مقدمة في علم فسلجة النبات :– Introduction of Plant Physiology

تقسم شجرة الحياة إلى :-

A- Domains – Bacteria , Archarea , Eukaryotic .

B- Kingdoms – Eubactria , Archabacteria , Archaezoa , Protista , Chromista , Fungi , Animal .

C- Cladogram – in class .

تعريف النبات :– Definition of Plant

يعرف النبات بأكثر من تعريف ويتميز على انه :-

- كائن حي متعدد الخلايا Its multicultural
- غير متحرك Its non – motile
- ذو خلايا حقيقية Eukaryotic cells
- تحتوي خلاياه على جدار خلوي يتركب من مادة السليلوز Has cell wall comprised of cellulose
- ذاتي التغذية Its autotrophic
- يمر بجيلين بالتبادل جيل Sporophyte (Diploid) أي ثنائي المجموعة الكروموسومية وجيل (Haploid) أحادي المجموعة الكروموسومية .

ينتمي النبات إلى المملكة النباتية (Plant Kingdom) { Plantae } والتي تتضمن :-

1- Angiosperms (Flowering Plant)

2- Gymnosperms (Cone – bearing) plant .

3- Fern ُ s and bryophytes (Mosses & live words) .

إن التقسيم الحديث أصناف الفطريات الحمراء (Red algae) والخضراء (Green algae) .

ماذا يعني علم الفسلجة ؟ What is Plant Physiology ؟

- يعرف علم الفسلجة على انه العلم الذي يختص بدراسة وظائف وفعاليات التي تحدث داخل خلايا النبات .
- الفعاليات الحيوية التي تحدث في النبات .

كيف يعمل النبات ؟

إن علم الفسلجة يدرس الطريقة التي يعيش بها النبات أي طريقة حياة النبات والتي تتضمن مختلف الظواهر التي يعين النبات على العيش والبقاء والتكاثر ..... والتي تضمن :-
عمليات الايض (Metabolism) ، العلاقات المائية (Water relation) ، التغذية المعدنية (Mineral nutrition) ، النمو والتطور (Development) ، الحركة (Movement) ، الاستجابة للمحيط (Irritability) ، التنظيم (Organization) ، عمليات النمو (Growth) ، النقل (Transport) .

يمتاز علم فسلجة النبات بأنه :-

- علم مختبري .
- علم تجريبي .
- يعتمد علم الفسلجة على الكيمياء والفيزياء .

لماذا ندرس علم فسلجة النبات ؟

- إن الغذاء الذي نتناوله هو من صنع النبات بطريقة مباشرة أو غير مباشرة وهو عبارة عن مسار دخول الطاقة إلى النظام البيئي وتحويلها إلى مادة غذائية .
- الأهمية الاقتصادية لمنتجات النبات كالألياف والمواد الطبية والأخشاب .
- لعلم الفسجة تطبيقات في حقول المعرفة الأخرى .

تعريف علم الفسلجه :-

وهو علم يدرس وظائف الحياة للنبات على مستوى الكائن ككل أو على مستوى الخلية أو على مستوى الجزيء تحت الظروف الطبيعية وغير الطبيعية وعادة ما يتخصص الفسيولوجيين في عملهم للنمو Growth والتكاثر Reproduction أو التمثيل الضوئي Photosynthesis أو التنفس Respiration أو يدرسون مكان محدد في النبات مثل الكلوروبلاست أو الرايبوسومات ..... الخ وهو علم مختبري تجريبي ارتبط بشدة بعلمي الكيمياء والفيزياء .

يهتم علم الفسلجة بما يأتي :-

١. يهتم بدراسة الوظائف والفعاليات التي تحدث في النبات .
٢. العمليات الحيوية التي تحدث في النبات .
٣. كيف يعمل النبات ؟
٤. يدرس طريقة حياة النبات والتي تتضمن مختلف المظاهر من حيث (العمليات الايضية Metabolism ، العلاقات المائية Water relation ، التغذية المعدنية Mineral nutrition ، التطور Development ، الحركة Movement ، التنظيم Organization ، النمو Growth ، عمليات النقل Transport process)
٥. يهتم بالعمليات الفسيولوجية والكيموحيوية Biochemical Processes وهذه العمليات تحصل في تراكيب معينة :-
   - **التبادل الغازي :-** يحصل في الثغور Stomata الموجودة في خلايا بشرة الورقة .
   - **توصيل الماء :-** يتم عن طريق نسيج اللحاء .
   - **التمثيل الضوئي :-** يحصل في البلاستيدات الخضراء (Chloroplast) .
   - **انتقال الايونات :-** يحصل عبر الأغشية البلازمية Plasma membrane .
   - **التنفس :-** يحصل في الـ Mitochondria .

فالورقة النباتية هي عضو لها وظائف تؤديها والساق هو عضو وهكذا كل عضو يتكون من مجموعة من الخلايا .

أصل النبات هو خلية والخلية هي اصغر وحدة تمثل الكائن النباتي تتم فيها الفعاليات الحيوية للنبات والنبات كما قلنا أصله خلية (حبة اللقاح + بيضة) تعطي جنين والجنين سوف يمر بعد إنبات البذور بمرحلة انقسام والانقسام يعطي مجموعة خلايا ← نسيج ← عضو ← أعضاء تكون الجسم النباتي .فالورقة والبشرة نسيج

إذن أساس عملية تكون النباتات هي الخلية و التي تمر بعملية النمو (زيادة في العدد و الحجم) الخلية لا تنقسم إلا إذا وصات إلى حجم معين إذن تحتاج إلى تراكم مادة لكي تكبر الخلية و النمو يعتمد أساسا على عملية مهمة جدا في الكون هي عملية التمثيل الضوئي والتي هي ببساطه عبارة عن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقه كهربائية (كاربوهيدرات) بوجود الماء و ثاني اوكسيد الكاربون . و تحصل هذه العملية في البلاستيدات الخضراء الحاوية على الكلوروفيل .

المادة الأساسية للجسم النباتي هي الكاربوهيدرات التي تتكون من وحدات من سكر الكلوكوز ترتبط مع بعضها .النباتات الذي نراه يتكون من ماء (النباتات العشبية ٨٠-٩٠-%ماء) (النباتات الخشبية ٧٠-٩٠%)

عندما يتبخر الماء من النبات يجف و تبقى المادة اليابسة (المادة العضوية)و التي هي الكاربوهيدرات و عند حرق المادة العضوية يبقى الرماد التي هي المادة المعدنية التي لا تحرق إلا بدرجات حرارية عالية(٤٠٠)

إذن النمو أصله خلية مثلا يموت النبات و يبقى برعم حي (ربما يتكون من خلية) يمكن إن تعيد النمو إذا ما توفرت لها الظروف الملائمة للنمو لكي تعطي نباتات جيدة تشبه النبات الأصلي . إما الخلية الحيوانية فلا تستطيع إن تعطي حيوان كامل تحت الظروف الطبيعية لذا فان الخلية تتكون من مكونات الخلية.كل مكون من مكونات الخلية له وظيفة و مجموعة الوظائف تؤدي إلى إنتاج الطاقة الكيميائية و يحصل النمو لكي نحصل على الحاصل الاقتصادي .

ادن التمثيل هو تفاعلات كيماوية تحتاج إلى طاقة (الشمس) لتنتج طاقة كيميائية يستخدمها النبات في فعالياته الأخرى و المتبقي يخزن على شكل كاربوهيدرات أو مواد أخرى ....

لذلك سنقوم بدراسة الخلية النباتية كمثل للنبات والتي تقوم بجميع الفعاليات الفسيولوجية أو الوظيفية للنبات

الخلية :- هي وحدة البناء والوظيفة لكل الكائنات الحية أو هي اصغر تركيب منظم موجود في الطبيعة قابل للنمو والتكاثر وهي الوحدة الأساسية لبناء الجسم النباتي .

أول من لاحظ الخلية النباتية هو العالم الانكليزي روبرت هوك عام ١٦٦٥ عند فحصه لقطعة من الفلين تتكون من وحدات صغيرة أطلق عليها cell وكلمة cell مشتقة من كلمة يونانية cella وتعني غرف الخزن store room أو chamber .

في عام ١٦٧٦ لاحظ صانع العدسات الهولندي ليفنهوك جسيمات خضراء اللون داخل الخلية النباتية عرفت بعدئذ بالبلاستيدات الخضراء (Chloroplast) . بعدئذ اكتشف العالم الانكليزي روبرت براون النواة في خلايا بشرة نبات الأوركيد .

العالم الألماني شيلايدن اظهر وجود النوية داخل النواة . وقد أطلق Purkinge عام ١٨٣٩ اصطلاح البروتوبلازم على المادة الحية للخلية .

العالم الايطالي Golge اكتشف ما يعرف بجهاز كولجي Golgi Apparatus وبعدها توالت اكتشافات أجزاء الخلية الأخرى .

تختلف الخلايا في أشكالها ووظائفها وإحجامها فبعضها يبلغ ٣٠ – ١٠٠ مايكرون في الطول وبعضها يبلغ عدة أمتار في الطول (كما في خلايا الألياف الطويلة) .

المايكرون الواحد = $١٠^{-١٦}$ متر .

المايكرون الواحد = $١٠^{-٣}$ مليمتر .

المايكرون الواحد = $١٠^{٣}$ ملي مايكرون

المايكرون الواحد = $١٠^{١٤}$ انكستروم (A^0)

البكتريا فيها خلية واحدة والكائنات الأخرى مثل الإنسان تصل الخلايا فيه إلى ١٠٠ مليار خلية وهذه الخلية يمكن إن تأخذ مغذيات Nutrients وتحولها إلى طاقة لذلك تصنف الخلايا إلى :-

١- خلايا حقيقية النواة Eukaryotic cells .

٢- الخلايا بدائية النواة Prokaryotic cells.

خلايا حقيقية النواة Eukaryotic cells

تمتاز باحتوائها على أجزاء محاطة بأغشية تقوم بوظائف وفي طليعتها النواة Nucleus حيث إن وجود DNAهو الذي أعطاها هذه الصفة Eukaryotic على الرغم من إن Eukaryotic تستعمل نفس الشفرة الوراثية Genetic code والعمليات الايضية للـ Prokaryotic .

إن الجزء الذي يحيط الخلايا حقيقية النواة يسمى غشاء البلازما Plasma Membrane هذا الغشاء ينفع في أبعاد الخلية عن المحيط الخارجي لكي لا تتأثر وهو على الأغلب يتكون من طبقة مزدوجة من البروتينات واللبيدات وجزيئات تشبه الدهن ويظهر الغشاء مبرقش بمختلف الجزيئات التي تعمل كقنوات للحركة أو كمضخة لحركة الجزيئات إلى داخل وخارج الخلية .

تتنوع النباتات في الحجم والشكل ويتراوح مدى حجم النبات من اقل من ١ سم إلى أكثر من ١٠٠ متر وكذلك شكل النبات يختلف ولكن جميع النباتات متشابهه من ناحية إنها تقوم بنفس الوظائف وكذلك من

ناحية تفاصيل الخلايا . إن جميع النباتات تقوم بتجميع أشعة الشمس إذا يتم اخذ الطاقة الشمسية وذلك من خلال تحويلها إلى طاقة كيميائية يستفاد منها النبات في عملية التمثيل الضوئي .

تختلف الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية بما يأتي :-

١. تحوي الخلية النباتية على جدار خلوي بعكس الخلية الحيوانية على الرغم من إن بعض الخلايا النباتية لا تحتوي على جدار سليلوزي مثل الكميتات .
٢. تملك الخلية النباتية الكلوروبلاست وهي تقوم بعملية البناء الضوئي .
٣. تملك الخلية النباتية فجوة واحدة أو أكثر تكون كبيرة بينما الخلية الحيوانية تمتلك فجوات صغيرة إن لم تكن معدومة .
٤. تمتاز الخلية النباتية بقدرتها على التجدد وتكوين نبات جديد إذا ما توفرت الظروف الملائمة من المغذيات والهرمونات النباتية .
٥. الخلية النباتية بصورة عامة تمتلك على الأكثر الشكل المستطيل بسبب الجدار الخلوي يكون أكثر صلابة بينما الخلية الحيوانية تمتلك شكل غير منتظم بسبب عدم احتوائها على جدار خلوي

يتكون النبات من ملايين من الخلايا والتي تتخصص لأداء وظائف معينة وتحاط هذه الخلايا بجدار الخلية الذي يشبه الصندوق والجدار الخلوي يكون صلب وهو غير حي وهو يحمي الخلية ويقوم بدعمها وهو ينتج من قبل البروتوبلاست (Protoplast) .

مكونات الخلية Cell Component :- يمكن تقسيم مكونات الخلية إلى ما يأتي :-

١. جدار الخلية Cell Wall (مكونات الخلية الغير حية)

وهو الغلاف الصلب الذي يحيط بروتوبلاست الخلية النباتية يتراوح سمكه بين (١ – ٣ مايكرون) ويعتقد انه غير حي ولكن وجود البروتينات في جدار الخلية يمكن إن تغير هذه الفكرة بعد اكتشاف الحامضين الأمنيين (Hydroxy prolin – prolin) . وظيفة جدار الخلية هي :-

- مساندة الخلية النباتية ميكانيكيا بعطائها الصلابة والمتانة (إسناد النمو الطولي للخلية)
- واسطة لتبادل الايونات بين الخلية ومحيطها الخارجي أي يقوم بدور القناة للتبادل الأيوني .
- حماية محتويات الخلية من الظروف الخارجية دون إن يمنع عملية انتشار الماء والايونات الأخرى .

٢. **البروتوبلاست (مكونات الخلية الحية) :-** وهي كل شيء داخل الجدار الخلوي ويمثل الجزء الحي في الخلية ويتكون من الأجزاء الآتية :-

- **السايتوبلازم Cytoplasm**:- وهو عبارة عن مادة هيلامية (جيلاتينية) يدعم ويحمي العضيات الخلوية ويحيطه الغشاء الخلوي .
- **الأغشية الخلوية Cellular membranes** :- توجد هذه الأغشية في الخلايا النباتية والحيوانية . في النبات توجد هذه الأغشية داخل جدار الخلية وظيفته دعم وإسناد والسيطرة على حركة المواد من والى الخلية وهو حاجز بين الخلية ومحيطها الخارجي .
- **الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum** :- وهي شبكة من الأنابيب والأغشية ناقلة للمواد خلال الخلايا (من والى الخلية) .
- **النواة Nucleous :-** تكون كبيرة وبيضوية وهي تسيطر على كل الفعاليات الخلوية وتكون محاطة بغشاء اختياري النفاذية .
- **الرايبوسومات Ribosomes :-** وهي جسيمات صغيرة حرة أو ملتصقة بالشبكة الاندوبلازمية وهي مركز إنتاج البروتينات .
- **المايتوكندريا Mitochondria** :- تشبه بذور الفاصوليا مع أغشية داخلية تقوم بتحطيم جزيئات السكر وتحويلها إلى طاقة .
- **الكلوروبلاست Chloroplast** :- توجد في النبات فقط وهي خضراء اللون بيضوية الشكل تحوي على الصبغات الخضراء(الكلوروفيل) وظيفتها استعمال الطاقة الشمسية لصنع الغذاء في النبات بعملية التمثيل الضوئي .
- **الخيوط السايتوبلازمية Plasmodesmata .**
- **الأجسام الكروية Spherosomes**
- **أجسام كولجي Golgi apparatus .**
- **الأنابيب الدقيقة Microtubules .**
- **الأجسام الدقيقة Micro bodies or Poroxisomes & glyoxysomes**
- **الفجوات Vacuoles :-** وهي تشبه أكياس حاوية على سوائل تستعمل لخزن الغذاء والماء حيث إن النبات يحتاج إلى مخزن كبير لخزن المواد الغذائية .

الفسلجة النباتية

علم فسلجة النبات هو العلم الذي يبحث في كيفية تأدية النباتات لوظائفها الحيوية المتعلقة بنمو وتطور النباتات. كما انه يتعلق بباقي العلوم الزراعية في تفسير تأثيرات البيئة والوراثة على وظائف وتركيب الخلايا والانسجة والاعضاء النباتية.

الخطوط العامة للمادة

1. نبذة تاريخية
2. الخلية النباتية
3. علاقة النبات بالماء- الانتشار-الازموزية- النفاذية-جهد ماء الخلية
4. امتصاص الماء
5. عصارة الخشب
6. العصارة اللحائية
7. النتح
8. التغذية المعدنية
9. التركيب الضوئي
10. التنفس
11. نمو وتطور النبات-الهرمونات النباتية

نبذة تاريخية

روبرت هوك عام 1665 اول من وصف الخلية على انها وحدة بناء الكائن الحي. بعدها توالت اكتشافات اجزاء الخلية الاخرى.

في مجال امتصاص وانتقال المواد الاولية في الخشب

1. Edward Strasburger في 1891 اشار الى كيفية امتصاص الماء وانتقاله في جسم النبات
2. Dixon and Joly في 1894 و Askenasy في 1895 وضعوا نظرية التماسك والتلاصق وسحب النتح لغرض تفسير صعود العصارة النباتية الى قمة النبات

في مجال سريان المواد الغذائية المصنعة

1. Harting في 1837 اول من وصف الانسجة اللحائية تشريحيا وفسيولوجيا واجرى تجربة التحليق ولاحظ عرقلة نزول العصارة اللحائية
2. Devries في 1885 اول من وضع فرضية السريان البروتوبلازمي
3. Munch في 1930 وضع فرضية النقل الكتلي Mass flow في النقل اللحائي والتي ايدها Crafts و Zimmermann فيما بعد

في مجال التغذية المعدنية

1. Aristotle العالم الاغريقي الذي اول من قال ان النباتات تحصل على غذائها من التربة
2. Van Helmont 1575-1644 عارض الفكرة حينما اجرى تجربة الصفصاف
3. De Saussure في 1804 صرح بان النباتات تعتمد جزئيا على معادن التربة في التغذية
4. Sacks و Julius و Knop في 1865 توصلا الى طريقة زراعة النباتات في المحاليل الغذائية لمعرفة دور كل عنصر مغذي وكميته
5. Hoagland و Arnon في 1950 طورا محاليل مغذية لنمو النبات ودراسة تاثير نقص احدى العناصر الغذائية
6. Kramer في 1972 درس ميكانيكية امتصاص المغذيات

في مجال العمليات الحيوية Metabolism

1. Sumner في 1876 اول من عزل انزيم urease واثبت بانه يتكون من البروتين
2. Buchner في 1897 درس الانزيمات والتخمر والتنفس
3. Embden و Parnas درسوا التفاعلات الحيوية التي تحدث اثناء التخمر او مايسمى التنفس اللاهوائي

في مجال التنفس

1. Krebs في 1947 اكتشف التفاعلات المسماة Krebs Cycle ومايلحقها من تفاعلات اخرى

في مجال التركيب الضوئي

2. Stephen Hales في 1727 اول من صرح ان الضوء قد يلعب دورا في تغذية ونمو النبات
3. Priestly في 1733-1804 صرح بان النباتات الخضراء تحرر غازا يساعد في ادامة الحياة (O_2)
4. De Saussure في 1804 وضع اول معادلة عامة للتركيب الضوئي
5. Blackmann في 1930 اشار الى دور الماء كقوة مختزلة
6. Calvin في 1956 درس تفاعلات الظلام في عملية التركيب الضوئي

في مجال الهرمونات النباتية ونمو وتطور النبات

1. Charles Darwin في 1890 اشار الى حركة النبات استجابة الى محفزات الضوء والجاذبية
2. Paal 1914-1918 و Boysen-Jensen 1910-1913 و Went في 1926 اكتشفوا الاوكسين كهرمون نباتي
3. Yabuto 1935 اكتشف هرمون الجبريللين
4. Haberlandt و Miller اكتشفوا السايتوكاينين

في مجال تأثير البيئة في نمو وتطور النبات

1. Garner و Allard في 1920 وضعا فرضية التاقت الضوئي وتأثيرها على ازهار بعض النباتات
2. Levitt في 1956 درس كثيرا من الظواهر البيئية القاسية وتأثيرها على النبات من الناحية الفسلجية

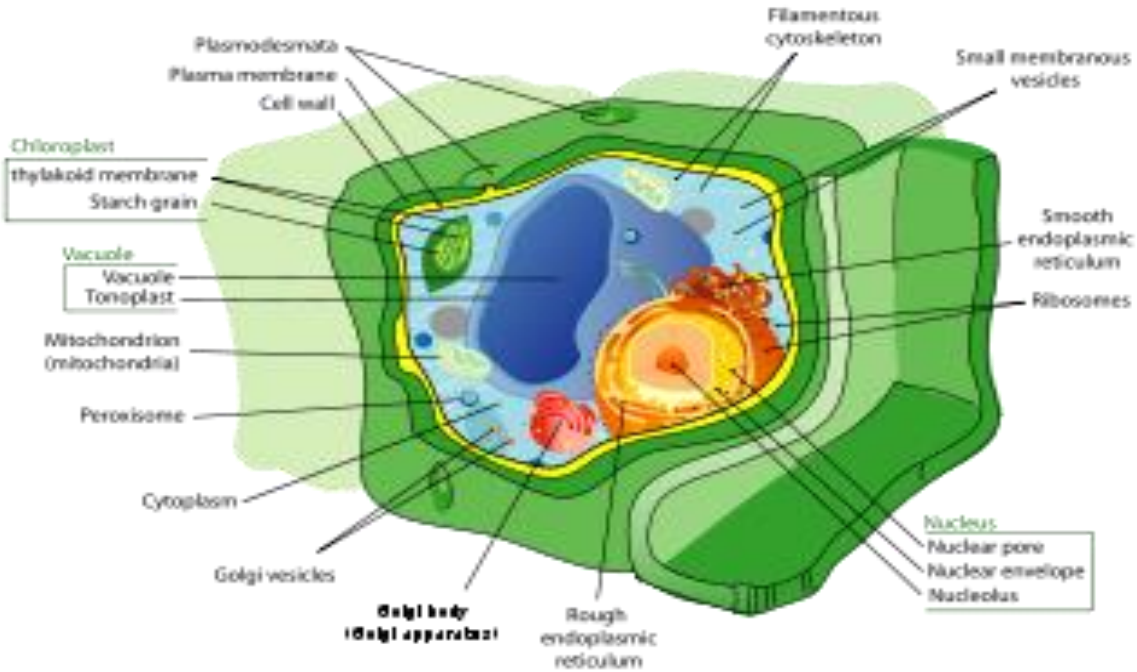
الخلية النباتية Plant Cell

الخلية هي الوحدة التركيبية والوظيفية الأساسية للحياة. وفي الكائنات وحيدة الخلية تعتبر الخلية كائن حي كامل، بينما في الكائنات الراقية عديدة الخلايا فأنه يوجد تجمع لعدد كبير من الخلايا المختلفة والتي تنظم بكل دقة لتكون نسيجا والأنسجة المختلفة تكون عضوا، والأعضاء المختلفة تكون الكائن الحي سواء كان نبات او حيوان من خلال عملية النمو والتطور والتغير الشكلي والتي يحدث خلالها تفاعلات كيميائية وتخصصات وظيفية .

وبالرغم من تعدد النواتج التخصصية والوظيفية للخلايا إلا أن الخلايا متشابهه الى حد كبير في احتوائها على العديد من العضيات التي يتم فيها التفاعلات الكيميائية، كذلك تتشابه في الأغشية البلازمية والأحماض النووية التي تعمل كمكونات أساسية في نقل المعلومات في جميع الخلايا. وعلى هذا فالكائنات الأولية ذات الخلايا غير المحتوية على انوية وكذلك في الكائنات ذات الخلايا المحتوية على انوية محددة عادة ما تشترك في الكثير من الخصائص العامة.

نظرية الخلية والصفات العامة للمادة الحية

تشترك كل الكائنات الحية في انها تتكون من خلايا وأن الخلية الحية تستطيع بمفردها ان تكرر موادها الوراثية وان تستخدم المعلومات الوراثية بها لبناء البروتين وان تستهلك وتنتج الطاقة بها. وهكذا تكون الخلية هي الأساس لكل صور الحياة بالرغم من ان لكل خلية دور ووظيفة حيوية تختص بها. ولهذا تعرف الخلية بأنها وحدة النشاط الحيوي والتي تحاط بغشاء حي شبه منفذ والتي يمكنها ان تكرر نفسها بالانقسام الخلوي عندما تعزل على بيئة مغذية مناسبة. او تعرف بانها اصغر جزء من الكائن الحي والذي يحوي الخواص والصفات المميزة للمادة الحية. والفكرة الشائعة ان الخلية هي الوحدة الاساسية للحياة تسمى بنظرية الخلية.



الخلية النباتية Plant Cell

تتشابه الخلايا النباتية الحية، فتركيب الخلية الحية يتميز بوجود جدار خلوي يحيط بمساحة داخلية تحتوي على البروتوبلازم والذي يتكون من سيتوبلازم ونواة ويطلق على تلك المكونات البروتوبلازمية (الغشاءالبلازمي) Plasmalemma اسم البروتوبلاست وعادة ما يقوم العلماء بفصل البروتوبلاست عن الجدار الخلوي واستعماله في الدراسات الفسيولوجية والبيوكيميائية

.
تحاط النواة بغشاء معقد يعرف بالغلاف النووي Nuclear envelope. ويوجد داخل السايتوبلازم العضيات السايتوبلازمية مثل المايتوكوندريا والبلاستيدات والرايبوسومات وتراكيب غشائية تعرف بالشبكة الاندوبلازمية وجهاز كولجي الذي يجاور في العادة النواة.

ويتميز البروتوبلازم بطبيعته الغروية على الرغم من وجود كثير من المواد الذائبة فيه. وترجع هذه الطبيعة الغروية للبروتوبلازم لوجود البروتينات حيث تتيح البروتينات سطوح مساحية غير محدودة والتي تساعد على وجود الظروف الضرورية للادمصاصAdsorption والحركة الكيميائية ومن ثم التفاعلات اللازمة للحياة، وعلى هذا يعتبر النظام الغروي أساس لمظاهر المادة الحية.

جدار الخلية Cell Wall.

تحتاج الكائنات الحية الى دعامات ميكانيكية لكي يكون لها شكلها المحدد ففي عالم الحيوان أعطى الله الصلابة لتلك الكائنات عن طريق الجهاز العظمي أما في النباتات ونتيجة عدم احتوائها على مثل ذلك الجهاز وإنها اقل رقيا من الحيوان فالتدعيم لا يكفي أن يكون من خلال ضغط الامتلاء المائي داخل الخلايا والذي يساعد بالطبع على التدعيم الميكانيكي لذلك يعتمد النبات في التدعيم بشكل أساسي في بناء الجدار الخلوي الصلب السليلوزى. ولا يقتصر دور الجدار في التدعيم فقط بل يتعداه للقيام بوظائف أخرى، فالجدار يشترك في امتصاص وانتقال الماء والمعادن وفي الإفراز وفي بعض النشاط الأنزيمي. كما يعتقد علماء أمراض النبات أن الجدر الخلوية ومكوناتها تلعب دورا هاما في مقاومة الامراض بإعاقة اختراق الطفيليات.

ويقوم البروتوبلاست الحي بإنتاج وتعضيد الجدار الخلوي. وبالطبع فهناك خلايا لا يدوم فيها البروتوبلاست طويلا (مثل تلك المتخصصة في وظائف التوصيل والتدعيم مثل الخشب). وينتج البروتوبلاست مكونات الجدار الخلوي ويرسبها ملاصقة للسطح الخارجي للغشاء البلازمي. والمركب الرئيسي للجدار هو السيليلوز وتشكل المواد البكتينية والهيميسيليلوز واللكنين والسوبرين والبروتينات مواد الترسيب التي تشكل الجدر الثانوية المانحة لصلابة الجدر الخلوية. ثم تأتي الصفيحة الوسطى والتي تلصق الخلايا مع بعضها وتتكون من حامض البكتيك واملاح غير ذائبة لحامض البكتيك مثل بكتات الكالسيوم والمغنسيوم وكميات ضئيلة من البروتوبكتينات. وترجع صلابة الصفيحة الوسطى في المراحل المتأخرة من تكوين الجدار الخلوي لوجود أملاح الكالسيوم والمغنسيوم لحامض البكتيك وكذلك عديدات التسكر المتضخمة مثل السيليلوز وفي بعض الاحيان اللكنين.

الجدار الاولي Cell Wall Primary

بمجرد تكوين الصفيحة الوسطى تزداد الخلية في الحجم وتستطيل ويصحب هذه الاستطالة ويتبعها تشرب الصفيحة الوسطى بثلاث أنواع من المركبات هي:
1. السيليلوز 2. الهيميسيليلوز 3. الكليكوبروتين (تجمع كربوهيدرات + بروتين)
- وينتج عن هذا الترسيب طبقة رقيقة سمكها 1-3 ميكرون ويطلق على هذه الطبقة التي تقع على السطح الداخلي للصفيحة الوسطى والسطح الخارجي للغشاء البلازمي بالجدار الابتدائي او الاولي. وهناك العديد من الخلايا النباتية تحتوي فقط على الجدار الابتدائي مثل الخلايا الميرستيمية وخلايا البشرة والخلايا المشتركة في التمثيل

الغذائي. والجدر الابتدائية تتميز بمطاطيتها نتيجة لمرونة تركيبها ولكن عندما يرسب عليها مكونات جديدة للجدار تفقد جزءا من مطاطيتها.

الجدار الثانوي Secondary Cell Wall

بمجرد تكوين الجدار الثانوي في الخلايا البارنكيمية تتوقف الخلية عن الاستطالة. بينما في خلايا أخرى مثل القصيبات فان الجدار يستمر في تغليظه بعد توقف استطالة الخلايا وذلك بترسيب طبقات من السيليلوز واللكنين لتكوين الجدار الثانوي. ويتراوح سمك الجدار الثانوي بين 5- 10 ميكرون. وبنهاية ترسيب الجدار الثانوي يفقد الجدار الكثير من مرونته ويصبح في النهاية غير مطاط تماما. وقد يؤدي تغليظ الجدار الثانوي الى امتلاء معظم حجم الخلية ويسبب هذا موت وتحلل البروتوبلازم. وكثير من الجدر الثانوية تحتوي على اللكنين وهي مادة كحولية مبلمرة مشتقة من مركبات الفينيل بروبان وتوجد في الجدار مع الهيميسيليلوز ومركبات اخرى ترتبط بالسيليلوز. واللكنين يحتل المركز الثاني من حيث السيادة بعد السيليلوز بين مركبات النبات وترجع أهميته الى انه يضيف ويزيد من صلابة التراكيب التي يكونها. الا انه في بعض النباتات قد يغلب ترسيب السيليلوز النقي في طبقات الجدار الثانوي مثل الياف القطن. وبعض جدر الخلايا النباتية قد تغطي بالكيوتين او تتشبع بالسوبرين او الشموع وذلك للحماية من فقد الماء.

أهم وظائف الجدار الخلوي هي:

1- حماية ووقاية محتويات الخلية الداخلية من المؤثرات الخارجية.

2- يوفر الحماية الميكانيكية للخلايا النباتية خصوصا الأجزاء المعرضة للاحتكاك بحبيبات التربة.

3- يحدد شكل الخلية النباتية ويعطيها صلابة ومتانة.

4- مهم لانتقال الماء والذائبات إلي داخل الخلية ومن خلية لأخرى وهام للامتصاص والنتح والإفراز ويسمي (الانتقال الجداري الغير حي) وذلك لأنه من الغرويات المحبة المتصلبة لها قدرة عالية على تشرب الماء وهو منفذ لجميع المواد.

5- يقوم بوظائف الخلية في حالة زوال محتويات الخلية ولا يبقى إلا الجدار كما في الأوعية.

6- يعمل على تقليل ومنع فقد الماء وتحمل ضوء الشمس الشديد .

7- يلعب دور هام في علاقة الخلايا النباتية بالماء حيث أنه يحد من زيادة امتلاء الخلايا بالماء مانعاً انفجارها لذا يمكنها العيش في مدى واسع من التركيزات والجدار أهم ما يميز الخلية النباتية عن الحيوانية.

8- يقوم بوظيفة التخزين في جدار خلايا إندوسبرم بذرة التمر.

9- على الرغم أنه جزء غير حي في الخلية إلا أنه يلعب دور هام في حياة الخلية مع الفجوة العصارية .

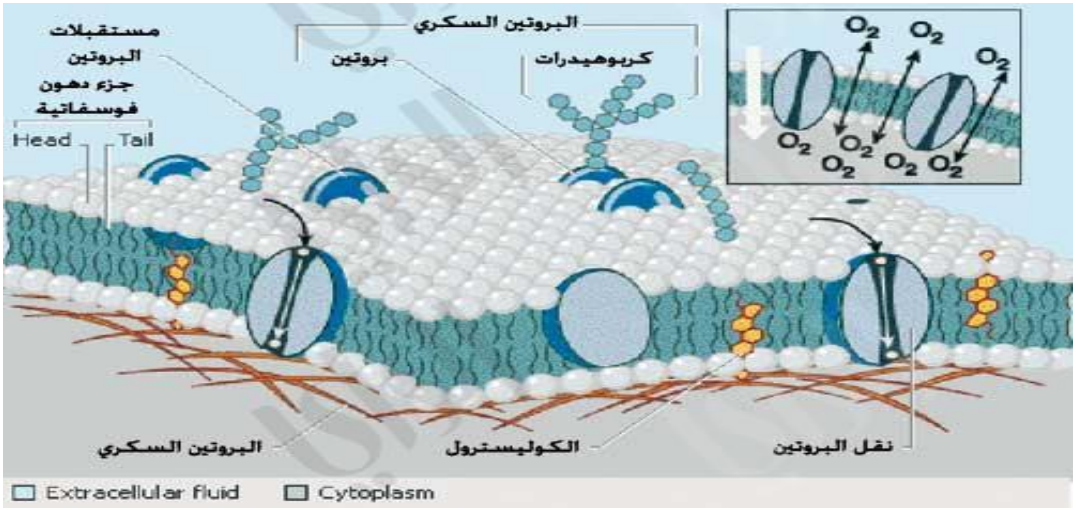
الخيوط البلازمية Plasmodesmata وحقول النقر Pit Fields

الخيوط البلازمية (مفردها Plasmodesma) هي خيوط سيتوبلازمية توجد في خط استواء الخلية المتصلبة

وتتكون حول خيوط الشبكة الاندوبلازمية خلال تكوين الصفيحة الوسطى. وهذه الخيوط تخترق الجدر الخلوية ويعتقد انها تعمل كطرق موصلة في غاية الأهمية للماء وللمواد الآخرى عبر الخلايا. والخيوط البلازمية قد توجد متجمعة في حزء من الجدار يعرف بحقول النقر الأولية وهي مساحات رقيقة في جدر الخلايا، والنقر تقابل بعضها البعض في الجدر الابتدائية للخلايا المتجاورة والتي تعرف بالنقر الزوجية. وفي الخلايا التي لها جدر ثانوية فان النقر تكون بسيطة او ذات حافة مضفوفة.

الأغشية Membranes

ان معظم الأنشطة الخلوية تعتمد على تنظيم مختلف المكونات الكيميائية داخل الأغشية المرتبطة او أغشية العضيات الخلوية والشبكة الاندوبلازمية. أول من اقترح نموذج للأغشية هو Danielle سنة 1943 وهو نموذج حاز القبول من العلماء لانه يفسر كثير من وظائف الغشاء الخلوي وفي هذا النموذج يقترح دانيل وجود طبقتين من الدهون ويحيط بهما من الخارج والداخل طبقتين من البروتين. وتسمح الليبيدات الموجودة بالغشاء بمرور المواد اللاقطبية Nonpolar او التي لا تحمل شحنة على سطحها، كما ان وجود طبقتي البروتين تسمح بمرور المواد القطبية او التي تحمل شحنة على سطحها. هذا النموذج لوحدة الغشاءMembrane Unit لايوجد في جميع التراكيب الغشائية كما انه لا يفسر ديناميكية التغيرات في نفاذية الأغشية إلا انه يمدنا بقواعد تقودنا لفهم تركيب الأغشية. وهناك نموذج اكثر قبولا الآن للغشاء وهو الموديل المبرقش السائل Fluid Mosaic Model ويحتوي الغشاء على طبقتين من الفوسفوليبيدات بذيولها الهيدروكربونية الكارهة للماء والمتجهة للداخل. والبروتينات الكروية والتي تنتشر داخل الفوسفوليبيدات والتي تشبه كرات البنج بونج المختلفة الأوزان داخل بركة من سائل لزج.



والمركبات البروتينية ربما تكون تركيبية او أنزيمات وتختلف جوهريا من عضو لآخر او من غشاء لآخر او بين وجهي نفس الغشاء. وهذا النموذج أوضح وجود مكونات غشائية أخرى مثل مشتقات الكربوهيدرات والبروتينات. كما ان الأغشية ربما تحتوي على أنزيمات وحوامل ومضخات بروتون وبروتينات تركيبية ومركبات ذات طاقة عالية تسهل إخراج وتحرك العناصر والكيماويات لداخل وخارج الخلية. ومما لا شك فيه أن

كمية الدهون والبروتين والمكونات الآخرى للأغشية من المحتمل ان تتغير من لحظة لآخرى بالتغير النسبي للمجاميع المحبة والكارهه للماء. لذلك فالأغشية اختيارية النفاذية Differentially Permeable اي انها تنظم خاصية مرور المواد المختلفة خلال الغشاء. وهذا ادق من اصطلاح شبه المنفذة. ويعرف النقل السلبي للأغشية بأنه مرور المواد خلال الأغشية دون حاجة الى الطاقة الناتجة من عمليات التحول الغذائي للخلايا. فالانتشار Diffusion والتبادل الايونيIon Exchange والتدفق الكتلي Mass Flow جميعها صور من الانتقال السلبي. وبعض المواد ربما تتراكم في الخلية او تهرب الى البيئة الخارجية بما يعرف بالنقل النشط Active Transport وهذا التحرك عبر الأغشية يحتاج لطاقة حيوية. ووجود مستقبلات او حوامل يؤدي الى تجمع المواد عكس منحدر التركيز ويسمى نظام الحامل المحتاج للطاقة بالمضخات Pumps.

الغشاء البلازمي Plasma lemma :

رغم ان الجدار الخلوي يبدو انه يفصل الخلية عن الوسط الخارجي إلا إن العديد من المواد تنتقل خلاله عن طريق المسام والبلازموديزماتا او عن طريق الفعل التشربي للماء. ويتاخم هذا الجدار الخلوي غشاء رقيق مرن يعرف بالغشاء السايتوبلازمي او الغشاء البلازمي الخارجي وهو يغلف السايتوبلازم ويكسو المكونات الخلوية وينظم عبور المواد من والى الخلية. ونظرا لتشابة الغشاء السايتوبلازمي والسايتوبلازم يصعب التميز بينهما بالميكروسكوب الضوئي ولكن باستعمال صبغات معينة وباستعمال الميكروسكوب الالكتروني يمكن رؤية الغشاء السيتوبلازمي.

أهم الوظائف الفسيولوجية للأغشية:

1- التحكم في النفاذية الاختيارية أي أنها تتحكم في تنظيم دخول وخروج المواد المختلفة إلي الخلايا وأيضا العضيات بمعنى أنها تسمح بدخول مركبات معينة وتمنع دخول مواد أخري في وقت معين وأيضاً تسمح بخروج المركبات من الخلية أو دخولها إلي الفجوة بكميات محددة وبمعدلات مختلفة حسب درجة ذوبانها في مناطق الغشاء المختلفة حسب حاجة الخلية إليها .فالمواد القطبية مثل مجاميع CHO,NH2,OH,COOH والأملاح المعدنية تدخل الخلية ببطئ والمركبات الغير قطبية مثل الكحوليات والكلوروفورم التي تذوب في الدهن تنفذ بسرعة، كما أن الأغشية غير منفذة للسكريات العديدة والفوسفوليبدات والبروتينات .

2- تعطي حماية ميكانيكية للسيتوبلازم الأساسي حيث تقوم العديد من الإنزيمات بأنشطتها وتفاعلاتها على أسطحها.

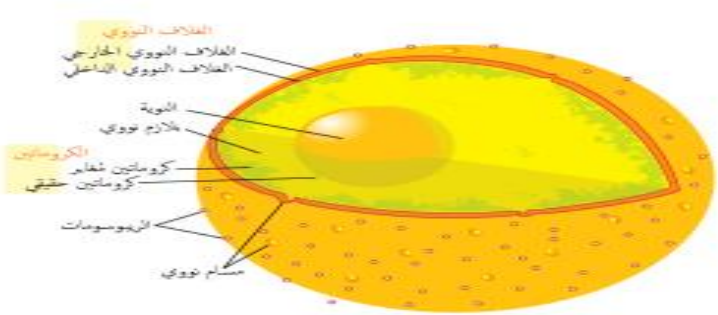
3- تحيط كل عضيه وتفصلها عن السيتوبلازم وتساعد في بناء مختلف الجزيئات الكبيرة في الخلية أي تحدث على أسطحها عديد من التفاعلات والأنشطة الأيضية.

4- تحتوي إنزيمات ومستقبلات وحوامل تعمل كحوامل لنقل المواد والإشارات من عضيه لأخرى ومن خارج إلي داخل الخلية والعكس.

5- يتم الانتقال الأملاح المعدنية عبر الأغشية عن طريق النقل الغير نشط (السالب)والنقل والنشط الذي يحتاج لطاقة عن طريقة الحوامل ومضخات البروتين.والنقل الغير نشط (السالب)وهو انتقال طبيعي أو فيزيقي يخضع للظواهر الفيزيقية ويتم تركم الأيونات عكس منحدر التركيز دون الاحتجاج إلي طاقة أيضية من الخلية ويتم النقل السالب بصور هي التبادل الأيوني-اتزان دونان-تيار المذيب –التحول الكيمائي .وسوف يتم شرحها في امتصاص وانتقال العناصر أو الأيونات داخل النبات.

النواة Nucleus

اكتشفت النواة سنة 1835 بواسطة العالم Robert Brown ومنذ ذلك الحين نالت كما هائلا من البحوث لدراسة دورها المؤثر المتحكم في التوريث والنشاط الخلوي. فالنواة تتحكم وتدير تمثيل جميع البروتينات التي تتضمن الأنزيمات التي تساعد على معظم ان لم يكن جميع التفاعلات التمثيلية في الخلية. والنواة في الخلية الصغيرة عبارة عن جسم كروي منغمس في السايتوبلازم. وفي الخلية الناضجة تسكن النواة في أحد جوانب الخلية بتأثير تكون الفجوة العصارية. وقطر النواة 5-10 ميكرون وتحاط النواة بغشاء مزدوج يعرف بالغلاف النووي Nuclear envelope وهو متصل بالشبكة الاندوبلازمية. كما يحوي هذا الغلاف مسام او ثقوب Pores ويظهر اتصال بين السايتوبلازم والعصير النووي. والعصير النووي يتركب من طورين احدهما تركيبي شبكي الشكل من خيوط تسمي كروماتين والذي يتكون منDNA والبروتينات. والطور غير التركيبي يبدو كمواد حبيبية وتسمى العصير النووي Nuclear sap وتوجد في النواة كميات جوهرية أساسية من الـ RNA والليبيدات والفوسفوليبيدات وبروتين معين يسمي هستون بالإضافة لبعض الأنزيمات. وفي الطور التمهيدي لانقسام الخلايا تحتوي النواة على واحدة او اكثر من النوياتNucleolus حسب النوع النباتي.



مكونات النواة :

1-الغلاف النووي: غلاف مزدوج يحيط في النواة وتخترقه العديد من الثقوب ويعمل على تنظيم مرور المواد الى السيتوبلازم.

2-السائل النووي: يملئ تجويف النواة وتسبح فيه مكونات النواة الأخرى.

3-النوية جسيم كروي واحد أو أكثر ولها دور مهم في بناء الرايبوسومات. النوية لزجة وشبة صلبة وتبدو كثيفة وتتلون بشدة لاحتوائها المرتفع على DNA و RNA ، تتكون من حامض النووي RNA ووفوسفولبيدات وبروتين وظيفتها أ. جهاز لانتاج الرايبوسومات ب. مسؤولة عن تصنيع tRNA.

4-الكروماتين: تحتوي الخلية عندما لا تكون في حالة انقسام على شبكة خيوط وحبيبات تسمى كروماتين(الشبكة الكروماتينية) وتتكون من مادتين هما:

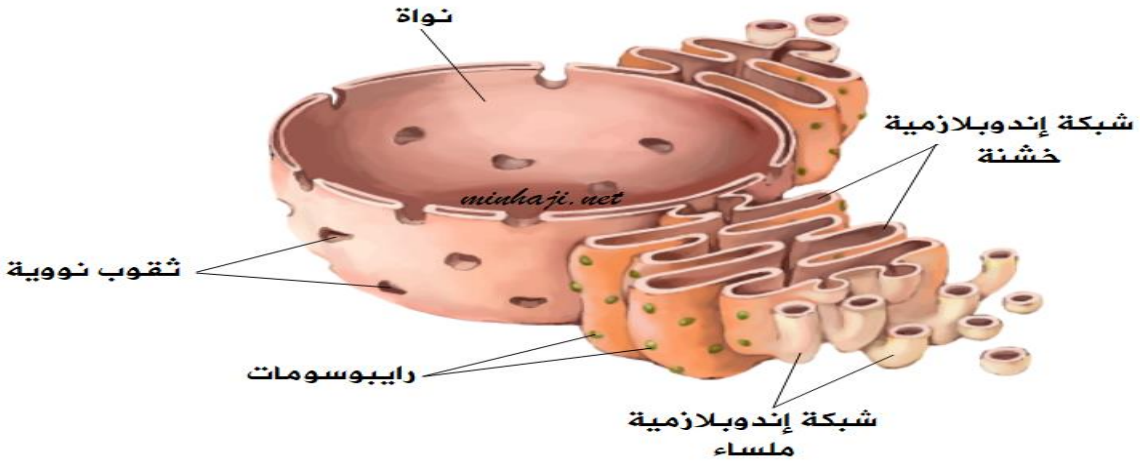
أ- البروتين ب - الحامض النووي: DNA وهي مادة الوراثة في الخلية تظهر على شكل خيوط تسمى كروموسومات ويحمل كل كروموسوم ألاف من الجينات الوراثية المكونة من DNA التي تحدد صفات الكائن الحي وتنقل الصفات من الاباء الى الابناء.

وظيفة النواة :

1. **المعلومات الوراثية** : أهم وظيفة للنواة هي (تخزين المعلومات الوراثية للخلية) في شكل (حامض نووي - DNA)، وهذا الحامض النووي يحمل (التعليمات) الخاصة بكيفية عمل الخلية ، و يتم تنظيم (جزيئات الحامض النووي) في هياكل خاصة تسمى (الكروموسومات). و توجد أجزاء من (الحامض النووي - DNA) تُسمَّى بـ (الجينات) و هي التي تحمل (المعلومات الوراثية) مثل لون العينين و الطول.
2. **(الحامض الريبوزي النووي - RNA)** : بالإضافة إلى (الحامض النووي- DNA)، تحمل النواة نوع آخر من الحامض النووي يسمى (الحامض الريبوزي النووي - RNA). و يلعب هذا الحامض النووي دوراً مُهِمَّاً في صُنع (البروتينات).
3. **تِكرار أو نسخ (الحامض النووي)** : النواة يُمكِنُها عمل نُسخَة طِبق الأصل من الحامض النووي.
4. **الإستنساخ** : النواة تصنع (الحامض الريبوزي النووي - RNA) الذي يُمكِن إستخدامُه لِحمل الرسائل و النسخ من التعليمات الموجودة في (الحامض النووي- DNA).

الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic Reticulum (ER)

يتشابك سايتوبلازم الخلية بنظام غشائي مرتبط متقن يعرف بالشبكة الاندوبلازمية. وتظهر الحويصلات كفجوات محاطة ممتلئة وتسمي السسترنات Cisternae وعندما تلتصق الريبوزومات بالشبكة الاندوبلازمية فإنها تكون جزءا من الشبكة يعرف بالشبكة الخشنةRough Endoplasmic Reticulum وفي هذه المصاحبة فان الريبوزومات تشترك في تمثيل البيبتيدات العديدة اي تمثيل البروتينات. وعندما لا تصاحب الريبوزومات الشبكة الاندوبلازمية تسمى بالشبكة الاندوبلازمية الملساء وهي تلعب دورا أساسيا في تمثيل وتجميع الكليكولييبيدات (وهي المركبات التي تتكون من كحولات واحماض دهنية وكربوهيدرات). وطبقا لملاحظات عديد من العلماء فان تجويف الشبكة الاندوبلازمية تتصل بالغلاف النووي وتمتد لتصل لسطح الخلية. وقد وجد ان هناك أغشية من هذا النظام موجودة في الجدر الابتدائية لبعض الخلايا بل وتمتد الى الخلايا المتجاورة.



كما ذكر بعض العلماء ان اتصال الغشاء النووي مع الشبكة الاندوبلازمية يزيد من سطوح الاتصال بين المكونات النووية وسايتوبلازم الخلية. وعندما تمتد الشبكة الاندوبلازمية الى الخلايا المتجاورة فهذا يعني اتصالا مباشرا بين انوية الخلايا المتجاورة وهذا قد يفسر انتظام عمل النسيج الواحد في الكائن الحي. واذا تصورنا الشبكة الاندوبلازمية وتفرعها داخل السايتوبلازم فهذا يعني تقسيم سايتوبلازم الخلية الى حجرات عديدة وصغيرة. وداخل هذه الحجرات ربما تتراكم أنزيمات معينة وأيضا مركبات معينة وان هذا التقسيم يؤدي الى إمكان حدوث تفاعلات عديدة داخل سايتوبلازم الخلية بدون حدوث تداخل. علاوة على ان هذا يمكن أن يوجه اتجاه التفاعل الرجعي للحدوث في الاتجاه المطلوب عن طريق حجز بعض المركبات داخل هذه الحجرات او اخراج بعضها.

ومن أهم وظائفها:

1-أهم وسيلة سطحية لانتظام وتوزيع الإنزيمات وزيادة مسطح التفاعلات .

2-إرسال التنبيهات المختلفة من النواة إلي الأجزاء المختلفة في الخلية.

3-لها دور في تخليق البروتينات.

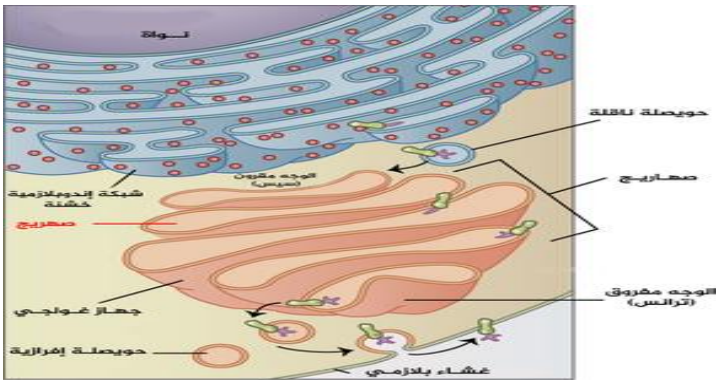
4- لها دور في سهولة مرور المواد داخل الخلية أو تخزينها خاصة المركبات البروتينية ونقلها إلي أجسام كولوجي أو تتبرعم منها حويصلات بروتينية.

5- لها دور في النقل بين الخلايا لاتصالها بالروابط البلازمية(البلازمودزماتا).

أجهزة كولجي Golgi Apparatus او (Dictyosomes)

تبدو أجسام كولجي في الميكروسكوب الالكتروني إنها عبارة عن كومة مكدسة من 5-15 من الأغشية المرتبطة والمفلطحة والمنبسطة وعديد من الحويصلات الكروية الصغيرة تظهر كمجموعة حول هذه الأغشية ويطلق على هذه الأوعية والحويصلات أجهزة كولجي. وتتشابه أغشية اجسام كولجي مع أغشية الشبكة الاندوبلازمية. وتحوي الحويصلات على منشئات الجدار الخلوي (مثل عديدات التسكر وبروتينات ومركبات اخرى) وهذه المركبات تتراكم داخل الحويصلات ثم تنتقل عند إتمام الانقسام الميتوزي الى الصفيحة الوسطى او سطح الخلية

وترسب مواد الجدار الخلوي على السطح البيني. وعلى ذلك تلعب اجسام كولجي والشبكة الاندوبلازمية دورا هاما في تكوين الجدار الخلوي.



أهم وظائف أجسام جولجى:

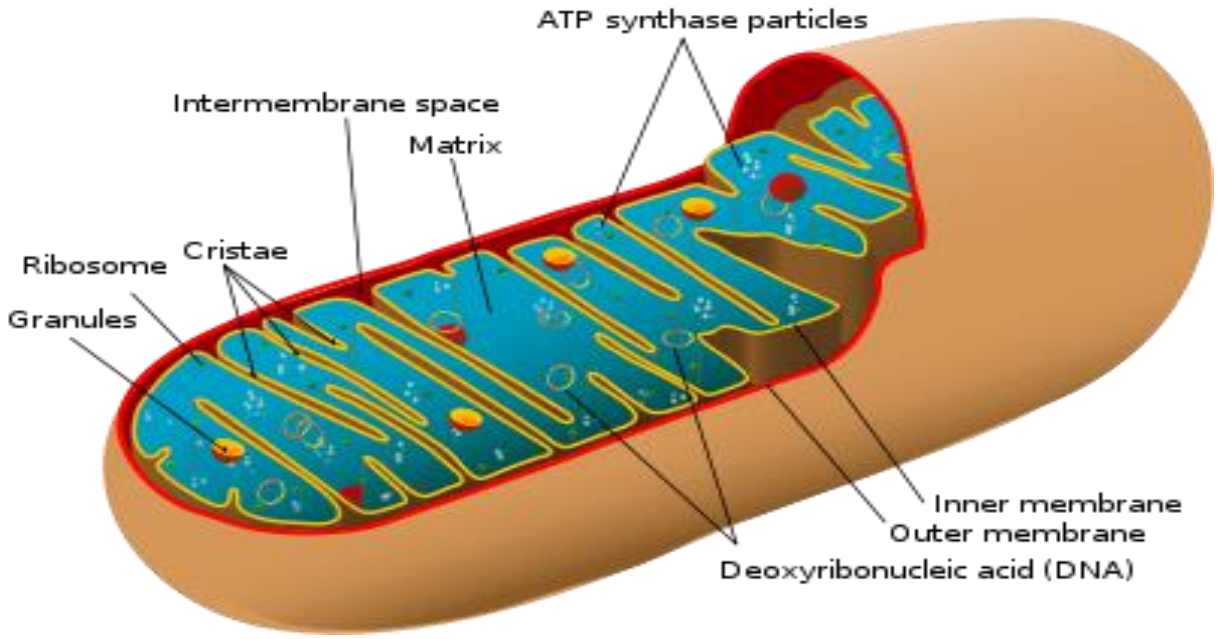
1- الوظيفة الأساسية هي الإفراز Secoretory.حيث أن المركبات المفرزة تتكون داخل Cisternae . ثم تنفصل في صورة حويصلات طرفية تخرج عن طريق الغشاء السيتوبلازمي الخارجي عن طريق عملية عكس الpinocytosis ومعظم الإفرازات إنزيمية.

2- قد ينتقل البروتين من أسطح الريبوسومات عبر الشبكة الاندوبلازمية إلي أجسام جولوجي قبل تحوله وإفرازه ويتحول هذا البروتين مرتبط بالكربوهيدرات(كليكوبروتين glycol-proteins)) داخل أجسام جولوجي.

3- له علاقة بتكوين الجدار الخلوي والصفيحة الخلوية Cellplate وكذلك له دور في تكوين البكتات أثناء الصفيحة الوسطي الجديدة.

4- له أهمية كبيرة عند انقسام الخلايا حيث يساعد علي تكوين الغشاء البلازمي في الخلايا الحديثة. أي يلعب دور هام في انقسام الخلايا. وذلك لأن المحتويات الموجودة داخل الحويصلات عبارة عن الكربوهيدرات التي تدخل في تكوين الجدار الخلوي والصفيحة الوسطى. والبروتينات التي تدخل في الغشاء السيتوبلازمي. والمواد الإفرازية الأخرى هي إنزيمات تفرز لخارج الخلية. وعموما يختلف عددها حسب عمر الخلية وحالتها ووظيفتها.

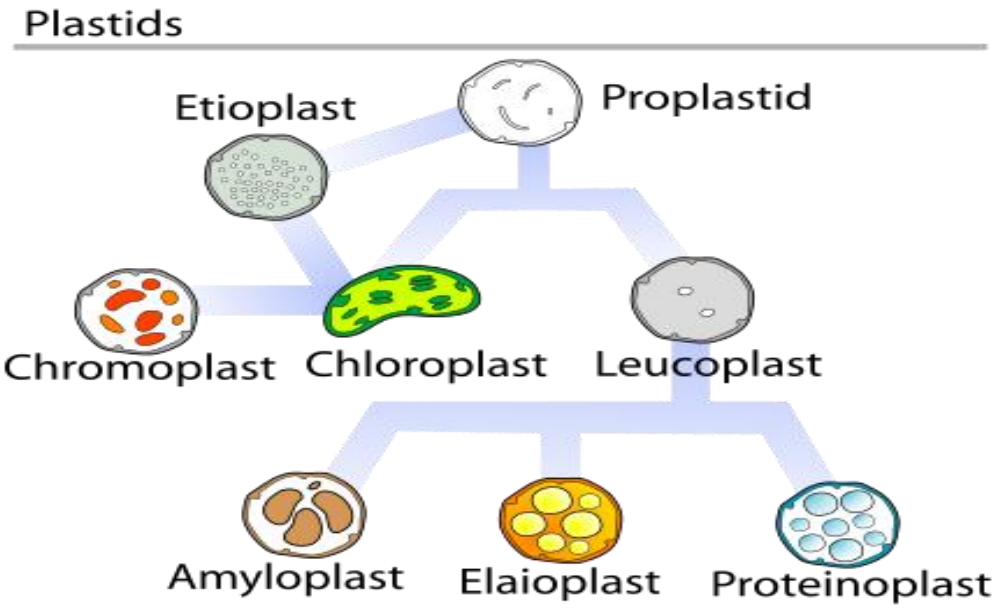
المايتوكوندريا Mitocondria



مفردهاMitochondrion وهي أجسام لها العديد من الأشكال والصور محاطة بوحدتين غشائيتين يضمان بداخلهما الحشوة و RNA وأنزيمات دورة كربس ومركبات عديدة من نواتج التفاعلات الأنزيمية والسايتوكرومات، مما يبين ان وظيفتها هي القيام بعملية التنفس. وهكذا فهي تختص بإنتاج الطاقة المستخدمة في الخلية. ولذلك يلاحظ كثافة المايتوكوندريا في الخلايا النشطة مثل الخلايا الميرستيمية حيث تسود بها المايتوكوندريا. ويعني ان المايتوكوندريا تمد الخلايا بالطاقة حيث عندما تتحلل الدهون والكربوهيدرات في السايتوبلازم ينتج عن أكسدة هذه المواد ثاني أوكسيد الكربون وماء وطاقة وهي التي تخزن في المايتوكوندريا في صورة روابط فوسفاتية غنية بالطاقة مثل الـ ATP . ونظرا لاحتواء المايتوكوندريا على DNA فان لها القدرة على الانقسام دون الاعتماد على النواة.

البلاستيدات Plastids

البلاستيدات هي عضيات مميزة للنبات وهي عادة مستديرة او بيضيه او قرصية الشكل قطرها حوالي 4-6 ميكرون وتحاط بغشاء مزدوج وبداخلها حشوة. تحاط البلاستيدات بغشاء مزدوج يسمى الغلاف Envelope مع تراكيب أخرى في الحشوة او الستروما Stroma تسمى الكرانات وهي على شكل أقراص وتتكون من 5- 50 من الأكياس المفلطحة وهي التي تحوي الكلوروفيلات . والبلاستيدات تحوي عادة DNA وRNA - ولهذا فهي يمكن ان تتكاثر مستقلة عن انقسام الخلية ويعتقد انها تنشأ من البلاستيدات الأولية Proplastids. وتنقسم البلاستيدات الى عدة اشكال:



Proplastids: وهي البلاستيدات الأولية وهي التي تنمو وتكون البلاستيدات.

Leucoplastids: وهي البلاستيدات عديمة اللون، لا تحتوي على الكلوروفيل والكاروتنويدات. وتنتج بروتينات وزيوت ويمكنها ان تخضر اذا تعرضت للضوء.

Chloroplasts: وهي بلاستيدات تحوي صبغات الكلوروفيلات والكاروتنويدات وتظهر بلون اخضر لتغلب لون الكلوروفيل ولزيادة تركيزه وتقوم بالتمثيل الضوئى.

Chromoplasts: وتحتوي فقط على صبغات الكاروتنويدات. وظيفتها لازالت مبهمة ولكنها مسؤولة عن تلون ألاوراق في الخريف ولون الأزهار والثمار الناضجة تتراكم بها الكاروتنيدات والصبغات الاخرى كما في الطماطم .

Amyloplastids: وهي البلاستيدات النشوية وهي تلعب دورا هاما في تمثيل النشا في خلايا أعضاء معينة مثل درنات البطاطس واندوسبيرم حبوب الذرة.

الوظيفة البلاستيدات Function

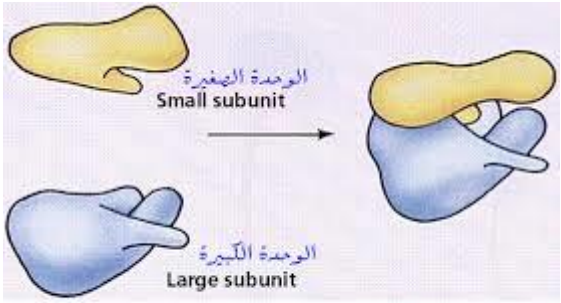
- ان البلاستيدات الخضراء تلعب دوراً مهماً في عملية التركيب الضوئي التي يمكن تلخيصها بالمعادلة التالية:

$$6CO_2 + 6H_2O + light + chloroplasts \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

- البناء الحيوي للاحماض الدهنية .
- اختزال الكبريتات SO4 الى ثايول SH-
- اختزال NO2 الى NH3.
- بناء عدد محدد من البروتينات.
- تكوين الكلايكوليت Glycolate بعملية التنفس الضوئي Photorespiration.

الريبوزومات Ribosomes

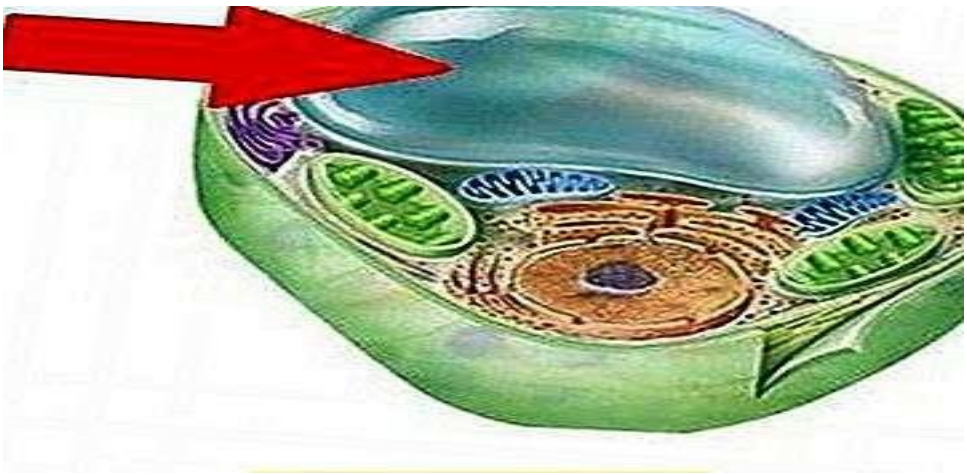
توجد الريبوزومات في الخلية اما بمصاحبة الشبكة الاندوبلازمية او حرة في السيتوبلازم او في المايتوكوندريا او البلاستيدات ويتراوح قطرها بين 0.3-0.1 ميكرون وتحتوي على 50- 60% RNA و40- 50% بروتين اي انها عبارة عن تجمع من جزيئات الـ RNA والبروتين ويطلق على الـ RNA المشترك في بناء الريبوزوم بـ RNA الريبوزومي (r- RNA). وتوجد الرايبوزومات عادة في مجاميع عنقودية او في شكل سبحي او عديدات الريبوزومات Polyribosomes وهي الاماكن النشطة لتمثيل الببتيدات عندما ترتبط بالـ RNA الرسول(m-RNA).



رسم ثلاثي الابعاد يبين الرايبوسومات

الفجوات Vacuoles

هي عبارة عن مساحة محاطة بغشاء مملوءة بسائل مائي او عصير خلويCell sap. وتوجد الفجوات العصارية مبعثرة في السايتوبلازم في الخلايا الحديثة الميرستيمية حيث تمتلئ الخلية بالسايتوبلازم الكثيف. وعند نضج الخلية تتجمع هذه الفجوات مع بعضها لتكون فجوة واحدة كبيرة في وسط الخلية وتكون محاطة بغشاء هو جزء من الغشاء البلازمي الداخلي Tonoplast وهو غشاء اختياري النفاذية. وتدفع الفجوة عند تجمعها من الفجوات الصغيرة السايتوبلازم ليلاصق الجدار كطبقة رقيقة. ومن وظائف الفجوة المحافظة على استمرارية ضغط الامتلاء Turgor pressure للخلية وهو هام جدا للتركيب الدعامي وللتحكم في حركة الماء. كما أن من مهام الفجوة تخزين المواد الأساسية اللازمة للنشاط التمثيلي للخلية وتخزين منتجات التمثيل الثانوية والمركبات الدفاعية للخلية والسامة وهكذا يحتوي العصير على مواد كالسكريات والأحماض العضوية والأملاح المعدنية والغازات والصبغات والقلويدات والدهون والتانينات وأحيانا البلورات. وعادة يكون الـ pH للعصير الخلوي حامضيا الا انه في بعض الاحيان قد يتراوح بين1-11 حسب مكوناته. ولهذا فدراسته غير سهلة من الناحية السايتولوجية والكيموحيوية. والغشاء المحيط بالفجوة (Tonoplast) غير المزدوج يلعب دورا هاما في النشاط الكيميائي للخلية مثل تراكم أيونات الهيدروجين وتخزين المواد السامة والسماح بعبور بعض المواد في اتجاة واحد (من الخلية للفجوة). وتوجد الصبغات بالفجوة مثل الانثوسيانين والذي يلون العديد من الأزهار والثمار والأوراق. وبسبب تغيره في اللون حسب الـ pH استعمل كدليل لدرجة الحموضة (مثل صبغة عباد الشمس).

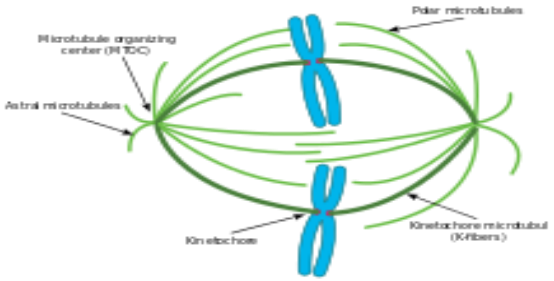


ومن وظائفها :

1. تحتوي سائلاً يتكون من ماء واملاح وصبغات(احمر، ازرق، بنفسجي) تلون بتلات الازهاروبعض الاوراق .
2. تحتوي مواد سامة لا تضر النبات .
3. تقوم بتخزين المواد كالبروتينات .
4. تكسب الخلية النباتية القوة والامتلاء .

الأنابيب الدقيقة Microtubules

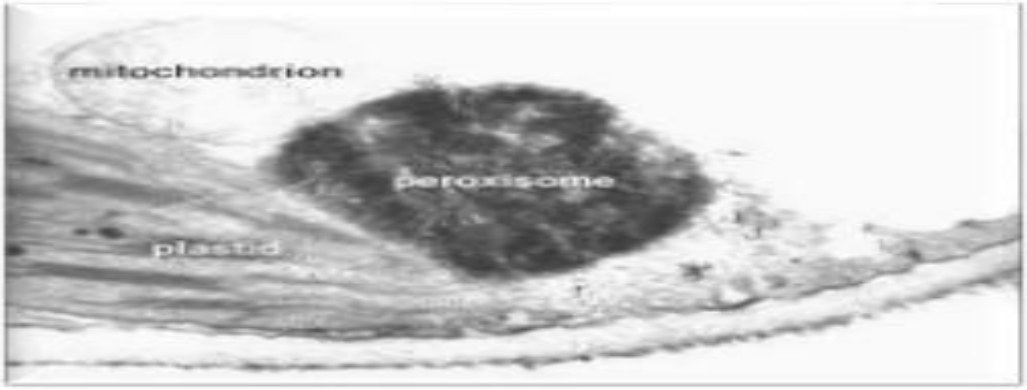
هي تراكيب مستطيلة مجوفة قطرها 10-20 انكستروم وهي تعتبر جزيئات كبيرة بروتينية ويسمى البروتين B tubulin – ويمكن تسميته بروتين انبوبى حيث توجد متلاصقة مع سنترومير الكروموسومات والخيوط المغزلية خلال الانقسام الميتوزي. وتشترك في انفصال وهجرة الكروموسومات المتماثلة لقطبي الخلية كما تساعد في تكوين الجدار الخلوي، كما تعتبر تحت تراكيب للاسواط والفلاجلات والأهداب في الخلايا النباتية ذاتية الحركة.



الأجسام الدقيقة Micro bodies

وهي الكلايكوزومات والبيروكسيزومات والاسفيروزومات ، تلك الجسيمات يطلق عليها الأجسام الدقيقة وقطرها 1-2 انكستروم يحيط بها غشاء فردي وهي لا تشابه البلاستيدات او المايتوكوندريا - حيث لا يشاهد بها اي تراكيب غشائية الا انها تحتوي على بروتينات داخلية كثيفة جدا. وتوجدالكلايكوزومات في انسجة البذور الزيتية حيث يتحول الدهن الى كربوهيدرات. اما البيروكسيزومات فهي تشابه مظهريا الكلايكوزومات وتحتوي على

عدد من نفس أنزيماتها ولها دور في تمثيل الكليكولات المنتجة بواسطة البلاستيدات الخضراء وتبين الملاحظات ان البيروكسيزومات تصاحب عملية التمثيل الضوئي في بعض النباتات. والاسفيروزومات اي الأجسام الكروية ما هي الا أجسام صغيرة او جسيمات تحتوي علي أنزيمات مثل أنزيمات Hydrolases وأنزيمات تحليل مائي أخرى مثل Proteases (أنزيمات تحليل البروتينات) وRibonucleases (انزيمات تحليل ألاحماض النووية) وأنزيمات الفسفرة والاسترة، ويبدو ان وظيفتها في الخلية هو تخزين وانتقال الليبيدات.



شكل الخلية Cell Shape

من المعلوم ان الكائنات الحية جميعها تبدأ من خلية واحدة وانها تتكون من بروتوبلازم وهو الاسم الذي يطلق على كل المحتوى الحي للخلية وهو عبارة عن سائل لزج يحاط بغشاء مرن. وبالنظر لهذه الاعتبارات نجد ان شكل الخلية سيكون كروي وذلك نتيجة للتوتر السطحي خاصة بالنسبة للخلايا الحرة ، وفعلا نجد ان كثيرا من خلايا البكتيريا والخمائر والطحالب وحيدة الخلية تكون كروية الشكل ولكن يلاحظ ان بعض البكتيريا تأخذ الشكل العصوي كذلك فان الاميبا ليس لها شكل محدد.

ولا يجب إغفال تأثير العوامل الخارجية الميكانيكية في شكل الخلايا لأن وظيفة الخلية قد تحدد شكلها مثل خلايا الدم الحمراء في الإنسان التي تبدو كروية من كل من السطح العلوي والسفلي بينما تبدو مسطحة ومقعرة من الشكل الجانبي. وهذا الشكل يناسب وظيفتها في تبادل الغازات في الرئة والأنسجة. وبالنسبة للنبات يختلف شكل الخلايا على حسب شكل العضو وكذلك نشاط الخلية نفسها مثل خلايا الأوراق والجذور والخلايا الحارسة للثغور والشعيرات حيث يختلف شكل كل خلية على حسب وظيفتها ويتلائم معها تماما. وبالنسبة لخلايا النبات والحيوان يلاحظ ان خلايا الحيوان تهيأ احيانا للحركة بينما في النبات لا. كذلك توجد في الحيوان خلايا عضلات واعصاب وعظام واخراج وهضم.

حجم الخلية Cell Size

اصغر حجم للخلايا يوجد في البكتيريا التي يتراوح قطرها بين 0.5-0.2 ميكرون بينما أكبرها بيضة النعامة التي يصل قطرها الى 15 سم. ويتحكم في كبر حجم للخلايا العديد من العوامل مثل نسبة النواة الى السايتوبلازم. فمن

المعروف ان النواة تنظم نمو ووظيفة السايتوبلازم وبقاء الخلية ككل فبالرغم من ان الخلية يمكنها أن تعيش قليلا بدون نواة إلا إنها تبدو في هذه الحالة بدون عقل مدبر ينظم لها وظائفها. ومن جهة أخرى لأن النواة تنتج وسائل بناء البروتين فلهذا فهي تحدد كمية السايتوبلازم التي يمكن ان تتحكم فيه. وهناك بعض الخلايا التي تحوي اكثر من نواة مثل طحلب النوستوك. كما يتحكم في الحجم النسبة بين حجم الخلية ومساحة سطحها. ولسطح الخلية اهمية في التحكم في مرور السوائل منها واليها وكذلك الغازات والغذاء. ونظرا لأن مساحة السطح تزيد بمربع زيادة القطر بينما يزداد الحجم بمكعب هذه الزيادة فان حجم الخلية يتوقف على مقدرة سطحها على امداد الخلية بما تحتاجه لعمليات التمثيل بها. والخلية النباتية تواجه هذه المشكلة لوجود الفجوة العصارية بها. وهناك عامل آخر وهو حركة السايتوبلازم والتي يجب ان تكون انشط في الخلايا الكبيرة. كما يتحكم فى الحجم معدل نشاط الخلية في التمثيل فمعدل تبادل المواد في الخلايا الصغيرة اكبر منه في الخلايا الكبيرة وذلك خلال سطحها وبالتالي فأنه يلزم أن تكون الخلية في اقل حجم ممكن لكي تكون النسبة بين مساحة السطح والحجم ملائمة لعمليـــات الامتصـــاص.

والآن السؤال ما هو الحجم الأمثل للخلية لكي تقوم بوظائفها بكفاءة ؟؟ وواضح انه ليس لهذا السؤال إجابة محددة لأن اكبر قطر لخلية معروفة يصل الى 100 ميكرون واصغر قطر 0.1 ميكرون اي بنسبة 1- 1000 مع العلم باننا استبعدنا الفيروسات بصرف النظر عن كونها خلايا ام لا حيث ان الطاقة اللازمة للفيروس تأتى من خارجه (من الخلايا التي يتطفل عليها).

الصفات المشتركة للحياة

السمات المشتركة للكائنات الحية والتى تمثلها الخلية النباتية التى نحن فى صددها فنجد ان اهم تلك الصفات هي :

1. الحركة 2. التكاثر 3. النمو 4. التمثيل الغذائي 5. الحساسية 6. التنظيم والتصغير

هناك نوعين مميزين من الخلايا في الكائنات الحية النباتية سواء البدائية او والراقية :

Prokaryotic cells خلايا بدائية	**Eukaryotic cells خلايا راقية**
ليس لها نواة او غشاء نووي	تحتوى نواة
ليس بها مايتوكوندريا	تحتوى على مايتوكوندريا
ليس بها شبكة اندوبلازمية	تحتوى على شبكة اندوبلازمية
ليس بها بلاستيدات والكلوروفيل حر بالسايتوبلازم	تحتوى على بلاستيدات خضراء
الريبوزومات حرة في السايتوبلازم	الريبوزومات ملتصقة بالشبكة الاندوبلازمية
بها عادة كروموسوم واحد	بها عديد من الكروموسومات
تنقسم انقساما مباشرا عند التكاثر	تنقسم انقساما غير مباشرا

الماء وخصائصه

الماء جوهر الحياة

1. يكون الجزء الاكبر من البروتوبلازم 80-90% وزنا
2. يشترك بشكل مباشر او غير مباشر في العمليات الحيوية كالتركيب الضوئي
3. مذيب للغازات مثل CO_2 وO_2
4. واسطة لنقل المواد المعدنية الذائبة والمواد العضوية الغذائية في انسجة النبات
5. يحافظ على الضغط الازموزي

خواص الماء

1. حرارة نوعية عالية. لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء درجة مؤية واحدة نحتاج لسعرة حرارية واحدة
2. الحرارة الكامنة للغليان عالية (540سعرة حرارية) والحرارة الكامنة للانصهار عالية (80 سعرة حرارية)
3. يمتلك خاصية التماسك بسبب الاواصر الهيدروجينية وخاصية التلاصق بسبب الخاصية القطبية
4. الماء سائل بدرجة حرارة الغرفة بسبب الاواصر الهيدروجينية (الوزن الجزيئي 18)
5. شفاف للضوء العادي المرئي (300-750 مليمايكرون)- يمتص كثيرا من الاشعة الساقطة
6. الماء مذيب عام بسبب الاواصر الهيدروجينية وكذلك توزيع الشحنات غير المنتظم

علاقة النبات بالماء Plant Water Relationship

الانتشار Diffusion

إن ظاهرة الانتشار تعني حركة المادة من وسط عالي التركيز إلى وسط منخفض التركيز وذلك نتيجة للحركة العشوائية الانتقالية للجزيئات أو الذرات أو الأيونات لتلك المادة بفعل الطاقة الحركية الذاتية التي تمتلكها.

وظاهرة الانتشار في النباتات تحدث تلقائياً بالاعتماد على الطاقة الذاتية الانتقالية التي تكون مسئولة عن تحرك الجزيئات سواء كانت سوائل أو غازات أو مواد أخرى وأبسط مثال لإنتشار الغازات هو انتشار العطر من الزجاجة عند فتحها حيث تنتشر جزيئاته في الهواء المحيط بالاعتماد على الطاقة الحركية الذاتية لجزيئاته مكونة خليطاً متجانس من العطر والهواء،

الانتشار في النباتات

إن الجسيم النباتي بصورة عامة يتكون من مواد وعناصر كيماوية موجودة في التربة او الهواء وتيد خل هذه العناصر لجسم النبات علي شكل ايونات سالبة او موجبة او علي شكل ذرات او جزيئيات بعضها ييد خل عن طريق الاجزاء الخضرية والبعض الاخر عن طريق الجذور ، فمثلاً يدخل الاوكسجين وغاز ثاني اوكسيد الكاربون عن طريق الثغور اما الماء والايونات الموجبة والسالبة للمعادن فتنتقل من التربة الى النبات عن طريق

الجذور ثم تنتقل الى باقي اجزاء الجسم النباتي حيث تشترك في باقي الفعاليات المختلفة . إن النبات يفقد المواد الفائضة عن حاجته الى المحيط الخارجي عن طريق الانتشار مثالها فقدان الماء من الجزء الخضري على شكل سائل او بخار ماء وطرح الاوكسجين و ثاني اوكسيد الكاربون والمواد المتطايرة الاخرى . ان القسم الاعظم لحركة هذه المواد داخل او خارج الجسم النباتي او من منطقة لأخرى انما يعزى للانتشار .

العوامل المؤثرة على عملية الانتشار

1. حجم الدقائق المادة المنتشرة :

تتناسب سرعة الانتشار تناسباً عكسياً مع حجم الايونات المنتشرة ، بمعنى انه كلما صغر حجم الايون او الجزيئة المنتشرة كلما زادت سرعة انتشارة .

2. كتلة دقائق المادة المنتشرة :

تناسب تناسبا عكسياً مع الوزن الذري او الجزيئي ، لذلك اذا تساوت الدقائق في حجومها فان الاثقل ةوناً تكون هي الابطأ في سرعة الانتشار.

3. تركيز دقائق المادة المنتشرة :

تنتقل الذرات او الجزيئات من نقطة التركيز العالية الها الى نقطة اخرى درجة التركيز عندها اقل بمعدل بعدل اسرع من العكس .

4. درجة الحرارة والضغط :

تزداد سرعة الانتشار بزيادة درجة الحرارة اوالضغط بسبب زيادة الطاقة الحركية للجزيئات .

5. قابلية المادة المنتشرة على الذوبان في وسط الانتشار :

تتناسب سرعة الانتشار تناسباً طردياً مع سرعة الذوبان المادة المنتشرة ، اي كلما كانت المادة اسرع بالذوبان كان انتشارها اسرع .

الازموزية Osmosis

هي نوع خاص من الانتشار التي تشمل حركة الماء خلال غشاء نصف ناضح من المكان ذو القوة الدافعة العالية للماء Water Potential الى الجهة الاقل منها. يمكن مشاهدة الازموزية عند توفر الماء او او المحاليل على ان تكون معزولة بمادة ما تقيد حركة الدقائق المذابة اكثر من تقييدها لحركة جزيئات المذيب. وهذا العازل الذي لايمتزج مع المحاليل المحيطة به يطلق عليه غشاء نصف ناضح.

معضم الاغشية النباتية تسمح لمرور بعض المواد المذابة اضافة للمذيب ولهذا يسمى هذا الغشاء بالغشاء متمايز النفاذية Differentially Permeable Membrane.

اطلق على تقييد انتشار دقائق المذاب مقارنة بالمذيب وما يترتب على ذلك بما يسمى بمنحدر القوة الدافعة (او الطاقة الكامنة للماء) Water Potential Gradient. علما ان W.P للماء النقي يساوي صفر تحت الضغط

الجوي الواحد ولذلك فان W.P للمحلول يكون اقل من الصفر(سالب) ولكن بعد التنافذ فان الـ W.P للجانبين يكون متساوي.

اهمية الازموزية للنبات

1 – دخول الماء الى الخلايا النباتية من المحيط الخاجي يعتمد على الازموزية (ماء التربة دائماً مخفف بالنسبة الى عصير الخلية أي فية ماء كثير) .

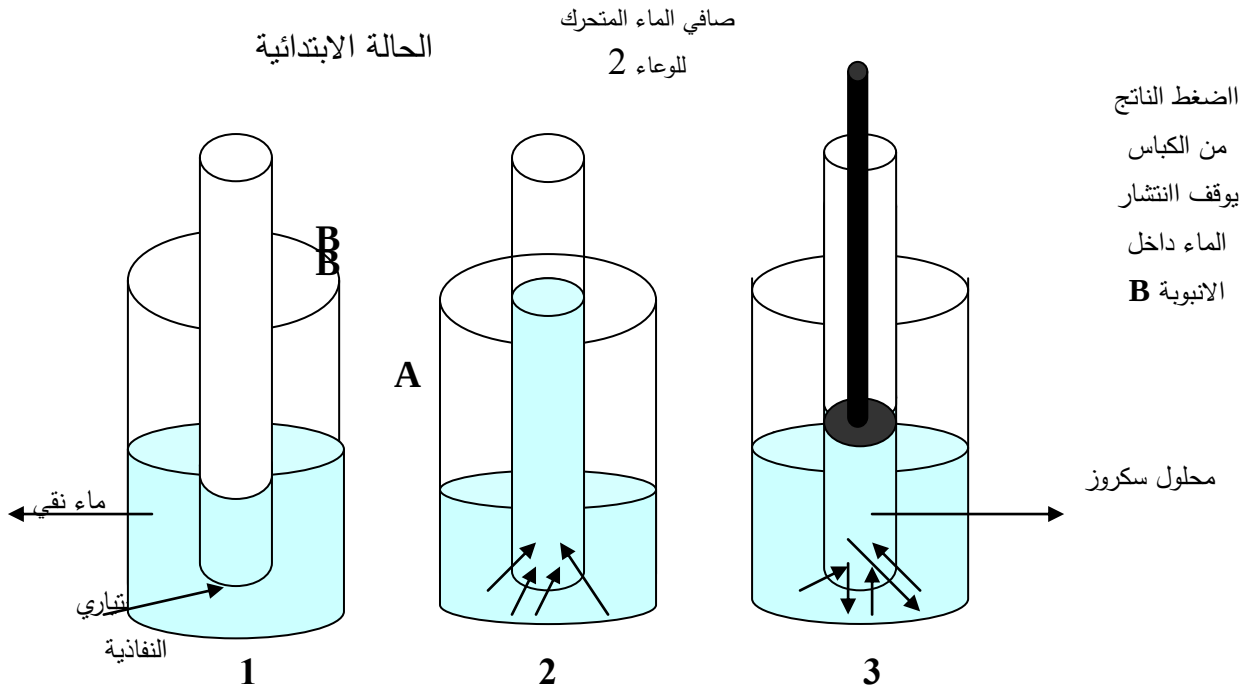
2 – حركة الماء من احدى الخلايا الحية الى اخرى تحدث بسبب الازموزية (بسبب فرق التركيز للماء أي يقل الماء في الخلية ويرتفع ضغطها الازموزي) وبالتالي تسحب الماء من الخلية المجاورة (والتي ضغطها الازموزي اوطئ) .

3 – انواع الحركة في النبات تعتمد على ظاهرة الازموزية منها فتح الثغور اما انخفاضه فيسبب غلق الثغور) تفتح الازهار وانغلاقها في الليل والنهار.

4 – زيادة الضغط الازموزي تسبب زيادة في مقاومة النبات لدرجة الحرارة المنخفضة والجفاف .

الجهد الأزموزي: Osmotic potenlial

يتم قياس الجهد الأزموزي بواسطة جهاز غاية في البساطة يعرف باسم الأزموميتر Osmometre فإذا وضعنا وعاءً كبيراً يحتوي على ماء نقي (A) وفي داخله وعاء ذو غشاء نفاذي(B) يسمح بمرور الماء ويحتوي بداخله محلولاً سكري (محلول سكروز) نلاحظ الاتي:



طريقة قياس الضغط الازموزي

بما أن غشاء الوعاء B منفذاً للماء فقط فإن الماء لة حرية الانتقال بين الانائين وبالتالي نلاحظ ان الماء يندفع بقوة متجها من الاناء A الى الاناء B وذلك عبر الغشاء النفاذ وبسبب اختلاف الجهد بين الماء في الانائين حيث يكون جهد الماء المخلوط (المحلول) في الاناء B أقل من جهدة في الاناء A الذي يحتوي على الماء النقي، لاحتوائه على طاقة انتقالية ذاتية اكبر.

نلاحظ ايضا أنه في البداية يكون معدل تحرك الماء إلى الوعاء B مرتفع وينخفض تدريجيا حيث ان زيادة الماء في الوعاء B سيعمل على ارتفاع جهد المحلولفي الاناءB.

إذا وضعنا محبساً من الوعاء B ودفعنا هذا المكبس حتى توقف تدفق الماء إلى الوعاء B عن طريق الضغط بقوة، القوة اللازمة لوقف تدفق المياه إلى الإناء B تساوي أقصى ما يمكن من ضغط لوقف دخول الماء المحصور داخله المحلول السكري.

الضغط اللازم للمحلول لكي ينشأ زيادة في جهده الكيميائي عن جهد الماء النقي حتى يتوقف تحرك الماء إلى B تماماً يسمى بالضغط الأزموزي Osmotic pressure وعلى هذا فإن:

الضغط الازموزي للمحلول Osmotic pressure هو الضغط اللازم عمله لوقف انتشار الماء النقي الى المحلول تحت ظروف الأزموزية المثالية وبالتالي فإن الضغط الأزموزي ما هو إلا جهد حقيقي أي قوة حقيقية تمثل بجهد او طاقة.

وترجع أهمية الجهد الأزموزي إلى كونه يميز المحلول بطرق مختلفة فهو يدل على الضغط الأقصى (الضغط الأزموزي) الذي ينشأ للوصول إلى حالة الاتزان مع الماء النقي في النظام الأزموزي المثالي وله علاقة طردية تناسبية مع كمية المذاب في المحلول ومع النقص في الجهد الكيميائي للمحلول (الطاقة الحرة الكلية).

الضغط الانتفاخي (ضغط الامتلاء) Turgor Pressure

العضيات في الخلية نكون محاطة باغشية حية شبه منفذة اما جدار الخلية فهو منفذ. وعند وضع الخلية النباتية بوصفها نظاما ازموزيا في الماء. وبسبب ان الـ Ψ للماء في العصير الخلوي يقل كثيرا (بسبب وجود الذائبات) ن الـΨ للمحلول الخارجي لذا يتحرك الماء الى داخل الخلية وبالتالي تمتلئ الخلية ويزداد حجمها . ويحدث ان تضغط محتوياتها وخاصة غشاء البلازما على الجدار الخلوي ويسمى الضغط الحقيقي والمسؤول عن دفع محتويات الخلية الى الجدار الخلوي بالضغط الانتفاخي. وهذا الضغط يقابله ويساويه في المقدار ضغط الجدار السليلوزي. ونتيجة لانتفاخ الخلية وامتلائها فأن Ψ للعصير الخلوي يزداد الى ان يتوازن تقريبا مع Ψ للمحلول الخارجي ويقال للخلية بهذه الظروف بأنها منتفخة.

البلزمة Plasmolysis

من الناحية الحيوية فإن البلزمة تعني التغيرات التي تحدث للخلية النباتية الحية عندما توضع في وسط ذو تركيز مختلف عن تركيز العصارة الخلوية وخصوصاً لو كان الوسط الخارجي ذو تركيز ملحي او سكري مرتفع.

ومثال على ذلك لو وضعت خلية نباتية في وسط يحتوي على تركيز مرتفع من السكروز فإن التغيرات التي تحدث هي انجذاب الغشاء البلازمي بعيداً عن الجدار الخلوي وابتعادهماعن بعضها البعض، وهذا الابتعاد ناتج عن عدة أسباب هي:-

1. إن الماء داخل الخلية له طاقة حرة أعلىمن الطاقة الحرة للماء الخارجي وبالتالي ميولاً الى الانسياب للخارج.
2. إن الأغشية الفجوية غير مُنفذة للسكروز ولكنها تستطيع نفاذ الماء.
3. إن الجدار الخلوي cell wall يسمح بنفاذ السكروز والماء بحرية.

وعلى هذا الأساس فإن الماء ينتقل من الفجوة العصارية إلى المحلول الخارجي أي إلى السيتوبلازم ثم للخارج أي من منطقة ذات جهد مائي أقل سالبية (عالي) إلى منطقة جهدها المائي أكثر سالبية (منخفض)، هذا التحرك يسبب انكماش الفجوة وبالتالي جذب الغشاء الخلوي بعيداً عن الجدار الخلوي وذلك لان ان الجدار الخلوي صلب ولاينجذب بسهولة وهنا يكون ضغط الامتلاء يساوي الصفر **Turgor pressure = 0** تنتج حالة مختلفة لو أن الخلية وضعت في محلول أقل تركيزاً من تركيز العصير الخلوي وهنا سوف تمتلئ الخلية ولكن عادة كمية دخول الماء تكون قليلة وبهذا فالتغيرات في شكل الخلية تكون بسيطة.

الأزموزية بين الخلايا Osmosis between cells

دعنا نتخيل خليتين ملتصقتين ومحميتين من أي بخار، والعصير الخلوي للخلية (A) ذي جهد ذموزي (-14 بار) وضغط إمتلاء يساوي (4 بار)، أما الخلية B فهي ذات جهد مائي (-16 بار) والحالة النهائية لكل خلية يمكن التعبير عنها:

$$-\psi w = -\psi s + \psi p$$

ψw = الجهد المائي.

ψs = الجهد الأزموزي.

ψp = ضغط الامتلاء.

حدد في أي اتجاه يسير الماء ولماذا؟

التشرب وضغط التشرب Imbibition and Matric Pressure

التشرب احد انواع الانتشار لان صافي حركة الماء تعتمد على فرق الضغط الانتشاري. فعند وضع بذور جافة بالماء فانها تتضخم ويظهر ان الماء يلتصق وينجذب على اسطح الدقائق الغروية وان مدى الالتصاق السطحي او الادمصاص Adsorption يعتمد على المسافة بين الاسطح و الجزيئات. هذا ويتكون ضغط كبير يسمى ضغط التشرب عندما يكون الجسم المتشرب قد خصص او عزل في مكان وسمح للجسم ان يتشرب بالماء. الغرويات الجافة لها ضغط تشرب عالي قد يصل 3000 بار في حالة وضعها بالماء.

يجب توفر شرطين لحدوث التشرب (1) وجود فرق في الـ W.P بين الجسم المتشرب والمادة المشربة (2) وجود الفة خاصة بين الجسم المتشرب والمادة المشربة مثل تشرب المطاط بالايثر وليس بالماء.

الـ Matric Pressure يشابه الضغط الازموزي حيث يمثل اعلى ضغط يتكون للمادة المتشربة عند وضعها بالماء النقي وبعض الباحثين افترض

$$\Psi_w = \Psi_p + (\Psi_\Pi = \Psi_m)$$

والبعض يضع المعادلة كالاتي $\Psi_w = \Psi_p + \Psi_m$

ولايتكون الضغط الانتفاخي في المادة المتشربة غير المعزولة ولهذا تصبح $\Psi_w = \Psi_p$

كما ان الضغط المتري للبذور الجافة قد يصل 1000 بار كما ان الـ W.P للماء القليل في هذه البذور قد يصل - 1000 بار.

العوامل التي تؤثر على التشرب هي الحرارة حيث بزيادة درجة الحرارة يزداد التشرب كما انه كلما زاد الضغط الازموزي للمادة التي ستتشرب بالماء كلما قل معدل تشربها بالماء.

النفاذية Permeability

الماء يمر من والى الخلية بصورة مستمرة وبحرية كافية طالما كان هناك فرق في تركيز الذائبات بين داخل وخارج الخلية. وتتأثر حركة مرور الماء خلال الغشاء البلازمي بخاصية الطاقة الكيمياوية الكامنة للماء والتي تعتمد على عاملين:

1. الحرارة حيث زيادتها بحدود معينة تزيد من نفاذية الماء خلال الغشاء البلازمي.
2. الضغط الازموزي حيث كلما زادت الذائبات زاد الضغط الازموزي وقلت الطاقة الكيمياوية الكامنة للماء مقارنة بالخارج وبذلك ينفذ الماء الى داخل الخلية.

غشاء الخلية له خاصية النفاذية التمايزية فهو يسمح لبعض الذائبات بالمرور دون غيرها لذا فالتوازن النهائي لايعتمد على Ψ للماء على جهتي الغشاء البلازمي فحسب بل على حالة مرور الذائبات من والى الخلية. وان المعدل الحقيقي للجريان (Flow) يتناسب طرديا مع القوة الدافعة او فرق القوة الدافعة الكيمياوية للماء $\triangle \Psi$ وعكسيا مع مقاومة الغشاء نصف الناضح (r)

$J = \triangle\Psi / r$ هذا وتعد مقاومة الغشاء معكوس النفاذية حيث Lw نفاذية غشاء الخلية cm/sec

وبالتعويض

نحصل على

$$J = \triangle\Psi L_w$$

وبما ان $\triangle\Psi = \triangle p - \triangle_\Pi$

اذن $J = L_w (\triangle p - \triangle_\Pi)$

هذا ويمكن قياس النفاذية من معدل الجريان والقوة الدافعة الكيمياوية للماء من والى الخلية.

1. نفاذية المواد تزداد بزيادة قابلية ذوبانها في الدهون. كلما وجدت مجاميع قطبية مثل OH والكاربونيل CO والكاربوكسيل COOH والامين NH2 في المواد زادت القطبية وقلت قابلية ذوبانها في الدهون وانخفض معدل النفاذية (بسبب تكوينها اواصر هيدروجينية مع الماء).
2. زيادة طول السلاسل الكابونية للمركب يقلل من القطبية ويزيد من قابلية الذوبان بالدهون وبالتالي سهولة اختراق هذه المواد للاغشية Urea < Methyl urea< Ethyl urea
3. استبدال ذرات الاوكسجين بذرات الكبريت يزيد من قابلية الذوبان في الدهون وبالتالي تزداد سرعة النفاذية Thiourea > Urea
4. هناك علاقة مابين معدل النفاذية وحجم الجزيئات المارة خلال الاغشية مع بعض الشواذ.
5. المواد التأينة لاتنفذ بسهولة عبر الاغشية الخلوية كونها مواد قطبية. لماذا لاتنفذ المواد الالكتروليتية بسهولة خلال الاغشية؟

A. الالكتروليتات تتأين الى ايونات حاملة لشحنات كهربائية. كلما كانت شحنة الايون الموجبة قوية عرقلت دخول الايون للخلية. وكلما كان تكافؤ الايون اعلى قلت نفاذيته. مثلا Na^{+1} وK^{+1} تنفذ اسرع من ايونات Mg^{+2} وCa^{+2} وهذه اسرع من Fe^{+3}. كما ان Cl^{-1} و $NO3^{+1}$ تدخل اسرع من $SO4^{-2}$.

B. تميؤ الايونIon Hydration اي احاطة الايون بغلاف مائي بسبب قابلية ارتباط الايونات بالاواصر الهيدروجينية مع جزيئات الماء. تميؤ الايونات ينتج عنه دقائق ذات حجم اكبر من الايونات نفسها.

علاقة النفاذية بتضاد الايونات وتعاونها Antagonism and Synergism

تؤثر الاملاح الموجودة في بيئة الخلية على نفاذية المواد المختلفة خلال الغشاء. فقد تنفذ الايونات الموجبة احادية الشحنة بسرعة معينة خلال الغشاء اذا كانت منفردة اما اذا وجد في الوسط ايونات موجبة ثنائية الشحنة فأن الاحادية الشحنة تقل نفاذيتها كثيرا . وهذا يفسر موت بعض النباتات البحرية مثل Laminaria اذا نقل الى كأس فيه محلول ملح واحد سوي التركيز وعدم موت النبات اذا وضع في محلول ملحين مختلفي التكافؤ.

غمر النبات في محلول KCl وNaCl السوي التركيز يزيد من النفاذية وتصبح الخلايا منفذة تماما للـ KCl ويموت البروتوبلازم ويتلف الغشاء ويموت النبات.

اذا اعيدت التجربة في محلول CaCl2 سوي التركيز فأن نفاذية الغشاء للملح تقل ويموت البروتوبلازم. ولكن عند وضع النبات في محلول سوي التركيز من KCl وCaCl2 بنفس وجودهم بماء البحر فأن النفاذية تكون طبيعية. ومن المرجح ان الكالسيوم يبطئ نفاذية البوتاسيوم او الصوديوم مما يحافظ على وحدة وتركيب الغشاء البلازمي.

ويسمى تعطيل او منع نفاذية ايون ذي تكافؤ اقل بواسطة ايون ذي تكافؤ اعلى يحمل الشحنة نفسها بظاهرة التضادSalt Antagonism وهذه الظاهرة يراها البعض هي ليست تقليل النفاذية بل حفظ الغشاء الخلوي من الضرر.

كما لوحظ ان اضافة بعض الايونات بتراكيز معينة قد يزيد من نفاذية بعض الايونات الاخرى التي تحمل الشحنة الكهربائية نفسها وتسمى الظاهرة بالمعاونة Synergism مثل اضافة ايونات الكالسيوم بتراكيز قليلة الى ايونات البوتاسيوم حيث تؤدي الى زيادة نفاذية البوتاسيوم.

اتزان دونان Donnan Equilibirium

عند وضع خلية نباتية في محلول يحتوي على ايونات مختلفة يلاحظ ان الايونات لاتتوازن على جانبي الغشاء الخلوي وفسرها دونان عام 1911 بما اسماه اتزان دونان والتي مفادها انه اذا كانت بعض الايونات السالبة قد ثبتت في الخلية وعند انتشار اعداد متكافئة من ايونات سالبة وموجبة الى داخل الخلية عبر غشائها لذا يكون توزيع الايونات على جانبي الغشاء غير متكافئ.

عند الاتزان يكون تركيز الايونات الموجبة الشحنة مساويا لتركيز الايونات السالبة الشحنة في كلا من جانبي الغشاء كذلك يجب ان يكون حاصل ضرب الايونات القابلة للانتشار الموجبة مضروبا في تركيز الايونات القابلة للانتشار السالبة على كل من جانبي الغشاء متساوية. ونتيجة لذلك يكون تركيز الايونات السالبة داخل الخلية اكثر من خارجها ولاجل ان يتم التوازن الكهربائي تمر ايونات موجبة اضافية عبر الغشاء الخلوي لمعادلة الايونات السالبة المثبتة داخل الخلية وهذا يؤدي الى كون تركيز الايونات الموجبة داخل الخلية اكثر مما في خارجها بعكس تركيز الايونات السالبة.

ميكانيكية النفاذية خلال الاغشية الخلوية

الاغشية الخلوية من نوع Differentially permeable membrane وتكون مايشبه المنخل الدهني Molecular lipid sieve وتعني بان الاغشية متكونة من دقائق دهنية كبيرة الحجم وتتحرك حركة مستمرة بسبب طاقتها الحركة العالية ثم تنفصل هذه الجزيئات ويتسبب عن ذلك تكون فتحات مائية Aqueous pores.

وحسب فرضية Lipid sieve theory of permeability فان حجوم الجزيئات القابلة للذوبان في الدهن كافة تمر بسهولة خلال الدقائق الدهنية للغشاء الخلوي. واما الجزيئات الصغيرة غير القابلة للذوبان في الدهون فأنها

تمر خلال الفتحات المائية. الادلة الموجودة لم تدحض نهائيا هذه الفرضية وهي ملائمة لتفسير معدل النفاذية وغيرها.

العوامل المؤثرة على النفاذية

1. الحرارة حيث زيادتها تزيد من النفاذية ثم تقل النفاذية بسبب الضرر للاغشية
2. زيادة او قلة الحامضية تؤثر على تأين المواد وكذلك هيئة وتركيب بروتوبلازم الغشاء
3. ظاهرة التضاد او تأثير الايونات
4 المواد المخدرة او السامة. حيث تؤثر هذه المواد مثل الكلوروفورم على حساسية الخلية وتنفسها. وكلما كان ذوبان هذه المواد في الدهن كبيرا كان تأثيرها على نفاذية الغشاء كثيرا وهذا يدل على انها تدخل الخلية.
5. الاشعاعات تقلل من النفاذية وذلك من خلال تغييره الفتحات في الغشاء البلازمي او ربما تغيير النظم الانزيمية التي تعمل على نقل الدقائق خلال الغشاء.
6النشاط الفسيولوجي للخلايا حيث الخلايا النشطة تستهلك كميات كبيرة من المواد الغذائية (الذائبات) مقارنة بالخلايا غير النشطة وبذلك يظل هناك منحدرا لتركيز الذائبات من خارج الغشاء الى داخله.

Absorption of Water امتصاص الماء

علاقة النبات بالبيئة المحيطة ومايتعلق منها بالماء من حيث الحركة والنقل تشمل:

(1) الامتصـــاص Absorption (2) النقـــل Translocation (3) النـــتح Transpiration (4) Elimination (العزل)

اذا كان هناك نظام ذا درجة حرارة متشابهة مكون من جزء خارجي (O) كمحلول التربة وجزء داخلي(i) كالخلية وهذا النظام مفصول بغشاء فأن معادلة حركة الماء قد تكتب بشكل يشابه قانون Fick الثاني للانتشار

$$d_{vi} / d_t = K'_W \; A (U_{wo} - U_{wi})$$

حيث d_{vi} حجم السائل الداخل للخلية d_t الزمن K_w معامل نفوذ الماء(ثابت)

A مساحة مقطع الغشاء U_{wi} الطاقة الكامنة للماء داخل الخلية Uw^o الطاقة الكامنة للماء خارج الخلية عند جريان الماء فأن هناك ذائبات تجري معه وان مرور الذائبات يعتمد على خاصية الاغشية المسماة Reflection Coefficient (Ø) لذلك تكون معاملة جريان الماء الى الخلية كالأتي

$$d_{vi} / d_t = K'_W \; A (\triangle p - \triangle \Pi)$$

تعد منطقة الشعيرات الجذرية المسؤولة عن امتصاص الماء كونها خالية من المواد الشمعية والكيوتين والسوبرين. معدل امتصاص المغذيات يقل كلما ابتعدنا عن طرف الجذر وان الماء يدخل الجذر نتيجه لمنحدر الـ Water Potential ويحدث المنحدر بسبب ازدياد الذائبات في الخلية. ويظهر ان اكثرية الماء ياخذه النبات عن طريق الخاصية الازموزية أي انها ظاهرة حرة Passive absorption.

الامتصاص السالب او الحر للماء Passive Absorption

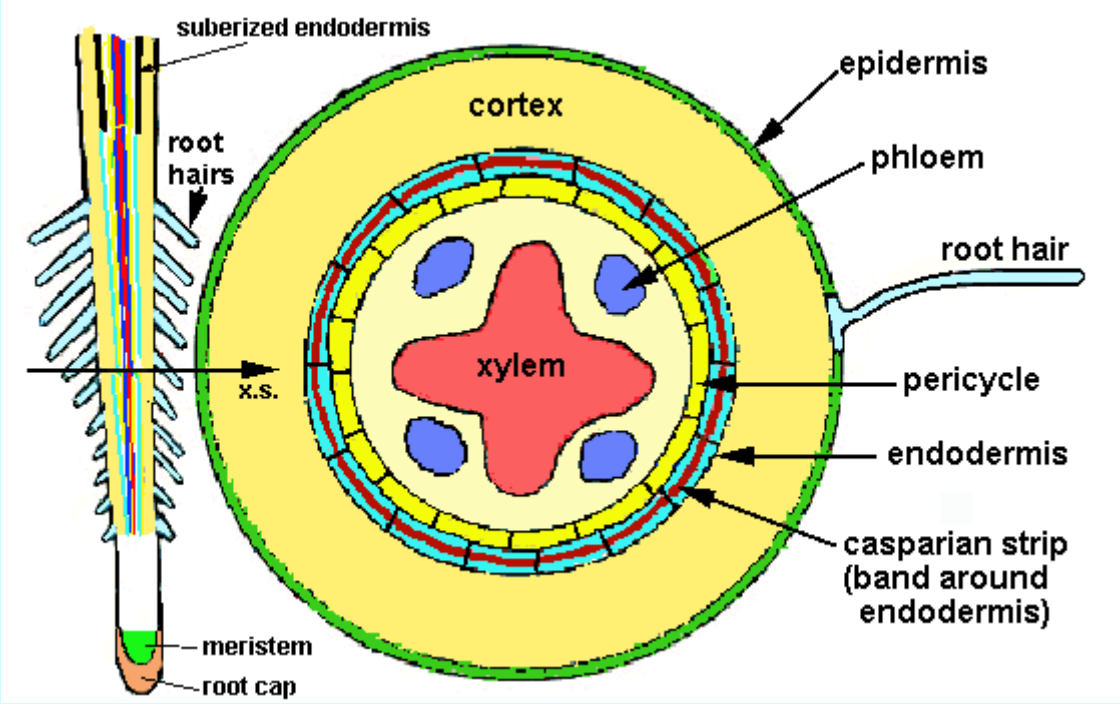
يطلق على القوة المسببة لامتصاص الماء بصورة حرة بالقوة السالبة Passive Force لان دخول الماء الى الجذر يتسبب عن ظروف تحدث خارج الجذر (او في الغصن النباتي). اما فعل القوة السالبة او الشد السالب فيرجع لعملية سحب النتح وذلك بتبخر الماء من الورقة وزيادة الضغط الازموزي وقلة الضغط الانتفاخي وبهذا اصبح الـ W.P لخلايا الورقة اكثر سالبية وعندها تسحب خلايا الورقة الماء من الخلايا المجاورة وهكذا حتى محلول التربه. اغلب الابحاث اظهرت ان معدل الامتصاص يقارب معدل النتح

الامتصاص النشط Active Absorption

ويقصد به امتصاص الماء بصورة نشطة او فعالة أي صرف طاقة لاجل امتصاص الماء.امتصاص الماء النشط يتعلق بميكانيكية ازموزية للجذر واخرى غير ازموزية.

1. امتصاص الماء النشط بالميكانيكية الازموزية. بهذه الطريقة لايحتاج الى صرف طاقة حيوية بل تحرك الماء يتم بفعل وجود منحدر W.P باتجاه الخلية حيث يجري الماء باتجاه البشرة ثم القشرة ثم القنوات الخشبية بسبب ازدياد تركيز الذائبات كلما اتجهنا الى الخلايا الداخلية للجذر .

الماء يمر من البشرة ثم القشرة ثم القشرة الداخلية ثم الدائرة المحيطة ثم الاوعية الخشبية. ولايعرف بالضبط كيف يمر الماء بصورة عرضية من البشرة حتى الانسجة الخشبية فهل يسير خلال المسافات البينية اوجدران الخلايا او خلال السايتوبلازم او الفجوات.



الحركة خلال المسافات البينية قليلة الاحتمال بسبب احتوائها على الهواء لذلك يعتقد ان طريقة مرور الماء عرضياً من البشرة حتى الخشب قد يكون باحدى الطرق :-

١- خلال الجدار السليلوزي فقط .

٢- خلال الجدار السليلوزي والسايتوبلازم دون المرور بالفجوة .

٣- خلال القشرة (اي يمر بجدار الخلية) ثم السايتوبلازم ثم الفجوة.

مفهوم الفراغ الحر Free Space or Outer Space Concept

الفراغ الحر هو الفراغ الموجود في الخلايا والذي تنتقل اليه المواد بطريقة حرة وتشتمل جدران الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا والأوعية والقصيبات الخشبية.

مفهوم الـ Apoplast – Symplast

اقترح Munch (1932) بان النظام المتصل بين جدران الخلايا والمسافات البينية والاوعية القصبية اسم apoplsat ويمكن القول ان الـ free space يشابه الـ apoplast كما ان السايتوبلازم يرتبط من خلية الى اخرى بواسطة البلازمودوزماتا التي تشكل نظاما متواصلاً مترابطاً يسمى symplast.

الاستنتاجات المبنية على قوانين Fick تؤكد فكرة حركة الماء خلال الـ apoplast بانها الممر المهم لحركة الماء في النبات. اماحركة الماء خلال القشرة الداخلية فان وجود شريط كاسبر (مكون من اللكنين و السوبرين في جدار الخلايا) يجعل من الصعب حركة الماء خلال الجدار الخلوي. كما انه ايضا تصعب الحركة خلال السايتوبلازم بسبب مقاومة السايتوبلازم بسبب نشاط الحركة الانسيابية للسايتوبلازم وكثرة العضيات. عليه افترض حدوث حركة الماء خلال السايتوبلازم والفجوة.

2. امتصاص الماء المعتمد على الطاقة وليس على الازموزية

يرى البعض ان الماء يدخل الى الخلايا ضد منحدر الطاقة الكامنة للماء وان ذلك يتطلب ضخا حيويا وصرف طاقة قد تأتي من التنفس. اما ادلة امتصاص الماء حيويا فهي:

a. القيم الازموزية المتحصل عليها من الانسجة الحية اقل من تلك للانسجة الميتة.

b. يمكن تثبيط امتصاص الماء بمثبطات التنفس.

يرى البعض ان امتصاص الماء حيوياً لايحدث في النباتات العالية جداً.

الضغط الجذري Root Pressure. تجمع الاملاح حيويا في القنوات الخشبية في خلايا الجذور ينتج عنه الضغط الجذري والذي يترتب عنه حالتان هما النزف Bleeding او Exudation وكذلك الادماع Guttation.

العوامل المؤثرة في امتصاص الماء

1. كمية الماء القابلة للامتصاص في التربه. النبات يمتص الماء من التربة اذا كان محتوى الماء من التربه يقع بين نقطة الذبول الدائمي والسعة الحقلية.

السعة الحقلية Field Capacity (F.C) هي المحتوى المائي للتربه بعدما تصبح مشبعة بالرطوبة ويترشح الماء الزائد منها.

نقطة الذبول الدائميPermanent Wilting Point (P.W.P) نسبة ماء التربه الباقية عندما تكون اوراق النبات النامي في التربه قد ظهرت عليها علامات الذبول الدائمية.

قابلية تجهيز الماء Water Supply Capacity (W.S.C) الفرق في المحتوى المائي بين السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائمي.

2. درجة الحرارة. معدل الامتصاص ينخفض بانخفاض الحرارة وهذا يفسر ان امتصاص الماء هو عملية نشطة معتمدة على توفر الطاقة. انخفاض الحرارة يؤثر على امتصاص الماء بسبب (a) انخفاض معدل انتشار الماء (b) قلة نفاذية البروتوبلازم والاغشية (c) قلة العمليات الحيوية

3. تركيز محلول التربه. كلما قل تركيز محلول التربه انخفض الضغط الازموزي(Π) وازداد الـ Ψ لمحلول التربه وبذلك يزيد الفرق في الـ Ψ ويزداد الامتصاص.

4. تهوية التربه (توفر O_2). التربه فقيرة التهوية تعيق امتصاص الماء من قبل النبات ذلك ان قلة O_2 يؤدي الى اعاقة نمو الجذور والعمليات الحيوية الجارية كما ان تراكم CO_2 في التربه قليلة التهوية يؤدي الى زيادة لزوجة البروتوبلازم وقلة النفاذية كما يقلل من امتصاص الماء.
5. ارتفاع معدل النتح يزيد الامتصاص.
6. خصائص المجموع الجذري من حيث انتشار المجموعة الجذرية في التربه.

ظاهرة العزل Elimination

هو احدى عمليات انتقال المواد من النبات الى البيئة المحيطة. يعتبر النتح اهم عمليات العزل كما توجد عمليات اخرى هي :

1. Recretion. التخلص من المواد الممتصة من الجذور.
2. Secretion. التخلص من المواد الممثلة assimilated مثل فرز الجذور لبعض المواد الممثلة حيويا كالسكريات والاحماض العضوية والفيتامينات والقلويات العضوية والمركبات الفينولية.
3. Excretion. التخلص من المواد المحللة(المهدمة) حيوياً dissimilated

النباتات قد تفرز بعض المواد الفينولية لتمنع منافسة النباتات الاخرى ويطلق على هذة العملية اسم Allelopathy اما اهم المواد المفرزة Chlorogenic acid و Scopolin.

العصارة الصاعدة في الخشب

Xylem Translocation / The Ascent of Sap

تسمى العملية التي يتحرك فيها الماء والمغذيات خلال النبات إلى الاعلى بالنسغ الصاعد .الانسجة الخشبية هي التي تقوم بنقل الماء . في النباتات المعمرة تفقد الاجزاء القديمة من الخشب وظيفة النقل بسبب امتلاء الاوعية بالفقاعات الهوائية او ترسب المواد الكربوهيدراتية المعقدة مثل Gum /Resins /Tyloses ولهذا يجري الماء وما فيه من ذائبات في انسجة جديدة .

مسلك الماء من التربة الى أعلى النبات

خلايا البشرة والشعيرات الجذرية تمتص الماء والمواد الذائبة فيه ثم يمر الماء عرضيا خلال القشرة الحشوية غير المتراصة بعملية حرة او حيوية حتى الوصول الى القشرة الداخلية (endodermis) والمرتبة خلاياها بشكل اسطواني والحاوية على طبقة شريطية هي الشريط الكاسبري والذي يوصف بانه صلب غير قابل للنفوذ ومحتوى على مادة السوبرين ولهذا يصبح لزاما على المواد المارة ان تمر عن طريق البروتوبلازم لخلايا القشرة الداخلية بالحركة المسماة Symplastic movement .

تم تاتي الاسطوانة المركزية في الجذر (Stele) واولها الدائرة المحيطية بعدها يصل الماء والمغذيات الى الاوعية الخشبية (القصيبات) في الجذر .

نتيجة لاتصال خشب الجذر بخشب الساق لذا يتحرك الماء في خشب الساق عموديا للاعلى بسبب قوة سحب النتح وبمساعدة التماسك والتلاصق حتى خشب الفروع ثم شبكة الفروع الناقلة واخيرا العروق الدقيقة في الاوراق .

بعدها يتحرك الماء الى العديد من الحزم الوعائية المبعثرة في النسيج المتوسط واخيرا العروق الدقيقة او خلايا الميزوفيل الخضراء القائمة بعملية التركيب الضوئي نتيجة لوجود فرق في الـ Ψ.P بين خلايا الورقة وخلايا الخشب .

ثم يتبخر الجزء الاكبر من الماء من الاوراق بعملية النتح .

الجدول التالي يوضح فرق الـ Ψ.P لها في شجرة صغيرة عندما كانت الرطوبة النسبية 50% ودرجة الحرارة 22C .

	Ψ (bar)	فرقΨ
Soil water	**−0.5**	**−1.5**
root	**−2.0**	**−3.0**
Stem	**−5.0**	**−10**
Leaf	**−15.0**	**−985**
air	**−1000**	

قسم من الحزم الوعائية محاطة بحزام من خلايا حشوية تسمى Bundle sheath وتكون متخصصة لنقل الماء والمواد الذائبة في الخشب الى خلايا الميزوفيل الخضراء كما تنقل المواد الغذائية المصنوعة في الاوراق (الخلايا الخضراء) الى انسجة اللحاء ، حركة النقل هي من الاسفل الى الاعلى الا انه توجد حركة جانبية lateral transport للماء والمواد المذابة خلال النقر كما توجد حركة نقل جانبية بين الخشب واللحاء .

حركة الايونات مع الماء

تمر الايونات بحرية الى الفراغ الحر او بحركة الـ apoplast الى جدران الخلايا في القشرة وتستمر حتى القشرة الداخلية حيث تعرقل الحركة اشرطة كاسبر ولذلك فالايونات يجب ان تمر خلال برتوبلازم القشرة بحركة Symplastic .

هذه الايونات لا تعبر الغشاء البلازمي بل خلال الـ plasmodosmata . بعد النفوذ الى الدائرة المحيطية تترك الايونات مجرى الـ Symplast وتصل الى الاوعية الناقلة غير الحية وترتفع في انسجة الخشب مع الماء بحركة الـ apoplast بتأثير الضغط السالب الناتج من عملية سحب النتح .

في النهاية تصل الايونات الى العروق المتفرعة في الاوراق كما ان خلايا النسيج المتوسط في الورقة تجمع الايونات بطريقة حيوية active transport ولهذا فان معظم ايونات العناصر الغذائية تمتص حيويا مرتين واحدة في الجذور والاخرى في خلايا الورقة .

مكونات العصارة الخشبية

نسبة الذائبات في العصارة 0.1-0.4 % ونسبة المواد غير العضوية فيها الثلث ، اما الباقي فهو مواد عضوية كالسكريات والاحماض العضوية والقلويات العضوية واللاكتونات وبعض المركبات النتروجينية العضوية .

يمكن استخلاص العصارة بطريقة السحب Suction ثم يجمع المستخرج Exudates وقد لوحظ فيه زيادة الاملاح غير العضوية خلال مدة الازهار (في الازهار) اما السكريات فتكون قليلة اثناء الازهار .

اهم المكونات العضوية النتروجينية تشمل الاحماض الامينية والـ Amides كما ان بعض الاشجار تمتلك Citrulline وهو مركب نتروجيني عضوي في العصارة الخشبية (نوع من الاحماض الامينية التي لا تدخل في تركيب البروتين) .

اما المواد غير العضوية فهي الكبريت والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم والفوسفور والحديد ، يجري الحديد في العصارة بشكل مركب معقد (مخلب) chalates مع الاحماض العضوية .

نوعية حركة العصارة

الانتشار والجريان الكبير **diffusion & bulk flow**

تسبب عملية الانتشار نقل الماء الى خلايا الجذور الا ان الانتشار لا يكفي لرفع العصارة الى مسافات عالية جدا في النباتات .

اذا تعرض السائل (العصارة) الى ضغط عالي في منطقة وقليل في منطقة اخرى فان الماء سيجري الى المنطقة الاقل ضغطا ويطلق على حركة الماء بصورة كثيرة اسم **Mass flow or Bulk flow** .

$F=(K)(\triangle P)$ الجريان الكثير سم3/ثانية

$\triangle P$ فرق الضغط في نهايتي النظام

K معامل توصيل النظام (سم3/ضغط جو/ثانية)

وعند التعبير عن فرق الضغط بمنحدر الضغط فيمكن كتابة العلاقة :

$$F = K (P/L)$$

(P/L) منحدر الضغط (ضغط جو / سم)

L طول ممر حركة السائل .

لذا يكون (Bulk flow) مختلفا عن الانتشار لكونه يتناسب مع منحدر الضغط بدلا من منحدر التركيز . ولأجل ان تصعد العصارة في النباتات يجب ان يتوفر منحدر الضغط الكافي للتغلب على المقاومات التي تعرقل حركة الماء .

ومن هذه المقاومات هي مقاومة الاحتكاك التي تتمثل بلزوجة الماء لهذا يمكن توضيح العلاقة بين جريان الماء (السائل) خلال الانبوب الافقي واللزوجة بقانون (Pioseulles) الاتي :

$$F = (Pr^2) / 8 Ln$$

P فرق الضغط بين نهايتي الانبوب

r^2 نصف قطر الانبوب

L طول الانبوب

n اللزوجة (poise)

حيث ان $r^2/8n$ ثابت وتمثل قيمة K في المعادلة السابقة ويمكن اعادة ترتيب القانون لتقدير الضغط اللازم لحدوث الجريان كالاتي :

$$P = 8\ FLn / r^2$$

وهذا القانون ينطبق على السوائل الجارية في الانبوب الافقي .

اما في الاشجار فيجب ان يزداد الضغط للتغلب على مقاومة الجاذبية الارضية .

حركة العصارة الخشبية تتبع قوانين الحركة او الجريان الكبير كما ان قوانين بويسول ينطبق على الانابيب القصبية ذات الثقوب المفتوحة نسبيا وقد لا ينطبق على القنوات غير المنتظمة والمسامية كجدران الخلايا .

ما هو الاختلاف بين الـ (Bulk flow) والانتشار

الاول اسرع ومقترن بمنحدر الضغط عكس الانتشار حيث يكون بطئ (اقل سرعة) ومقترن بفرق التركيز .

معدل حركة العصارة يختلف باختلاف النباتات والظروف البيئية ، معدل حركة الماء في عاريات البذور 1.5 م/ساعة اما في مغطاة البذور يكون 60-150م/ساعة .

ميكانيكية صعود العصارة

1- الضغط الجذري تعني ان حركة الماء في الخشب يعتمد على الضخ الناتج عن الضغط الجذري الموجب وقد استدل على ذلك بوضع مانوميتر على عقب نبات خشبي او عشبي بشرط تجنب ادخال الهواء يلاحظ ارتفاع السائل الموجود في المانوميتر مما يؤيد فرضية الضغط الجذري .

<u>الضغط الجذري</u> هو عملية حيوية تنجم عن الفعاليات الحيوية في خلايا الجذور الحية اما حركة الماء علويا في الساق بسبب الضغط الجذري فيعتقد انها نتيجة الميكانيكية الازموزية او الـ Ψ (أي انها عملية حرة) نشأت عن امتصاص الاملاح حيويا من قبل الجذر .

وقد وجد ان الماء يتحرك ضد الجاذبية الارضية ويتطلب صعود الماء ضغطا جويا واحدا لكل خمسة امتار ، أي نحتاج 20 ضغط جوي لصعود الماء في شجرة ارتفاعها 100متر ويتطلب 10 ضغوط اخرى للتغلب على مقاومة الاحتكاك .

حجم الماء الجاري بسبب الضغط الجذري (سم3/ساعة) هو :

$$Fr=K\ (\Pi s- \Pi v)$$

حيث K معامل توصيل الجذر للماء (ثابت)

Πs الطاقة الازموزية لمحلول التربة Πv الطاقة الازموزية للعصارة الخشبية .

وبما ان نتائج قياس الضغط الجذري لعدة الاشجار مختلفة هي بحدود 2-1 ضغط جوي لهذا لا يكفي الضغط الجذري لرفع العصارة الى القمم في بعض الاشجار .

ارتفاع الماء في الساق نتيجة للضغط الجذري غير صحيح للاسباب التالية :

1. الضغط الجذري قليل لا يستطيع رفع العصارة وقد يكون الضغط الجذري معدوم في المخروطيات كما ان الاحتكاك ومقاومة حركة الماء قد تزيد على الضغط الجذري وتعرقل الحركة .

2 . معدلات النزف Exudation بسبب الضغط الجذري واطئة جدا مقارنة بمعدل النتح .

3 . العصارة الخشبية واقعة تحت سحب او ضغط سالب (بسبب النتح) بدلا من الضغط الجذري الموجب .

ولكن في بعض الظروف الرديئة للنتح مثل سقوط الاوراق في النباتات النفضية فان الضغط الجذري قد يكون عامل في رفع العصارة .

2. النظرية الحيوية Vital Theory

بعض الباحثين الاوائل اعتقد ان انتقال الماء الى اعلى النبات يعزى الى وجود خلايا في الساق مثل الخلايا الحشوية في الخشب ، الحقيقة اظهرت ان الخلايا الحية في الساق لا تأثير لها على حركة الماء .

3. نظرية سحب النتح والتماسك والتلاصق

Cohesion –Adhesion & Transpiration Pull Theory

وضعت هذه النظرية من قبل Dixon & Joly عام 1894 وكذلك من قبل Askenasy عام 1895 وخلاصتها ان الماء وما فيه من ذائبات يرتفع بشكل اعمدة مائية متصلة في انسجة الخشب نتيجة لقوى التماسك بين جزيئات الماء داخل العمود وكذلك قوى التلاصق بين الماء وجدران الاوعية ثم الضغط السالب والسحب المتولد في الاوراق نتيجة النتح .

ويمكن اظهار قوة الشد وذلك بقطع ساق نباتية تحت سطح الماء وملاحظة ارتفاع الزئبق في ساق القمع بسبب تبخر الماء من الاوراق . في البحوث التي اخذت بنظر الاعتبار قطر الخشب وطبيعة جدرانه ووجود الذائبات والغازات المذابة في العصارة ثم تقدير الشد المتسبب عن النتح والتماسك والتلاصق والخاصية الشعرية ووجد انه يقارب 30 ضغط جو .

فاذا كان قطر الانبوب الخشبي 0.1 ملم (0.01سم) فان قوة سحب الخاصية الشعرية سوف ترفع العصارة الى علو 30 سم فقط .

في النباتات فان نظام الماء في الاوعية الخشبية يبقى متصلا ولا ينكسر حيث تكون الاوعية مملوءة بالعصارة ولكن يظهر ان قوة السحب الرئيسية تحدث في خلال خلايا الميزوفيل في الاوراق بسبب قوة النتح حيث ان المسافات البينية لجدران هذه الخلايا تشكل ما يسمى بالانابيب الشعرية الدقيقة Micro capillaries وان قطر هذه الانابيب هو 0.1 مايكرون وعليه فان السحب يكفي لرفع العصارة الى علو 300م .

هذا وتعتمد عملية السحب بفعل النتح هي القوة الساحبة لمعظم حركة الماء والذائبات االى الاعلى تحت الظروف الاعتيادية .

<u>الانتقادات الموجهة لهذه النظرية</u>

1- أي انكسار في اعمدة الماء في الخشب او دخول أي فقاعة هوائية يفترض ان تسبب توقف حركة الماء كما ان ادخال مادة غريبة الى مكان قطع الغصن المقطوع يفترض ان يوقف سريان العصارة والحقيقة هي بالعكس .
2- انجماد العصارة في الشتاء وبقاء الهواء المذاب بشكل فقاعات يفترض ان يعرقل حركة العصارة في الربيع ولكن الحقيقة بالعكس .

افترض ان الفقاعات الهوائية الداخلية في الخشب قد تضطر الى الذوبان في المحلول ثانية او قد يتحول سريان العصارة في الربيع الى اوعية خشبية جديدة . لا توجد نظرية احسن من هذه النظرية .

بينت الدراسات انه بالامكان قياس الشد او الضغط السالب للغصن النباتي المقطوع او للنبات الصغير الكامل عن طريق تقنية غرفة الضغط pressure bomb حيث يوضع الغصن النباتي في الغرفة ويسلط ضغط على الغرفة كافي لارجاع العصارة التي كانت تحت سحب الضغط الخارجي الى مكان القطع ثم قراءة الضغط المسلط والمساوي للضغط السالب بصورة مباشرة .

العصارة أللحائية *Phloem Translocation*

خصائص النقل في اللحاء Aspect of Phloem translocation

أ- الادلة المؤيدة لنقل العصارة الغذائية في اللحاء

1- تجارب التحليق Ringing Experiment

ازالة انسجة القلف (اللحاء) بعملية التحليق Gridling (Ringing) يحدث تضخم الجزء الواقع فوق الحلقة مما يشير الى ان نواتج التمثيل الضوئي تجري في انسجة اللحاء .

2- تجارب تحليل العصارة اللحائية . الحصول على العصارة اللحائية يكون صعب لوجود عدة عوائق وانغلاق الانابيب المنخلية اضافة الى كون نسيج اللحاء حيا فقد يحدث اختلاط مكونات العصارة اللحائية مع سايتوبلازم الانبوب المنخلي ولكن اكتشاف طريقة مجس حشرة المن Aphid stylet يجعل من الممكن استخلاص العصارة اللحائية حيث يغرس بعض انواع المن مجسه داخل الانابيب المنخلية ويمكن اصطياد الحشرة بينما يبقى المجس داخل النبات ينزف العصارة ثم تجمع العصارة .

مقارنة تحليل العصارة الخشبية واللحائية لنبات Robinia sp

المادة	تركيز العصارة (mg/L)	
	خشب	لحاء
Ca	85	720
Mg	24	380
K	60	950
$SO4^{-2}$	32	-
$PO4^{-3}$	25	-
سكريات	-	20000
مركبات نتروجينية عضوية	-	425
مركبات نتروجينية غير عضوية	-	135

3- تجارب المواد المعقبة Traces Experiments

أ- الصبغات مثل صبغة Fluorescin حيث وجد انها تتحرك في انسجة اللحاء .

ب- تجارب منظمات النمو مثل اضافة 2,4-D الى النبات في نقطة معينة ثم دراسة ظهور تاثيره الفسيولوجي مثل انحناء سويقات الاوراق ووجد ان المركب يتحرك في اللحاء ، كذلك استعمال Maleic hydrazide .

2- تجارب النظائر المشعة Radioactive Isotopes

اهم النظائر المشعة هي الكاربون ، الفوسفور ، الكبريت ، الكلور ، السترونتيوم ، الروبيديوم ، الهيدروجين (Tritium) وتستخدم النظائر المشعة بعدة طرق منها :

1- وضع حلقة صغيرة من الفازلين Vaseline والـ Lanolin على الورقة فوق احد العروق ووضع قطرة من المحلول الحاوي على المادة المشعة داخل الحلقة لمنع انتشار القطرة ، ثم تتبع سيرها داخل النسيج .

2- إزالة نصل الورقة وادخال سويقها الذي لا يزال متصل بالنبات في انبوب اختبار حاوي على محلول المادة المشعة .

3- فصل النسيج اللحائي عن نسيج الخشب بواسطة طبقة من ورق الشمع على شكل اسطوانة عازلة لعرقلة الحركة الجانبية بين الخشب واللحاء ثم تعريض الورقة الى CO_2 والضوء حيث الكاربون المشع يتحول بالتركيب الضوئي الى مواد عضوية تنتقل من اجزاء الورقة الى اجزاء النبات الاخرى ويمكن تتبع مسيرها بتقطيع النبات ويقاس توزيع كمية الاشعاع في انحاء النبات .

هناك طريقة اخرى لدراسة النقل اللحائي باستعمال Microradioautography

" المواد المنقولة في اللحاء "

1- الكربوهيدرات حيث تشكل حوالي 95% من المواد المنقولة ويعد السكر اهمها كما توجد مواد كاربوهيدراتية اخرى مثل raffinose (C:18) و Stachyose (C:24) و Verbascose (C:30) وسكريات كحولية مثل Sorbitol و Manitol اما السكريات الفوسفاتية sugar phosphate او السكريات السداسية الكاربون كالكلوكوز والفركتوز فهي اما عديمة او قليلة الوجود في اللحاء .

2- مواد اخرى مثل بعض الاحماض الامينية والـ amides حيث تنتقل من الاوراق الهرمة الى الاوراق الفتية ومن اهم المركبات النتروجينية العضوية المنقولة هي amino butyric acid , aspartic acid , glutamic acid

ويظهر ان تركيز المواد النتروجينية في العصارة اللحائية يعتمد على مرحلة النمو حيث يزداد في اواخر فصل النمو .

كذلك يوجد في العصارة اللحائية الهورمونات والصبغات والفايروسات كما لوحظ ان الانزيمات والبورون والكالسيوم تكون ضئيلة التركيز في اللحاء .

" اتجاه حركة النقل في اللحاء "

اتجاه حركة العصارة الغذائية في اللحاء هي من مناطق الشحن Source الى مناطق الاستهلاك بغض النظر عن مواقعها ولهذا تكون حركة العصارة متجهه للاعلى Acropetal لتغذي الاوراق الفتية والبراعم والازهار والثمار او للاسفل Basipetal لتغذي الجذور والدرنات الجديدة أي ان اتجاه العصارة يكون ذا اتجاهين Bidirectional Movement .

وهناك من الادلة لوجود اتجاهين متضادين في حركة نقل العصارة اللحائية التي قد تحدث في الحزمة الوعائية مثل انتقال السكريات وصبغات الفلورسين باتجاه مضاد في لحاء ورقة الفاصوليا المركبة .

كذلك توجد في اللحاء حركة جانبية تماسية تحدث من اللحاء الى الخشب وبالعكس عبر الكامبيوم .

" معدل حركة نقل عصارة اللحاء "

عام 1960 اوجد Canny العلاقة التالية :

$$S = VC$$

حيث V سرعة النقل (سم / ساعة)

و C التركيز (غم /سم3) و S هي Specific mass transfer (غم /سم^3/ ساعة)

وقد توصل الباحثون ان معدل حركة العصارة أللحائية هو 100-200سم/ساعة ووجد ان كميات كبيرة من المواد المذابة تنتقل في اللحاء وان حركة نقل المواد الغذائية لمسافات بعيدة نسبيا في اللحاء تعد عملية حيوية تحتاج طاقة وعليه فان حركة اللحاء تتأثر بعد عوامل :

1- الحرارة : النقل يقل بارتفاع او خفض الحرارة ، ارتفاعها يسبب تكوين الـ Callose في الأنابيب المنخلية .
2- الأوكسجين : حيث قلته تقلل من النقل بسبب قلة إنتاج الطاقة .
3- الضوء : حيث زيادة شدة الإضاءة تزيد من معدل التركيب الضوئي وتنشط نقل اللحاء
4- المواد المثبطة حيث تعرقل حركة اللحاء مثل Azide , Dinetrophenol
5- منحدر التركيز حيث نقل العصارة يتجه من التركيز العالي للسكريات والمواد المذابة إلى تلك ذات التركيز الواطئ .
6- نقص العناصر الغذائية حيث وجد ان امتصاص وانتقال السكروز من قبل ورقة نبات الفاصوليا او الطماطة الغاطسة في محلول السكروز ذي الكاربون المشع ينشط في حالة توفر البورون في المحلول . كما وجد ان تأثير نقص

العناصر المغذية الاخرى على النقل في اللحاء لا يزال غير واضح فمثلا وجد ان نقص الفوسفور يؤثر بشدة على نقل 2,4,D .

7- الهورمونات النباتية حيث يرى البعض ان الهورمونات النباتية تؤثر بصورة غير مباشرة على عملية النقل في اللحاء وتسبب نقل المواد الممثلة Assimilated Substances الى الانسجة الفعالة لغرض البناء .

ومن الهورمونات المؤثرة في النقل اللحائي هو السايتوكاينين و IAA و GA فعند قطع ورقة نبات لوحظ انتقال المركبات النتروجينية من النصل الى السويق مسببا اصفرار الورقة غير ان رش الورقة بالسايتوكاينين يؤدي الى بقاء الورقة خضراء اللون بسبب إعاقة انتقال المركبات النتروجينية الذائبة من النصل الى السويق اما رش نصف نصل الورقة بالسيتوكاينين عندها تنتقل المركبات النتروجينية من النصف غير المرشوش الى النصف المرشوش بالسايتوكاينين .

ميكانيكية انتقال العصارة الغذائية في اللحاء

1- **فرضية النقل الكتلي** *Mass flow or pressure flow*

وضعت هذه الفرضية لاول مرة من قبل Munch عام 1930 وقد ايدها الكثير من الباحثين مثل Grafts عام 1961 و Zimmermann عام 1963 وهي تفترض ان زيادة الضغط الانتفاخي في خلايا الورقة الحشوية (والتي تعد مصدرا Source) نتيجة الفعاليات الحيوية وتجمع المواد السكرية فيها وامتصاص الماء بينما يقل هذا الضغط كثيرا في الانسجة المستهلكة (Sink) والموجودة في بقية اجزاء النبات ونتيجة لذلك تسير المواد الغذائية والماء في اماكن التصدير الى اماكن الاستهلاك في الانابيب المنخلية وتساعد هذه الحركة الفعاليات الحيوية للخلايا المرافقة للانابيب المنخلية .

الادلة المؤيدة للفرضية :

1- حصول عملية النزف او النضح عند قطع الساق (عملية Exudation) او عند عمل جرح في اللحاء .
2- وجود اختلاف في تركيز المحاليل بين المصدر والمستهلك في الأنسجة النباتية أي وجود منحدر او فرق الازموزية والضغط الانتفاخي وتظهر هذه الخاصية عند مقارنة الضغط الازموزي في خلايا الجذر مع خلايا الورقة .
3- وجود النظام المترابط بين المصدر والمستهلك كوجود الأنبوب في جهاز الازموميتر وهذا النظام المترابط يمثل الانبوب المنخلي .
4- وجود وسط محيط خارجي مخفف مقارنة بالماء المقطر الذي يحيط بالازموميتر ويمكن تمثيله بالخلايا القائمة بالتمثيل الضوئي في الورقة والتي تكون متصلة بالانسجة أللحائية وغير بعيدة عن عناصر الخشب قليلة التركيز .

الانتقادات الموجهة للفرضية :

1- المواد الذائبة في اللحاء تسير باتجاهين متضادين احدهما للاعلى والاخرى للاسفل .
2- نقل اللحاء يتوقف على وجود المواد المثبطة مثل السيانيد وهذا يعني ان عملية النقل تعتمد على عمليات فسيولوجية حيوية وليست على وجود فرق الضغط الازموزي .
3- معدلات حركة المواد في اللحاء تكون مختلفة حسب قابلية ذوبانها في العصارة اللحائية

2- **فرضية الانسياب البروتوبلازمي** Cytoplasmic Streaming

افترض Devries عام 1885 ومن بعده Curtis بان انسياب البروتوبلازم في خلايا اللحاء ومعه المواد المذابة يحدث من خلية لاخرى (خلية منخلية) وفي سريان دوري وان هذا الانتقال للجزيئات يحدث بالانتشار والانسياب البروتوبلازمي .

3- **الانتقال بواسطة الأنابيب** Tubules

افترض **Thaine** بان المواد تتحرك في اللحاء عن طريق اجسام انبوبية موجودة على طول الانابيب المنخلية مخترقة لثقوب الصفائح المنخلية .

4- فرضية التناضح الكهربائي Electro Osmosis

تفترض ان المواد تعبر الصفيحة المنخلية استجابة لفرق في الطاقة الكهربائية ومثل هذه الطاقة تتكون نتيجة حركة ايونات البوتاسيوم التي تعبر الصفيحة المنخلية ، تلك العملية تتطلب طاقة حيوية ، انتقدت هذه الفرضية لاحتياجها لصرف طاقة كهربائية تقدر بحوالي **100.000** فولت

نظريات اخرى اقل اهمية مثل الانتشار الفعال **Activated diffusion** والحركة السريعة **Rapid Movemen**

النتح Transpiration

هو عملية فقدان الماء من النباتات بهيئة بخار ماء. وهو يختلف عن التبخرالطبيعي. ولكي تحافظ النباتات على محتواها من الماء فيلزمها ان تمتص كميات من الماء اكثر قليلا مما تفقد لتحتفظ بالفرق لبناء الانسجة الجديدة.

انواع النتح

1.النتح الثغري Stomatal Transpiration اهم انواع النتح ويصل مجموع ألماء ألمفقود عن هذا الطريق 95%.

2.النتح الادمي Cuticular Transpiration انتشار بخار الماء عن طريق الكيوتكل. يختلف هذا النتح بأختلاف الاصناف وعمر النبات. يكون أكثر في ألاوراق الصغيرة وبشرة السيقان الفتية.

3.النتح ألعديسي lenticular Transpiration فقد بخار الماء عن طريق عديسات السيقان والفروع. والعديسات هي فتحات موجودة في النسيج الفليني. أقل أهمية من النتحين ألاخرين الا انه يزداد اهمية في حالة سقوط ألاوراق في الشتاء.

العامل الذي يحدد النتح الثغري هو حالة الثغور حيث يتضمن النتح الثغري عمليتين هما تبخر الماء من جدران الخلايا المبطنة للفسحة الهوائية والثانية هي خروج بخار الماء المتكون في هذه الفسح عن طريق فتحات الثغور. أما النتح ألادمي فالعامل ألاساس الذي يحدده هو نفاذية الادمة او البشرة.

معدل النتح لبعض النباتات عالي جدا لدرجة انه يجب استبدال جميع ا لماء الموجود داخل بعض النباتات في يوم واحد. فقد وجد ان كمية االنتح خلال موسم نمو واحد باللتر لنبات اللوبيا هو 52 لتر وللبطاطا والحنطة 100 لتر وللذرة 216 لتر.

قياس معدل النتح

1. طريقة Potometer تستند على فرضية ان معدل امتصاص الماء مساويا لمعدل النتح وتتلخص بادخال فقاعة في الانبوبة الشعرية للبوتوميتر وملاحظة مسافة تحرك الفقاعة والتي تعد مؤشرا لمعدل النتح.

2. طريقة ورق كلوريد الكوبلت وتتضمن تحول لون ورقة الكوبلت من الازرق الى اللون الوردي بتأثير الماء المتبخر من سطح الورقة النباتية وان معدل التغيير في اللون هو مؤشر لمعدل النتح. لاتصلح الطريقة للتقدير الكمي للنتح.

3. طريقة الوزن وتتلخص بوزن النبات المزروع في سندان معزولة عن محيطها عدة مرات ويسجل مقدار الفقد بالوزن كمؤشرلكمية الماء المفقود من النبات.

4. طريقة جمع ووزن بخار الماء المفقود في عملية النتح وفيها يوضع النبات داخل اناء زجاجي لاجل جمع بخار الماء الناتج ووزنه حيث يدخل هواء معلوم الرطوبة الى النبات ويخرج ليمر على مادة ماصة للرطوبة مثل كلوريد الكالسيوم اللامائي ويعد مقدار الفرق بالوزن لكلوريد الكالسيوم الممتص لهواء مار على النبات وذلك الممتص لهواء مار بالجهاز فقط دون وجود النبات هو مقياس للنتح.

يقاس النتح في الحقل باستخدام Lysimeter ويستخدم لقياس النتح من سطح التربة ومن النبات بنفس الوقت والذي يسمى Evapotranspiration أي ان العملية هي مقياس للنتح الكلي وتفيد في حساب الاحتياجات المائية او مايسمى المقننات المائية للمحاصيل المختلفة.

النتح ألنسبي Relative Transpiration

نسبة وزن الماء المفقود بالنتح من سطح نباتي الى وزن الماء المتبخر من سطح مائي مساو له في المساحة ويستخدم لهذا الغرض اجهزة تسمى المبخرات Evaporimeter او Atomometer

$$Rt = W_t / W_e$$

حيث Rt يمثل النتح النسبي

W_t يمثل وزن الماء المنتوح من النبات/ 100سم^3/ ساعة

W_e يمثل وزن الماء المتبخر من الجهاز/ 100سم^3/ ساعة

معامل النتح او الاحتياج المائي للنبات Transpiration Coefficient

مقدار الماء الذي يفقده النبات بالنتح (لتر) لبناء كغم واحد من المادة الجافة للنبات. يقدر النتح الكلي للنبات طوال حياته ويقدر وزنه الجاف بعد تجفيفه على درجة 105c ويحسب معامل النتح

$$T.C = T/ D_w$$

حيث T.C معامل النتح و T النتح الكلي غم / سم^3 و D_w الوزن الجاف

يتراوح معامل النتح للنبات الواحد في معظم المحاصيل 300-500 غرام ماء / غرام مادة جافة خلال حياة النبات. ذرة صفراء= 3049 الكتان= 763 ذ رة بيضاء=277

توزيع الثغور

غالبا توجد الثغور على السطح السفلي للورقة وهناك نباتات كثيرة توجد فيها الثغور على السطح العلوي ومجموعة ثالثة توجد الثغور فيها في السطح السفلي اكثر من العلوي ومجموعة رابعة فيها الثغور موزعة بالتساوي على السطح السفلي والعلوي.

متوسط عدد الثغور لكل سم^3 من السطح الورقي لذوات الفلقتين هو 10000ثغرة اما في النجيليات او ذوات الفلقة هو 1000-2000 ثغرة.

تشريح الجهاز الثغري

يتكون الجهاز الثغري من الخلايا الحارسة والفتحات الثغرية والغرفة الهوائية. الخلايا الحارسة في ذوات الفلقتين ذات شكل كلوي وفي ذوات الفلقة الواحدة يكون الشكل دمبلي. تختلف الخلايا الحارسة عن خلايا البشرة بكون جدرانها ذات قابلية للحركة لغرض فتح وغلق الثغور. ويكون جدار الخلية الحارسة المجاور لفتحة الثغراثخن واقل مرونة من ذلك المجاور لخلية البشرة.
الخلايا الحارسة لبعض الانواع النباتية تكون مجاورة لما يسمى بالخلايا المساعدة **Subsidiary Cells** والتي تلعب دورا في فتح وغلق الثغور وذلك كونها تضغط على الخلايا الحارسة عندما تكون ممتلئة بالماء فتزيد من غلق الخلايا الحارسة. الخلايا الحارسة تقوم بعملية التركيب الضوئي لآحتوائها على البلاستيدات.
توجد غرفة صغيرة مملوءة بالهواء وبخار الماء وموجودة تحت فتحة الثغرتسمى بالفسحة او الغرفة الهوائية.

ميكانيكية تنظيم الجهاز الثغري

اعتقد بادئ الامر ان حركة الثغور هي استجابة مباشرة لزيادة او نقصان المحتويات الازموزية للخلايا الحارسة. وان أي تغيير في الطاقة الكامنة للماء او ψ_w الناتج عن تغيير المحتويات الازموزية يسبب حركة الماء من والى الخلايا الحارسة. وضعت عدة تفسيرات لتعليل ميكانيكية تنظيم الجهاز الثغري اهمها:

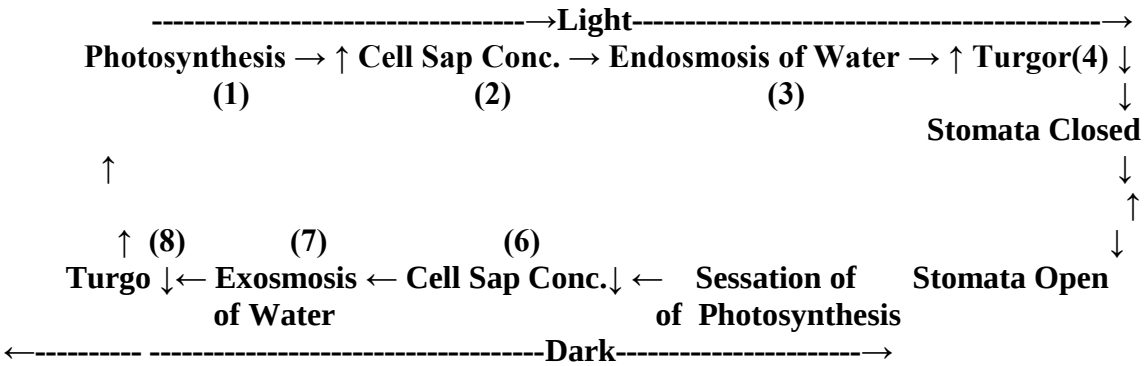
اولا: الضوء. تفتح الثغور في الضوء عموما وتغلق في الظلام. ووجد ان فتح الثغور يستغرق ساعة بينما غلقها يستغرق اقل من ساعة وتشذ عن هذه القاعدة النباتات العصارية **Succulents**.
كلما ازداد الضوء الذي تمتصه الاوراق زادت فتحة الثغر اتساعا. اما شدة الاضاءة فقد وجد انه يجب ان يتوفر ما لايقل عن 100-600 شمعة قدم وهذا يقارب نقطة التعويض **Compensation Point** أي شدة الضوء التي تسمح بتثبيت CO_2 (التركيب الضوئي) لكي تعوض عن كمية CO_2 المفقودة من النبات بعملية التنفس. كما ان شدة الاضاءة لاتؤثر على معدل فتح الثغور بل على الحجم النهائي للفتحات. اما نوعية الضوء فقد وجد ان الضوء الاحمر (650 مليمايكرون) والضوء الازرق (440 مليمايكرون) يؤثران على حركة الثغور وكذلك على عملية التركيب الضوئي. كذلك لوحظ ان الكلوروفيل في الخلايا الحارسة يكون مهما لفتح الثغور استجابة للضوء.

الضوء يلعب احد الادوار التالية في فتح وغلق الثغور:

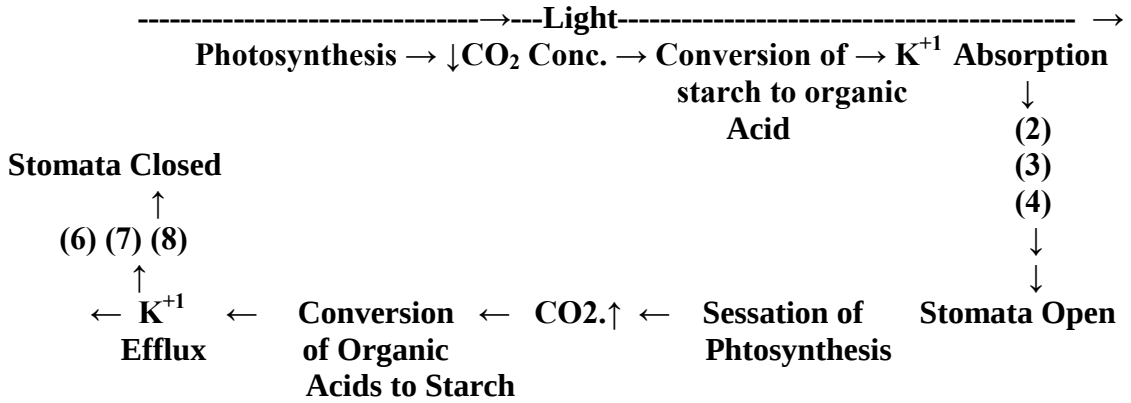
1. يسبب الضوء تقليل تركيز CO_2 لاستعماله في التركيب الضوئي ← يزداد تكوين السكر← تزداد المحتويات الازموزية للخلايا الحارسة ← تمتص الماء وتنتفخ الخلايا الحارسة وينفتح الثغر. المشكلة في هذا التفسير ان كمية السكر المتكون غير كافية لاحداث عملية فتح الثغر.

2. يترجح ان الطاقة الضوئية تتحول الى طاقة كيميائية (ATP) تستعمل لضخ ايونات مثل K^{+1} من الخلايا المجاورة للخلايا الحارسة الى داخل الخلايا الحارسة مما يؤدي الى زيادة المحتوى الازموزي للخلايا الحارسة وبالتالي سحبها للماء.

فالضوء يسبب تجمع ايونات K^{+1} في الخلايا الحارسة كما ان الهواء الخالي من CO_2 يسبب تجمع K^{+1} وعند وضع الاوراق في الظلام فأن ايونات البوتاسيوم تخرج من الخلايا الحارسة وتغلق الثغور.
ماهي ميكانيكية حركة ايونات البوتاسيوم؟
يرى البعض ان امتصاص الايونات من قبل االخلايا الحارسة
هي عملية حيوية ويؤيد ذلك هو ان فتح الثغور يقل عند استعمال مثبطات للفعاليات الحيوية.



الفرضية المعتمدة على زيادة تركيز العصير الخلوي في الضوء بسبب التركيب االضوئي



الفرضية المعتمدة على تحول النشأ الى الاحماض العضوية والسكر في الظلام

3. التغير في النشأ الى سكر

نظرية كلاسيكية وضعت من قبل Sayre عام 1923 وتنص على ان CO_2 المتجمع في الخلايا الحارسة ليلا يسبب انخفاض PH وعند حلول النهار فان CO_2 يثبت بالتركيب الضوئي فيرتفع الـ PH ويعمل انزيم Phosphorylase على تحليل النشأ الى سكر وتزداد المحتويات الازموزية للخلايا االحارسة. وفي الظلام فأن CO_2 الناتج من تنفس الخلايا يتراكم وينخفض PH ويتحول السكر الى نشأ وتقل المحتويات الازموزية للخلايا الحارسة وتغلق الثغور.

ثانيا : التغيير في النفاذية

اقترح البعض ان تغيير حموضة السايتوبلازم يؤدي الى تغيير في نفاذية الاغشية . فعند زيادة النفاذية فأن الذائبات تخرج من الخلية الحارسة وبذلك يقل الضغط الازموزي ويكون الـ Ψ اقل سالبية ويخرج الماء من الخلايا الحارسة وتغلق الثغور.

ثالثا: المحتوى المائي للنبات والاوراق

عندما يقل المحتوى المائي للنبات يقل ψ ويزداد مايسمى Water Stress وعندها تغلق الثغور. واذا كان النتح شديدا بسبب الظروف البيئية فان الثغور تغلق حتى في منتصف النهار.

رابعا : الحرارة

تغلق الثغور قريبة من درجة الانجماد وتزداد الثغور اتساعا حتى تصل الى $30^{o}c$. درجة الحرارة اكثر من 30 لها تأثيرين متضادين على حركة الثغور. عندما تكون شدة الاضاءة واحدة فأن ارتفاع الحرارة الى 30-35 فأن الثغور تغلق في حالة وتفتح في حالة اخرى. تغلق بسبب زيادة تركيز CO_2 وبالتالي زيادة حموضة العصير الخلوي للخلايا الحارسة وبالتالي يتحول السكر الى نشأ وتقل قوة امتصاص الخلايا الحارسة للماء وتغلق الثغور. أما فتح الثغور فيعود الى ان درجة ذوبان CO_2 المتكون في المسافات البينية تقل في العصير الخلوي ويتبع ذلك تغيير اتجاه سير الماء فينتقل الماء من الخلايا المساعدة الى الحارسة وتفتح الثغور.

خامسا : الرياح تسبب غلق الثغور بسبب فقد الخلايا الحارسة لمائها بطريقة النتح.

سادسا : المواد المخدرة تؤثر في الاغشية البلازمية وتفقدها التحكم في النفاذية.

سابعا : الهرمونات النباتية مثل Abscisic Acid حيث المعاملة تركيز واطئ منه $10^{-6}M$ يسبب غلق الثغور حيث يسبب حركة الماء من الخلايا الحارسة وغلق الثغور.

العوامل المؤثرة على النتح

اولا: العوامل البيئية

1. الرطوبة الجوية. يزداد فقد بخار الماء الخارج من الثغور كلما كان الفرق بين الضغط البخاري في الغرف الهوائيه والضغط البخاري للهواء الخارجي عاليا. او يزداد النتح من الورقة النباتية كلما زاد نقص التشبع للهواء الخارجي لأن هواء الغرفة الهوائية في الجهاز الثغري مشبع تماما.

نقص التشبع Saturation Deficit هو الفرق بين كمية البخار التي يحملها الهواء فعلا وبين الكمية اللازمة لاشباعه

2. درجة حرارة الهواء. ارتفاع درجة الحرارة ضمن الحدود الفسيولوجية يؤدي الى زيادة معدل النتح بسبب تأثير الحرارة على فرق االضغط البخاري.

3. الرياح. وجد ان النتح يزداد في بادئ الامر عند تعرض النبات للرياح ثم يأخذ النتح بالنقصان.

4. توفر ماء التربة. توفر ماء التربة وكفاءة امتصاصه من قبل النبات يؤثر على معدل النتح.

5. الضوء.عند تعرض الثغور للضوء فأنها تنفتح مؤدية للنتح والعكس بالعكس وان تأثير الضوء على زيادة معدل النتح له اسبابه:

A. قد يسبب الضوء رفع درجة حرارة انسجة الورق
B. قد يسبب الضوء تحول بعض جزيئات الماء الى البخار بأعطائها الطاقة اللازمة
C. قد يحدث الضوء تغييرا في نفاذية الخلايا للماء وتصبح الخلايا اكثر نفاذية للماء
D. حدوث التركيب الضوئي وتكون السكر وزيادة المحتوى الازموزي للخلايا الحارسة
E. تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية تستعمل لضخ الايونات الى الخلايا الحارسة وبالتالي زيادة امتصاصها للماء وتفتح الثغور

ثانيا: العوامل النباتية

1. نسبة الجذر الى الساق. وجد بعض الباحثين بأن النتح يزداد بزيادة نسبة الجذور الى الاوراق ويعود ذلك الى وفرة تجهيز الماء
2. مساحة الورق. كلما زادت مساحة الورقة زادت عملية فقدان الماء بسبب النتح. وعلى اساس وحدة المساحة في الاوراق وجد ان معدل النتح في النباتات الصغيرة هو اكثر مما في النباتات الكبيرة
3. تركيب الاوراق. النباتات التي تعيش في الظروف الجافة تقلل النتح بسبب غلق الثغور. كما ان توفر الماء الكافي للنباتات الصحراوية يؤدي الى زيادة معدل النتح فيها مقارنة بنباتات المناطق المعتدلة ويرجع السبب الى امتلاك النباتات الصحراوية عددا اكبر من الثغور بوحدة المساحة وتطور نسيج الميزوفيل.

دور النتح في نمو وتطور النبات

1. امتصاص العناصر االمغذية من التربة ونقلها في مجرى النتح. افترض قديما ان امتصاص ايونات العناصر الغذائية من محلول التربة وصعودها داخل جسم النبات يحدث نتيجة لفعل النتح ولكن حديثا دلت التجارب على ان امتصاص ايونات العناصر المغذية يحدث بعملية حيوية وان قسما قليلا جدا من الاملاح قد يمتص بعملية حرة او سالبة نتيجة لامتصاص الماء. وعندما يصل الماء والاملاح المذابة فيه الى مجرى الخشب في الجذور عندئذ يؤثر النتح في سحب الماء والاملاح الى اعلى النبات.
2. تأثير النتح في تبريد الورقة النباتية. وجد ان النتح يزيل كمية معينة من حرارة الورقة بحوالي 600 سعرة حرارية للغرام الواحد من الماء المنتوح.
3. التاثير في نمو وتطور النبات. زيادة معدل النتح عن معدل امتصاص الماء يؤثر سلبيا على معدل نمو النبات وقد يتعرض النبات للذبول في حالة النقص الشديد للماء. كما وجد ان الفعاليات الحيوية للاحماض الامينية والبروتينات تتأثر بظروف نقص الماء.
4. المحافظة على انتفاخ الخلايا الامثلOptimum Turgidity. كل نبات يمتلك مدى معين من Ψ كي يستطيع امتصاص الماء والذائبات وتكون خلايا النبات في حالة انتفاخ مثلى لكي تقوم بمعظم الفعاليات الحيوية.

الجفاف الفسيولوجي Physiological Drought

عندما يقل الماء الممتص عن الماء المفقود بالنتح فأن النباتات تتعرض للجفاف وتحدث هذه الحالة لعدة اسباب منها كون التربة مغمورة بالماء ومشبعة به ولكن لايمتص الماء منها بسبب تكوين CO_2 بكثرة مما يسبب نقص النفاذية وكذلك قلة O_2 وانخفاض التنفس تبعا لذلك. او قد يحدث الجفاف عند كثرة الاملاح في التربة فأن ذلك سيؤدي الى اختلال العملية الازموزية وينجم عن ذلك خروج الماء من الجذور الى التربة وتدعى هذه الحالات بالجفاف الفسيولوجي.
حالة الماء في االنبات قد تقاس بتعيين الـ Ψ للنسيج النباتي.

اتفق على ان نقص الماء يؤثر على العمليات الفسيولوجية للنبات مثل:

1. التاثير على النتح وفتح الثغور. فتح وغلق الثغور يتأثر بشدة بنقص الماء.
2. التأثير في التركيب الضوئي. تختلف الانواع النباتية بتأثرها بنقص الماء فيما يخص التركيب الضوئي ولكن يبدوا ان تأثير نقص الماء على التركيب الضوئي غير مباشر وناتج عن تأثير نقص الماء على فتح وغلق الثغور
3. نقص الماء يقلل من التنفس.
4. يؤثر نقص الماء على العمليات الحيوية المتعلقة بالنتروجين والبروتينات.

التغذية المعدنية Mineral Nutrition of Plant

صرح ارسطو ان النباتات تحصل على غذائها من الارض مباشرة. اما Van Helmont عام 1640 استنتج ان الماء وليس التربة هي مصدر نمو النبات وذلك من تجربته على نبات الصفصاف. وفي القرن التاسع عشر صنعت الاسمدة. بعدها طورت المحاليل المغذية من قبل Sack وKnop وHoagland.

مكونات النبات غير العضوية

الماء 80-90% اما المادة الجافة فتكون 10-20% من الوزن الطري. مركبات الكربون والاوكسجين تكون 80-90% من المادة الجافة. المواد المعدنية التي تظهر عند الحرق بشكل رماد فتكون 5-15% من المادة الجافة.
نسبة الرماد في الانسجة المرستيمية الفعالة وكذلك في الاوراق عالية قد تصل 15% من الوزن الجاف. اما سيقان وجذور النباتات النجيلية فيصل فيها الرماد 4-5% من الوزن الجاف وفي البذور يكون الرماد 3%.

وجد من تحليل انسجة النباتات الطرية والجافة ومن تحليل الرماد ان العناصر المكونة هي C, H, O_2, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Mo, Zn, B, Co, Cl, Si, Al وعناصر اخرى.

العناصر االمعدنية الموجودة في النبات

أولا: العناصر الضرورية لنمو النبات Essential Elements for Plant Growth
هناك ثلاث اسس مهمة تحدد العناصر الضرورية للنبات هي:

1. يتوقف النمو الطبيعي والتكاثر او كلاهما بغياب ذلك العنصر
2. وجود العنصر في المحلول شرط اساس لنمو النبات وان نقصه يسبب اعراض مرضية لاتزول الا باضافة ذلك العنصر
3. يعد العنصر اساسي اذا كان احد مكونات الجزيئات الداخلة في العمليات الفسيولوجية المهمة للبناء

تقسيم العناصر حسب الكميات التي يحتاجها النبات:

1. المغذيات الكبرى Macroelements وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكمية 100ppm او اكثر لغرض حدوث النمو الطبيعي وتشمل C,H,O_2,N,P,K,S,Ca,Mg
2. المغذيات الصغرى Microelements وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكمية قليلة جدا 1-100 ppm وتشمل Fe, Mn, Cl, B, Zn, Cu, Mo, Co. البعض يستعمل مصطلحات Minor اوTrace اوRare للاشارة للمغذيات الصغرى.

ثانيا: العناصر غير الضرورية Non-Essential Elements
وهي العناصر التي توجد في بعض النباتات ولكن لم يثبت ضرورتها للنبات لحد الان فقد يكون لها تأثير منشط لبعض العمليات الحيوية كالصوديوم والسيلكون واليود والالمنيوم والسلينيوم والفلور والفناديوم. النبات قد يحتاج بعضها بكمية ضئيلة جدا يحصل عليها من الشوائب الموجودة في بيئة الجذور.

طرق دراسة تغذية النبات

1. تحليل الرماد Ash Analysis. تستخدم لمعرفة نوعية وكمية العناصر الغذائية في انسجة النبات وذلك بتعريض النسيج لدرجة حرارة عالية 600 م وتحويله الى رماد. العناصرمثل Fe,K,Ca تبقى بشكل اكاسيد في الرماد اما العناصر في المركبات العضوية مثل C,H,O_2 فتفقد بشكل CO_2 وبخار الماء والاوكسجين . ولايمكن تقديرN بدقة لان بعض المركبات العضوية النتروجينية تتطاير بشكل امونيا او غاز النتروجين. فعلى سبيل المثال نجد النسب التالية في رماد نبات الذرة عند تحليل الرماد: النتروجين 1.46% البوتاسيوم 0.92% الكالسيوم 0.23% الكبريت 0.21% الفسفور 0.20% المغنسيوم 0.18% الحديد 0.083% المنجنيز 0.35%.
2. المزرعة المائية Water Culture or Solution Culture

يزرع النبات في محلول مائي يحتوي على المغذيات الكبرى والصغرى يسمى المحلول المغذي Nutrient Solution. يجب ان يحتوي المحلول المغذي على ثلاث عناصر غذائية كبرى بصورة ايونات موجبة مثل Mg,K,Ca وكذلك ثلاث مغذيات كبرى بشكل ايونات سالبة مثل النترات والفوسفات والكبريتات. وعادة تضاف بشكل املاح نترات البوتاسيوم ونترات الكالسيوم وفوسفات البوتاسيوم وكبريتات المغنسيوم كما ان المغذيات الصغرى يجب ان تضاف بتراكيز واطئة.
مراعاة النقاط التالية في المزارع المائية:
1. الاملاح نقية 2. تذاب جيدا بالماء المقطر 3. توضع في اواني زجاجية (بايركس) 4. العنصر المراد دراسته يحذف 5. يعوض العنصر المحذوف بملح اخر للمحافظة على الازموزية فمثلا عند حذف N يجب اضافة KCL بدل من KNO_3 6.تهوية المحلول 7. منع اختراق الضوء 8. المحافظة على الحامضية 9. تغيير المحلول 2-3 مرة خلال الموسم.

من الناحية العملية طُور Hoagland وArnon محلولين غذائية (1) و (2) ويستعملان حديثا للبحث والدراسة:

محلول (1)		محلول (2)	
الملح	سم^{3}في لتر من المحلول المغذي	الملح	سم^{3}في لتر من المحلول المغذي
M KH_2PO_4	1	M $NH_4H_2PO_4$	1
M KNO_3	5	M KNO_3	6
M $Ca(NO_3)_2$	5	M $Ca(NO_3)_2$	4
M $MgSO_4$	2	M $Mg\ SO_4$	2

ويضاف لكل من المحلولين الغذائيين المحاليل المكملة الحاوية على العناصر الغذائية الصغرى بحالة محلول A ومحلول B (محلول A يجهز البورون والمنغنيز والزنك والنحاس والمولبدنيوم ويضاف بنسبة 1سم^3 من هذا المحلول الخليط لكل لتر من المحلول المغذي رقم (1) او رقم (2)

المادة	عدد الغرامات في لتر واحد من الماء
حامض البوريك H_3BO_3	2.86
كلوريد المنغنيز $MnCl_2.4H_2O$	1.81
كبريتات الزنك $ZnSO_4.\ 7H_2O$	0.22
كبريتات النحاس $CuSO_4.5H_2O$	0.08
محلول المولبديك $H_2MoO_4.H_2O$	0.02

محلول (B) يضاف الحديد بشكل ترترات الحديد 0.5% وبمعدل 1سم^3 لكل لتر واحد من المحلول المغذي او أي مركب اخر عضوي يحتوي على الحديد.

3. المزرعة الرملية Sand Culture

يزرع النبات في الرمل النظيف المغسول بحامض الهيدروكلوريك المخفف كي لاتبقى اي اثار للعناصر الغذائية ثم يغسل الرمل بعدها بالماء المقطر ويجب ان يكون الرمل ناعم للمحافظة على الماء وحدوث التهوية وقد استعمل رمل Quartz او مادة Perlite المغسولة.

المواد المخلبية Chelating Agents

تضاف العناصر المغذية الموجبة الشحنة الى المحاليل الغذائية بشكل مركب معقد مع مادة عضوية تسمى Chelates او Ligand مؤلفة بذلك ايونا معقدا بحالة ثابتة وبذلك تمنع ترسب العنصر المغذي الصغير وعلى سبيل المثال وجد ان المادة المسماة Ethylenediaminetetra Acetic Acid (EDTA) تتميز بانها مادة مخلبية مع الزنك.

خصائص المواد المخلبية

1. يجب ان تقاوم فعل الاحياء المجهرية الدقيقة
2. يجب ان تكون مركبا معقدا مع ايون العنصر المغذي الصغير وليس مع ايون العنصر المغذي الكبير
3. ان تكون المادة المخلبية مع ايون العنصر المغذي الصغير مركبا معقدا ذائبا
4. ان تكون معقدا عديم او سالب الشحنة حتى يسهل اختراق جدران الخلايا (السالبة الشحنة) او طبقة الكيوتكل في الاوراق خصوصا عند رش المغذيات على الاوراق. حيث ان ايونات المغذيات الصغرى الموجبة الشحنة سوف تترسب في جدران الخلايا او طبقة الكيوتكل ولا تنفذ الى داخل الخلايا اذا ما استعملت بدون المادة المخلبية على الاوراق.

وقد وجد ان مادة EDTA لها الفة قوية مع الكالسيوم لذا استبدلت بمادة عضوية اخرى تتحد مع الحديد وهي Fe-EDDH (Ethylenediamine di,O-hydroxyphenol Acetic Acid)

امتصاص العناصر المغذية

تحدث اكثرية امتصاص العناصر المغذية خلال مدة النمو الفعالة للنبات. امتصاص الاملاح يتعرض لقوتين هما:

1. القوة الناشئة عن منحدر الطاقة الكيمياوية حيث تتحرك الايونات من الجهة ذات التركيز العالي الى الجهة ذات التركيز الواطئ.
2. القوة الناشئة عن منحدر الطاقة الكهربائية. الايونات الموجبة تتجه باتجاه الجهه المشحونة بشحنة سالبة بينما الايونات السالبة تتحرك باتجاه الجهه المشحونة بشحنة موجبة. اى الحركة تعتمد على فرق الطاقة الكهربائية. الخلايا تكون مشحونة بشحنة سالبة مقارنة بالوسط الخارجي لذا فان حركة الايونات عبر الغشاء البلازمي وغشاء الفجوة تعتمد على فرق الشحنات الكهربائية وفرق التركيز بين داخل وخارج الخلية وتتوقف الحركة عند حصول التوازن.

للدلالة ماذا كانت الايونات تنتقل بصورة حرة Passivee او نشطة Active استعمل الفسيولوجيون معادلة Nernst الاتية

$$E_i - E_o = \Delta E = (2.3\ R\ T/ZF)\ Log\ (Cation_o / Cation_i)\quad or\ Log\ (Anion_i / Anion_o)$$

E_i الشحنة الكهربائية للوسط الداخلي او السايتوبلازم E_o الشحنة الكهربائية للوسط الخارجي او المحلول المغذي
R معامل الغاز T الحرارة المطلقة Z حاصل الشحنة على الايون F ثابت فرداي

$Cation_o$ تركيز الايونات الموجبة خارج الخلية $Cation_i$ داخل الخلية

اذا كان $Anion_i / Anion_o$ اقل من واحد أي في حالة التوازن بين داخل وخارج الخلية يكون تركيز الايونات الموجبة داخل الخلية اكثر من الخارج

اما اذا كان $Cation_o / Cation_i$ اقل من واحد فان تركيز الايونات السالبة خارج الخلية سيكون اكثر من داخلها. وبعبارة اخرى تتجمع الايونات الموجبة داخل الخلية اكثر من خارجها دون الحاجة الى صرف طاقة حيوية لدخول الايونات الموجبة الى داخل الخلية (امتصاص حر).

أهم طرق الامتصاص

اولا: الامتصاص الحر او السالب او الفيزيائي Passive Absorption
لايحتاج الى طاقة وان الايونات تصل في النهاية الى حالة توازن ديناميكي بين داخل وخارج الخلية. الامتصاص غير متخصص جدا بالنسبة للايونات وان تبادل الايونات يحدث فيما يسمى بالفراغ الحر او الخارجي. يحدث بعدة وسائل

1.ألانتشار. مرور المواد من وسط اكثر تركيز الى الوسط الاقل تركيز. الانتشار عن طريق الفراغ الحر(أي جدران الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا علما ان حجم الفراغ الحر يقارب 7-10% من حجم النسيج).
2.تبادل الايونات Ion Exchange الايونات الموجبة او السالبة في محلول التربة قد تمر الى داخل الخلايا او الفراغ الحر وتحل محل ايونات اخرى موجبة او سالبة ملتصقة على سطح الاغشية الخلوية او جدران الخلايا. فمثلا البوتاسيوم يتبادل مع ايونات الهيدروجين والنترات تتبادل مع ايونات الهيدروكسيل. هذه الطريقة يحدث بها الامتصاص اكثر من الانتشار.
3.اتزان دونان Donnan Equlibrium
اذا كانت ايونات سالبة قد ثبتت في الخلية وعند انتشار اعداد متكافئة من ايونات سالبة او موجبة الى داخل الخلية لذا يكون توزيع الايونات على جانبي الغشاء غير متساوي ونتيجة لذلك يكون تركيز الايونات السالبة في الداخل اكثر من الخارج ولاجل ان يتم التوازن الكهربائي يجب ان تمر ايونات موجبة اضافية عبر الغشاء الخلوي لمعادلة الايونات السالبة وبذلك يكون تركيز الايونات الموجبة في الداخل اكثر.
4.النقل الكتلي. يفترض بعض الباحثين ان الايونات قد تتحرك الى الجذور مع الماء بعملية الجريان الكتلي وان اية زيادة في النتح ستسبب زيادة في معدل الامتصاص.

ثانيا: الامتصاص النشط او الحيوي Active Absorption
هذه العملية المهمة تجري في اغشية الخلايا النباتية وتعد الفجوة المحل المهم الذي تتجمع فيه الايونات المختلفة السالبة والموجبة وبكميات متكافئة كهربائيا. ومن اهم خصائص الامتصاص النشط:

1. العملية تتطلب طاقة حيوية لدفع الايونات الى داخل الخلية (تعتمد الطاقة على توفر O_2 والمواد المثبطة والحرارة)
2. العملية تتخصص في امتصاص بعض الايونات بكمية اكثر من الاخرى
3. تمتاز بتجمع الايونات في الخلية اكثر مما في الخارج أي عدم الوصول في النهاية الى حالة التوازن الديناميكي بين داخل وخارج الخلية
4. تحدث في الجزء الداخلي من الخلية Inner Space كالاغشية والسايتوبلازم او الفجوة
5. غالبا مايطلق على العملية بنظرية الحامل Carrier Hypothesis أي فرضية المركب الحامل والتي تفترض ان الايونات او الجزيئات المنقولة بمساعدة الطاقة تتحد مع المركب الحامل الذي هو اهم مكونات غشاء الخلية وتكون مركبات معقدة ثم تمرعبر الغشاء الخلوي الى داخل الخلية ومن ثم يتحلل المركب المعقد ليترك الايونات او الجزيئات داخل الخلية. بعد ذلك يجب اعادة المركب الحامل الى هيئته الاولى الى خارج الغشاء وتزويده بالطاقة الحيوية ليكون جاهزا للدورة مرة اخرى.

$$\text{Carrier} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{Kinase}} \text{Carrier-P} + \text{ADP}$$

$$\text{Carrier- P + Ion} \rightarrow\rightarrow \text{Carrier-P-Ion}$$

$$\text{Carrier –P- Ion} \xrightarrow{\text{Phosphatase}} \text{Carrier} + \text{Ion} + H_3PO_4$$

$$\text{Ion} + \text{ATP} \rightarrow\rightarrow\rightarrow \text{Ion} + \text{ADP} + H_3PO_4 \qquad \text{Overall Reaction}$$

طبيعة المركب الحامل

اقترحت عدة مركبات لتقوم بدور الحامل منها:

1. Cytochrome وهو مركب بروتيني ذو صبغة يحتوي على مجموعة Prophyrin والتي يوجد في وسطها حديد. يشترك السايتوكروم في عدة عمليات حيوية كالتركيب الضوئي والتنفس والامتصاص النشط. اوضح Burstrom عام 1933 كيفية تعلق السايتوكروم في النقل النشط للايونات السالبة بالفرضية المسماة مضخة السايتوكروم Cytochrome Pump وصرح بوجود علاقة بين امتصاص الايونات السالبة وعملية التنفس حيث لاحظ ان معدل التنفس وكذلك الامتصاص يزدادعند نقل النبات من الماء العذب الى محلول ملحي ودعيت هذه الظاهره بالتنفس الملحي Salt Respiration وافترض ان حامل الايونات السالبة هو السايتوكروم وان امتصاص الايونات السالبة لايعتمد على امتصاص الايونات الموجبة.

2. مركبات ال Phospholipids

وضع Bennet-Clark فرضية لامتصاص المغذيات حيويا بمساعدة ATP واقترح ان مركبات الفوسفولبيدات في الاغشية االخلوية قد تؤدي دور الحامل في نقل الايونات السالبة والموجبة

3.الحامل المعتمد على الطاقة ATP

يظن بوجود انزيمات ATPase في الاغشية الخلوية وخاصة غشاء البلازما. هذه الانزيمات تحلل الـ ATP

$$\text{ATP} \rightarrow\rightarrow\rightarrow\rightarrow AD^- + (O{=}P(OH)_2)^+$$

Phosphoryl Cation

هذه الطاقة تستعمل في نقل الايونات السالبة والموجبة

اهمية العناصرالغذائية

النيتروجين

1. يدخل النيتروجين في تركيب جزئي البروتين حيث يدخل اولا في صورة مجموعة امين بتركيب الحامض الامينى، وعليه فهو يدخل في تركيب كل المركبات التي تتكون منها الاحماض الامينية مثل الانزيمات الذي يشكل البروتين الجزء الاساسى في بناؤها.

2. يدخل النيتروجين في بناء الاغشية الخلوية حيث تحتوي على جزء بروتيني. 3 يدخل في بناء الاحماض النووية لوجود القواعد النيتروجينية في تركيبها مثل قواعد البريميدين والبيورين. 4. يدخل في بناء المرافقات الانزيمية لانه يدخل في بناء الفيتامينات وهي الشق النشط في المرافق الانزيمي. 5. يدخل النيتروجين في Prophyrins والتي تكون مركبان غاية في الأهمية للنبات الأول هو جزئي الكلوروفيل الهام لعملية التمثيل الضوئي والثاني في تكوين السايتوكرومات اللازمة لأتمام عمليات التأكسد الطرفي في التنفس والتي تقوم بدور مضخة لامتصاص للانيونات من التربة اثناء الامتصاص النشط للاملاح.

6.يدخل النيتروجين في بناء المركبات الحاملة للطاقة والمانحة لها مثلATP .

الفسفور

1. يوجد كمكون أساسي للأحماض النووية والتي تحتوي على شق قاعدي هو القواعد النيتروجينية وسكر خماسي وحامض الفوسفوريك. 2. يدخل في تكوين الفوسفوليبيدات والمرافقات الأنزيمية مثل NAD ، NADP . 3. يدخل في بناء المركبات الغنية بالطاقة مثل ATP.

البوتاسيوم

لا يدخل البوتاسيوم في تركيب اي مركب من مركبات الخلية النباتية او من المركبات العضوية بالنبات الا ان له دور هام جدا في فسيولوجيا النبات منها:

1. للبوتاسيوم دور في فتح وغلق الثغور وبالتالى فهو المتحكم في التوازن المائي داخل النبات.

2. البوتاسيوم منشط اساسي للأنزيمات المصاحبة لتمثيل الروابط الببتيدية، فعند نقصه يضعف تكوين البروتين مما يؤدي الى ان تتراكم الكربوهيد رات والذي يجب ان تستهلك في بناء البروتين " حيث ان البروتين يتكون من هيكل كربوني يأتي من الكربوهيد

رات في صورة الأحماض الكيتونية التي يتم تركيب مجموعات الأمين عليها ".
3 يعمل كمنشط للعديد من الأنزيمات التي تصاحب تمثيل الكربوهيدرات ونجد ان السيادة القمية تختفي عند نقص البوتاسيوم.
4. يعتبر البوتاسيوم وزير المواصلات داخل النبات فهو المنظم لحركة الذائبات بدأ بالماء الحر الى الكربوهيد رات من الأوراق والى الثمار والأزهار والدرنات لذلك نقصه يؤدي حتما الى نقص المحصول وتساقط الأزهار والثمار لنقص المدد الكربوهيد راتى والهرموني الذي يساعد البوتاسيوم في نقله.

الكالسيوم

1. يدخل فى تركيب الصفيحة الوسطية والتي تتركب كيميائيا من بكتات الكالسيوم. 2. هام لتكوين الاغشية الخلوية. 3. اقترح أن الكالسيوم يشترك في تنظيم الكروماتين على المغزل أثناء الأنقسام الميتوزي حيث ينشا الأنقسام الشاذ نتيجة نقص الكالسيوم. 4. له دورا في تنشيط بعض الانزيمات مثل Adenosine triphosphatas وAriginen kinase.

الكبريت

1. يدخل في تركيب البروتين في صورة الأحماض الأمينية الحاملة للكبريت مثل السستئين و السستين والمثيونين. 2. يقوم بالربط بين البروتينات عن طريق رابطة ثنائية الكبرتيد. 3. يدخل الكبريت في بعض الفيتامينات مثل البيوتين والثيامين والمرافق الانزيمى A. 4. يمثل الكبريت المركز النشط لكثير من الأنزيمات التي يكون احدى مراكزها مجموعة السلفاهيدريل. 5. له دور في التمثيل الضوئي وأيض النيتروجين.

المغنسيوم

1. من مكونات الكلوروفيل. 2. يدخل في تنشيط العديد من الأنزيمات أثناء الأيض الكربوهيدراتى. 3. منشط للأنزيمات التي تصاحب تمثيل الأحماض النووية. 4. يعتقد ان دوره التنظيمي يكون من خلال ارتباطه بكل من ATP والأنزيم ليكون معقد مخلبي (الأنزيم ، المغنسيوم ، البيروفوسفات). فى بعض الحالات يحل المنغنيز محل المغنسيوم كمعاون انزيمي. 5. يقوم بدور العامل المساعد في تفاعلات تثبيت ثاني أوكسيد الكربون لكل من انزيمي
phospho enol pyruvate carboxylase, Ribulose 1,5 diphospho carboxylase . 6. قد يكون هو عامل الربط لدقائق الريبوسومات عند تكوينها للبروتينات أثناء عملية الترجمة.

الحديد

1. يدخل الحديد الى النبات في صورة حديديك الا أن الصورة النشطة هي الحديدوز حيث يدخل في تركيب السيتوكرومات، تلك المركبات التي تساهم في انسياب الالكترونات في الميتوكوندريا أثناء التنفس الطرفي أو أثناء انتقال الألكترون من النظام الصبغي الأول في عملية التركيب الضوئي. 2. يصاحب الحديد انزيمات تمثيل الكلوروفيل الذي يعتمد في تمثيلة على اما المغنسيوم او الحديد. 3. يوجد الحديد في كل مكونات الفلافوبروتين.

المنغنيز

1. من العناصر الصغرى والذي يقوم بدور العامل المساعد للأنزيمات في عمليات التنفس وأيض النيتروجين، فهو على سبيل المثال المساعد co-factor لأنزيم malic dehydrogenase بدورة كربس كذلك decarboxylase oxalasuccinc. 2. يلعب دورا في اختزال النترات حيث يعمل كمعادل أنزيمي لأنزيم nitrite reductase و hydroxylamine reductase. 3. له دور في هدم او أكسدة الأوكسين الطبيعى حيث يعمل كمعاون انزيمى لأنزيم indole-3- acetic acid oxidase. 4. يدخل في أنتقال الألكترون من الماء الى جزيئة الكلوروفيل في تفاعلات الضوء للتمثيل الضوئي.

البورون

يلعب دورا في أنتقال الكربوهيدرات داخل النبات حيث يكون مع الكربوهيد رات معقد بوراتي يسهل الأنتقال عبر الأغشية الخلوية. لذلك فنقصه يسبب أعراض مشابهه لأعراض نقص السكر وهو موت القمم النامية والجذور وتساقط الأزهار وهي الأعضاء النشطة أيضيا. لم يثبت ان له دورا آخر غير انتقال السكريات حتى الان.

الزنك

1. يلعب الزنك دورا أساسيا في تمثيل التربتوفان وهو منشأ الاوكسين وبالتالى في تمثيل الأوكسين الطبيعي في النبات. 2. له دور منشط للعديد من الأنزيمات مثل carbonic anhydrase الذي يحلل حامض الكربونيك الى ثاني أوكسيد الكربون والماء 3 .. له دور مع أنزيمات الأكسدة والأختزال وفى الأنزيمات الناقلة للفوسفات مثل hexose kinase .4. له دور في العمليات المؤدية لأنتاج البروتينات فى عملية الترجمة والنسخ وتكوين الجديد منmRNA.

النحاس

1. يعمل النحاس كمكون لأنزيمات phenolases, ascorbic acid oxidase. 2. يعمل كحامل للاكترون في عمليات التمثيل الضوئي. 3. تحتوي البلاستيدات الخضراء على بروتينات بها نحاس تسمى plastocyanin .
4. الدور الأساسى هو عمليات الأكسدة والأختزال التى تقوم بها مجموعة انزيمات phenolases والتي تحرر الفينولات كمادة مقاومة ومهاجمة للكائنات الممرضة وعند الأصابة الحشرية فهي بمثابة الجهاز المناعي لحماية النبات.

المولبيدنيم

1. يلعب دورا هاما في تثبيت غاز النيتروجى. 2. يلعب دورا هاما في أختزال النترات لتكوين الامونيا واللازم لتكوين الأحماض الأمينية أثناء تمثيل البروتين.

التركيب الضوئي Photosynthesis

النباتات الحية الخضراء تستطيع اخذ الفوتونات الضوئية وتحويلها الى طاقة كيمياوية لغرض تكوين مركبات عضوية مختلفة

في سنة 1804 وضع De Saussure اول معادلة كمية في التركيب الضوئي.

$$CO_2+H_2O \longrightarrow O_2+ (CH_2O)$$

وفي 1864 اوضح Sachs بعض نواتج التركيب الضوئي عندما لاحظ نمو حبيبات النشأ في كلوروبلاست الورقة المعرضة للضوء ووضع المعادلة العامة :

$$nCO_2 + nH_2O \longrightarrow (CH_2O)n + nO_2$$

في 1905 صرح Blackmann ان التركيب الضوئي يشمل :

1- تفاعل يعتمد على الضوء وغير حساس لدرجة الحرارة .
2- تفاعل يجري في الظلام وحساس لدرجة الحرارة والمثبطات .

في 1930 وضعت المعادلة العامة التالية للتركيب الضوئي :

$$CO_2 + 2H_2A \longrightarrow 2A + (CH_2O) + H_2O$$

حيث ان CO_2 هو العامل المؤكسد و H_2A العامل المختزل ، كما استنتج ان O_2 الذي تحرره النباتات ياتي من الماء وليس من CO_2 وبذلك فهو افترض فكرة انشقاق الماء بالضوء Photolysis كخطوة اولية في التركيب الضوئي .
اما الدليل الاخر حول اصل الاوكسجين من الماء فقد جاء من Ruben (1941) حيث اضاف للاشنات الخضراء Chorella ماء يحتوي اوكسجين ثقيل (O^{18} ليس مشعا) ولاحظ ان O_2 المتحرر بعملية التركيب الضوئي هو النظير O^{18} ولذلك تدخل جزيئتان من الماء وتخرج جزيئة اوكسجين واحدة .
بعد ذلك قام Hill (1947) باستعمال بلاستيدات خضراء معزولة من النباتات واستنتج انه بوجود الضوء والماء يمكن استبدال CO_2 بأي مستلم اصطناعي للالكترونات (أي ان CO_2 غير ضروري لتفاعلات الضوء).

صبغات التركيب الضوئي

مركبات عضوية متعلقة بامتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها الى طاقة كيمياوية.

اولا : Chlorophylls وتشمل:

1- chl a / في جميع النباتات القائمة بالتركيب الضوئي باستثناء البكتريا القائمة به .
2- chl b / في النباتات الراقية والاشنات الخضراء .
3- chl c / الاشنات السمراء .
4- chl d / الاشنات الحمراء .
5- chl e / في بعض النباتات .
6- Bacteriochlorophyll a, b / البكتريا القائمة بالتركيب الضوئي.

جزئية الكلوروفيل تحتوي في تركيبها على راس يسمى Prophyrin (Tetrapyrrole Ring) وتتركز ذرة Mg في منتصف الجزئية ، كما يخرج من الـ Prophyrin ذيل مكون من الكحول يسمى phytol tail او phytol alcohol .

	الصفة	Chlorophyll a	Chlorophyll b
1	طول موجة الضوء التي يمتصها بشدة (mμ)	660 , 430	645 , 453
2	الصيغ التركيبية	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$
3	القطبية	اقل قطبية ويذوب في الايثر	اكثر قطبية ويذوب في مثيل الكحول
4	اللون	اخضر مزرق غامق	اخضر فاتح
5	التركيز	نسبة chl a الى chl b تعادل ثلاثة	

ثانيا : الصبغات الثانويةAccessory Pigments وتشمل

أ- الكاروتينات Carotenoids Pigments

وهي مركبات دهنية الوانها صفراء وحمراء وبرتقالية وسمراء وتوجد في البلاستيدات الخضراء والملونة (في البكتريا) وهي تقسم الى مجموعتين :

1- مجموعة Carotene وتتكون من C و H_2 فقط ومنها عدة انواع .

a. β –Carotene وهي الشائعة الوانها صفراء او برتقالية .

b. α -Carotene اقل انتشارا وبنفس الالوان .

c. Lycopene لونها احمر .

2- مجموعة xanthophylls سمراء اوبنية اللون وانواعها تحوي 40 ذرة كاربون وتحمل اوكسجين .

neoxanthin 19% - cryptoxanthin 4% - violaxanthin 3% - Zeaxanthin 2% - lutein 40% .

وظائف الكاروتينويد:

1. منع هدم الكلوروفيل بوجود الضوء والاوكسجين حيث يطلق على هذه الظاهرة الهدمية Photooxidation ولوحظ ان الكاروتينويد تتاكسد ضوئيا لحفظ الكلوروفيل
2. تمتص الطاقة الضوئية اللازمة للتركيب الضوئي وتحولها الى الكلوروفيل ومن ثم تستعمل في التركيب الضوئي.

ب. صبغات Phycobillins or Biliproteins

توجد في الاشنات الزرقاء الخضراء والاشنات الحمراء.

وحدة التركيب الضوئي Photosynthetic Units

اعتقد الاوائل ان امتصاص وتحويل الطاقة الضوئية يتطلب وجود كلوروبلاست كاملة النمو والتركيب بيد انه لوحظ ان بالامكان اظهار ذلك بمجرد وجود بعض الاجزاء الصغيرة من الكلوروبلاست مما يشير الى امكانية تكوين الكلوروبلاست من وحدات دقيقة سميت (PU) والتي هي اصغر مجموعة من جزيئات الصبغات المتقاربة وفي ترتيب هندسي منظم وضرورية لامتصاص الطاقة الضوئية ونقلها الى مكان استغلالها.

صفاتها: أظهرت دراسات الميكرسكوب الالكتروني ان وزنها ألجزيئي يقارب المليونين وان بعض الباحثين اطلق عليها اسم Quantasome ويحتمل انها هي الـ Subunits التي تتألف منها الكلوروبلاست وان كل واحد منها يتكون من:

$2\ Mn^{+2}$ جزيئة $12\ Fe^{+2}$ جزيئة موزعة كما يلي:

عدد(1) يدخل في تركيب $Cytochrome\ b_6$ وعدد (1) يدخل في Cytochrome F وعدد (10) يدخل في Ferredoxin

Cu^{+2} (6جزيئة) Quinone (46جزيئة) Carotenoids (48جزيئة)

Chlorophylls (230-250جزيئة)

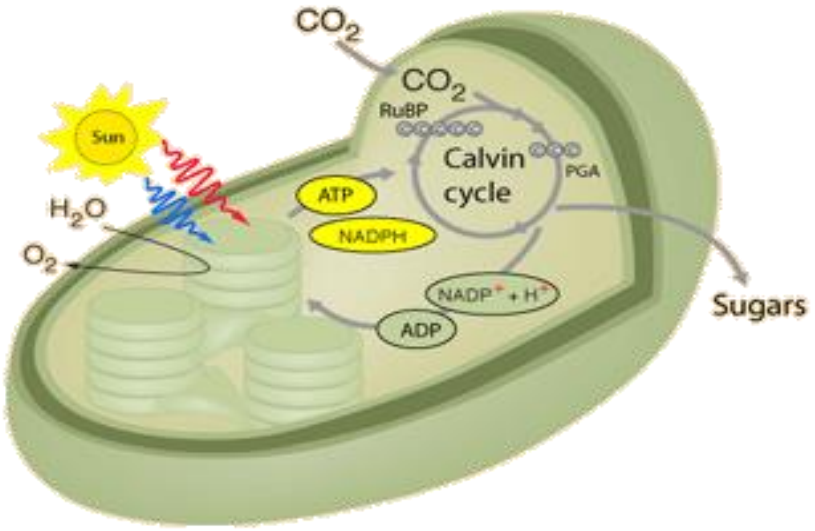
تفاعلات التركيب الضوئي

اولا: تفاعلات الضوء Light Reactions

تحدث في اغشية الـ grana والـ stroma lamellae

نفاعلات الضوء في التركيب الضوئي مكونة من نوعين من الانظمة Photosystems او Pigments systems الاول هو Photosystem 1 الذي يتعلق بالصبغات الممتصة للضوء ذي الموجة الطويلة (683µm) وهذة تشمل كلوروفيل a. اما

الثاني فهو Photosystem 2 ويشمل صبغات كلوروفيل b والشكل الاخر لكلوروفيل a الذي يمتص الضوء ذو الموجة



القصيرة (672 µm).

خطوة تحرير الاوكسجين او تحلل الماء ضوئيا Photolysis تتعلق بالجهاز ذو الموجة القصيرة Ps 2 اما الجهاز ذو الموجة الطويلة فيجهز القوة الاختزالية Reducing Power مثل $NADPH_2$(Nicotineamide adenine dinucleotide phosphate)

ولتوضيح كيفية انتقال الالكترونات من الماء الى $NADPH_2$ فانه يتم تحلل الماء بواسطة الضوء كمايلي:

$H_2O \rightarrow Mn^{+2} \rightarrow\rightarrow 1/2\ O_2 + 2H^+$ حيث تستلم الالكترونات المنبعثة نتيجة تحلل الماء من قبل النظام الصبغي الثاني او مايسمى بالنظام الضوئي الثاني Photosystem 2 (675nm) بعدها تستلم الالكترونات من قبل مركب Plastoquinone (PQ) ليحولها الى مركبات Cyt b6 ثم الى Cyt F ثم الى Plastocyanin(PC) عندها تصل الالكترونات الى النظام الصبغي الاول او مايسمى بالنظام الضوئي الاول Photosystem 1 (700nm) بعد ذلك يتلقف الالكترونات مركب Ferredoxin (Fd) ليحولها الى مركب $NADP^+$ والذي يمثل المستلم النهائي للالكترونات حيث بوجود انزيم Fd-$NADP^+$ reductase فان هذا المركب يستلم الالكترونات ويتحول الى مركب $NADPH_2$.

ويمكن الاستنتاج ان Ps 2 يهيج الالكترونات وهذه الالكترونات تسقط اوتجري الى الـ Ps 1 والسؤال هو ماهي المكونات الموجودة بين النظامين والتي تعاني تفاعلات الاكسدة والاختزال. لقد اتضح ان هذه المكونات هي:

(1)مركبات Plastoquinone مركبات عضوية تعاني اكسدة واختزال بسبب نقلها للالكترونات. غير مرتبطة بأي بروتين في البلاستيدات الخضراء.

(2)Cytochromes اوHeme proteins وهي مركبات بروتينية ومنها Cytochrome F ويوجد بنسبة جزيئة واحدة لكل 300-400 جزيئة كلوروفيل كما يوجد Cytochrome b_6 (اربعة اضعاف Cyt F)

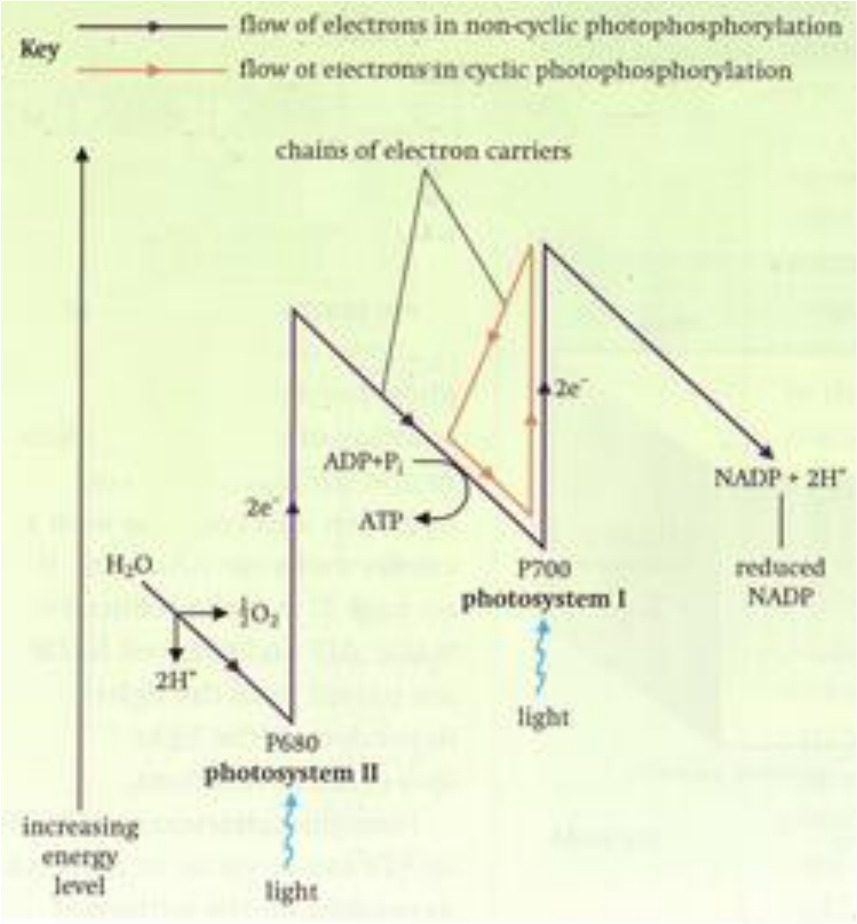
(3)مركبPlastocyanin (Cu-protein) وهو مركب بروتيني يحوي ذرتين نحاس ويمتص الضوء ذو الموجة 600-590 ولونه ازرق.

وظائف تفاعلات الضوء

(1) تحرير O_2 ناتجا عرضيا (Oxygen evolution)

(2) تكوين القوة البنائية من تفاعلات الضوء او انتاج القوة الاختزالية NADPH

(3) انتاج الطاقة (ATP) حيث يطلق على عملية انتاج الطاقة اسم Photosynthetic Phosphorylation



يوجد نوعين من الفسفرة الضوئية

1. الفسفرة الضوئية الدائرية Cyclic photophosphorylation

تكوين ATP لايتعلق بوجود أي تغيير في مستلم الالكترونات او مسلمها وان الالكترونات المنبعثة من الكلوروفيل قد ترجع اليه

$$nADP + nH_3PO_4 \rightarrow nATP + nH_2O$$

وتمتاز بان لها علاقة بالنظام الاول وتعمل بقربه ولا علاقة لها بالنظام الثاني. ان تكوين ATP يكون في مكانين هما بين Ferridoxin و Cyt F وبين Cyt b6 و Ferridoxin . يحدث هذا النوع من الفسفرة عندما يكون استغلال الـ NADPH في اختزال CO2 قليل بسبب غلق الثغور وعدم امكانية دخول CO2 الى الورقة. قد يتوقف هذا النوع من الفسفرة بوجود المثبط DNP بسبب عدم تكوينها للطاقة. ATP المنتج غير معلوم.

2. الفسفرة الضوئية غير الدائرية Non-cyclic photophosphorylation

يكون تكوين ATP مرتبط بنقل الالكترونات من الماء الى المستلم النهائي للالكترونات NADP ويشترك كلا النظامين لانتاج الطاقة. وتمتاز الفسفرة غير الدائرية بتحرير الاوكسجين وان ATP المتكون منها هو ثلاثة وتتكون في مكان واحد فقط هو بين Cyt b6 و Cyt F.

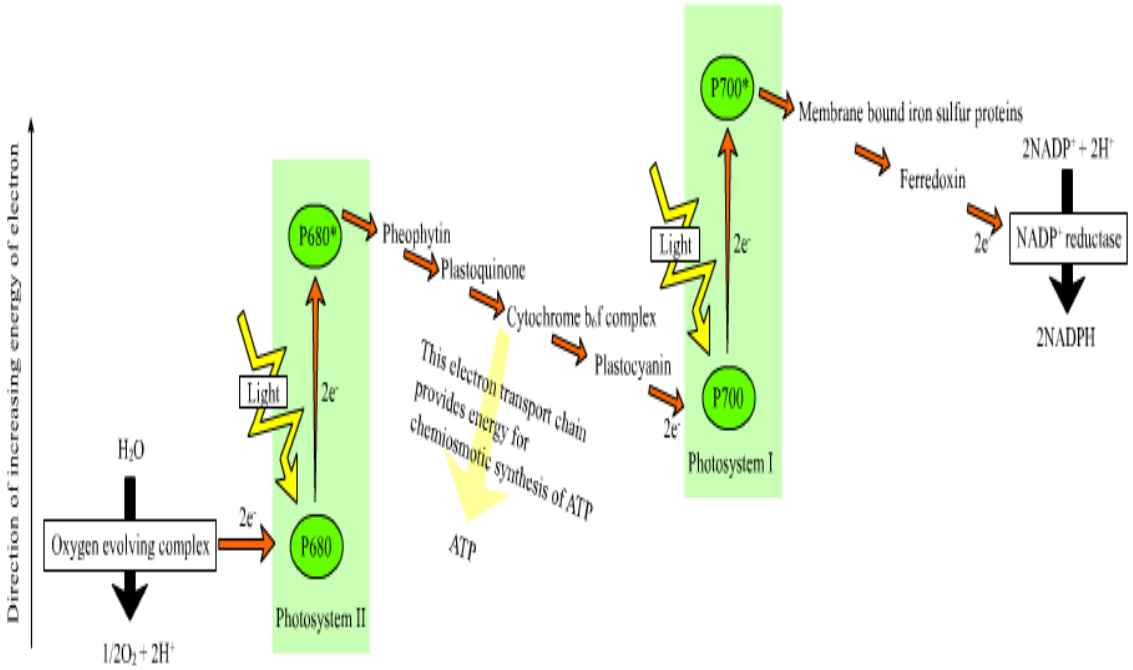
$$2H_2O + 2NADP^+ + 3ADP + 3H_3PO_4 \longrightarrow O_2 + 2NAPD + 2H^+ + 3ATP + 3H_2O$$

تمتاز تفاعلات الضوء بمايلي:

1. يتطلب 8-10 فوتون لاكسدة مولين من الماء وتحرير اربعة الكترونات ومول واحد من O_2 واختزال مول واحد من CO_2.

2. اربعة فوتونات ضوئية تستغل في النظام الضوئي الاول واربعة تستغل في النظام الثاني.

3. تثبيت (اختزال) مول واحد من CO_2 يتطلب ثلاث مولات من ATP ومولين من NADPH


Direction of increasing energy of electron
H2O
Oxygen evolving complex
1/2O2 + 2H+
2e-
P680
P680*
Light
2e-
Photosystem II
Pheophytin
Plastoquinone
Cytochrome b6f complex
Plastocyanin
This electron transport chain provides energy for chemiosmotic synthesis of ATP
ATP
2e-
P700
P700*
Light
2e-
Photosystem I
Membrane bound iron sulfur proteins
Ferredoxin
2e-
NADP+ reductase
2NADP+ + 2H+
2NADPH

تفاعلات الظلام في التركيب الضوئي

Dark Reactions of Photosynthesis

تحدث في الحشوة stroma او الـ matrix في الكلوروبلاست .

اساس تجارب Calven وBensen هو ان النبات يحول CO_2 في النهاية الى سكر كلوكوز $C_6H_{12}O_6$. ووجد ان عملية التركيب الضوئي الجارية لمدة قصيرة (سبع ثوان) من وجود $^{14}CO_2$ تسبب تكون (12) مركب وسطي مشع, وعند تقصير مدة التعرض الى CO_2 الى خمس ثوان فقط وجد ان معظم الاشعاع قد تركز في الحامض المسمى (3-PGA) 3- phosphoglyceric acid وبذلك يعد الـ PGA اول مركب ينتج في التركيب الضوئي .

يعد اكتشاف اول ناتج من التركيب الضوئي بدأ البحث عن المادة الاولية التي تتحد مع CO_2 لتكوين PGA وحصل Calvin على ادلة تبين ان السكر المتكون من خمس ذرات كاربون (Rudp) Ribulose -1,5-diphosphate هو المكتسب الاول لـ CO_2 اثناء عملية التركيب الضوئي وكان من تلك الادلة انه لاحظ تغير مهم في تركيز PGA و Rudp عند الظلام حيث يزداد تركيز PGA ويقل Rudp مما يدل على ان التفاعل او اتحاد CO_2 مع Rudp هو تفاعل غير معتمد على الضوء .

استمرت البحوث في معرفة الانزيم الذي يساعد في اتحاد CO_2 مع Rudp لانتاج جزيئتين منPGA وتم عزل الانزيم المثبت لـ CO_2 واعطى اسما وصفيا Ribulose diphosphate carboxylase وظهر هذا الانزيم في عدة نباتات .

دورة كالفن

استطاع كالفن ومساعداه اثبات تفاعلات بشكل سلسلة دائرية اطلق عليها اسم Calvin-Bensen Cycle وحازا عليها جائزة نوبل عام (1961) وبصورة عامة يكون التفاعل التالي

$$6CO_2+18ATP+12NADPH_2+12H_2O \longrightarrow \text{Fructose-6-p}+12NADP^+ +18ADP + 17H_3PO_4$$

هذا ويستعمل F-6-p في تكوين الكلوكوز والسكر والنشا والسيليلوز وغيرها.

اهمية الدورة

1- **وسيلة لتثبيت CO_2 (حدوث تفاعلات الظلام) والمحافظة على نسبته في الجو**
2- **وسيلة لتحرير O_2 والمحافظة على نسبته في الجو .**
3- **وسيلة لتنظيم تفاعلات الضوء وذلك باستغلال الطاقة (ATP) والقوة الاختزالية $NADPH_2$.**
4- **وسيلة لتكوين المواد العضوية كالكاربوهيدرات والبروتينات والدهون والفيتامينات والقلويات العضوية وغيرها .**

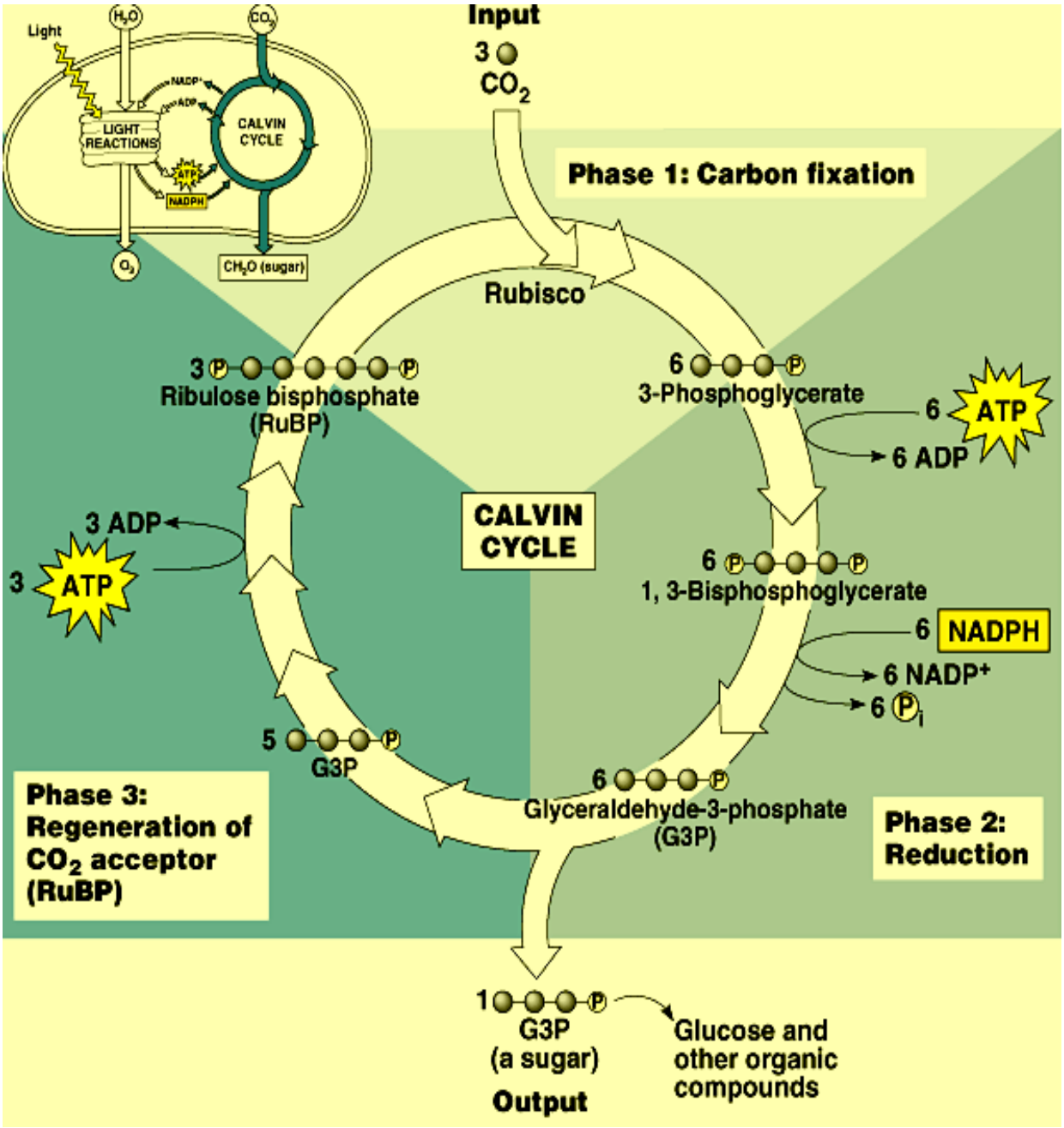
التفاعلات التالية تكون بشكل دورة تعيد نفسها

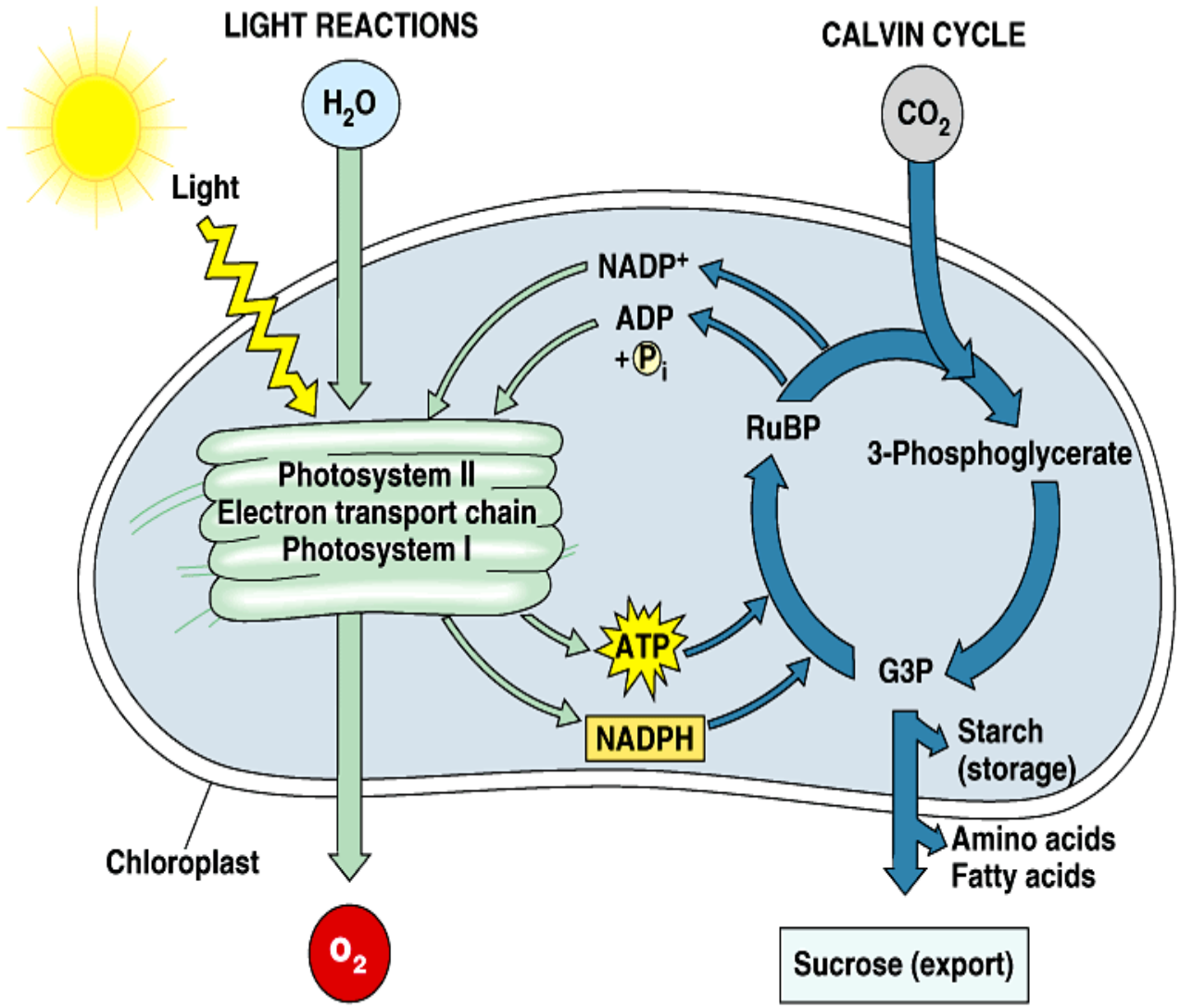
$$\text{Ribulose 1,5-di-p} \xrightarrow[\text{Ribulose 1,5-dip-carboxylase}]{CO_2\text{ ,Keto acid, }H_2O} \text{2-PGA} \xrightarrow[-H_2O]{\text{NADPH, ATP}}$$

$$\text{3-p-glyceraldhehyde} \longrightarrow \text{Xylulose 5-p} \longrightarrow$$

$$\text{Ribulose 5-p} \longrightarrow \text{Ribulose 1,5-di-p}$$

ممكن ان يتحول مركب 3-p-glyceraldehyde الى مركب Fructose 1,6-dip والذي سيفقد الفوسفيت ليتحول الى Fructose 6-pثم يعطي الاخير Sucrose. او يمكن ان يتحول مركب 3-p-glyceraldehyde الى P-dihydroxyacetone ثم الىSedaheptulose 1,7-p ثم الىSedaheptulose 7-p .


Light
H_2O
CO_2
NADP+
ADP
LIGHT REACTIONS
CALVIN CYCLE
ATP
NADPH
O_2
CH_2O (sugar)
Input
3
CO_2
Phase 1: Carbon fixation
Rubisco
3
Ribulose bisphosphate
(RuBP)
6
3-Phosphoglycerate
6
ATP
6 ADP
CALVIN CYCLE
3 ADP
3
ATP
6
1, 3-Bisphosphoglycerate
6
NADPH
6 NADP+
6 P_i
5
G3P
6
Glyceraldehyde-3-phosphate
(G3P)
Phase 3:
Regeneration of
CO_2 acceptor
(RuBP)
Phase 2:
Reduction
1
G3P
(a sugar)
Output
Glucose and
other organic
compounds



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

دورة كالفن هي ليست الدورة الوحيدة لتثبيت الكاربون كما لوحظ في عدة كائنات حية عدم تجمع السكر السداسي (الكلوكوز) من التركيب الضوئي وان نسبة تركيزR-dip-carboxylase العالية في الاوراق تسمح بحدوث التركيب الضوئي حتى في ظروف قلة CO_2 وعليه افترض وجود بدائل لتثبيت CO_2 واستمرت البحوث في هذا الاتجاه وسجلت ملاحظات:

1.ان اوراق قصب السكر والذرة تتطلب شدة ضوئية عالية لتعطي اعلى معدل للتركيب الضوئي.

2.تركيز CO_2 اللازم للحصول على اعلى معدل للتركيب الضوئي في هذه النباتات يكون قليلا اذا ما قورن بمعظم النباتات الاخرى.

3.هذه النباتات تستطيع القيام بالتركيب الضوئي بكفاءة عالية في درجات الحرارة المرتفعة نسبيا (35C).

4.عملية التركيب الضوئي فيها لا تثبط بوجود O_2 (كما الحال في نباتات C3) .

5.هذه النباتات تثبت CO_2 الى حامض ذي اربعة ذرات كاربون (Malic acid , Aspartic acid , Oxaloacetic acid) .

هذه النتائج ايدها Hatch , Slack في استراليا ووجد ان الناتج الاول من تثبيت CO_2 في اوراق قصب السكر هو Oxaloacetic acid وسميت هذه النباتات C4 وفيها يجري التفاعل التالي بمساعدة انزيم (PEP-carboxylase) phosphenol pyruvate carboxylase

Phosphenol +CO2+H2O ⟶ Oxaloacetic acid + pyruvic acid
Pyruvic acid

هذا التفاعل يتم بمساعدة انزيم PEP carboxylase

6.هذه النباتات تظهر خصائص تشريحية للورقة حيث تمتلك نوعين من الانسجة الكلوروفيلية وهي خلايا الـ bundle sheath وخلايا النسيج المتوسط وتحوي الاولى PI والثانية تحوي كلا من PI , PII ، كما ان كلوروبلاست الـ bundle sheath تحتوي على تركيز عالي من انزيم R-dip-carboxylase في حين تحتوي كلوروبلاست الميزوفيل على نسبة عالية من انزيمات PEP-carboxylase .

وتعد عملية تثبيت CO_2 في الـ C4 او ما تسمى (Dicarboxylic acid) طريقة كفوءة لتحويل CO_2 الى مواد عضوية ويمكن القول ان C4 او ما يسمى Hatch-slack plants تمتاز بما يلي :

1.تستطيع اجراء التركيب الضوئي بكفاءة عالية بوجود تراكيز واطئة من CO_2 .

2.شدة الاضاءة اللازمة لاعطاء اعلى معدل للتركيب الضوئي هي عالية .

3.تستطيع انجاز التركيب الضوئي بكفاءة عالية في درجات حرارة عالية (35C°) .

4 .قابليتها العالية لنقل المواد الكاربوهيدراتية .

5.عدم نشاط عملية التنفس الضوئي photorespiration في C4 plants مقارنة بـ C3 plants (وهي عملية تحدث في الـ bundle او جسيمات اخرى بسبب انزيم Glycolic acid oxidase .

6.تستطيع نباتات C4 المقاومة والعيش في ظروف عسيرة بسبب قلة الماء حيث تتم عملية التركيب الضوئي حتى في حالة غلق الثغور وقلة CO2 .

تثبيت CO_2 في النباتات العصارية Succulents

هذه النباتات تفتح ثغورها في الليل وتثبيت CO_2 الى الاحماض العضوية وخصوصا malic acid .

بسبب ان نباتات عائلة crassulaceae ذات عمليات حيوية غير اعتيادية لذلك اطلق عليها Grassulacean acid metabolism (CAM) ووجد ان اول ناتج من تثبيت CO_2 في هذه النباتات هو الـ malate كما ان احماض citrate و Isocitrate تشتق من هذا الحامض بتفاعلات دورة Krebs .

كما ان انزيم PEP carboxylase هو المسؤول عن تثبيت CO_2 في الليل بعكس نباتات C4 plants الذي يكون فيها انزيم PEP carboxylase ذو الفة واطئة في الليل وان انزيم Ru-dip-carb يكون فعالا في النهار .

تثبيت CO_2 في الظلام في الجذور

فضلا عن تثبيت CO_2 المعتمد على الضوء بالتركيب الضوئي فان CO_2 يمكن ان يثبت بالجذور في النباتات في الظلام والطاقة اللازمة لذلك فهي ATP و $NADPH_2$ الناتجة من التنفس .

وفيها يتكون Oxaloacetate (OAA) بمساعدة انزيم PEP carboxylase ثم تختزل OAA الى حامض malate ثم ازالة مجموعة الكاربوكسيل من الماليت لتكوين Pyruvate .

التنفس Respiration

هي اكسدة المواد العضوية وخاصة السكريات لتنطلق طاقة والتي تدخل في مختلف العمليات الحيوية (ATP)والتي تستغل في تكوين الهيكل الكربوني Carbon Skeleton الذي تستند عليه اجسام النباتات كذلك العمليات الحيوية الاخرى

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow\rightarrow \quad 6CO_2 + H_2O + 678KCL$$

هذا يعني 180غم (1مول) من الكلكوز يتاكسد ب 192غم (6مول) من O_2 مطلقا 264غم (6مول) من H_2O و 678 كيلو كالوري حرارة. وهكذا فان كل غرام واحد من الكلكوز يستخدم في التنفس يطلق 3.74 كيلوكالوري حرارة.

معامل التنفس:Respiration Quotient (RQ)

RQ= جزيئاتCO_2 المنطلقة/ جزيئاتO_2 المستهلكة

اذا كان RQ يساوي واحد يعني ان الكاربوهيدرات هي المستخدمة في التنفس اما اذا كان RQ يساوي0.7 يعني المستعمل دهون اما اذا استخدم حامض عضوي مثل حامض الاوكزاليك فان ال RQ يساوي0.4 .اي بمعرفة RQ يمكن التعرف على نوعية المادة المستعملة في التنفس.

المركبات الغنية بالطاقة:Energy Rich Compounds

اهم هذه المركبات هي Pyrophosphate Compounds مثل ATPو (Uridine Triphosphate)UTP و(Guanosine Triphosphat)GTP و(Cytidine Triphosphate)CTP.هذه المركبات تمتلك طاقة وهي الطاقة الناتجة من اكسدة الكاربوهيدرات او البروتينات او الدهون والتي تحرر بشكل مركبات مثل (Adenosine Triphosphate)ATP.

لاتتم الاكسدة في خطوة واحدة بل في سلسلة طويلة من التفاعلات المنظمة التي يعتمد كل تفاعل فيها على التفاعل السابق كما ان O_2 لايشترك في معظم التفاعلات التأكسدية باستثناء الخطوة الاخيرة حيث تأكسد ايونات الهيدروجين بألاوكسجين الحر. قسمت التفاعلات الى ثلاث مراحل:

1. المرحلة الاولى غير الهوائية وتسمى Anerobic CHO Metabolism حيث تجري في معظم الانسجة الحية وتتكون من عدة خطوات لهدم النشا والسكريات الى مركب Pyruvic acid (C3). لاتحتاج المرحلة الى الاوكسجين. تحدث في السايتوبلازم عادة. وتشمل مايلي:

اولا: التحلل السكري Glycolysis وهو الهدم اللاهوائي للكربوهيدرات في الخلايا الحية وتنتهي التفاعلات بتكوين Pyruvic acid وLactic acid.

ثانيا: التخمر الكحولي Alcoholic Fermentation وهو هدم لاهوائي للكربوهيدرات يحدث في الخميرة وينتهي بتكوين كحول اثيلي Ethanol وCO_2(اكثرية الخمائر لاتستطيع تخمير النشأ لافتقارها لانزيمات amylase التي تحلل النشا لذا يعتمد صانعوا المشروبات الكحولية الى استعمال بذور الشعير النابتة أي البادرات المسماة Malt بدلا من البذور الجافة).

تفاعلات التحلل السكري والتخمر الكحولي تحدث بغياب الاوكسجين ولذلك الخلايا النباتية في حالة عدم توفر الاوكسجين تتنفس تنفسا لاهوائيا كما في المرحل البدائية من انبات البذور او في حالة كون غلاف البذور صلب او التربة غدقة.

تفاعلات Glycolysis

Glucose or Fructose + ATP → Glucose -6-p → Fructose - 6-p → Fructose 1,6-dip

اويمكن ان يستخدم النشا او السكروز بدلا من

الكلكوز او الفركتوز

Fructose 1,6-dip → Dihydroxyacetone –p → α – glycero –p

المركب الاخير يلعب دور في تكوين الشحوم

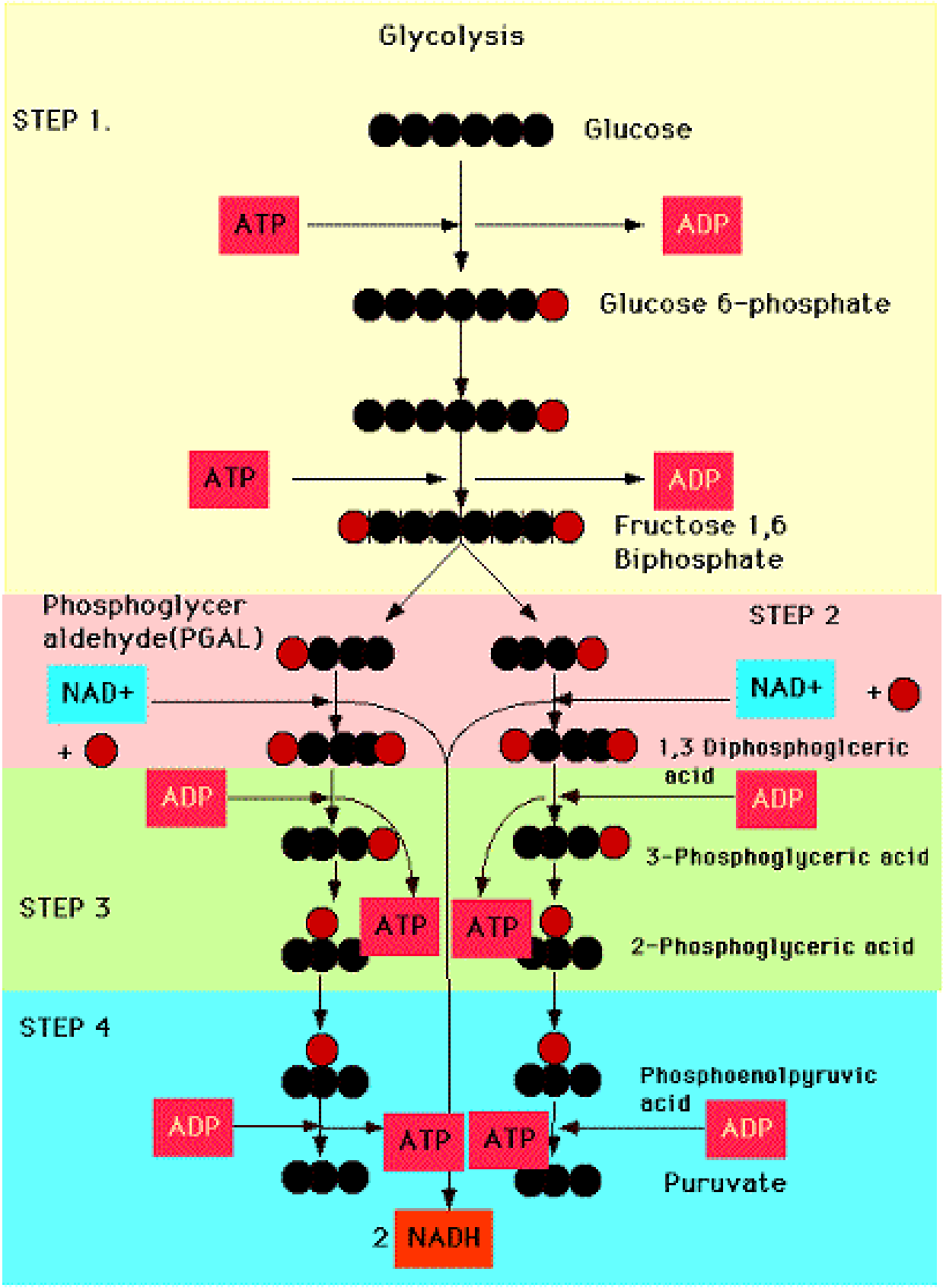
يمكن ان يحدث التفاعل الاتي

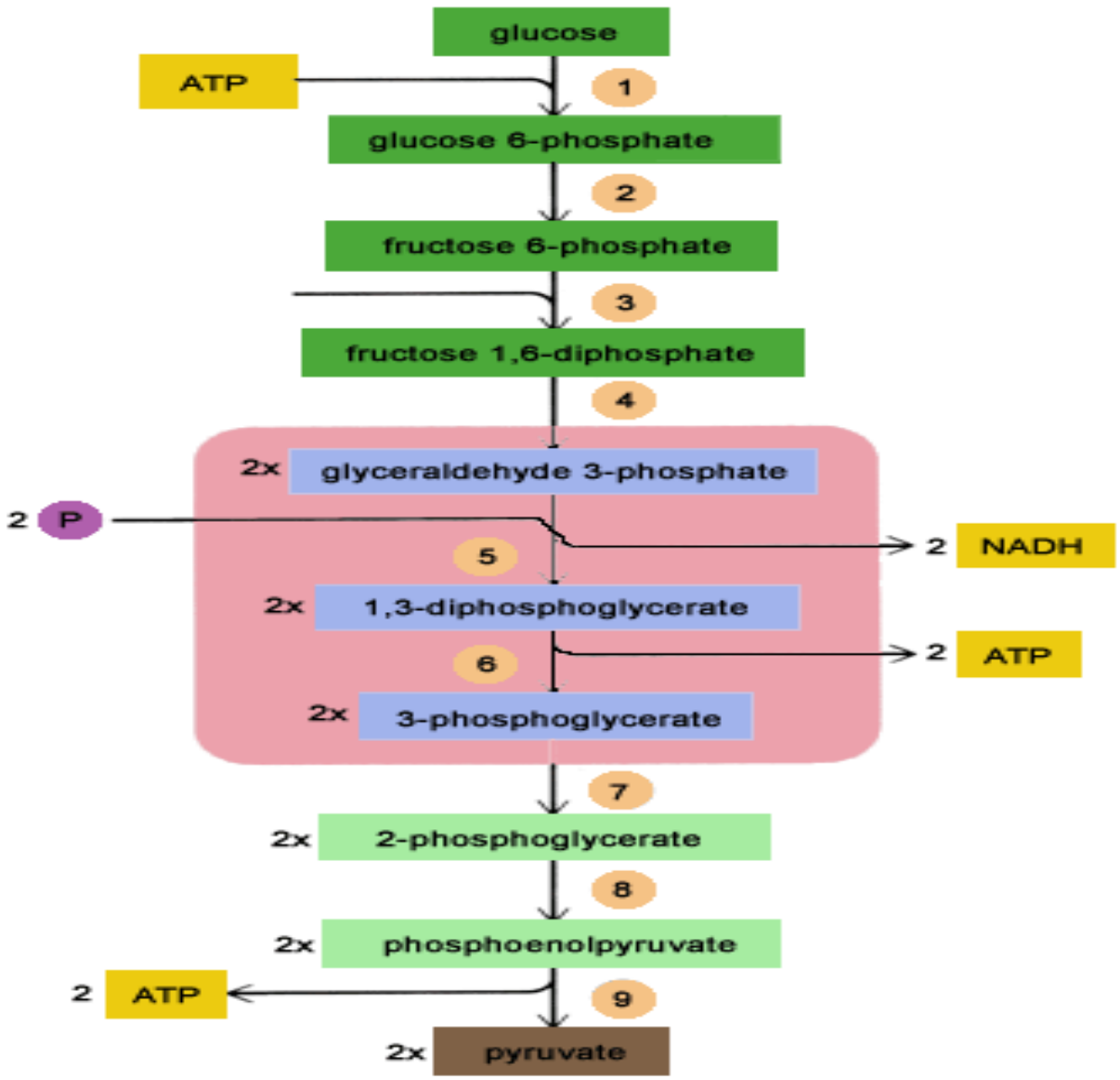
Fructose 1,6-dip → Glyceraldehyde – 3 – p → 1,3 – dip-glyceric acid →3 –p-glyceric acid → 2 –p-glyceric acid → phosphoenol pyruvic acid → pyruvic acid

اول مركب يتاكسد في مجرى التنفس هو

Glyceraldehyde – 3 – p

مركب **pyruvic acid** يدخل مجرى تفاعلات دورة **Krebs** ويتهدم تدريجيا الى CO_2 وماء. واذا كان الاوكسجين قليلا فأن $NADH_2$ قد يختزل حامض البايروفك الى **Lactic acid** بتاثير انزيم **Lactic dehydrogenase**


Glycolysis
STEP 1.
Glucose
ATP
ADP
Glucose 6-phosphate
ATP
ADP
Fructose 1,6
Biphosphate
Phosphoglycer
aldehyde(PGAL)
STEP 2
NAD+
NAD+
+
+
1,3 Diphosphoglceric
acid
ADP
ADP
3-Phosphoglyceric acid
STEP 3
ATP
ATP
2-Phosphoglyceric acid
STEP 4
Phosphoenolpyruvic
acid
ADP
ATP
ATP
ADP
Puruvate
2
NADH

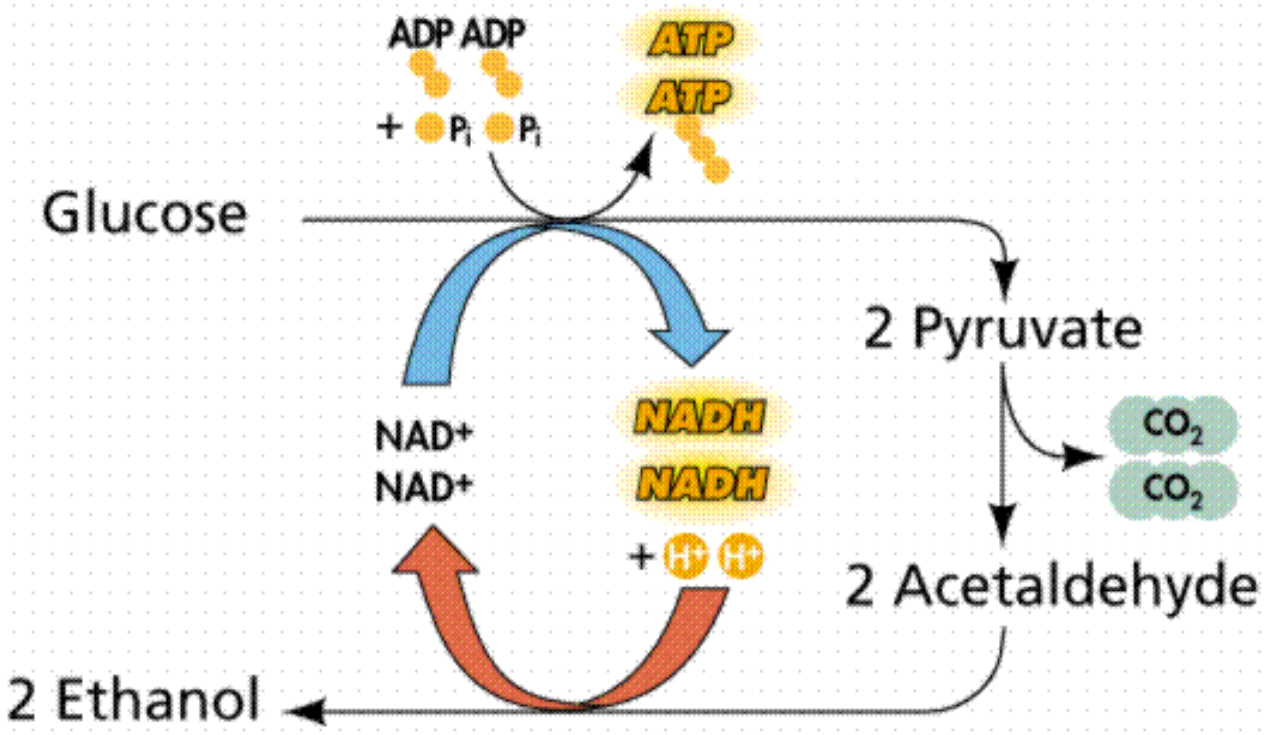


Pyruvic acid + NADH → lactic acid

او يحدث التفاعل التالي

Pyruvic acid →acteldehyde →C_2H_5OH

هنا يفقد البايروفك لجزيئة CO_2 لينتج استيل الديهايد ويتم التفاعل بوجود ATP وعنصر المنغنيز.



2. المرحلة الثانية الهوائية

وهي تتبع المرحلة الاولى حيث تتحطم جزيئات pyruvic acid الىCO_2 وعلى الرغم من عدم اشتراك الاوكسجين مباشرة الا انه يجب ان يتوفر الاوكسجين لاجل ان تستمر العملية وتشترك فيهاعدة حوامض عضوية مهمة وتسمى مجمل التفاعلات Krebs Cycle

دورة كريبس Krebs Cycle

يتحطم البايروفيت كليا على سطح الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا ويطلق على التفاعلات التي تؤكسد البايروفيت كليا اسم Krebs Cycle نسبة الى العالم الانكليزي Krebs والذي يصر على تسميتها Citric Acid Cycle نسبة للمركب Citric acid في الدورة وقد يطلق عليها ايضا اسم Tricarboxylic Acid Cycle (TCA Cycle) بسبب احتواء الحوامض في هذه الدورة على ثلاث مجاميع كاربوكسيلية (الدورة بقيت مجرد فرضية حتى عام 1950 حيث عزلت المايتوكوندريا من الخلايا النباتية واثبت وجود التفاعلات في المايتوكوندريا).

$$\text{Pyruvate} + NAD^+ \rightarrow\rightarrow \text{Acetyl COA} + CO_2$$

في هذا التفاعل يتأكسد البايروفيت ويتم التفاعل بوجود Lipoic acid و Mg^{+2} و FAD وPyruvate dehydrogenase complex وهذه الخطوة تتم قبل الدخول لدورة كريبس لتنتج مركب عالي الطاقة هو Acetyl COA

$$\text{Acetyl COA} + \text{Oxaloacetate} \rightarrow\rightarrow \text{Citrate(Citric acid)} \rightarrow\rightarrow$$
$$\text{Isocitric acid} \rightarrow\rightarrow \alpha\text{-Ketoglutarate} \rightarrow\rightarrow \text{Succinyl COA} \rightarrow\rightarrow$$

Succinate → → Fumarate → → Malic acid → → Oxaloacetate

ثم تعاد الدورة بتفاعل Oxaloacetate مع Acetyl COA

التفاعل من Isocitrate الىα-Ketoglutarate يسمى تفاعل Oxidative decarboxylation وفي التفاعل يزال CO_2 ليذهب للمايتوكوندريا ويزال ذرتين H^+ حيث ياخذه NAD^+ ليكون $NADH_2$

التفاعل من α-Ketoglutrate الى Succinyl COA يسمى تفاعل Oxidative decarboxylation وفي التفاعل يفقد CO_2 ويزال ذرتينH^+ حيث ياخذه NAD^+ ليكون $NADH_2$

التفاعل من Malic acid الىOxaloacetate ايضا يتكون خلاله NADH

قسم من مركب α-Ketoglutarate يستغل لتكوين الحامض الاميني glutamic acid ولهذا فان تكوين البروتينات يعتمد على TCA

اذن اكسدة مول واحد من الكلكوز بطريق glycolysis ودورة TCA يكون مولين pyruvate وكل مول pyruvate يحرر ثلاث مولات CO_2 ويكون اربعة مولات $NADH_2$ ومول واحد $FADH_2$ وهذه ال Coenzymes المختزلة يجب ان تعاد اكسدتها في المرحلة الثالثة في سلسلة نقل الالكترونات.

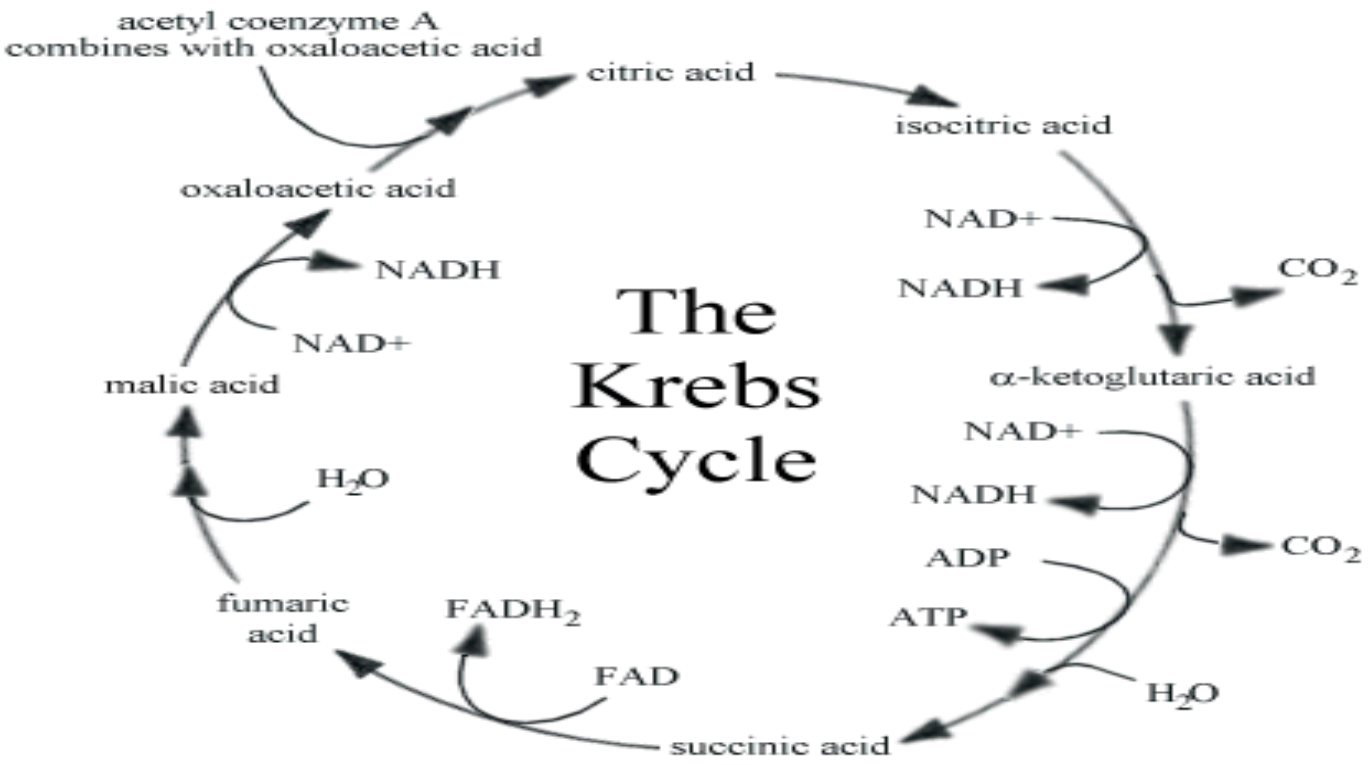
اهمية دورة كربس

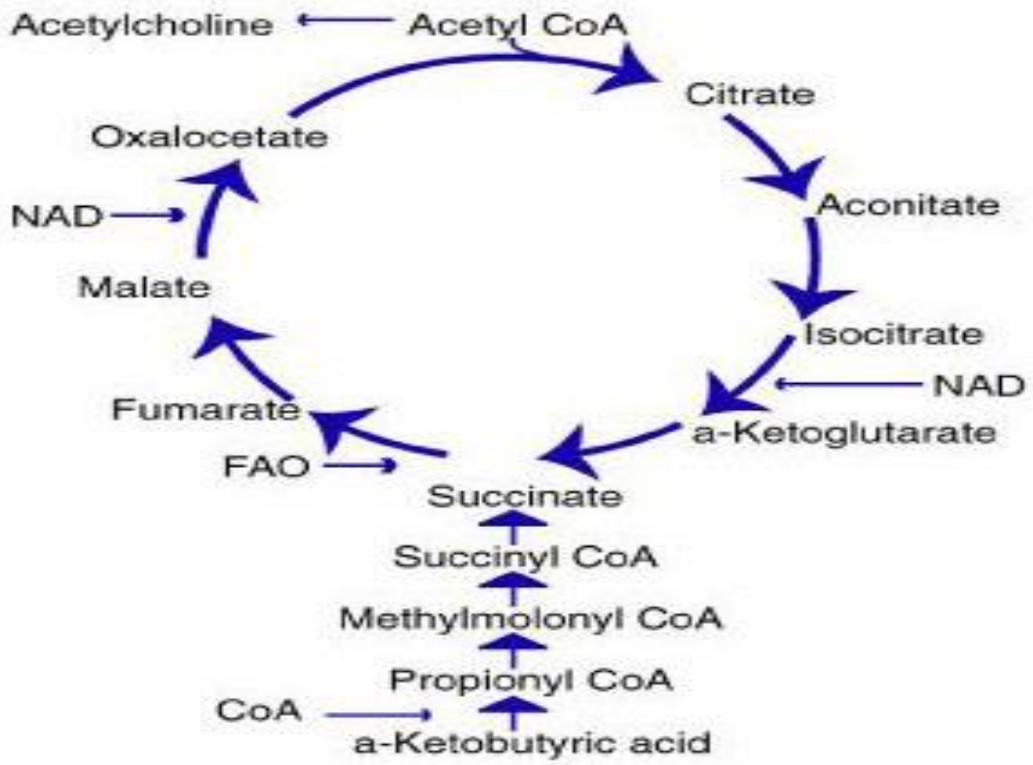
1. في حالة عدم تحول Succinyl COA الى Succinic acid فقد يستغلها النبات في تكوين مركبات مهمة مثل الصبغات كالكلوروفيل والسايتوكرومات والفايتوكرومات.

2. المركب Oxaloaceate قد يتحول الى الحامض الاميني Aspartic acid وبذلك تتكون بروتينات.

3. مصدر لتكوين قوة اختزالية NADH التي تفيد في تفاعلات البناء.

4. مصدر لتكوين ATP بعملية الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation عندما يعاد اكسدة الفائض من $NADH_2$ بعملية سلسلة نقل الالكترونات.





3. المرحلة الثالثة الهوائية

وهي ترافق المرحلة الثانية عادة حيث تعاني ذرات الهيدروجين المنزوعة من الحوامض العضوية (في المرحلة الثانية) عدة تفاعلات تأكسدية اختزالية واخيرا تتحد ذرات الهيدروجين مع الاوكسجين مكونة الماء وتسمى هذه التفاعلات سلسلة نقل الالكترونات. في هذه المرحلة فان الطاقة المتحررة تخزن في مركبات الطاقة مثل (ATP) بعملية Oxidative Phosphorylation.

كلا من Krebs Cycle وسلسلة نقل الالكترونات وعملية انتاج الطاقة Oxidative Phosphorylation تجري في المايتوكوندريا.

سلسلة نقل الالكترونات Electron Transport Chain (ETC)

ذرات الهيدروجين في ال $NADH_2$ الناتجة من ال Glycolysis وال TCA cycle لاتستطيع مباشرة الاتحاد مع الاوكسجين لتكون الماء بل يجب ان تمر بسلسلة من التفاعلات قبل ان يتكون الماء وتسمى سلسلة نقل الالكترونات. وان التحول يبدء من المواد ذات الطاقة الاختزالية الواطئة الى المواد ذات الطاقة الاختزالية العالية (زيادة الالفة لكسب الالكترونات).السلسلة يمكن ان تسمى ايضا Cytochrome System. ان $NADH_2$ تفقد ايونات الهيدروجين التي اكتسبتها من المواد المتفاعلة مثل Glyceraldehyde 3-p وPyruvate و Isocitrate و α- ketoglutarate و Malate وتحولها الى Flavoprotein (FAD) ثم الى مركب اخر يسمى Coenzyme Q (قد يعرف ايضا Ubiquinone) ثم يحول هذا المركب الالكترونات الى احد انواع السايتوكروم الحاوية على الحديد وهي Cyt b و Cyt c و Cyt Oxidase على التوالي. ويسلم السايتوكروم الاخير زوج الكترونات الى الاوكسجين ليتكون الماء ويتطلب الامر مولين من كل نوع من السايتوكروم لنقل زوج الالكترونات.

تصاحب الTCA عملية حيوية مرتبطة بها تسمى الفسفرة التاكسدية Oxidative Phosphorylation وبواسطة هذه العملية فان الطاقة المتحررة بالتنفس تحرر بشكل طاقة كيميائية مفيدة للخلايا الحية.

عملية انتاج الطاقة (الفسفرة التاكسدية) Oxidative Phosphorylation

تصاحب عملية ETC عملية حيوية مرتبطة بها تسمى الفسفرة التاكسدية وبواسطة هذه العملية فان الطاقة المتحررة بالتنفس تخزن بشكل طاقة كيمياوية مفيدة للخلايا الحية ، واهم اشكال هذه الطاقة هي ATP .

ميكانيكية الفسفرة افترضت عدة فرضيات :

1. فرضية Chemical Coupling Hypothesis

خلاصة هذه الفرضية هي تكوين مركب بروتيني ذو طاقة عالية High Energy Phosphrylated Protein اثناء انتقال الالكترونات ثم انتقال الفوسفات الى ADP لتكوين ATP .

$$A_{red} + I + B_{ox} \rightarrow A_{ox}\tilde{} I + B_{red}$$

~ اصرة ترمز للطاقة

2. فرضية Chemiosmotic Coupling Hypothesis

افترضت من قبل Mitchell (1961) وهي تؤكد ان المركب البروتيني المسمى (HEPP) لا يتكون بل يتكون ATP في اغشية المايتوكوندريا الداخلية والكرانا في الكلوروبلاست بطريقة اخرى حيث يفترض ان

ايونات الهيدروجين تنتقل خارج المايتوكوندريا عندما تحدث عملية نقل الالكترونات اما ايونات الهيدروكسيل فتتجمع داخل المايتوكوندريا نفسها (ويتكون ATP وذلك بتحليل جزيئات الماء) وبما ان تكوين ATP يؤدي لتكوين ماء ايضا لذلك يزداد تكوين ATP كلما ازيلت جزيئات الماء الى هيدروجين وايونات هيدروكسيل .

3. فرضية Conformational Coupling

مبنية على حدوث تغيرات تركيبية في الغشاء الداخلي خلال عملية انتقال الالكترونات تؤدي الى تكوين ATP

من الجدير ذكره ان عدد مولات ATP الناتجة من اكسدة مول واحد من الكلوكوز الى CO_2 وماء هي (38) وكما يلي :

$$C_6H_{12}O_6 + 6CO_2 + 38ADP + 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 38ATP + 44H_2O$$

واذا علمنا ان كل مول ATP يمتلك طاقة مقدارها 8000-10000 سعرة لذلك يكون 304000 سعرة قد خزنت بشكل طاقة كيمياوية.