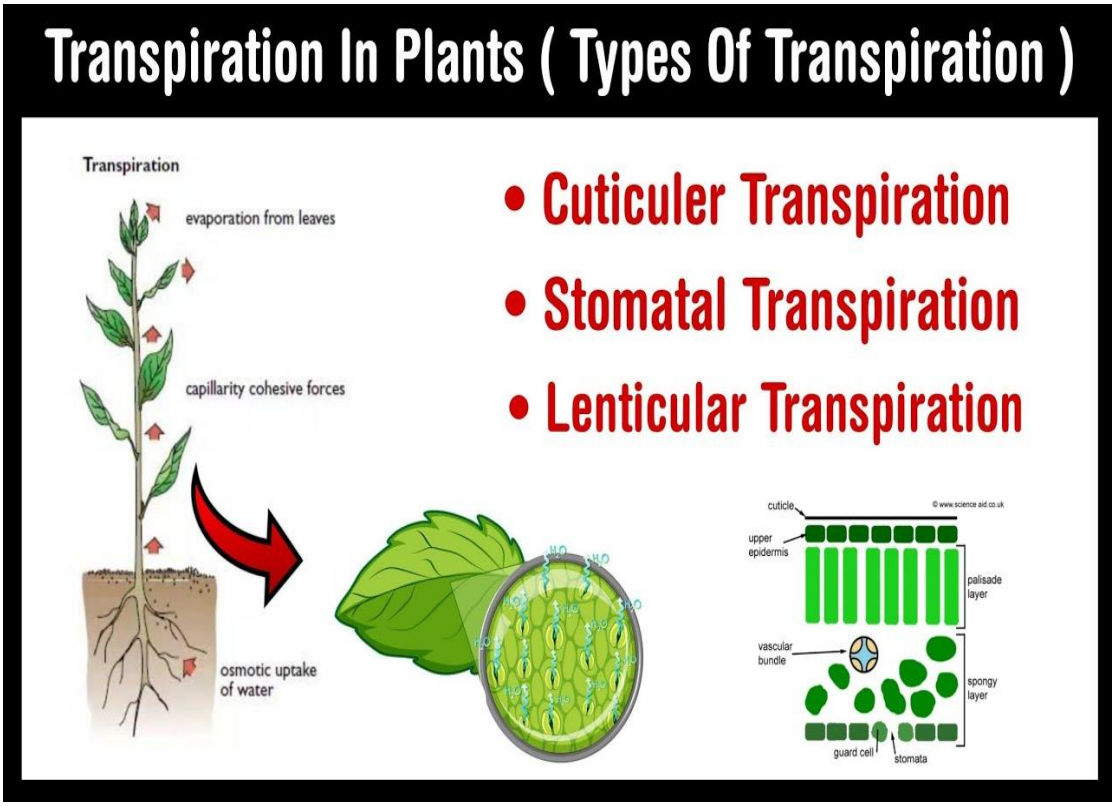
للاوراق ويعود السبب في ذلك الى المقاومة القليلة التي تبديها الثغور لحركة بخار الماء قياسا الى مناطق البشرة الاخرى وتتحكم الثغور بكمية الماء الخارجة ، فعندما تذبل الاوراق تقل فتحات الثغور أو تغلق كليا فيقل أو يتوقف تبخر الماء عن هذا الطريق.

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.

النتح العديسي Lenticular transpiration

قد يخرج بخار الماء من مناطق اخرى غير الثغور والأدمة كالشقوق والفتحات الصغيرة في الانسجة الفلينية التي تغلف سيقان الاشجار. نسبة الماء المفقود بهذه الطريقة قليلة عادتا لان الانسجة الفلينية لاتمثل الا جزأ صغيرا 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.



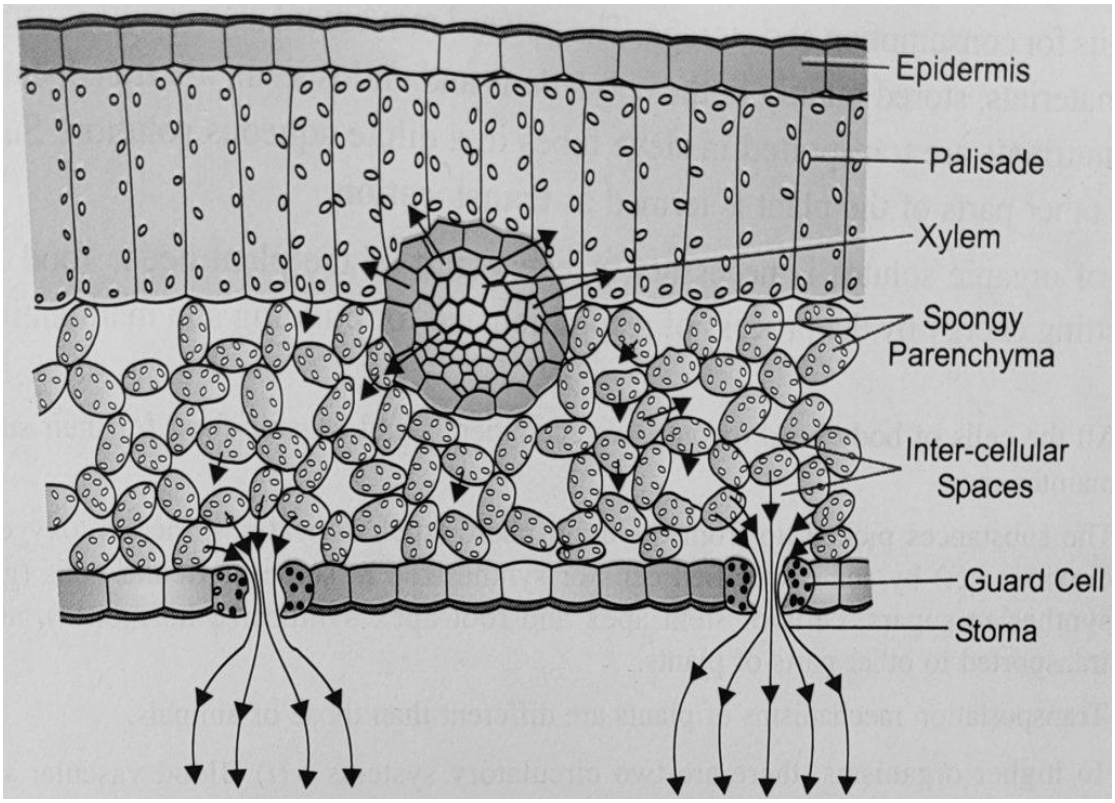
ميكانيكية حركة الثغور

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 فتتكمش جدرانها مما يؤدي الى تقارب الجدارين الغليضين للخليتين الحارستين فتضيق فتحتا الثغر.



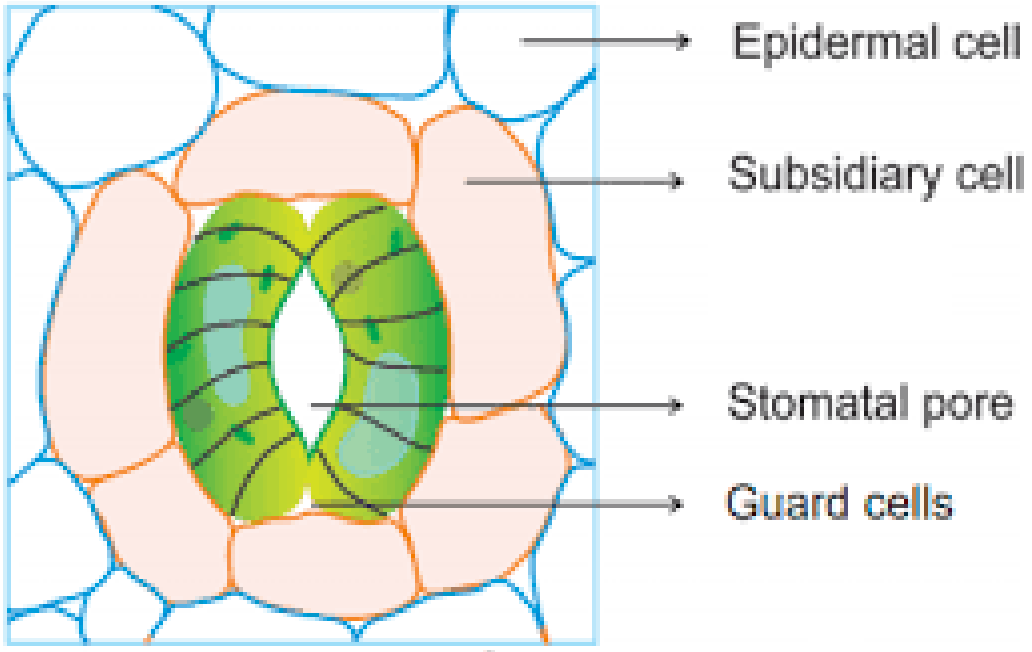


Fig: Structure of Stomata

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 المجاور فتزداد درجة امتلائها وبالتالي تفتح الثغور.وعلى الرغم من 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.

فرضية العالم سكارث Scarth أو فرضية تحول النشأ الى سكر

The starch–sugar hypothesis

وقد تم اعتماد هذه الفرضية بعد ان لاحظ العديد من العلماء ان نسبة النشا تكون مرتفعة في الخلايا الحارسة في الظلام وتكون منخفضة في وجود الضوء في النهار. كما ان ذلك يقترن مع ارتفاع للpH عندما تكون الثغور مفتوحة حيث يصل الى 7–6 بينما يقل عند غلق الثغور الى 5–4 من هذه الملاحظات .

تم الاستنتاج ان فتح الثغور في الضوء ناتج من ارتفاع في ال pH الذي ينشط انزيمات تحويل النشا الى سكر خافضا الجهد المائي للخلايا الحارسة.

ارتفاع ال pH في الضوء ناتج عن خفض نسبة ثاني اكسيد الكربون الذي يستعمل او يمتص في عملية البناء الضوئي خلال النهار اوخلال وجود الضوء مما يؤدي الى نقص في تكوين الاحماض. اما في الليل فيحدث العكس حيث يتم اطلاق كميات كبيرة من ثاني اكسيد الكربون بسبب توقف امتصاصة في عملية البناء الضوئي المتوقفة وكذلك بسبب اطلاقة من خلال عملية التنفس الخلوي وهذا الارتفاع يؤدي الى خفض ال pH أي زيادة الحموضة وهذا ما يعمل على تحول السكر الى نشاء عن طريق تنشيط انزيمات مثل **Phosphorylase**.

على الرغم من بساطة هذه النظرية إلا أنها تعتبر 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 Co2 غير كافي لاحداث التغيرات المذكورة في درجة الحموضة للخلايا الحارسة ولا يتناسب مع التغير الفعلي في درجة الحموضة من 5 الى7 والذي أمكن قياسه في أثناء انتفاخ الخلايا الحارسة.

3- إن التحول الداخلي للنشاء إلى سكر يعتبر بطئ جداً مقارنة مع سرعة استجابة الثغور وعملية الفتح.

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

قدمت نظرية من قبل Levitt (1973-74) وتعد أكثر النظريات حداثة ومقبولية لشرح ميكانيكية فتح وغلق الثغور وكان الباحث الياباني Fujino (1968) أول من لاحظ تدفق ايونات البوتاسيوم في الخلايا الحارسة خلال عملية فتح الثغور ووجد 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.

أما تفاصيل النظرية فتمت على يد Levitt ويمكن شرح النظرية اعتمادا على الملاحظات التالية تفترض هذه النظرية وجود مضخة بروتونية Proton Pump في الاغشية الخلوية للخلايا

الحارسة تعمل بواسطة ATP الناتج من عملية الفسفرة الضوئية الدائرية في البناء الضوئي كما تحتاج الى السايتوكاينين اذ تقوم هذه المضخة بسحب ايونات الهيدروجين خارج الخلايا الحارسة وتحل محلها بالحركة السلبية ايونات البوتاسيوم وخروج ايونات الهيدروجين يؤدي الى ارتفاع Ph الوسط للخلايا الحارسة الى أكثر من 7 (يكون قاعدي) كما يزداد ايضا دخول ايونات الكلورايد السالبة الى الخلايا الحارسة للمحافظة على التوازن الايوني داخل وخارج الخلايا الحارسة ان ارتفاع قيمة ال Ph الوسط للخلايا الحارسة يشجع النشاط الانزيمي لتحويل مركب PEP (Phosphpenpl pyruvate) الناشئ من تحلل النشا الى OAA(Oxaloacetic acids) الذي تحدث لة عملية اختزال ويكون الناتج حامض الماليك والذي يتحلل وتتكون املاحه potassium malate التي تتجمع في الفجوة وتزيد الجهد الازموزي وتقلل الجهد المائي نتيجة لذلك تبدا الخلايا الحارسة بسحب الماء من الخلايا المجاورة مما يؤدي الى امتلاء الخلية واتساع فتحة الثغر

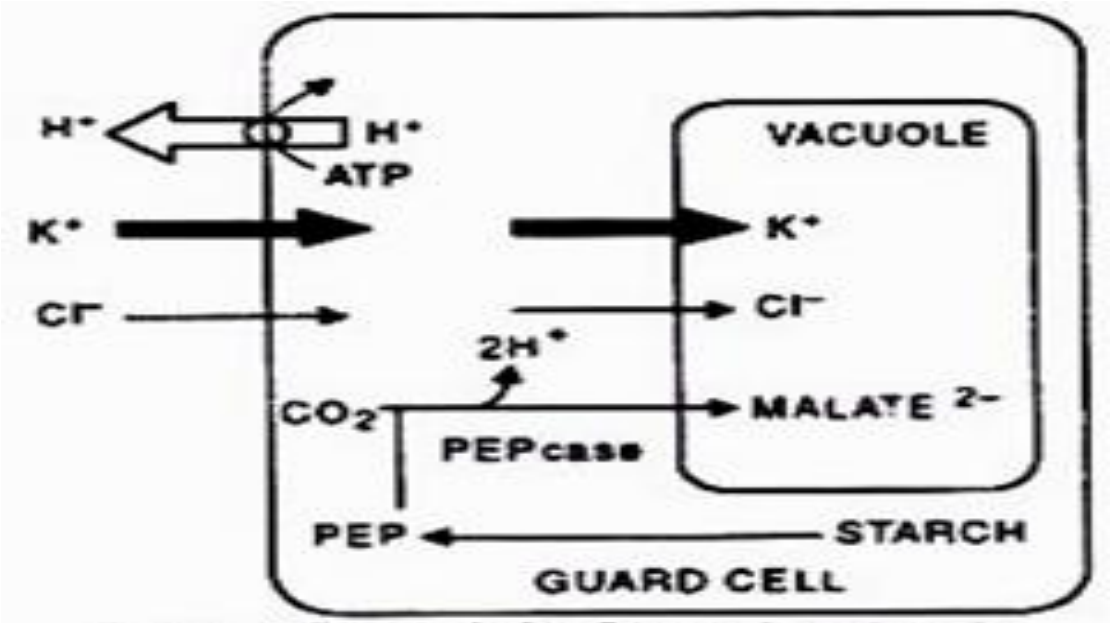


Fig. 4.7 Role of K^+, Cl^- and malate in increasing osmotic concentration (decreasing water potential) of guard cells.

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 ان زيادة مساحة الورقة يتبعها زيادة الماء المفقود وغالبا ما تنتح 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 وتعرق 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 التبخر وبالتالي تقليل عملية 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 التبخر 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

يتجلى 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 محدود كلما قل امتصاص الجذور للماء ويؤثر ذلك بالطبع على التوازن المائى فى النبات وعلى النتح

البناء الضوئي Photosynthesis

النبات الأخضر بوجود الضوء قادر على تحويل ثاني أوكسيد الكاربون والماء الى كاربوهيدرات محررا الأوكسجين بعملية تسمى بالبناء الضوئي تمثل مقدرة النباتات على صنع غذائها العضوي، في تلك العملية التي تتحول فيها الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية تمهد لاختزال ثاني أوكسيد الكربون الى مستوى الكاربوهيدرات ويمكن كتابة المعادلة العامة للبناء الضوئي كالتالي

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{Chloroplast}]{\text{light}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

يوجد نوع من البناء الكاربوهيدراتي يعرف **Chemosynthesis** البناء الكيميائي هو العملية التي يتم من خلالها تصنيع الغذاء (الكلوكوز) بواسطة البكتيريا باستخدام المواد الكيميائية كمصدر للطاقة ، بدلاً من ضوء الشمس.

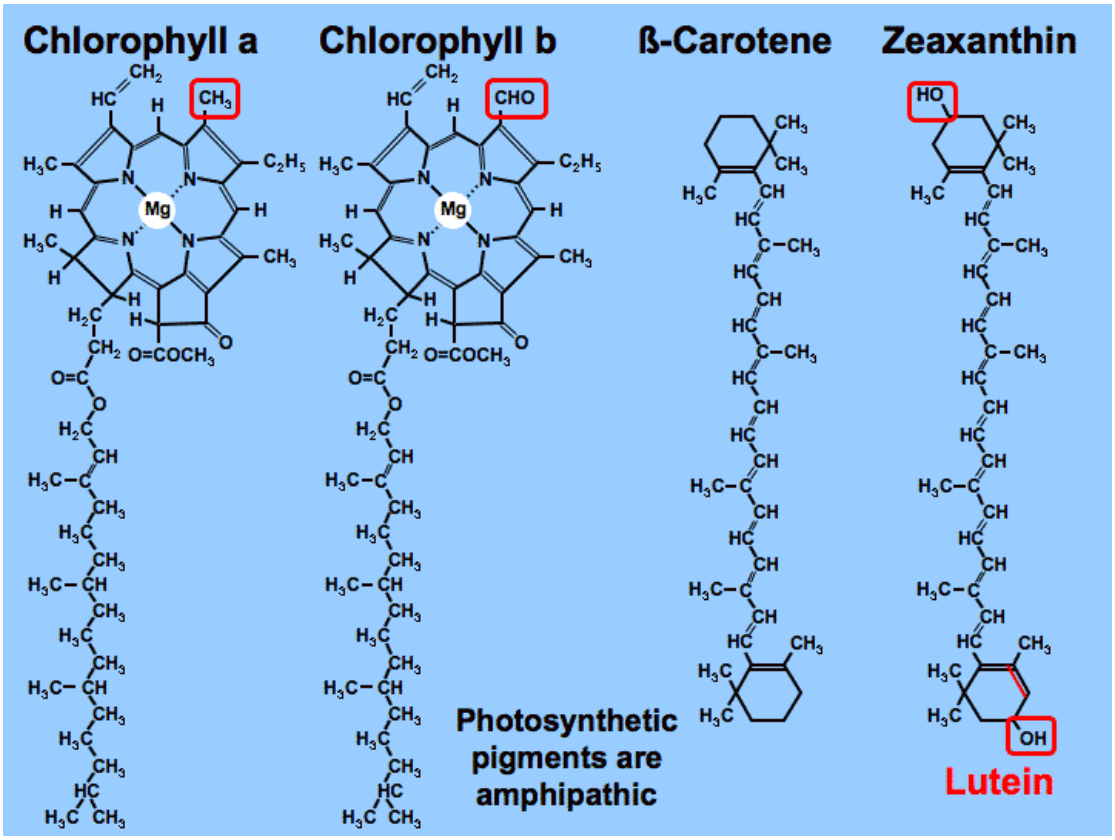
صبغات البناء الضوئي

الكلورفيل Chlorophyll هو الصبغة الخضراء في النبات ويعد أهم الصبغات النباتية في عملية البناء الضوئي وتوجد عدة انواع منه مثل a , b , c , d , eوأهم الانواع هي a , b لتواجدهم في بلاستيدات الخلايا النباتية اما بقية الأنواع فتوجد في الكائنات الدقيقة ذاتية التغذية مثل الطحالب الخضراء و البكتريا ويلاحظ ان كلوروفيل aيعطي لون اخضر مصفر أما كلوروفيل b يكون عادة ذو لون اخضر مزرق . اما عن التركيب الكيميائي للكلورفيل فهو يتركب من أربع وحدات من البروفيرين ويوجد المغنسيوم في صورتة الغير متأنية يتوسط جزئ

الكلورفيل ويختلف كلورفيل a عن كلورفيل b في ارتباط ذرة الكربون رقم 3 في جزئ الكلورفيل a بمجموعة ميثيل CH_3 في حين تكون في كلورفيل b مجموعة الديهايد CHO

كما توجد صبغات أخرى يميل لونها إلى الأصفر تسمى الكاروتين والزانثوفيل وهذه الصبغات لها دور مساعد فى عملية البناء الضوئى حيث تقوم بامتصاص والتقاط الطاقة الضوئية ثم تنقلها إلى صبغات الكلوروفيل. كما تقوم أيضاً بدور رئيسى فى حماية الكلوروفيلات من عمليات الأكسدة الضوئية وخاصة فى الضوء الساطع .

تتم عملية البناء الضوئي داخل البلاستيدات الخضراء التي تتركب من جسيمات محاطة بغشاء سيتويلازمي مزدوج يحتوي على نوعين من الصفائح الأولى تسمى صفائح الكرانا Grana مفردها Granum تحتوي على الصبغات الخاصة بعملية البناء الضوئي اذ يوجد في كل بلاستيدة 60 كرانا يتم فيها تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية أما الثانية تسمى صفائح الستروما stroma ويتم فيها اختزال ثاني أوكسيد الكاربون الى كاربوهيدرات.



ظاهرة الهبوط الأحمر والنظام الضوئي الأول (PSI) والثاني (PS II)

لقد سجل الباحث **Emerson** وآخرون أثناء دراستهم لكفاءة البناء الضوئي لمختلف الاطوال الموجية التي يمتصها طحلب **Chlorelle** انخفاض في انتاج الكوانتم عند طول موجي أكثر من 680 نانوميتر اذ تمكنوا من حساب انتاج الكوانتم والمقصود به عدد جزيئات الأوكسجين المنطلقة في عملية البناء الضوئي لكل كوانتم ممتص وسميت هذه الظاهرة بالهبوط الأحمر Red drop اي الهبوط في كفاءة البناء الضوئي . كما وجدوا ان استخدام نوعين من الأشعة الأول أقصر من 680 نانوميتر والثاني أطول من 680 فى آن واحد يفوق ويزيد عن مجموع كل من النوعين عند استعمال كل منها بمفرده وبالتالي تم التغلب على ظاهرة الهبوط الاحمر**ويطلق على هذا الارتفاع في معدل البناء الضوئي نتيجة لاستعمال نوعي الاشعة في ان واحد بتاثير اميرسن.**

لقد أسفر اكتشاف اميرسون لظاهرة الهبوط الأحمر وكذلك تأثير اميرسن عن وجهة نظر جديدة لدور الكلوروفيل والصبغات المساعدة في عملية البناء الضوئي اذ يبدو ان البناء الضوئي في النبات الأخضر يكون منظبط بتفاعلين ضوئيين متتاليين يرتبط كل منهما بمجموعة خاصة من الصبغات وهما

1. النظام الضوئي الأول **photosystem I (PSI)**

2.النظام الضوئي الثاني **photo system II (PS II)**

هذين النظامين التابعين لتفاعل الضوء أو المرحلة الكيموضوئية Photo Chemical phaseمن التمثيل الضوئى غنيان بصبغات الكلوروفيل والكاروتين وفى كلا النظامين فإن الصبغات تعمل على حصاد وتجميع الطاقة الضوئية ونقلها إلى مراكز النشاط الرئيسية فى كل النظامين (Reaction Centers)والتى تسمى المصايدTraps

كوانتم الضوء Quantumالممتص من قبل جزيء واحد من الكلوروفيل يرحل من جزيء إلى آخر وفى النهاية يستغل فى عمل كيميائي وهو تكوين NADPH2 & ATP وبمجرد أن يحدث إثارة لمراكز النشاط فى النظامين الضوئيين وهما Reaction Center Of PS II P680 و (Reaction Center Of PS I)P700 فإنها تحرر الكترونات وبذلك تختزل مستقبلات الإلكترون وهذه بدورها تحرر الالكترونات إلى مستقبلات أخرى .

تفاعلات عملية البناء الضوئي

أوضحت الدراسات ان عملية البناء الضوئي تشمل نوعين من التفاعلات هي تفاعلات الضوء Light reaction وتفاعلات الظلام Dark reaction

1. تفاعلات الضوء

تسمى أيضا بتفاعلات هيل Hill reaction اذ قام العالم Robert Hill سنة 1937 بدراسة تفاعلات البناء الضوئي على مستوى البلاستيدات الخضراء المعزولة بدلا من النباتات الكاملة وقد وجد ان البلاستيدة الخضراء المعزولة قادرة على انتاج الأوكسجين أي لها القدرة على اتمام التفاعل الضوئي بوجود عوامل مؤكسدة لها القدرة على أكسدة المركبات وتصبح هي مختزلة مثل مركبات سيانيد الحديد Ferrocyanide وأوكزالات البوتاسيوم الحديدية ferric Potassium oxalate

تصطدم فوتونات الضوء مع الكلورفيل فيصبح جزئ الكلورفيل مرتفع الطاقة و يتم ذلك بانتقال الكترون من مدار قريب من النواه الى مدار أبعد و يظل جزئ الكلورفيل في تلك الحالة المرتفعة من الطاقة excited state لفترة وجيزة جدا تبلغ 10-9 ثانية فاذا لم تستخدم الطاقة فأنها تتبد في صورة وميض او لصف الكلوروفيل Fluorescence of chlorophyll.

يتأكسد الكلورفيل في النظام الضوئي الأول PSI بفقد الالكترون فيستقبلة مركب Ferrodoxinوهي الصبغة التي تستقبل الالكترون وهي عامل مساعد بروتيني وتقوم باختزال المرافق الانزيمي المعروف باسم NADP في وجود أنزيم ferredoxin-$NADP^+$ reductaseويتحول NADP الي NADPH ومصدر الهيدروجين هنا هو الماء. وفي حالة عدم توفر المرافق الانزيمي الحامل للهيدروجين NADP والانزيم الذي يقوم باختزالة فان Ferredoxinتدفع تيار الالكترونات الى مستقبلات هي بالترتيب سيتوكروم b ثم سيتوكروم f ثم الى الصبغة cu- containing Plstocyanine Protein (PC)ثم مرة آخري الي كلورفيل a وذلك ليحافظ النظام الضوئي

الأول (PSI)على صورتة المختزلة المانحة للاكترونات وفي تلك الدورة يفقد الالكترون طاقتة و التي يمنحها الى المركب ADP ليكون مركب ATP باضافة الفسفور اللاعضوي الى ADP

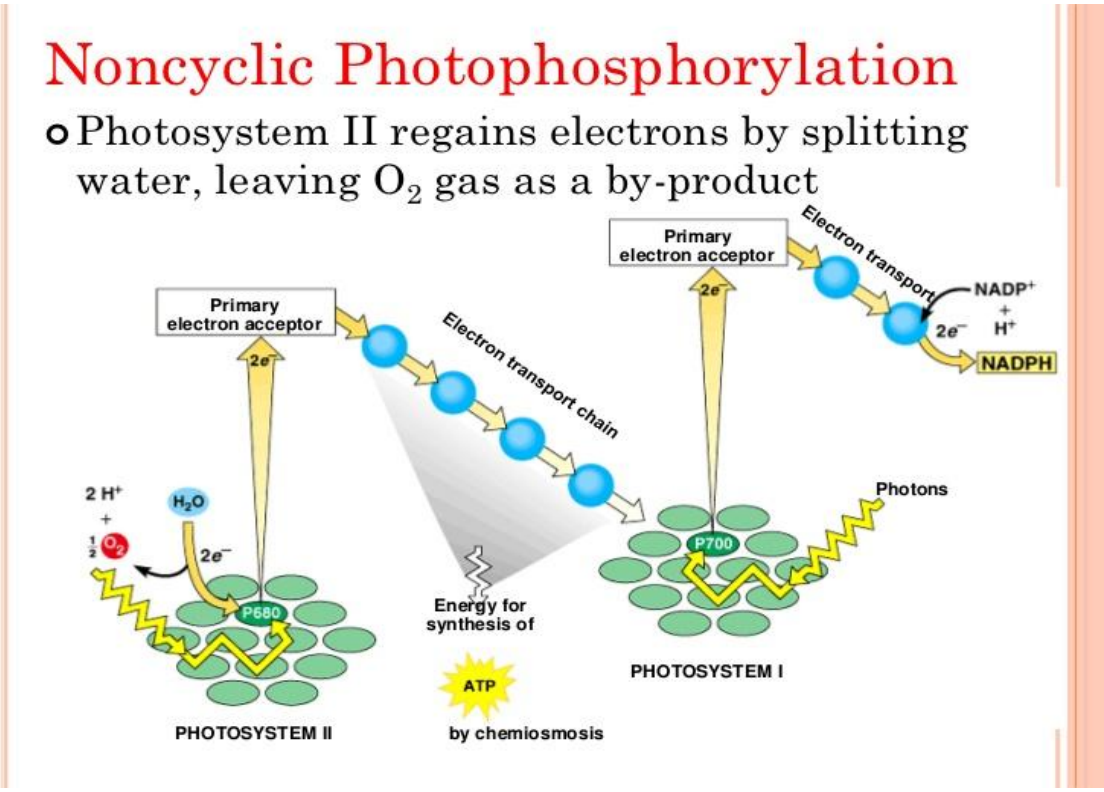
ADP +ip +E————> ATP

في نظام يعرف بأسم **الفسفرة الضوئية الدائرية Cyclic photophoshorylation.**

تأتي الألكترونات من أكسدة الماء اذ تتأكسد جزيئات الماء الى اكسجين يتصاعد وهيدروجين والكترونات

يستقبل الالكترونات صبغة Plastoquinoneالتى تختزل وتقوم بنقل الالكترون خلال Cyt b ثم Cyt f ثم الى المركب (P C) plastocyanine ثم الى كلورفيلa (PSI) لتعويض الالكترون المفقود والذي استخدم في اختزال NADP الى NADPH واثناء ذلك يفقد الالكترون طاقتة ويتكون ATPفي نظام يعرف باسم **الفسقرة الغير دائرية Non cyclic photophosphorylation**ثم تستعيض صبغة plastoquinone عن الالكترون المفقود بالكترون آخر من أكسدة الكلورفيلb (PS II) نتيجة اكسدتها ضوئيا و يعوض كلورفيل b الالكترون المفقود من أيونات الهيدروكسيل الناتجة من تحلل الماء و علية ينتج من التفاعل الضوئي مركبان هامان لعملية اختزال ثاني اكسيد الكربون هما المركب الغني بالطاقة ATP و كذلك الموافق الانزيمي المختزل NADPH

ومن الواضح أن عملية القسقرة الضوئية اللادائرية هي أساس عملية البناء الضوئي في النباتات الراقية مع امكانية حدوث القسقرة الضوئية الضوئية الدائرية جنبا الي جنب معآ



النمو Growth

تعد عملية النمو معقدة ولا يوجد تعريف مقنع للنمو بل هناك عدة تعاريف أهمها

1. النمو هو الزيادة في الوزن الجاف
2. النمو هو مضاعفة عدد الخلايا
3. النمو هو مضاعفة كمية البروتوبلازم
4. النمو هو الزيادة الدائمية في الحجم

قياس النمو

يقاس النمو بعدة طرق منها

1. الطول

ويتم بقياس طول النبات أو الفروع أو الجذور على فترات معينة

2. الوزن

يقاس الوزن الجاف dry weight على فترات معينة وفي حالات نادرة يؤخذ الوزن الطري fresh weight فقط

3. قياس مساحة الورقة leaf area

4. البروتين الكلي

5. النايتروجين الكلي

6. عدد الاوراق او الجذور او الخلايا

ويستحسن قياس النمو بأكثر من طريقة واحدة لاعطاء صورة ادق عن مقدار وطبيعة النمو لصعوبة قياس كمية النمو في الكائنات الحية بسبب عدم انتظام شكلها

النمو والنشوء على مستوى الخلية

Growth and development at the cellular level

يمكن ملاحظة ثلاثة حالات من النمو والنشوء على المستوى الخلوي وهي انقسام الخلايا cell division واتساع الخلايا cell enlargementوتميز الخلايا cell differentiation وبدون انقسام الخلايا لايمكن ان يحصل النمو وخاصة تحويل الزايكوت الى كائن كما ان مستوى انقسام الخلايا يلعب دورا مهما من الناحية المورفولوجية . ان انقسام الخلايا لوحده يؤدي الى تكوين العديد من الخلايا الصغيرة ولهذا عملية استطالة الخلايا تحدث لاجل زيادة الحجم . ان اتساع الخلايا يتطلب جعل جدار الخلية قابل للتمدد واحدى الفرضيات المسببة لتوسع الخلايا هي ان جدار الخلية وغشاء البلازما يتسعان تدريجيا بزيادة الفعاليات الحيوية الخلوية بسبب وجود بعض الهرمونات النباتية بتراكيز معينة كالاوكسينات ثم دخول الماء ليملا الفراغات الناشئة قي الخلية .

وهناك فرضية اخرى تقول ان زيادة الضغط الانتفاخي في الخلية هو الذي يسبب توسع جدار واغشية الخلية اذ لوحظ ان قلة الضغط الانتفاخي يثبط النمو في مساحة الجدار الخلوي للشعيرات الجذرية لبعض النباتات ومع ذلك وجد ان الخلايا المكتملة النمو تمتلك ضغوط انتفاخية اعلى مما تمتلكه الخلايا الفتية.

أماكن النمو في النبات

1. الانسجة المرستيمية الطرفية

توجد هذه الانسجة في اطراف السيقان والجذور وهي التي تسبب النمو الطولي للنبات والنمو الناتج عنها يطلق عليه النمو الابتدائي primary growth وتسبب الانسجة المرستيمية الجانبية تكون الافرع الجانبية وعند انقسام الخلايا المرستيمية فان الخلايا المتكونة خلف المرستيم مباشرة هي التي تتسع بينما تبقى الاولى مرستيمية.

2. الكامبيوم Cambium

مثل الكامبيوم الوعائي الذي يمتد بين الخشب واللحاء في الساق والجذور ويسمى النمو الناتج عن الكامبيوم بالنمو الثانوي

منظمات النمو النباتية Plant growth regulators

وهي مركبات كيمياوية عضوية غير المغذيات قد تتكون طبيعيا في النبات أو تصنع مختبريا والتي بالتراكيز الواطئة قد تحفز او تثبط او تحور احدى العمليات الفسلجية في النبات مثل الاوكسين الطبيعي IAA ولاوكسين المصنع 2,4-D

الهرمونات النباتية Phytohormones or plant hormones

وهي منظمات النمو المتكونة في النبات فقط والتي بالتراكيز الواطئة تنظم العمليات الفسلجية للنبات (تنشطها او تثبطها او تحورها) وعادة تنتقل من مواضع انتادها في النبات الى مكان عملها في النبات ومن الامثلة على الهرمونات النباتية IAA والجبرلين.

1. الاوكسينات Auxins

في سنة 1926 وجد الباحث went مادة كيمياوية محفزة للنمو اذ قام بفطع غمد الرويشة لنبات الشوفان ووضعها في الظلام على مكعب صغير من المادة الجيلاتينية Agar ثم وضع المكعب على جهة واحدة من غمد الرويشة فلاحظ ان الجهة المضاف اليها المكعب نمت بصورة اسرع من الجهة الاخرى وحصل الانحناء الى الجهة الخالية من المكعب وقد اطلق went على هذه المادة المحفزة للنمو اسم الاوكسين

موقع تصنيع الاوكسين

يعتبر الحامض الاميني Tryptophan بشكل عام هو منشأ البناء الحيوي للاوكسين في النبات وان ذلك يتم في مناشئ الأوراق والأوراق الفتية والبذور أثناء مراحل تكوينها . و ينتقل الاوكسين من خلية لاخرى وقد يتضمن انتقاله الى الجذور عن طريق اللحاء .

التأثيرات الفسلجية للاوكسين

1. تأثير الاوكسين على الاحساس والحركة في النبات
2. تحفيز الاوكسين لاستطالة الخلايا
3. تحفيز الاوكسين لانقسام الخلايا وتكوين الكالس callus
4. ابتداء تكوين الجذور
5. تشجيع السيادة القمية وتثبيط نمو البراعم الجانبية

2. الجبريلينات Gibberellins

اكتشف الجبريلين لاول مرة عام 1926 من قبل العالم الياباني Kurosawa اثناء دراسته لمرض Bakanae (البادرة الحمقاء foolish seedlings) وهو حالة نمو غير طبيعية بدرجة كبيرة وشاذة لاوراق وسيقان الرز فتبدو طويلة ونحيفة ولذلك تضطجع نتيجة الاصابة بفطر *Gibberella fujikuroi* حيث لاحظ ان تنمية هذا الفطر على وسط ثم ترشيح هذا الوسط من الفطر فان الراشح يسبب هذا المرض وهذا يعني ان الفطر يفرز مواد في النباتات التي يصيبها او الوسط الغذائي الذي ينمو عليه وان هذه المادة هي المحفزة لاستطالة الساق والاوراق . وفي عام 1939 تم استخلاص مادة بلورية من الراشح الذي نما عليه الفطر وسميت بالجبريلين (Gibberellin) وفي عام 1954 تم استخلاص هذه المادة بصورة نقية واطلق عليها Gibberellic acid حامض الجبريلين .

موقع تصنيع الجبريلين :

يعتبر حامض Mevalonic مصدر تكوين الجبريلين في الانسجة الحديثة للمجموعة الخضرية والبذور اثناء مرحلة النمو. وينتقل الجبريلين خلال انسجة الخشب واللحاء .

التاثيرات الفسلجية للجبريلينات

1- تحفيز استطالة الساق نتيجة تحفيز انقسام واستطالة الخلايا وبالتالي التغلب على ظاهرة التقزم الوراثي 2- حدوث التزهير bolting في نباتات ذوات النهار الطويل حيث يمكن حثها على التزهير في ظروف النهار القصير وذلك برشها بالجبريلين

3-انبات البذور التي تحتاج الى البرودة او الضوء لانباتها (مثل بذور الخس)

4. زيادة نمو الثمار والعقد

3. السايتوكنينات Cytokinins

كان الاكتشاف الاول لها من قبل Haber Landtفي العقين الاولى من القرن العشرين. اذ تبين له وجود عامل له علاقة بتشجيع انقسام الخلايا البرنكمية لدرنات البطاطا لتحويلها الى الحالة المرستيمية وامكانية حدوث انقسام للخلايا. بعده قام SKoogبدراسات لمعرفة دور السايتوكنين في انقسام الخلايا وتخصصها ووجد بعده ان للسايتوكنينات دور ايضا في الشيخوخة والسيادة القمية.

ويعتبر الكاينتين من اشهر السايتوكنينات المصنعة وتشير الادلة ان انتاج السايتوكنين يكون في الجذور ثم ينتقل بالسيقان والاوراق عن طريق نسيج الخشب وتتحرك الى مراكز الاوكسين في النبات ويتكون السايتوكنين من خلال التحوير الكيمياوي الحيوي لل adenine

التاثيرات الفسلجية للسايتوكنين:

1. انقسام الخلايا : يسبب انقسام الخلايا عند اضافته مع الاوكسنين.
2. حدوث التكوين الشكلي Morphogenesisعند زراعة الانسجة.
3. تقليل او منع السيادة القمية وبالتالي نمو البراعم الجانبية.
4. تاخير شيخوخة الاوراق
5. كسر السكون في البذور والراعم

4. الاثلين Ethylene

ان اكتشاف الاثيلين والتعرف عليه كهرمون للنضج جاء من الدراسات التي جرت حول نضج الثمار. والاثيلين هو هرمون مثبط للنمو وهو الوحيد من الهرمونات الذي يوجد بشكل غاز وهذه مفيدة في سهولة نقل وحركة الاثيلين خلال الخلايا الحية وصولا الى موقع التأثير.

التاثيرات الفسلجية للاثيلين :

1. نضج الثمار وتغييرات في اللون والطعم ومعدل التنفس.

2- تشجيع انفصال الاوراق

3- تثبيط تكوين البراعم الجانبية

4- تثبيط نمو الجذور

5- زيادة نفاذية الاغشية.

6- تشجيع تكوين الجذور العرضية

7- تشجيع تكوين الازهار في نبات الاناناس.

8- يسبب الذبول المؤقت وتهدل الاوراق والنمو غير المنتظم epinasty

تغذية النبات

قسمت الكائنات الحية بالنسبة لنوع غذائها الى

1. غير ذاتية التغذية Heterotrophic

وهي الكائنات التي تحتاج الى المواد العضوية مثل الكاربوهيدرات أو البروتينات او الدهون وكذلك تحتاج الى العناصر المعدنية في غذائها وهذه الكائنات لاتستطيع ان تعتمد على نفسها في بناء غذائها العضوي ومن امثلتها الحيوانات وبعض النباتات عديمة الكلوروفيل والبكتريا وبعض الفطريات.

2. ذاتية التغذية Autotrophic

وهي الكائنات التي تستطيع تكوين غذائها العضوي بنفسها بعد حصولها على الغذاء المعدني فقط وقد تستخدم الطاقة الضوئية لاختزال ثاني اوكسيد الكاربون الى مركبات عضوية كما في النباتات الخضراء أو الطاقة الناتجة من اكسدة المواد المعدنية لغرض بناء المواد العضوية كما في بعض انواع البكتريا.

العناصر الضرورية لنمو النبات

لقد ميز العالمان Arnon و Stout العناصر الغذائية الضرورية من غير الضرورية لنمو النبات وأكد على ثلاثة اسس لوصف العنصر بأنه ضروري

1. يعد توفر العنصر ضروريا لنمو النبات الطبيعي وتكاثره ويتوقف النمو او التكاثر او كلاهما بغياب ذلك العنصر

2. يعد وجود العنصر في في المحلول الغذائي للنبات شرطا أساسيا لنمو النبات وليس مجرد توفر البديل للعنصر الضروري وعبارة اخرى لايمكن ابدال الصوديوم محل البوتاسيوم بالرغم من التشابه الكبير بينهم في الخواص الطبيعية والكيميائية

3. يعد العنصر ضروري او اساسي اذا ظهر بانه احد مكونات الجزيئات الداخلة في العمليات الفسلجية المهمة في النبات

تقسم العناصر حسب الكميات التي يحتاجها النبات الى العناصر الغذائية الكبرى (المغذيات الكبرى) Macronutrients والتي تعني ان النبات يحتاج العنصر المغذي بكمية 100 جزء بالمليون او اكثر لغرض حدوث النمو الطبيعي وهناك العناصر الغذائية الصغرى (المغذيات الصغرى) Micronutrients وتعني ان النبات يحتاج لهذا العنصر بكمية قليلة جدا (أقل من 1 جزء بالمليون)

وفي ضوء هذا التقسيم تشمل المغذيات الكبرى الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت والكالسيوم والمغنيسيوم اما المغذيات الصغرى فتشمل الحديد والمنغنيز والكلور والبورون والزنك والنحاس والملبيدنم والكوبلت.

العناصر غير الضرورية

وهي العناصر التي قد توجد في بعض النباتات ولكن لم تثبت ضرورتها للنبات لحد الان فقد

يكون لها تاثير منشط لبعض العمليات الحيوية كالصوديوم والسيليكون واليود والألمنيوم وغيرها

كما يحتمل ان يكون من بين هذه العناصر عنصرا اساسيا لنمو نبات دون الاخر

امتصاص العناصر الغذائية

1. الامتصاص الحر او السالب passive absorption

يحدث الامتصاص الحر اثناء تلامس الجذور مع محلول التربة وتتميز هذه العملية بانها لاتحتاج الى طاقة وان الايونات تصل في النهاية الى حالة توازن ديناميكي كما ان الامتصاص غير متخصص جدا بالنسبة للأيونات وان تبادل الايونات يحدث فيما يسمى الفراغ الحر اوالخارجي اي في جدلران الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا ويحدث الامتصاص الحر بعدة وسائل

أ.الانتشار Diffusion

هو مرور المواد الغذائية من الوسط الاكثر تركيز الى الوسط الأقل تركيز . فقد وجد انه عند نقل نبات نامي في محلول مغذي مخفف الى محلول مغذي مركز فان الايونات تدخل بسرعة الى الانسجة النباتية حتى يحصل التوازن بين المحلول المغذي في الفراغ الحر والمحلول الخارجي وبذلك تتجمع الايونات ضد فرق التركيز الذي يكون عاليا في الخلية دون صرف طاقة حيوية

ب. تبادل الأيونات Ion exchange

وهي ان الايونات الموجبة والسالبة الموجودة في محلول التربة او في دقائق التربة الغروية قد تمر الى داخل الخلايا أو الى الفراغ الحر في الخلايا وتحل محل ايونات موجبة وسالبة اخرى ملتصقة على أسطح الأغشية الخلوية فمثلا البوتاسيوم يتبادل مع ايونات الهيدروجين والنترات تتبادل مع ايونات الهيدروكسيل وبهذه الطريقة قد يحدث الامتصاص بصورة أكثر مما هو متوقع بعملية الانتشار

ج. اتزان دونان Donnan equilibrium

درس دونان تأثير الايونات المثبتة داخل الخلية ولنفرض ان بعض الايونات السالبة قد ثبتت في الخلية وعند انتشار اعداد متكافئة من ايونات سالبة وموجبة الى داخل الخلية لذا يكون توزيع الايونات على جانبي الغشاء غير متساوي ونتيجة لذلك يكون تركيز الايونات السالبة داخل الخلية ابر من خارجها ولأجل ان يتم التوازن الكهربائي يجب ان تمر ايونات موجبة اضافية عبر الغشاء الخلوي لمعادلة الأيونات السالبة المثبتة في داخل الخلية وبذلك يكون تركيز الايونات الموجبة في داخل الخلية اكبر من خارجها بينما يكون تركيز الايونات السالبة في الخلية أقل مما في خارج الخلية . كما ان فرضية دونان قد تفسر سبب تجمع الايونات السالبة في الخلية اكثر من خارجها في حالة وجود ايونات موجبة مثبتة مسبقا في الخلية.

د. الجريان الكتلي Mass flow

يفترض بعض الباحثين ان الايونات قد تتحرك الى الجذور مع الماء بعملية الجريان الكتلي وان اي زيادة في النتح سوف تسبب زيادة معدل الامتصاص ولكن لايعرف بالظبط هل ان تأثير النتح مباشر او غير مباشر ولكن يعتقد ان التاثير غير المباشر وذلك بازالة الايونات من خلال الجذور ونقلها الى الخشب بينما يعتقد البعض الاخر ان الايونات تتحرك مع الماء بشكل حركة كتلية من محلول التربة وخلال الجذر الى الساق.

2. الامتصاص النشط Active absorption

تعتبر هذه العملية من العمليات الفسلجية المهمة التي تجري في أغشية الخلايا النباتية مثل غشاء البلازما وغشاء الفجوة وتعد الفجوة المكان المهم لتجمع الايونات المختلفة السالبة والموجبة وبكميات متكافئة كهربائيا . وتكون عملية تجمع الايونات في الخلايا مستمرة حتى لو كان تركيز الايونات في الخلايا اكثر مما هو في محلول التربة بمئات المرات وقد اطلق على هذا النوع من النقل الايوني بالامتصاص النشط ويمتاز بعدة خصائص

أ. ان العملية تتطلب صرف طاقة حيوية لدفع الايونات الى داخل الخلية ولهذا تعتمد على توفر الاوكسجين اضافة الى انها حساسة للمواد السامة كما وتتاثر بارتفاع او انخفاض درجة الحرارة وتقل في الظلام

ب. تتخصص العملية بامتصاص بعض الايونات بكمية اكبر من الاخرى

ج.غالبا ما يطلق على العملية بفرضية المركب الحامل Carrier hypothesis والتي تفترض بان الايونات او الجزيئات المنقولة بمساعدة الطاقة تتحد مع المركب الحامل الذ هو احد مكونات غشاء الخلية وتكون مركبات معقدة ثم تمر عبر الغشاء الخلوي الى داخل الخلية ومن ثم يتحلل المركب المعقد الحامل الى صورته الاولى الى خارج الغشاء وتزويده بالطاقة الحيوية ليكون جاهز مرة اخرى

العوامل المؤثرة في امتصاص الأملاح

1. درجة الحرارة Temperature

بصورة عامة يزداد معدل امتصاص املاح العناصر الغذائية (بطريقة الامتصاص الحر أو النشط) بازدياد درجة الحرارة من الصفر المئوي حتى درجة 40°م وبعد تلك الدرجة ينخفض معدل الامتصاص وهذا مايفسر عدم استطاعة النبات من النمو في البيئة الحارة او الباردة جدا ويعتقد ان عمل الانزيمات او الحوامل Carriers يتوقف في الحدود المتطرفة من درجة الحرارة

2. الفرق في تركيز الايونات Ion concentration gradient

كلما كان الفرق في تركيز الايونات بين محلول التربة والخلية عاليا كلما ازدادت عملية نفوذ ايونات العناصر الغذائية باتجاه الموضع ذو التركيز الواطئ

3. تفاعل التربة PH

من الملوم انتأين المواد الالكتروليتية يعتمد على ال PHفمثلا $H2po4^{-1}$ و $H2po4^{-2}$ هما أهم اشكال ايونات الفوسفات التي يمتصها النبات في PH= 7 في محلول التربة ولكن عندما تصبح التربة قلوية تتكون الفوسفات الثلاثية $PO4^{-3}$ ولايستطيع النبات امتصاصها ويذكر ان القيم العالية او الواطئة من PH تسبب اضرار للخلايا النباتية بسبب توقف عمل الانزيمات او الحوامل وبذلك يقل الامتصاص من قبل الخلايا

4. الضوء Light

للضوء تاثيرات غير مباشرة في امتصاص المغذيات ويعتقد ان فتح الثغور يؤدي الى زيادة الحركة الكتلية للماء Mass flow بسبب عملية السحب من النتح وبالتالي يزداد امتصاص المغذيات كما ان الطاقة الضوئية المتحولة الى طاقة كيمياوية تسهل امتصاص المغذيات حيويا.

5. الاوكسجين

وجد ان امتصاص المغذيات حيويا ينخفض بقلة الاوكسجين وقد يرجع السبب الى قلة الطاقة اللازمة لتسهيل النقل النشط

6. التأثير المتبادل بين المغذيات

وجد ان امتصاص احد الايونات المغذية قد يتاثر بوجود الايون التابع لمغذي اخر فمثلا لوحظ ان امتصاص البوتاسيوم يزداد بوجود الكالسيوم والمغنيسيوم وبعض الايونات الموجبة الاخرى المتعددة الشحنة في الوسط الخارجي للخلايا كما تبين ان امتصاص المغنيسيوم يتأثر بشدة عند وجود ايونات الكالسيوم.

7.النمو Growth

لقد وجد ان امتصاص المغذيات يتاثر كثيرا بنمو النبات الذي يعمل على زيادة المساحة السطحية للنبات وعدد الخلايا وتكوين المواقع الفعالة الجديدة او الحوامل الجديدة ويختلف معدل

الامتصاص باختلاف عمر النبات فقد يمتص النبات العنصر المغذي بكميات كبيرة في مرحلة النمو الخضري ثم يقل بعد ذلك تدريجيا وقد تتراكم بعض المغذيات في انسجة النبات لحين الحاجة وتنتقل المغذيات الممتصة الزائدة من اماكن تراكمها الى اماكن التصريف Sink عند تكوين الازهار والثمار والبذور.

نقل المغذيات Translocation of nutrients

اذا اعتبر ان امتصاص المغذيات يحدث بعملية حرة او نشطة وان بعض المغذيات تنتقل الى ما يسمى الفراغ الحر free space ومن ثم الى الفراغ الداخلي inner space الذي هو السايتوبلازم والفجوات والذي تتجمع فيه المغذيات بتراكيز اعلى مما في الوسط الخارجي فالسؤال المهم هو كيف تتحرك المغذيات عبر القشرة الى الاجهزة الناقلة في الاسطوانة المركزية . لقد افترض بان المغذيات تنتقل حتى القشرة الداخلية اذ يوجد شريط كاسبر المعرقل للحركة الحرة اما بعملية حرة او بطريقة symplast اي خلال سايتوبلازم الخلايا المتجاورة والمرتبطة بالخيوط السايتوبلازمية plasmodesmata

اما كيفية عبور المغذيات للقشرة الداخلية وخاصة شريط كاسبر المشبع بالسوبرين والمستمر في جدران الخلايا ويحيط بالاسطوانة الوعائية كما ان السايتوبلازم في خلايا القشرة ملتصق بشدة مع هذه الحزمة ولهذا لاتستطيع المغذيات العبور خلال جدران الخلايا او بين الجدران والسايتوبلازم فيجب ان يحصل خلال السايتوبلازم نفسه

اشهر الفرضيات المتعلقة بعبور المغذيات للقشرة الداخلية هي فرضية Crafts و Broyer والتي تفترض وجود تدرج في قلة الاوكسجين من القشرة الى الاسطوانة المركزية مع زيادة ثاني اوكسيد الكاربون في الاسطوانة المركزية اكثر من القشرة وهذا يعني قلة الفعاليات الحيوية قرب الاوعية

الخشبية وبما ان الطاقة تصرف لاجل تجمع المغذيات ضد فرق التركيز ومسك هذه المغذيات فان خلايا الاسطوانة الوعائية تسهل فقدان او نقل المغذيات منها وبما ان الانتشار الى الى القشرة خلال شريط كاسبر مستحيل لذا يكون الممر الوحيد هو هو الحركة الى الاوعية الخشبية.