جامعة ديالى
كلية التربية الاساسية
قسم العلوم

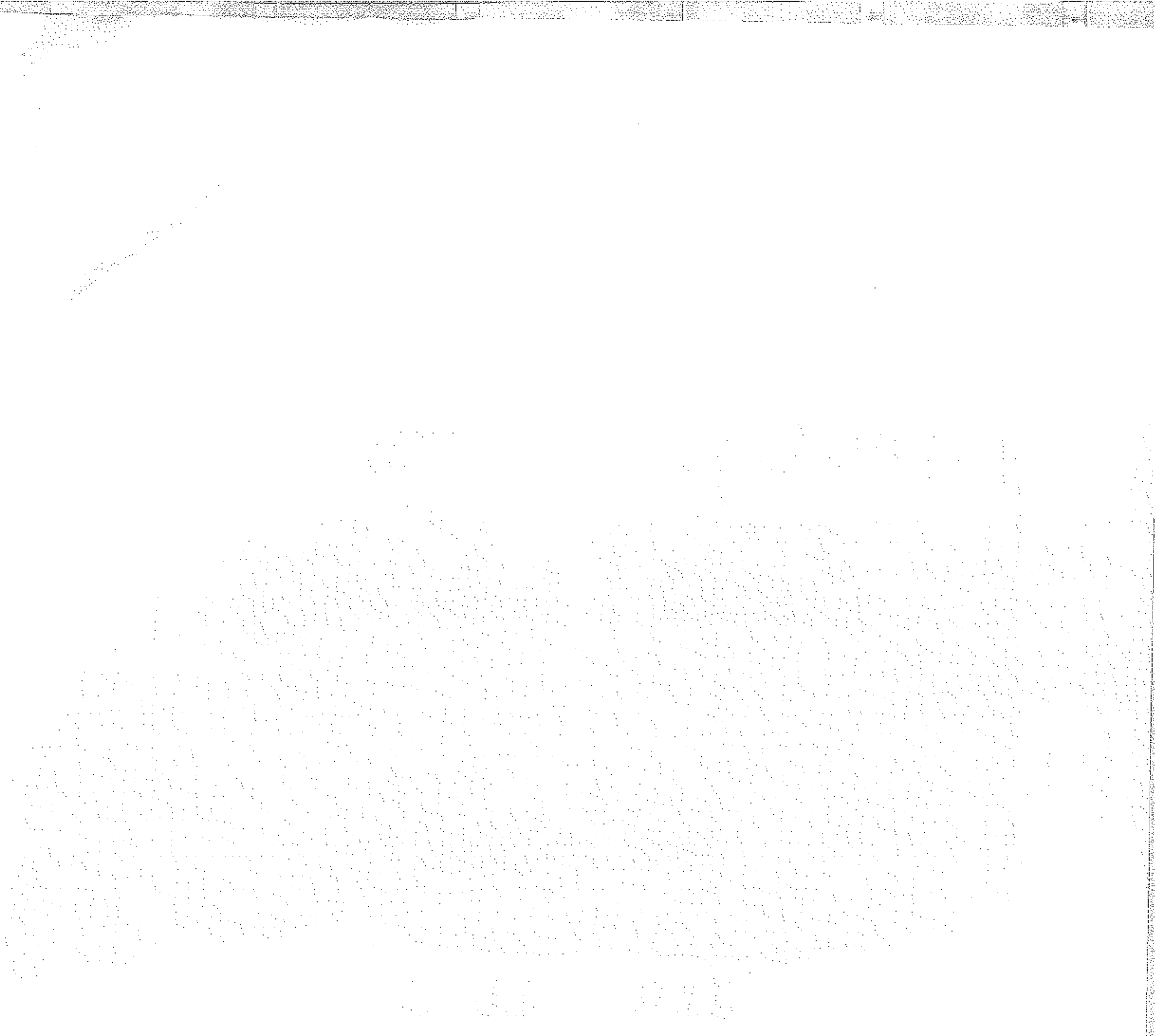
وظائف اعضاء النبات

المرحلة الثالثة

اعداد الدكتور
سعيد حميد محمد

٢٠١٥-٢٠١٦

للعام الدراسي الاول



المرحلة : الثالثة **المادة : فسلجة النبات/ نظري**

الفصل : الخامس **عدد الساعات: ٢**

مفردات المنهج

١. الخلية النباتية.
٢. الانسجة النباتية.
٣. الانتشار الغشائي للسوائل الازموزية.
٤. الانتفاخ والضغط الانتفاخي.
٥. البلزمة.
٦. امتصاص المواد بواسطة الجذور.
٧. اخذ وصعود الماء.
٨. امتصاص المواد المذابة.
٩. فقدان الماء.
١٠. الادماع والتوصيل.
١١. اجزاء نبات راقي.
(جذر، ساق، ورقة، زهرة، ثمرة)
١٢. التركيب الضوئي.
١٣. التنفس.
١٤. نمو النبات والعوامل المؤثرة.
١٥. منظمات النمو.
١٦. زراعة الانسجة النباتية والخلايا النباتية والاوساط وطرق التكاثر.
١٧. السكون.
١٨. تحمل الجفاف، الانجماد، الملوحة.

المرحلة : الثالثة **المادة : فسلجة النبات/ عملي**

الفصل : الخامس **عدد الساعات: ٢**

مفردات المنهج

- المحاليل وانواعها وطريقة التحضير، الاحماض والقواعد والاملاح، الحالة الغروية، الانظمة الغروية وصفاتها.
- الانتشار وانواعه.
- التشرب والعوامل المؤثرة فيه.
- الازموزية والجهاز الازموزي.
- البلزمة والضغط الازموزي.
- النتح، توزيع الثغور، ميكانيكية غلق وفتح الثغور، تركيب الثغور.
- النفاذية والعوامل المؤثرة عليها.
- دراسة انتقال الماء والاملاح المعدنية في النبات مع العوامل المؤثرة.
- الضغط الجذري.
- انتقال المواد الغذائية في النبات.
- تغذية النبات، تأثير نقص العناصر الاساسية في النمو.
- تقدير محتوى الرماد النباتي مع العناصر والتعرف عليها.
- البناء الضوئي، استخلاص صبغات البناء الضوئي، تقدير سرعة البناء الضوئي والعوامل المؤثرة.
- التنفس، تقدير سرعة التنفس الهوائي واللاهوائي.
- الانزيمات، طرق استخلاصها والتعرف عليها.
- مجموعة انزيمات الاكسدة والاختزال.
- سبات وانبات البذور وبعض العوامل المؤثرة.
- النمو والتكشف.
- الانقسامات.

77. 485 - 6 - 5

علم الفسلجة النبات
plant physiology

ان علم فسلجة النبات يبحث كيفية تأدية النباتات لوظائفها الحيوية المختلفة المتعلقة بنمو وتطور النباتات
يتعلق علم الفسلجة النباتية بباقي العلوم الزراعية في تفسير تأثيرات البيئة والوراثة على وظائف وتركيب الخلايا والانسجة والاعضاء النباتية.

مكونات الخلية

يمكن تقسيم مكونات الخلية الى ما يلي:

١-جدار الخلية cell wall :
٢- بروتوبلاست الخلية ويشمل المحتويات الاتية:
أ:- البروتوبلازم او مكونات الخلية الحية وتتضمن الاجزاء الاتية:

١- السايتوبلازم cytoplasm
٢- الاغشية الخلوية cellular membrane
٣- الشبكة الاندوبلازمية endoplasmic reticlum
٤- البلازمودزماتا plasmodesmata
٥- الرايبوسومات ribosomes
٦- البلاستيدات plastids
٧- المايتوكوندريا mitochondria
٨- النواة nucleus
٩- الاجسام الكروية spherosomes
١٠-اجسام كولجي golgi apparatas
١١-الانابيب الدقيقة microtubules
١٢-الاجسام الدقيقة microbodies (peroxisomes and glyoxysomes)

المكونات غير البروتوبلازمية وتشمل:

١-الفجوات
٢-المواد غير الحية

جدار الخلية cell wall

وهو الغلاف الصلب الذي يحيط بروتوبلاست الخلية النباتية وسمك جدار الخلية يتراوح بين ١-٣ مايكرون .وبصورة عامة يعتقد بان جدار الخلية غير حي ولكن في الوقت الحاضر اخذت فكرة وجود البروتينات في جدار الخلية تزداد الاهمية بعد ان اكتشف الحامضان الامينيان في جدار الخلية. (hydroxy proline و proline)
اما بداية تكوين جدار الخلية فتحدث عند الخطوات الاخيرة لانقسام النواة في عملية الانقسام غير المباشر ،مثلها يتكون ما يعرف بالصفيحة الخلوية cellplate في الطور الانفصالي anaphase.
هذا وتتكون الصفيحة الوسطى من بكتات الكالسيوم والمغنيسيوم والتي تربط الخلايا المتجاورة بعضها مع بعض .
ويعقب ذلك ان يفرز السايتوبلازم بعض المواد التي تترسب على جانبي الصفيحة الوسطى مكونة الجدار الاولي primary wall.

جدول (١) مقارنة الجدار الاولي والثانوي

مواد المقارنة	الجدار الاولي	الجدار الثانوي
١-المادة المكونة الاصلية السليلوز	نسبة واطئة من السليلوز ١٠%	نسبة عالية من السليلوز ٥٠%
٢-مواد الهيميسليلوز والبكتين	نسبة عالية	نسبة واطئة
٣-مدى تجمع الالياف	نسبة واطئة	نسبة عالية
٤-طول سلاسل السليلوز	حوالي ٠,٥ م	حوالي ١,٥ م
٥-نسيج الليفات	الليفات مبعثرة	الليفات مرتبة بطبقات وملتفة مع بعضها
٦-مدى المرونة	نسبيا عالية	نسبيا واطئة
٧-نوعية النمو أي اضافة مواد جديدة للجدار	اضافة النمو في السطح بعملية APOSITION او بعملية التداخل	النمو سطحيا

وهذا الجدار يتكون اساسا من السليلوز مختلطا مع مركبات اخرى مثل الهيميسليلوز والبكتين وغيرها من المواد والجدار الاولي يكون رقيقا مرنا وقابلا للتمدد والنمو تبعا لازدياد حجم الخلية.
هذا وتحتوي بعض الخلايا كالخلايا البرنكيمية على الجدار الاولي فقط دون الجدار الثانوي وفي هذه الحالة يفرز بروتوبلازم هذه الخلايا موادا كالسوبرين والكيوتين تترسب على الجدار الاولي وتمنع نفاذية الجدار للماء.

وقد يعقب الجدار الاولي تكوين جدار اخر يعرف بالجدار الثانوي والذي يتكون عادة من ثلاث طبقات تكون الوسطى منها سميكة. اما الطبقات الخارجية والداخلية فتكونان رقيقتين ويتكون الجدار الثانوي من سلاسل السليلوز بصورة رئيسية وتختلط به بعض المركبات الاخرى غير السليلوزية كاللكنين والسوبرين وغيرها من المواد.

هذا وترجع مرونة الجدار الاولي الى انخفاض نسبة السليلوز المتبلور وزيادة نسبة السليلوز غير المتبلور في حين تعزى قلة مرونة الجدار الثانوي الى ارتفاع نسبة السليلوز المتبلور وقلة السليلوز غير المتبلور ولهذا يلاحظ ان السليلوز المتبلور يزداد بزيادة عمر الخلية حتى تصل نسبته ٩٠% في جدران الالياف النباتية.

وظائف جدار الخلية

١-مساندة الخلية النباتية ميكانيكيا باعطاهاالصلابة والمتانة
٢-التوسط لتبادل الايونات بين الخلية والتربة ويقوم بدور القناة للتبادل الايوني
٣-حفظ مكونات الخلية من المحيط الخارجي
٤-المساعدة في نمو الخلية

المركبات الكيمياوية المكونة لجدار الخلية:-

١-السليلوز
٢-المواد البكتينية
٣-مركبات الهيميسلسلوز
٤-اللكنين
٥-السوبرين
٦-الكيوتين

٧-السيليكا
٨-الكيتين
٩-الجيلاتين
١٠-الكالوس

البروتوبلازم:- PROTOPLASM

هو المادة الحية الموجودة في كل مادة هلامية غير متجانسة ويظهر انها من نظام غروي متجانس نسبيا يعرف بالسايتوبلازم وفيما يتصل ببروتوبلازم الخلية المسماة EUCARYOTIC فاننا نجد من السايتوبلازم اجساما خلوية اكثر كثافة كالنواة والبلاستيدات والمايتوكوندريا والرايبوسومات والاجسام الكروية وغيرها من الاجزاء والبروتوبلازم يتكون اساسا من البروتينات والحوامض النووية والدهون والماء

يملأ البروتوبلازم جميع الخلايا الفتية اما في الخلايا البالغة فيكون البروتوبلازم عبارة عن شريط مبطن لجدار الخلية من الداخل وتتوسطه فجوة كبيرة عصارية وعدة فجوات منفصلة

هذا ويمتاز البروتوبلازم بعدة خصائص اهمها الحركة الانسيابية حيث يتحرك السايتوبلازم بعدة اتجاهات داخل الخلية نفسها ومن خلية لاخرى خلال الخيوط السايتوبلازمية التي تعرف باسم (البلازمودزماتا) ومن خصائص البروتوبلازم الاخرى الحساسية اي مقدرة البروتوبلازم في التحسس والاستجابة للمؤثرات الخارجية كالمؤثرات الميكانيكية والكهربائية.....الخ

وظائف البروتوبلازم:-

١- القيام بمختلف العمليات الحيوية الهدمية منها والبنائية
٢- ٢-القيام بعملية النمو التي يزداد حجم النبات منها والتي تحدث في مناطق النمو كالقمم النامية للسيقان والجذور والكامبيوم الوعائي والفليني
٣-القيام بعملية التكاثر التي يتسبب عنها تكوين وحدات حية مشابهة للنوع النباتي والمحافظة على استمرارية النبات من جيل لاخر

مكونات البروتوبلازم :-

١- الماء
٢- الدهون
٣- البروتينات
٤- الكاربوهيدرات
٥- الاملاح
٦- بعض المواد العضوية مثل الفيتامينات-هرمونات-حوامض نووية

السايتوبلازم : Cytoplasm

هو المادة الاساسية لمحتويات البروتوبلازم ويتكون من البلازما الاساس او السايتوبلازم الشفاف وكذلك من الاغشية البلازمية والشبكة الاندوبلازمية

ان البلازما الاساس :عبارة عن نظام غروي معقد التركيب.سائل القوام اكثر لزوجة من الماء كما تختلف لزوجيته باختلاف الخلية ونوعها وعمرها ويحتوي سايتوبلازم الخلايا النشطة فسيولوجيا على الماء بنسبة ٨٠-٩٠% ويمتاز بخاصية الانسياب حول جدار الخلية من الداخل ولا تزيد نسبة الماء في سايتوبلازم الخلايا الكامنة وغير النشطة كخلايا البذور الجافة عن ١٥-٢٠%وقد تصل الى نسبة٤%وطبيعي ان لا تلاحظ خاصية الانسياب البروتوبلازمي في خلايا البذور الجافة وفضلا عن الماء يحتوي السايتوبلازم على مواد عضوية مختلفة من البروتينات والدهون وبعض الاحماض النووية في حالة غروية وسكريات واحماض عضوية واملاح معدنية في حالة ذائبة بنسب مختلفة تبعا للانسجة النباتية المختلفة

وظاف السايتوبلازم :-

١-يكون محلا لحدوث تفاعلات GLYCOLYSIS

٢-يكون محلا لحدوث تفاعلات ال PENTOSE PHOPHATE PATHWAY مسار فوسفات السكر الخماسي
٣-يكون محلا لحدوث تفاعلات تكوين السكروز وبعض المركبات الكاربوهيدراتية الاخرى
٤-يكون محلا لحدوث تكوين البروتينات PROTEIN SYNTHESIS
٥-يكون محلا لحدوث تكوين الاحماض الشحمية FATTY ACID SYNTHESIS

المكونات الكيمياوية للاغشية الخلوية :-
١-المركبات الايونية
٢-المركبات الدهنية
٣-الكالسيوم
٤-الماء وبعض المواد الاخرى

الاغشية الخلوية CELLULAR MEMBRANE

من المعلوم ان الخلايا النباتية المسماة EUCARYOTIC CELLS تتكون من اجزاء عديدة منها : النواة والكلوروبلاست والمايتوكوندريا والفجوات فضلا عن السايتوبلازم ومكونات خلوية اخرى.

ان هذه الاجزاء الخلوية تحتاج الى بيئات صغرى لكي تودي وظائفها الفسيولوجية بصورة صحيحة ولها برزت الحاجة الى امتلاك الاغشية التي تفصلها نسبيا وتسهل سير العمليات الحيوية وتكاملها مع العمليات الحيوية الاخرى الجارية في الاجزاء الخلوية الاخرى .ويطلق على مجموع الاغشية التي توجد في الخلية بالاغشية الخلوية .فالغشاء البلازمي هو الطبقة الخارجية للبروتوبلازم والملاصق لجدران الخلايا ويسمى ايضا PLASMALEMMA OR ECTOPLAST .وهو غشاء منفرد .كما يحيط بالفجوة العصارية غشاء بلازمي منفرد اخر يسمى TONO PLAST .
اما النواة والكلوروبلاست والمايتوكوندريا فكل واحدة منها محاطة بغشاء مزدوج DOUBLE MEMBRANE. كما توجد بعض الاغشية الخلوية الاخرى التي تحيط ببقية اجزاء الخلية.

هذا وتمتاز الاغشية الخلوية بمرونتها ومقدرتها على تجديد ما يتلف منها .كما يعد الغشاء البلازمي متخصصا من البروتوبلازم وانه رقيق جدا ولا يمكن تمييزه عن بقية البروتوبلازم بالميكروسكوب الضوئي بسبب تشابه الوانهما ولكن عند الفحص بالميكروسكوب الالكتروني يظهر الغشاء البلازمي كخطين غامقين سمك كل واحد منها حوالي ٢٠ انكستروم وتوجد بينهما طبقة رائقة سمكها ٤٠ انكستروم وبعبارة اخرى ان مجموع سمك الغشاء البلازمي يقارب ٧٥-١٠٠ انكستروم .اما سمك الاغشية المزدوجة للنواة والكلوروبلاست والمايتوكوندريا فيتراوح حوالي ٢٠٠-٣٠٠ انكستروم.

وظائف الاغشية الخلوية :

ان الاغشية الخلوية هي حية ومتميزة النفاذية فلها القدرة على تنظيم دخول المواد الذائبة والمذيبة من والى الخلية أي تسمح لدخول بعض المواد الى الخلية وتمنع دخول المواد الاخرى الى الخلية بينما يمنع خروجها .وبذلك تتجمع هذه المواد داخل الخلية بتراكيز اعلى مما في خارج الخلية.
هذا ويوجد اختلاف في النفاذية المتمايزة بين مختلف الاغشية الخلوية فمثلا في الطحلب الاخضر يلاحظ ان الغشاء البلازمي ينفذ المغنيسيوم بينما لا ينفذ غشاء الفجوة لذى نجد المغنيسيوم يتجمع في السايتوبلازم الاساس فقط لهذا الطحلب.

تعد الاغشية مكانا لحدوث العديد من العمليات الحيوية كالامتصاص ونقل الطاقة وذلك بسبب احتواء الاغشية على العديد من الانزيمات وحاملات الايونات .هذا ويظهر ان الجزء البروتيني في الغشاء البلازمي هو المهم في هذه العمليات ومن بعض الانزيمات التي عزلت من الاغشية هي انزيم ال apyrase (ATpase) المتعلقة بنقل الطاقة..

الفجوة العصارية وغشاء الفجوة :- vacule and tonoplast
الفجوة هي تجويف في السايتوبلازم مملوء بسائل يسمى بالعصير الخلوي وهذا التجويف يختلف باختلاف الخلايا .

فالخلايا الفتية غير الناضجة والخلايا المرستيمية تكون ممتلئة بسايتوبلازم كثيف يشكل حوالي ٩٠%من حجم الخلية حاويا على العديد من الفجوات الصغيرة المملوءة بالعصير الخلوي وعندما تنضج الخلايا فان هذه الفجوات الصغيرة تتحد مع بعضها لتكون فجوة واحدة او اكثر .تشغل حوالي ٩٠%من حجم الخلية الناضجة- بينما يشغل السايتوبلازم حوالي ٥%من الخلية .

ان الفجوة الكبيرة الواحدة قد تضغط على السايتوبلازم ومحتوياته على جدار الخلية وعندئذ يكون السايتوبلازم بشكل غشاء رقيق وقد يعبر هذه الفجوة الكبيرة بعض الخيوطات السايتوبلازمية التي توجد فيها بعض الجسيمات الخلوية organelles نتيجة الحركة الانسيابية للبروتوبلازم streaming

ان الفجوة العصارية تكون محاطة بغشاء رقيق يعرف بال tonoplast وهو يفصل الفجوة عن السايتوبلازم ويعمل عمل الحاجز الداخلي المقابل للغشاء الخلوي . (plasmalemma)

اما منشا ال tonoplast فيعتمد على منشأ الفجوة ويعتقد بان اصل الفجوة هو حويصلات صغيرة تنشأ من الشبكة الاندوبلازمية .كما يوجد راي اخر وهو ان الفجوة تنشأ من اجسام كولجي،كما افترض بان سمك غشاء الفجوة يبلغ٧٥انكستروم ويتكون من ال unit membrane

هنا ويعد الماء المكون الرئيس لعصير الفجوة وتوجد فيه مواد منتشرة بحالة غروية او محاليل حقيقية فالبروتينات توجد بالحالة الغروية وتحمل شحنات كهربائية سالبة ايضا .كذلك توجد الاحماض العضوية في العصير الخلوي مثل malic acid و oxalic acid(او مركباته مثل اوكزالات الكالسيوم) وكذلك توجد السكريات الاحادية والثنائية والمضاعفة .كما تتجمع في الفجوة بعض المواد الدهنية وبعض المواد الفينولية كالتانين tannins وكذلك بعض الصبغات كالانثوسيانين التي تعطي اللون الاحمر والبنفسجي والازرق حسب درجة حموضة العصير الخلوي وصبغات ال flavanone التي تعطي اللون الاصفر والابيض كما توجد بعض المواد المعدنية كالكلوريدات والنترات .

ان طبيعة الفجوات قد عرفت من خلال دراسة الخلايا الحية واستعمال الصبغات الحيوية (vital stains) فالبنسبة لل pH وجد نوعان من الفجوات الاولى يكون عصيرها قاعديا نسبيا والاخرى يكون عصيرها حامضيا .هذا ويقوم ال tonoplast بعدة وظائف حيوية منها اجراء النقل الفعال او النشط (active transport) لبعض الايونات السالبة كالكلور Cl وبعض المواد الاخرى في حالة ال pH المنخفض .ومما يجدر ذكره ان العصير الخلوي النباتي اكثر حامضية من العصير الخلوي الحيواني كما ان ال tonoplast يعيق خروج الصبغات المتجمعة في الفجوة مثل الانثوسيانين.

وظائف الفجوة العصارية :-

ان الفجوة العصارية تقوم بعدة وظائف مهمة منها :

١- انها تعد المكان الرئيس لتجمع (sink) ما يسمى ergastic substances .وهي نواتج التفاعلات الحيوية كالسكر والاملاح وبعض الاحماض العضوية وبعض المركبات السامة كالمركبات الفينولية وكذلك تتجمع في الفجوات المواد غير القابلة للذوبان بشكل رواسب او بلورات مثل اوكزالات الكالسيوم وبذلك تستطيع الفجوة جمع هذه المواد الضارة وفصلها عن البروتوبلازم كما تعد الفجوة محل تخزين بعض المركبات الحيوية كالسكريات وغيرها من المواد لوقت الحاجة للقيام ببعض العمليات الحيوية .

٢- تعد الفجوة وسيلة من وسائل الافراز secretion والاخراج excecretion

٣- تحافظ الفجوات على الضغط الانتفاخي في الخلية حيث ان المواد الذائبة في عصير الفجوة تسبب زيادة الضغط الازموزي في الخلية وبالتالي امتصاص الخلية للماء وانتفاخها ولهذه الظاهرة اهمية كبرى في التحكم في صلابة النبات عند امتلاء خلاياه بالماء وانجاز الوظائف الحيوية المختلفة.

واذا ما خرج بكثرة من الفجوة تتبلزم الخلية وينكمش بروتوبلازمها ويبتعد عن الجدار الخلوي ويحدث شد او توتر كبير على الخيوط او القنوات السايتوبلازمية (plasmodesmata) واذا تقطعت هذه الخيوط فقد البروتوبلازم حيويته.

ومما تجدر الاشارة اليه ان الفجوات تكون اقل وضوحا في الخلايا الحيوانية مقارنة بالخلايا النباتية كما ان توسع الخلايا الحيوانية يرجع الى زيادة المادة البروتوبلازمية وليس لاتساع الجدار الخلوي نظرا لانعدام الجدار الخلوي في الخلايا الحيوانية ..

البلاستيدات plastids

البلاستيدات هي اجسام بروتوبلازمية لها القدرة على الانقسام والنمو سواء كانت في الخلايا المرستيمية او البالغة دون ان ترتبط بعملية انقسام الخلية الموجودة فيها البلاستيدات .وتتكون البلاستيدات في الخلايا المرستيمية من اجسام بروتوبلازمية صغيرة تعرف بالproplastids او تنشا من انقسام البلاستيدة الخضراء الى بلاستيدتين.

ومن الجدير بالذكر ان البلاستيدات لا توجد في البكتيريا والفطريات او الخلايا الحيوانية بصورة عامة كما قد تحتوي الخلية النباتية الواحدة على بلاستيدة واحدة كما في انواع بعض الطحالب .
اما النباتات الراقية فان خلاياها قد تحتوي على ما يقارب ١٠٠ بلاستيدة هذا وان البلاستيدات تكون مختلفة الاحجام والاشكال فقد يختلف حجمها (طول اطول قطر فيها) من ٢-٥ مايكرون كما ان شكلها يتغير تبعا لاختلاف النباتات والعوامل البيئية كالضوء فقد تكون البلاستيدات كروية او بيضوية او شريطية او بشكل الفنجان.
انواع البلاستيدات:-

تقسم البلاستيدات على اساس وجود او عدم وجود الصبغات الى بلاستيدات ملونة وخضراء وعديمة اللون ويمكن للبلاستيدات ان تتحول من صورة الى اخرى فالبلاستيدات الخضراء في الازهار والثمار الصغيرة تتحول الى بلاستيدات ملونة في الازهار المكتملة النمو ةالثمار الناضجة كما في الطماطة كما ان البلاستيدات العديمة اللون تتحول الى بلاستيدات خضراء عند تعرضها الى ضوء الشمس كما في درنات البطاطا
واليك انواع البلاستيدات :-
١-البلاستيدات عديمة اللون او البيضاء white plastids or leucoplasts

ان هذه البلاستيدات لا تحتوي على الصبغات في الخلايا النباتية غير المكتملة النمو وكذلك في الخلايا غير المعرضة للضوء فقد توجد في درنات البطاطا او البذور او الجذور او السيقات او غير ذلك من الاجزاء التي تخزن النشأ كما توجد في خلايا الطبقة الخارجية للاوراق(البشرة) . ان هذه البلاستيدات ذات اشكال متعددة ويتغير شكلها لانها ذات قدرة عالية على التمدد والمطاطية .ان وظيفة البلاستيدات عديمة اللون هي تكوين وخزن النشأ .هذا وان البلاستيدات عديمة اللون توجد في عدة حالات هي :

أ- البلاستيدات الفتية proplastids
وهي البلاستيدات الموجودة في الاطوار الاولى من تطور الانسجة وبمجرد تعرضها لضوء الشمس تتحول الى بلاستيدات خضراء .

ب- البلاستيدات ال etioplasts

وهي حالة ناتجة عن حرمان الورقة من ضوء الشمس وفي هذه الحالة تختفي صبغات الكلوروفيل وتصبح البلاستيدة عديمة اللون .

ج- بلاستيدة النشأ amyloplasts

تقوم هذه البلاستيدات بتحويل السكر الى نشأ ثم تخزنه في داخلها ويعرف هذا النوع من النشأ بالنشأ المخزون (reserve starch) .ويختلف النشأ المخزون الذي يتكون في البلاستيدة العديمة اللون عن النشأ المنقول الذي يتكون في البلاستيدة الخضراء في ان الاول ذو حبيبات كبيرة الحجم ويوجد باعداد قليلة في حين ان نشأ الكلوروبلاست يكون ذا حبيبات صغيرة الحجم وباعداد كبيرة ويختفي في الظلام بسبب تحوله الى سكريات تنتقل الى انسجة النبات الاخرى ..
هذا وتتكون النشأ داخل البلاستيدات عديمة اللون لانها تحتوي على الانزيمات التي تحول سكر الكلوكوز الى نشأ بشكل حبيبات صغيرة الحجم ثم تكبر باضافة طبقات جديدة فينتج عن ذلك انتفاخ البلاستيدة التي تنفجر في النهاية وقد تتكون اكثر من حبيبة نشأ واحدة داخل البلاستيدة الواحدة.

د- بلاستيدات الدهن elaioplasts
وهي بلاستيدات تقوم بخزن الزيوت والدهون وقد تتكون بداخلها بعض الحبيبات النشوية ويعتقد بان المواد الدهنية في النباتات تنشأ في البلاستيدات .كما يعتقد البعض الاخر بانها اكثر انتشارا في نباتات ذوات الفلقة الواحدة .

ه- بلاستيدات البروتين ALEURONPLASTS OR PROTEINPLAST
وهي البلاستيدات التي تقوم بتخزين المواد البروتينية بكمية اكبر نسبيا لحين حاجة النبات اليها.

هذا وتستطيع البلاستيدات العديمة اللون ان تتحول من شكل لاخر لوفرة الانزيمات فيها فهي تستطيع تكوين النشاأو الدهون او البروتينات حسب نوع البلاستيدة ونشاطها.

٢-البلاستيدة الملونة CHROMOPLASTS

وهي بلاستيدات ذات الوان مختلفة عدا اللون الاخضر والبرتقالي والاحمر ويتوقف اللون على نوع الصبغة الكاروتينية (CAROTENOIDS) الموجودة في البلاستيدة وعلى كميتها.تختلف هذه البلاستيدات في الشكل فمنها القرصي و الخيطي والحلزوني والمضلع والبلوري .

هذا وتعد البلاستيدات الملونة مسؤولة عن اللون في الازهار والثمار والجذور كما في ثمار الطماطة وجذور الجزر.

اما وظيفة البلاستيدات الملونة فغير واضحة ولكن يعتقد بانها تجتذب الحشرات الى الازهار لتسهل عملية التلقيح او تلوين الثمار باللون الجذاب كما يعتقد بان لها نشاطا في عملية التركيب الضوئي كما في :

أ- حوامل الالوان chromatophores في البكتيريا
ب- حوامل الالوان الخضراء الزرقاء bleu green chromatophores -
ت- البلاستيدات الحمراء Rhodoplasts
ث- البلاستيدات البنية pheoplasts

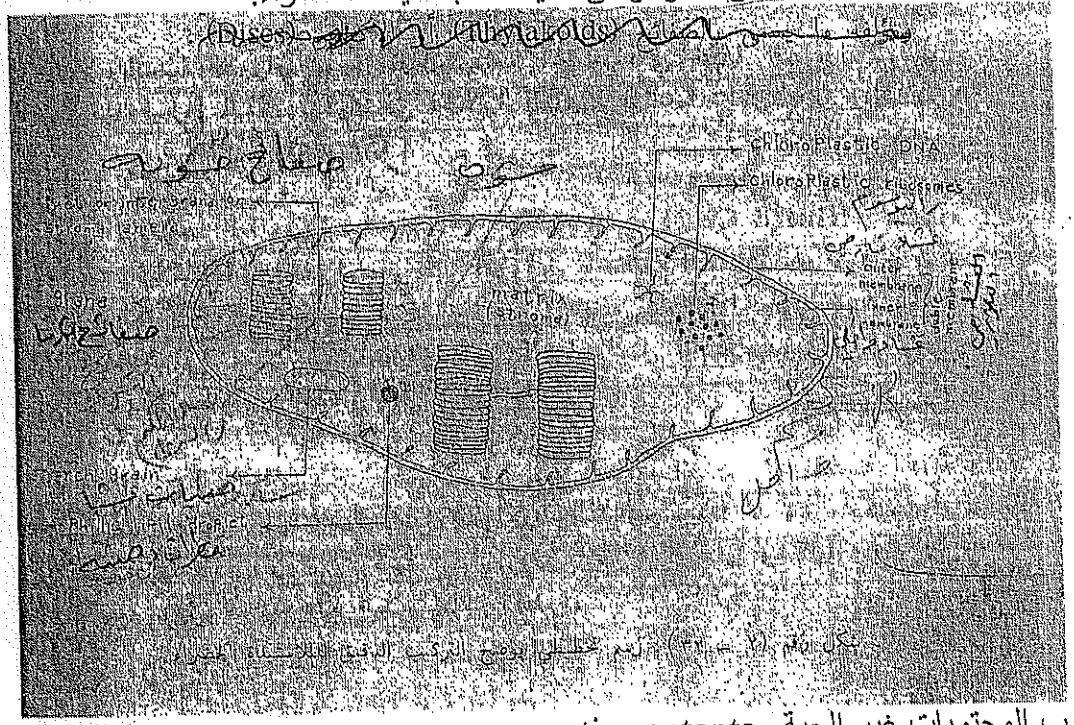
٣- البلاستيدات الخضراء chloroplasts

توجد البلاستيدات الخضراء في اوراق النباتات وفي الاغصان والسيقان الخضراء

وبالنسبة للاوراق توجد البلاستيدات الخضراء في خلايا النسيج المتوسط (الميزوفيل) الذي يتكون من الخلايا العمادية (palisade cells) والخلايا الاسفنجية (spongy cells) كما توجد البلاستيدات الخضراء في الخلايا الحارسة (guard cells) يختلف عدد البلاستيدات الخضراء في خلايا الميزوفيل باختلاف النباتات فقد تتراوح بين ٢٠-١٠٠ كلوروبلاست في كل خلية ورقة قائمة بالتركيب الضوئي في النباتات الراقية.وفي بعض النباتات الواطئة كالاشنات مثل (الكلاميدوموناس) توجد بلاستيدة خضراء واحدة.

ان شكل البلاستيدات الخضراء قد يكون بشكل القرص او العدسة المحدبة الوجهين واما حجمها (طول اطول قطر فيها) فيتراوح بين ٣-١٠ مايكرون او ان طولها ٥ مايكرون وعرضها ٢ مايكرون.

بيد ان حجمها وشكلها يعتمد على الضوء وعلى فعالية هذه البلاستيدات الخضراء.



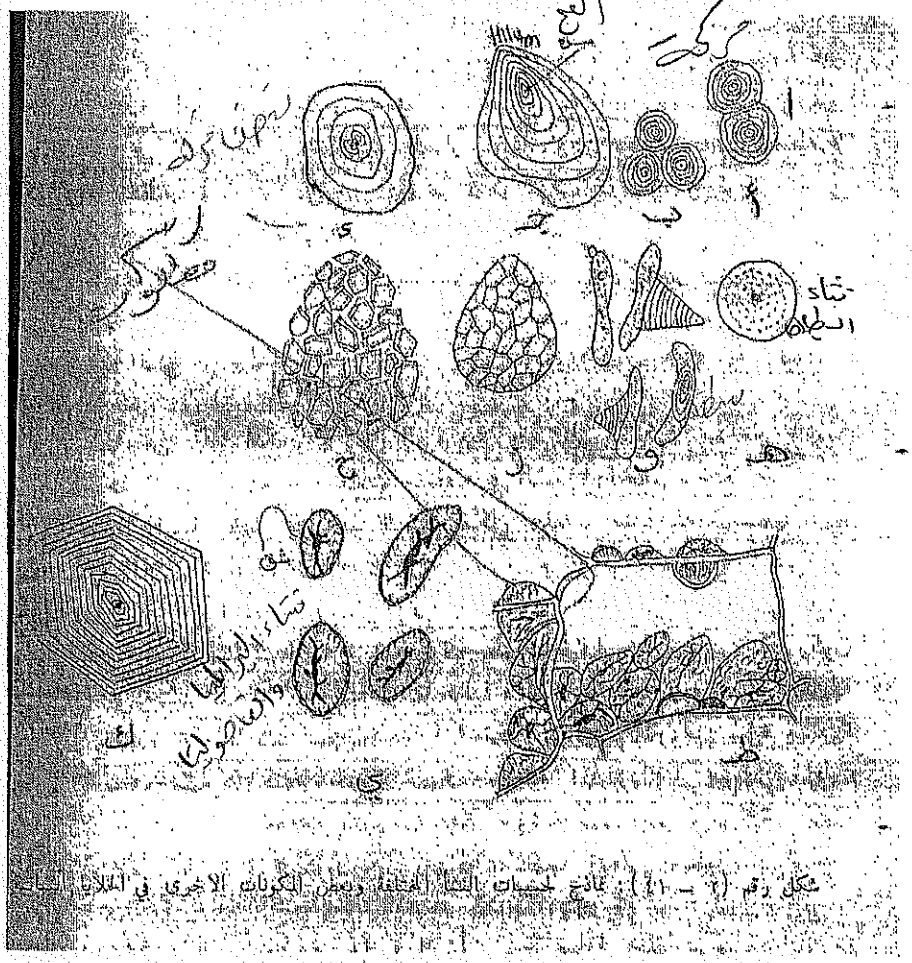
ب-المحتويات غير الحية ergastic contents

وهي مكونات غير حية لا تدخل في تركيب البروتوبلازم بل توجد بشكل ذائب وغير ذائب في عصير الفجوات او في السايتوبلازم على هيئة بلورات او بصورة غير ذائبة .ان هذه المواد هي نواتج العمليات الحيوية كما ان

ووجودها يكون غير مرغوب فيه في السايتوبلازم لتأثيرها الضار عليه وقد يطلق عليها اصطلاح ergastic products وفيما يلي شرح موجز لاهم المكونات غير البروتوبلازمية في السايتوبلازم أو في عصير الفجوات

أ-حبيبات النشا : starch crains

يعد النشا من اهم المكونات غير البروتوبلازمية التي تتكون بداخل الخلية النباتية ويوجد النشا في صورة حبيبات تختلف في الحجم والشكل باختلاف النبات المكون لها .وكثيرا ما تظهر حبيبات النشا بشكل حلقات متداخلة تتوسطها سرة (hilum) قد تكون مركزية centric كما في القمح او تكون جانبية او لا مركزية excentric كما في البطاطا وتظهر السرة على هيئة نقطة كما في حبيبات نشا البطاطا و القمح وقد يظهر شق في موضع السرة قد يكون متفرعا كما في حبيبات نشا البزاليا و الفاصوليا .هذا وتعد حبيبة النشا المحتوية على سرة واحدة حبيبة نشا بسيطة اما اذا تكونت فيها اكثر من سرة واحدة وجمعتهم حلقات مشتركة فتعد حبيبة نصف مركبة اما اذا لم تجمعهم حلقات مشتركة أي ان الحبيبة ناتجة من تجمع حبيبات جزئية فتعد حبيبة مركبة .وهذه الانواع المختلفة موجودة في البطاطا وتعد حبيبات النشا في الرز حبيبات مركبة.



شكل رقم (٢ ـ ١) : نماذج لحبيبات النشا المختلفة ومن المكونات الاخرى في الخلايا

تتكون الحلقات المتداخلة في حبيبة النشا نتيجة تبادل حلقات غنية بالماء مع حلقات غنية بالنشاء . ام السرة فهي غنية بالماء بيد ان البعض يضن ان الحلقات تنتج عن تبادل نوعين من مكونات النشاء هما ال amylase وال amylopectin واختلاف امتصاص كلا المركبين للماء ينتج عنه حلقات النشا عند وضع الحبيبة في الماء لان الـ amylase يمتص بنسبة اكثر من ال amylopectin

كما يترجح ان التغير في الظروف البيئية كالضوء ودرجة الحرارة اثناء تكوين الحبيبات ينتج عنه تكوين هذه الحلقات ولهذا فان تثبيت الظروف البيئية اثناء تكوين الحبيبات يؤدي الى عدم تكوين الحلقات .

ومما يجدر ذكره بأن النشا يتكون في البلاستيدات الخضراء عندما تحتوي الخلية على مواد سكرية بصورة زائدة . واذا قلت محتويات السكر عن التركيز الحرج يتحول النشا الى سكريات ذائبة ولهذا يعد هذا النشا انتقاليا كما يتكون النشا في البلاستيدات العديمة اللون ويخزن بداخلها ولهذا يعد نشا مخزون . هذا ويخزن النشا في الخلايا البرنكيمية للريزومات والدرنات والثمار والفلق واندوسبرم البذور

ب-البروتينات proteins

يوجد احيانا بروتين بشكل مخزون في طبقة الاليرون في حبة القمح وفي بذور الخروع ،تتكون حبيبات الاليرون aleurone grains في حبيبة القمح من بروتين غير متبلور لقد عدت طبقة الاليرون الموجودة في الحبوب مسؤولة عن انبات تلك الحبوب نظرا لتكون بعض الانزيمات المحللة فيها مثل ال amylase وlipase و protease ثم تنتشر هذه الانزيمات الى الاندوسبرم وتهضم الغذاء المخزون وبذلك تساعد في حدوث الانبات.

اما حبيبة الاليرون في بذرة الخروع فتتكون من غلاف خارجي بروتيني يوجد بداخله جسمان عادة احدهما كبير ومضلع يتكون من بروتين نقي يعرف بالجسم شبه البلوري crystalloid نظرا لتشابهه مع الغرويات في قدرته على تشرب الماء والانتفاخ والجسم الاخر صغير وكروي وغير متبلور يعرف بالجسم الكروي globoid

ج-الدهون والزيوت fats and oils

يكثر وجود الدهون والزيوت في خلايا النباتات النشطة فسيولوجيا وتخزن الدهون والزيوت في خلايا الثمار الناضجة والبذور واحيانا في خلايا الدرنات والرايزومات..

د-البلورات crystals

تختلف البلورات الموجودة في الخلايا النباتية في تركيبها الكيمياوي فقد تكون بروتينية وبشكل مكعبات صغيرة كما في درنات البطاطا او تكون مواد سكرية كبلورات الانيولين inulin الكروية الشكل والمتكونة من تجمع جزيئات الفركتوز كما في نباتات الداليا ،، كما تعد بلورات املاح اوكزالات الكالسيوم من اكثر البلورات انتشارا في الخلايا النباتية وهي توجد بصورة مختلفة منها الشكل المعيني rhombic او الشكل النجمي druses الذي يوجد في سيقان وجذور نباتات القطن وقد تكون ابرية الشكل كما في ساق نبات الدارسيا..

ه-التانينات tannins

وهي مجموعة غير متجانسة من المركبات الفينولية التي توجد في الانسجة الميتة كما في الخشب الصميمي heartwood كما توجد في الانسجة المرستيمية وغير المرستيمية وقد توجد في السايتوبلازم والنواة والفجوات العصارية والجدران الخلوية .كذلك قد توجد التانينات بكميات كبيرة وباشكال خشنة او ملساء وذات احجام مختلفة وملونة باللون الاخضر او الاحمر البني.

والغالب ان التانينات لها دور في تشرب الماء كما هو الحال في الغرويات وبذلك تحمي النبات من الجفاف كما يرى بعض اخر انها مركبات مضادة للتأكسد antioxidant أي تحمي المركبات الحيوية المهمة او انها تمنع الاصابة بالكائنات الحية الدقيقة وتمنع التعفن..

و- القلوانيات alkaloids

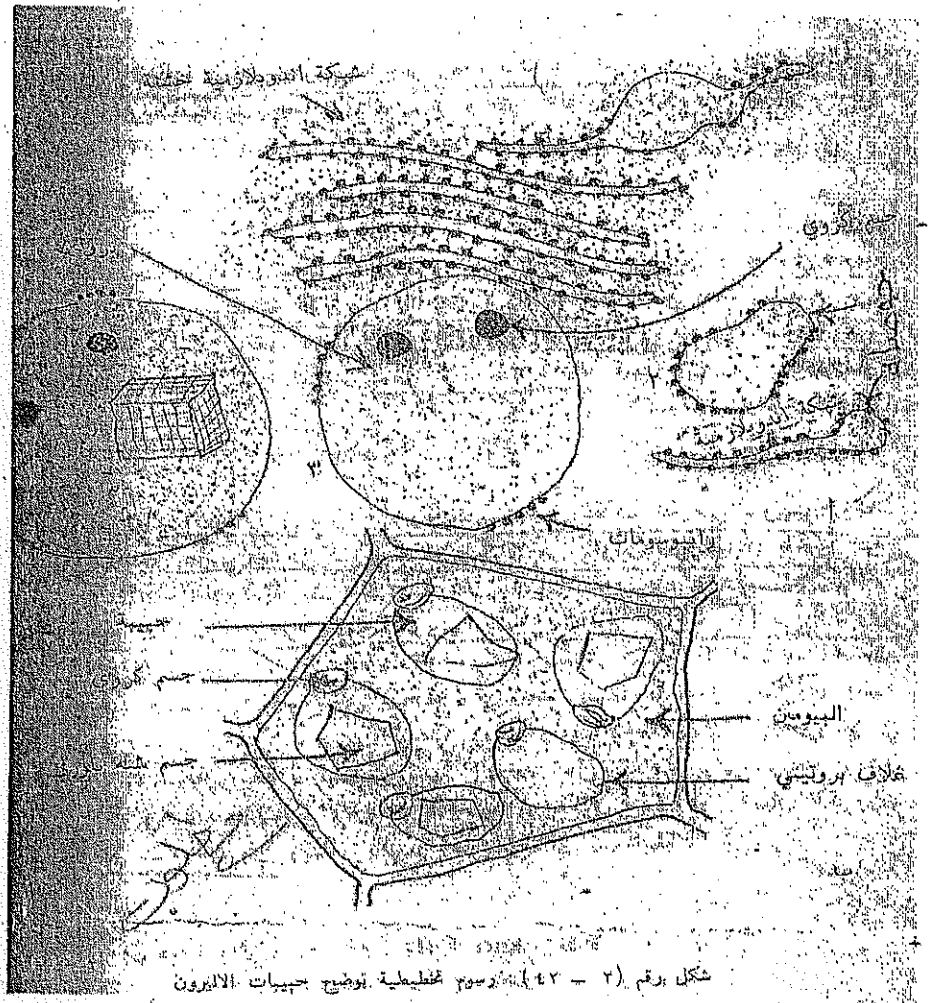
وهي مركبات نتروجينية عضوية معقدة التركيب ولها تاثيرات فسيولوجية على الحيوانات ..

ز- الصبغات pigments

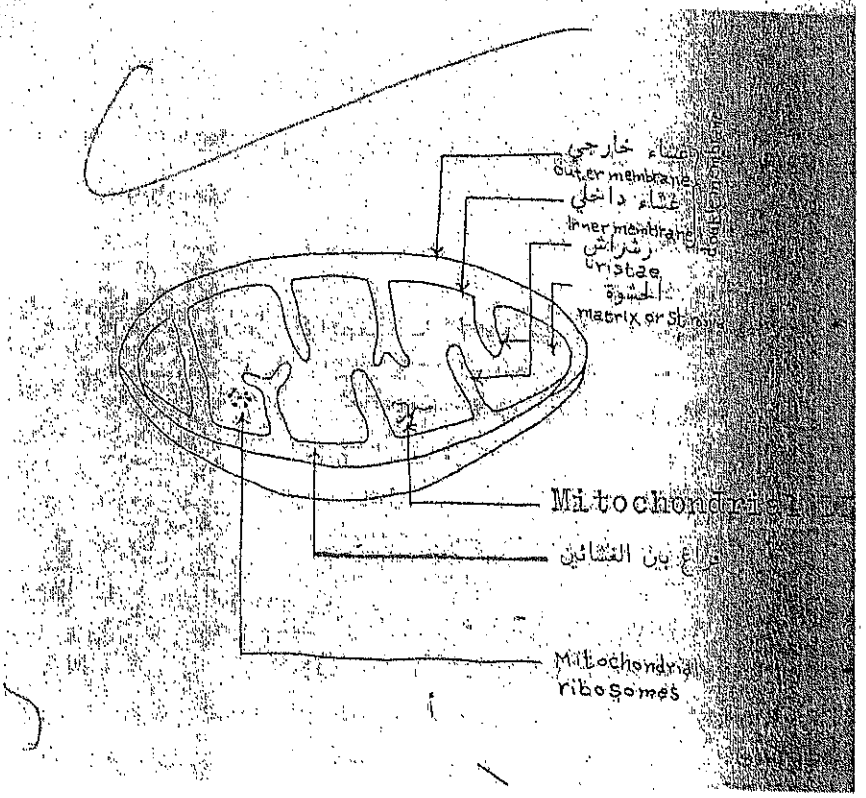
الصبغات النباتية قد تكون غير قابلة للذوبان في الماء وتذوب في الكحول وتوجد في البلاستيدات الخضراء كالكلوروفيل والكاروتين وقد تكون قابلة للذوبان في الماء كالتي توجد في الفجوات العصارية وتشمل الفلافونات flavones ونواتج اكسدتها هي الانثوسيانين anthocyanin المسؤولة عن اللون في كثير من الازهار والثمار والجذور فمثلا تعطي لون ازهار حنك السبع ويتغير لون الانثوسيانين تبعا لدرجة الحموضة ففي الوسط الحامضي ،تكون ذات لون احمر ،وفي الوسط القاعدي تكون ذات لون ازرق.

هذا ويعزى تلون اوراق بعض الاشجار في الخريف الى قلة نسبة الكلوروفيل والكاروتين وزيادة نسبة الانثوسيانين والتانين وصبغات اخرى غير شائعة..

With my best regard



شكل رقم (٢ – ٤٢) رسوم تخطيطية توضح حبيبات الالبيرون



الأنسجة TISSUES

الكائن الحي يتكون من أعضاء، وكل عضو يتكون من أنسجة وكل نسيج يتكون من خلايا وكل خلية تتكون من عضيات وكل عضيه تتكون من جزيئات كيميائية وكل جزيء يتكون من ذرات.

النسيج عبارة من مجموعة من الخلايا متشابهة في التركيب والوظيفة، وهناك أنواع مختلفة من الأنسجة.

الأنسجة النباتية Tissues Plant

تنقسم إلى نوعين رئيسيين:

١- الأنسجة الإنشائية أو المرستيمية (Merstematic Tissues)

٢ - الأنسجة المستديمة (Permanent Tissues)

أولاً- الأنسجة الإنشائية:

الخصائص العامة:

- الخلايا مكعبة ذات جدر رقيقة وممتلئة بالسيتوبلازم.
- لا يوجد بينها مسافات بينية.
- الأنوية كبيرة نسبيا.
- تخلو الخلايا من الفجوات العصارية.
- لها القدرة على الانقسام.
- توجد هذه الأنسجة في الأجنة النباتية وفى قمة الجذر النامية وقمة الساق ومواضع خاصة في الأعضاء المسنة.

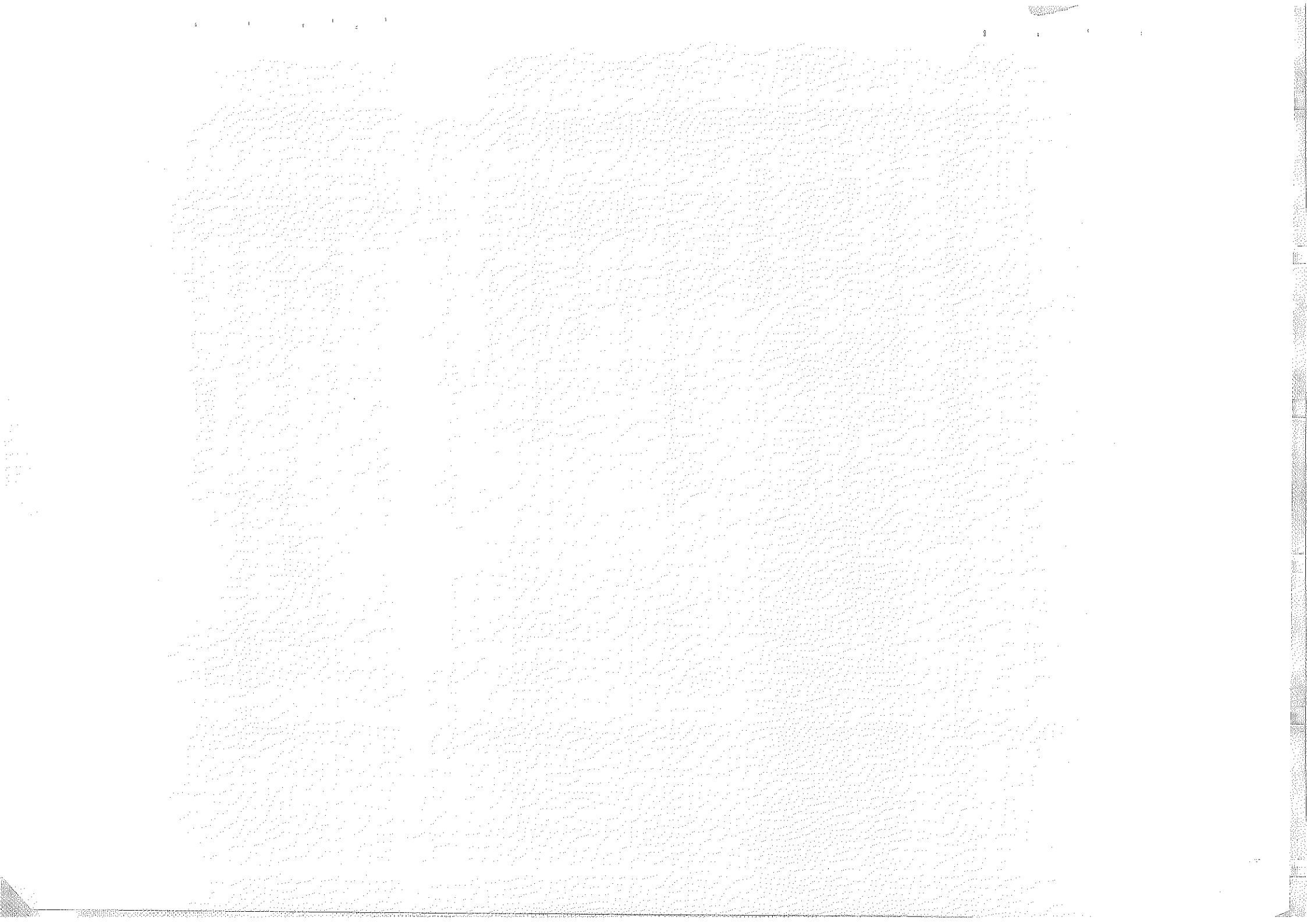
تنقسم الأنسجة الإنشائية إلى قسمين من حيث المنشأ:

أ- أنسجة إنشائية ابتدائية (Primary) :

- توجد في الأجنة النباتية والقمم النامية للجذر والساق.
- كما توجد في بدايات الأوراق والأزهار ومواضع أخرى داخل الساق الحديثة.

ب- أنسجة انشائية ثانوية Secondary:

- أنسجة مشتقة اما من نسيج انشائى ابتدائى مثل الكمبيوم الحزمى.



- أو مشتقة من نسيج مستديم مثل الكمبيوم الفلينى وكلاهما له نفس الصفات العامة للانسجة الانشائية ويختلفان فقط من حيث المنشأ.

ثانياً- الأنسجة المستديمة:

الخصائص العامة:

- الخلايا أكبر حجما وأقل في كمية السيتوبلازم من خلايا الأنسجة الإنشائية.
- الفجوة العصارية تكون دائما كبيرة.
- تكثر الفراغات بين الخلوية.
- يتغلظ جدار الخلايا في بعض الأنسجة تغلظا مميزا يعطى الخلايا أشكالا مختلفة.

تنقسم الأنسجة المستديمة إلى ثلاثة أقسام رئيسيه:

أنسجة مستديمة أساسية (Proper) .

أنسجة مستديمة ضامة Derma.

أنسجة مستديمة وعائية (Vascular).

أ- الأنسجة المستديمة الاساسية :هناك أنواع عدة لهذا النوع من الانسجة المستديمة:

١- النسيج البارنكيمى Parenchyma:

- الخلايا ذات جدار رقيق كبيرة الفجوات العصارية.
- اسطوانية أو هرمية أو مستديرة الشكل.
- تعمل خلايا النسيج البارنكيمى على تكوين الغذاء وتخزينه.

٢- نسيج الكولنكيمى (Collenchyma) :

- الخلايا مستطيلة ذات جدر سيليولوزية غليظة لامعة.
- تغلظ الجدر غير منظم وتتوسط الفجوات العصارية خلايا هذا النسيج.
- الوظيفة الرئيسية لهذا النسيج هى التدعيم.

٣- النسيج الإسكلرنكيمى: Sclerenchyma

- الخلايا متغلظة الجدار.
- تغلظ الجدار في هذا النسيج منشؤه مادة اللجنين إلى جانب وجود جدارها السيليولوزى العادي.

- تفتقر الخلايا إلى السيتوبلازم والنواة عند نضوجها وبالتالي فإنها خلايا ميتة.
- لخلايا النسيج السكلرنكيمى أشكال مختلفة: الخلايا الرفيعة المدببة عند أطرافها وتعرف بالألياف الإسكلرنكيمية - الخلايا القصيرة السميكة وتعرف بالخلايا الحجرية Stone cells أو الإسكليريدات Sclereids وعادة ما توجد مبعثرة ومنفردة فى حين ان الألياف توجد متجمعة تجمعا منتظما. الوظيفة الأساسية للنسيج هي التدعيم.

ب - الأنسجة المستديمة الضامة:

وظيفتها حماية الأنسجة الداخلية للنبات ضد التبخر والتمزق وفقدان المواد الغذائية القابلة للانتشار.

وتتضمن الأنسجة المستديمةالضامة: نسيج البشرة Epidermis - نسيج الفلين Cork .

أ- نسيج البشرة:

يعمل على تغطية الأوراق والأجزاء الرقيقة من الجذور والسيقان.

يتكون هذا النسيج من:

خلايا البشرة (Epidermal Cells):

- وهي عبارة عن طبقة واحدة من الخلايا تغطيها الأدمة (Cuticle) التي تتكون من مادة شمعية تعرف بالكيوتين Cutin
- تعمل على حماية النبات ضد التبخر.
- يختلف سمك الأدمة باختلاف البيئة.
- خلايا البشرة مستطيلة الشكل أو عدسية بكل منها فجوة عصارية كبيرة. ليس بها بلاستيدات خضراء ما عدا نباتات الظل والنباتات المائية.

الثغور (Stomata):

- وهي عبارة عن فتحات فى الأجزاء الخضراء الهوائية (الأوراق).
- تعمل على الربط بين الفراغات البينية أو الغرف الهوائية لأنسجة النبات والجو الخارجي مساهمة بذلك في عملية تبادل الغازات.
- يحيط بالثغر خليتان حارستان.
- يؤدى الثغر الى الغرفة تحت الثغرية.
- تحتوي الخلايا الحارسة على بلاستيدات خضراء.

- جدار الخلية الحارسة كبير غير منتظم التغلظ.
- الجدر البعيدة عن الثغر رقيقة والقريبة منه سميكة مساعدة بذلك على ميكانيكية الفتح والغلق.

الشعيرات (Trichomes) :

- تنتجها خلايا البشرة.
- تعمل الشعيرات على وقاية النبات وتدعيمه ضد المؤثرات الخارجية.

و تساعد على الامتصاص في حالة الشعيرات الجذرية. ولها أشكال متعددة: منها الشعيرات وحيدة الخلية وهى اما بسيطة أو متفرعة. وهناك الشعيرات متعددة الخلايا، الشعيرات القرصية ، الشعيرات النجمية ، الشعيرات الجذرية

ب- نسيج الفلين:

أثناء النمو الثانوى فى الساق تتمزق البشرة وتتعرض الأجزاء الداخلية للوسط الخارجى ولحماية تلك الأجزاء تستعيد الطبقة الخارجية من خلايا القشرة فى الساق قدرتها على الإنقسام فتنشأ خلايا مرستيمية تسمى الكامبيوم الفلينى فتنقسم تلك الخلايا معطية خلايا تتميز إلى الفلين نحو الخارج وإلى خلايا قشرة ثانوية نحو الداخل فيما يعرف بنسيج البيريدرم والذى عندما يتمزق تتكون العديسات التى تعمل على تبادل الغازات بين داخل النبات وخارجه.

- عبارة عن مجموعة من الخلايا ذات جدار متغلظ بمادة شمعية تعرف بالسوبرين Suberin والتي تساعد على عدم تسرب الماء.
- تموت خلايا الفلين بمجرد تكوينها ، أي أن نسيج الفلين يموت حين النضوج.
- من أمثلة الفلين القشرة الخارجية للبطاطس. كما يوجد في اللحاء الخارجي Bark.

ج- الانسجة المستديمة الوعائية:

أنسجة معقدة أي أنها تحتوى على أكثر من نوع واحد من الأنسجة. تتضمن: الخشب Xylem - اللحاء (Phloem).

١- نسيج الخشب:

يعمل الخشب على نقل الماء والمواد المذابة فيه من الجذر فالساق فالأوراق فالسويقات الزهرية.

يحتوى الخشب على أنواع مختلفة من الخلايا هي:

أ - القصيبات (Tracheids) :

- القصيبات تعتبر الخلايا الاساسية فى الخشب.

- وهى خلايا طويلة ورفيعة مدببة الطرفين مجوفة وميته تحتوى على جدار ثانوى متغلظ بمادة اللجنين الى جانب جدارها السليولوزى.
- يحتوى جدارها على نقر (Pits).
- تعمل القصيبات على التدعيم.
- توصيل الماء والمواد المذابة فيه من مكان الى آخر.

ب - الاوعية (Vessels):

- عبارة عن أنابيب طويلة من خلايا مستطيلة متعددة متراصة بعضها فوق بعض.
- والاوعية مثلها مثل القصيبات تحتوى على جدار ثانوى متغلظ بمادة اللجنين الى جانب جدارها السيليولوزى العادى وهى أيضا مجوفة وميته عند النضوج ولها اشكال مختلفة نتيجة للاشكال المختلفة التى يتخذها تغلظ الجدار الثانوى.
- فهى أما حلقية (Annular) وفيها يكون التغلظ على هيئة حلقات.
- أوحلزونية (Spiral) وفيها يكون التغلظ على هيئة حلزونية على امتداد الوعاء.
- أوشبكية (Reticulate) وفيها يكون التغلظ على هيئة شبكة.
- أوتكون منقرة (Pitted) وفيها يحتوى التغلظ على نقر وهى فتحات دقيقة تخترق جدار الوعاء. كما ان هناك اشكال اخرى للاوعية.
- تعمل الاوعية على توصيل الماء والمواد المذابة فيه من مكان لآخر.

ج - الألياف (Fibers):

- تشبه القصيبات في التركيب إلا أنها أطول وأدق من القصيبات.
- جدارها الثانوي المتغلظ منقر وتجويفها أصغر من تجويف القصيبات. ووظيفة الألياف هي التدعيم فقط.

د - خلايا بارانكيمية (Parenchyma):

- توجد مرافقة للأوعية الخشبية وتعمل على تخزين الأغذية كالنشا والمواد الدهنية.

٢- نسيج اللحاء: يعمل على نقل الغذاء من الورقة فالساق فالجذر أو العكس. يتكون من:

أ - انابيب غربالية (Sieve tubes):

- هي العنصر الأساسي في اللحاء. -
- عبارة عن خلايا اسطوانية متراصة بعضها فوق بعض وجدارها البينية مثقبة.

- تنفذ الثقوب حتى السيتوبلازم وهى خلايا حية.
- تعمل على نقل الغذاء من مكان لآخر في النبات.

ب - خلايا مرافقة (Companion Cell):

- توجد على جانب الأنابيب الغربالية وهى مغزلية الشكل. تساعد الأنابيب الغربالية في التوصيل.

ج - الألياف اللحائية:

- هي خلايا إسكلرنكيمية ميتة طويلة ورفيعة مدببة.
- تعمل على التدعيم.

د - خلايا برانكيمية (Parenchyma): تعمل على تخزين الغذاء.

أنواع المحاليل

يمكن تقسيم المحاليل تبعاً للنقاط التالية:

(أ) بالنسبة لحجم الذرات أو الجزيئات للمادة المذابة:

١) **محاليل حقيقية:** وهي المحاليل التي تمر من ورقه الترشيح بسهوله مثل كلوريد الصوديوم في الماء.

٢) **محاليل معلقة أو المستحلبات:** وهي المحاليل التي يمكن أن نرى المادة المذابة عالقة بالمحلول.بالعين المجردة ولا تمر من ورقة الترشيح ومن أمثلتها الرمل في الماء والزيت مع الماء.

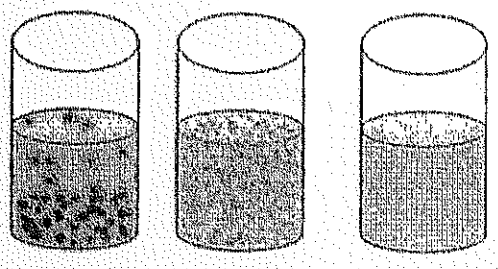
٣) **محاليل غروية :** وهي محاليل لا يمكن أن يمر من خلال ورقة الترشيح ولا ترسب عند ترك المحلول.

(ب) بالنسبة لتركيز المذاب في المحلول)

١- **محاليل مشبعة** :وهي المحاليل التي تكون فيها عدد الجزيئات الذائبة مساو لعدد الجزيئات المترسبة أي إن المحلول يكون في حالة اتزان مع الجزيئات الغير ذائبة عند درجة حرارة معينة

٢) **محاليل غير مشبعة** : وهي المحاليل التي تكون فيها كمية المذاب أقل منها في حالة المحلول المشبع أي إن للمذيب القدرة على إذابة كمية أخرى من المذاب

٣) **محاليل فوق مشبعة** : وهي المحاليل التي تكون فيها كمية المذاب أكبر منها في حالة المحلول المشبع.



المحلول الحقيقي الغروي المعلق

أنواع المحاليل

أولاً المحلول الحقيقي: فية تتجزأ المادة المذابة إلى أيونات أو جزيئات

- لايمكن رؤية وحدات الذائب بأى وسيلة من وسائل الإبصار.
- قطر الجزئي لا يتعدى 0.001 ميكرون (الميكرون 0.001 من المليمتر).
- المحلول الحقيقي محلول ثابت (لاتترسب دقائقه المنتشرة أبدا).

- المحلول الحقيقي له دور هام جداً في الكيان البروتوبلازمي للخلايا النباتية.

مثال : محلول ملح الطعام و محلول سكر القصب.

ثانيا المعلقات والمستحلبات

- **المعلقات :** تتجزأ فيها الماة المراد إذابتها إلى دقائق يمكن رؤيتها بالعين المجردة وتكون في الحالة الصلبة.

غير ثابتة(تنفصل دقائق المادة المذابة عن المذيب و تترسب).

مثال : حالة الرمل المنتثر في الماء(يترسب الرمل)

المعلقات ليس لها دوراً هاماً في الكيان البروتوبلازمى للخلية النباتية.

اكتشاف الغرويات اكتشف الصيدلي الاسكتلندي توماس جراهام عام ١٨٦٠م أن بعض المواد مثل الصمغ والجيلاتين

وتتميز الغرويات بأنها لا تستقر تبعاً للجاذبية الأرضية، فتبقى موزعة في وسط الانتشار كما أنها تشتت الشعاع الضوئي المار خلالها.

لا تمر عبر الغشاء شبه المنفذ، بعكس المحاليل الحقيقية. مثال : الطمي المعلق بماء النهر

النشا في الماء.

محلول هيدروكسيد الحديديك.

تصنيف الغرويات حسب مادة الانتشار و وسط الانتشار : -

نشر غاز في سائل مثل المشروبات الغازية.

نشر غاز في صلب مثل الأحجار في البراكين (تلك الأحجار تتميز بوجود مسامات تكونت لوجود الغازات المنتشرة فيها).

نشر سائل في غاز مثل السحب .

نشر سائل في صلب مثل الزبدة.

نشر صلب في غاز مثل الدخان .

نشر صلب في سائل النشا في الماء.

نشر صلب في صلب مثل الزجاج الملوّن.

تصنيف الغرويات حسب صعوبة أو سهولة تشتت المادة والتي تسمى المادة المتشتتة في وسط التشتت.

المادة التي تكوّن الدقائق تسمى "الصنف مشتت"، أما الوسط الذي تتوزع فيه أو تتشتت فيه الدقائق فيسمى وسط التشتت.

- مما سبق نلاحظ أن هناك صور عديدة من الغرويات علي الصورة السائلة أو الغازية أو الصلبة.
- المتحكم في الصورة النهائية للغروي هو حالة وسط التشتت.(وسط الانتشار)
- على هذا الأساس تنقسم الغرويات إلى قسمين:

أ. غرويات كارهة لوسط التشتت (الليوفوبية) Lyophobic.

ب. غرويات محبة لوسط التشتت (الليوفيلية) Lyophilic

(أ) غرويات كارهة لوسط التشتت (الليوفوبية)

غرويات فيها الصنف المشتت ليس لدية تجانس (لا يميل) إلى وسط التشتت وتسمى غرويات كارهة للوسط المشتت Lyophobic.

إذا كان الماء هو وسط التشتت سميت المحاليل الهيدروفوبية. Hydrophobic

أي أنها الغرويات الكارهة للوسط المشتت ، بمعنى أن الصنف المشتت لا يكون له ميل كبير للوسط المشتت (كالماء مثلاً) فلا يلعب ذلك الدور الأساسي في عملية التشتيت .

ب. غرويات محبة لوسط التشتت (الليوفيلية):

غرويات لديها تجانس (له قابلية وميول) بين المادة المشتتة ووسط التشتت فتسمى غرويات محبة للوسط المشتت Lyophilic.

* إذا كان الماء هو وسط التشتت سميت المحاليل الهيدروفيلية. Hydrophilic

مميزات الغرويات الكارهة لوسط التشتت (الليوفوبية أو الهيدروفوبية) :

١- مصدر الدقائق الغروية مواد لا تذوب بطبيعتها في وسط التشتت مثل المحاليل الغروية للفلزات والكبريت .

٢- دقائقها مشحونة كهربائياً، وتكون الشحنة على جميع الدقائق من نوع واحد.

٣ - لا يمكن وجود مجموعة غروية كارهة بدون وجود الشحنات الكهربية لأن جميع الدقائق تحمل نفس الشحنة سواء كانت سالبة أو موجبة مما يسبب تنافرها مع بعضها البعض .

٤- لزوجة هذه المحاليل لا تختلف كثيراً عن لزوجة وسط التشتت.

٥- تظهر فيها ظاهرة تيندال بوضوح لأن معامل انكسار الوسط المشتت يختلف كثيراً عن معامل انكسار الدقائق المشتتة . (سنفسرها فيما بعد)

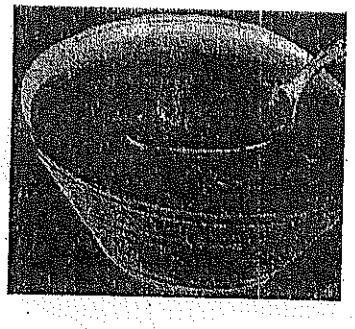
٦- الغرويات الليوفوبية غير انعكاسية، بمعنى أن جامد الغروي أو الجسم الصلب الناتج من تبخير الوسط المشتت لا يمكن إعادته للحالة الغروية بالطرق البسيطة .

الغرويات المحبة لوسط التشتت (الليوفيلية أو الهيدروفيلية) (Lyophilic Colloids)

و هي الغرويات التي تكون فيها تجانس عالي بين المادة المتشتتة ووسط التشتت.

يمكن أن نرى ذلك بوضوح عند تحضير محلول غروي يكون الماء فيه هو وسط التشتت، فيتسلل الماء كوسط تشتت تدريجياً داخل المادة المتشتتة

كالذي نلاحظه عند عمل غروي الجيلاتين.



مميزات الغرويات الليوفيلية:

١- قد تحمل دقائقها شحنات كهربية و لكنها غالباً غير مشحونة .

٢- في حالة ما إذا كانت مشحونة لا تترسب بسهولة لوجود هذه الشحنات ، لأن من طبيعة الوسط المشتت أن يحيط بالدقائق فتنفصل الدقائق عن بعضها .

٣- تتوقف نوع الشحنة الكهربية الموجودة على دقائق هذا النوع على الوسط المحيط بها لا على طبيعة الدقائق نفسها ، و تكون الشحنات من نوع واحد على جميع دقائق الغروي .

٤- تظهر ظاهرة تيندال ضعيفة (لأن معامل انكسار الدقائق المشتتة لا تختلف كثيراً عن معامل انكسار الوسط المشتت) .

٥- محاليلها تكون لزجة وأكثر لزوجة من وسط التشتت. تزداد اللزوجة بزيادة التركيز فيتحول المحلول إلى هلام (Gel)

٦- الغرويات الليوفيلية انعكاسية ... بمعنى أن المادة الهلامية الناتجة يمكن إعادتها للحالة الغروية بسهولة ويعطي عند تبريده مرة أخري هلام .

مثال : محلول الجيلاتين في الماء الدافئ يعطي عند تبريده هلاماً شفافاً يتحول إلى محلول مرة أخرى بالتسخين.

خواص الغرويات

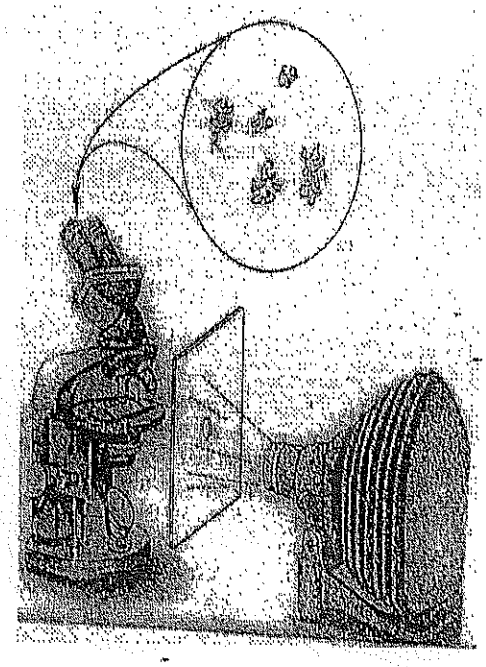
آ- الحركة البروانية Brownian Movement :

لاحظ عالم النبات بروان أن دقائق الغروي في حركة مستمرة على خط مستقيم إلاّ أن تلك الدقائق تصطدم بجزيئات وسط التشتت وبالتالي تغير في اتجاهها، وذلك الاتجاه يكون بخط مستقيم ... مما يجعل حركة دقائق الغروي تشبه حركة Zigzag (متعرجة).

و قد استدل بروان على ذلك عندما لاحظ أن حبوب اللقاح المعلقة في الماء تتحرك دائماً حركة عشوائية مستمرة في مسار متعرج ... فسميت هذه الحركة بالحركة البروانية Brawnian Movement نسبة إليه.

الصفات العامة للغرويات : الصفات العامة للغرويات

الحركة البراونية في المحاليل الغروية.



من الخصائص الفيزيائية المهمة للغرويات قدرتها على الانتشار والحركة البروانية (Brownian motion) والاسترشاد الكهربائي والتناضح (osmosis) والانسياب، هذا إلى جانب الخصائص الميكانيكية والضوئية والكهربائية.

من جهة أخرى، فان قابلية الغرويات للتفاعلات الكيميائية والإمتزاز تلعب دورا مهما وفي بعض الأحيان يكون حاسما في تحديد خصائصها من الناحية الصناعية وغيرها.

يعزى سبب هذه الحركة إلى عاملين: الأول هو تنافر دقائق الغروي نتيجة تشابه الشحنات على كل منها ، والعامل الثاني هو تصادم دقائق الغروي مع جزيئات السائل .

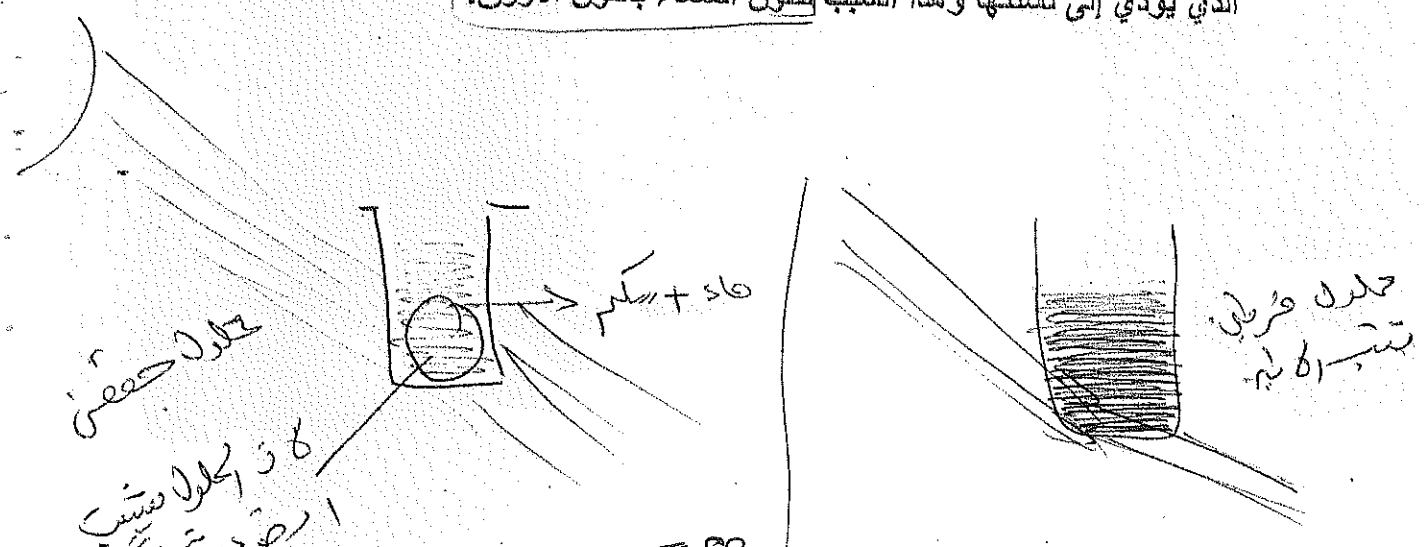
وكلما زادت لزوجة السائل أي تقاربت جزيئاته كلما قلت الحركة البروانية لقلة الفراغ الذي يمكن أن تتحرك فيه بحريّة .... غير أن صغر حجم دقائق الغروي يعطي فرصة لزيادة الحركة البروانية.

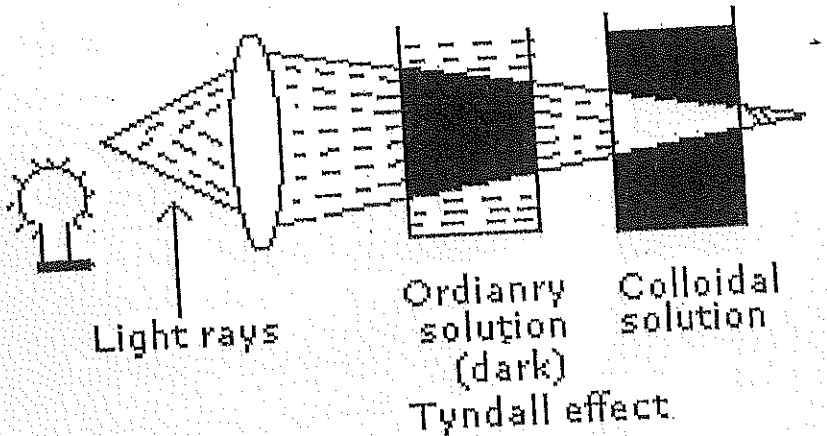
ظاهرة تايندال Tyndall Effect

يمكن تمييز الغرويات عن المحاليل الحقيقية من خلال ظاهرة تيندال ، فعندما يمر شعاع ضوئي خلال محلول حقيقي في كأس زجاجي شفاف فإن مسار الشعاع الضوئي لا يمكن مشاهدته خلال المحلول الحقيقي لأن المحلول يشتت الضوء تشتيتاً ضعيفاً ، بينما عند مرور الشعاع الضوئي خلال الغروي فإنه يمكن مشاهدة ذلك الشعاع خلاله و السبب في ذلك يعود إلى أن الغروي يعمل على تشتيت الأشعة المارة خلاله وهذا ما يعرف بظاهرة تيندال نسبة إلى العالم الفيزيائي جون تيندال.

أشعة الشمس تمر خلال الغروي (ذرات الغبار في الهواء) فتعمل على بعثرة

وتشتيت اللون الأزرق ذو الطول الموجي القصير ...أي أن الموجات الضوئية القصيرة ذات التردد العالي (كالأزرق والبنفسجي) تصطدم بالجسيمات الموجودة في الهواء الجوي الأمر الذي يؤدي إلى تشتتها وهذا السبب لتلون السماء باللون الأزرق.





3) الانتشار Diffusion و التصفية Dialysis :

تتميز الغرويات بعدم قدرتها على النفاذ خلال الأغشية شبه المنفذة، لذلك فإن سرعة انتشار دقائقها أبطئ من دقائق المحلول الحقيقي، لكن الغرويات المحضرة تكون مختلطة بمقادير كبيرة من الإلكتروليت ووجود الإلكتروليت بذلك القدر يعمل على ترسيب الغروي.

لفصل الغروي من الإلكتروليت استخدم جراهام جهاز يسمى المصفى Dialyzer وهو إناء زجاجي يربط على فوهته السفلية الواسعة غشاء شبه منفذ ، ثم يملأ الإناء بالمحلول الغروي المراد تصفيته، ويعلق الإناء بإناء آخر فيه ماء نقي. فيسمح الغشاء بنفاذ أيونات الإلكتروليت ولا يسمح بمرور دقائق الغروي لكبر حجمها حتى يتساوى التركيز داخل الإناء وخارجه. فإذا تم تجديد الماء النقي تسرب جزء آخر من أيونات الإلكتروليت إلى الماء ، و هكذا بدوام تجديد الماء يمكن التخلص من الإلكتروليت تدريجياً.

خاصية الإمتزاز (التجمع السطحي):

دقائق الغروي لديها القدرة على الإمتزاز (الإدمصاص) Adsorption نظراً لمساحة سطحها الكبير .

س/ ما هو مصدر الشحنة الموجودة على الدقائق الغروية ؟

ج/ تحتوي المحاليل الحقيقية على الأيونات الموجبة و السالبة معاً ... كما في محلول كلوريد الصوديوم ، أو قد تكون متعادلة كمحلول السكر ...بينما دقائق الغرويات تكون دائماً مشحونة بشحنة إما سالبة أو موجبة .

يمكن الاستدلال على وجود الشحنة الكهربية على دقائق الغروي إذا وضع تحت تأثير

مجال كهربي (فرق جهد كهربي) فإن دقائق الغروي تتحرك في اتجاه واحد ، ناحية القطب الموجب أو القطب السالب ، مما يدل على أن الدقائق الغروية مشحونة كهربياً من نوع واحد فقط. و تسمى عملية هجرة الدقائق في الحالة الغروية تحت تاثير المجال الكهربي Electrophoresis

تفسير فسلجيا الظاهرة السابقة

يمكن تفسير اكتساب الغروي للشحنة الكهربية بعدة احتمالات:

- - أن الشحنات تتكون من التفكك الذاتي للمحلول الغروي ... كما في المنظفات الصناعية الأيونية.

- يمكن أن تمتز دقائق الغروي بعض الشحنات الموجودة كشوائب في محلول الغروي ... مثلاً : عند تحضير هيدروكسيد الحديديك من تميؤ كلوريد الحديديك تتبقى أيونات حديديك فائضة (شوائب) ؛ فتمتزها دقائق الغروي .

- تتكون الشحنة على دقائق الغروي بحسب الوسط الذي توجد فيه، مثل البروتينات وهي غرويات ... فإذا تواجدت في وسط حمضي أصبحت دقائق الغروي مشحونة بشحنة موجبة ، أما إذا كان الوسط قاعدي فحينها تكون شحنة دقائق الغروي سالبة.

ثبات المحاليل الغروية : Colloids Stability

إن ثبات الغروي يعود إلى وجود الشحنة الكهربية على دقائقه ... فالغرويات الليوفوبية (الكارهة للوسط المشتت) يرجع ثباتها إلى وجود الشحنة الكهربية المتماثلة حول دقائقها مما يؤدي إلى تنافرها و وجود كل منها على حدة ، إلاّ أنها أقل ثباتاً من الغرويات الليوفيلية لأنها تترسب بإضافة كمية بسيطة من الإلكتروليت .

أما الغرويات الليوفيلية (المحبة لوسط التشتت) فإنه بالإضافة إلى شحنتها، تحاط الدقائق نفسها بطبقة من وسط التشتت تعمل كحائل كبير يمنع ارتطامها بعضها ببعض فيجعلها أكثر ثباتاً من الغرويات الليوفوبية .

و يلزم لكي تترسب الغرويات الليوفيلية التخلص من طبقة السائل المحيطة والملتصقة بها، بعد ذلك تتم معادلة شحنات الدقائق بشحنات معاكسة ؛

اي أن ترسيب المحلول الليوفيلي أكثر صعوبة من ترسيب الآخر حيث تتم عملية

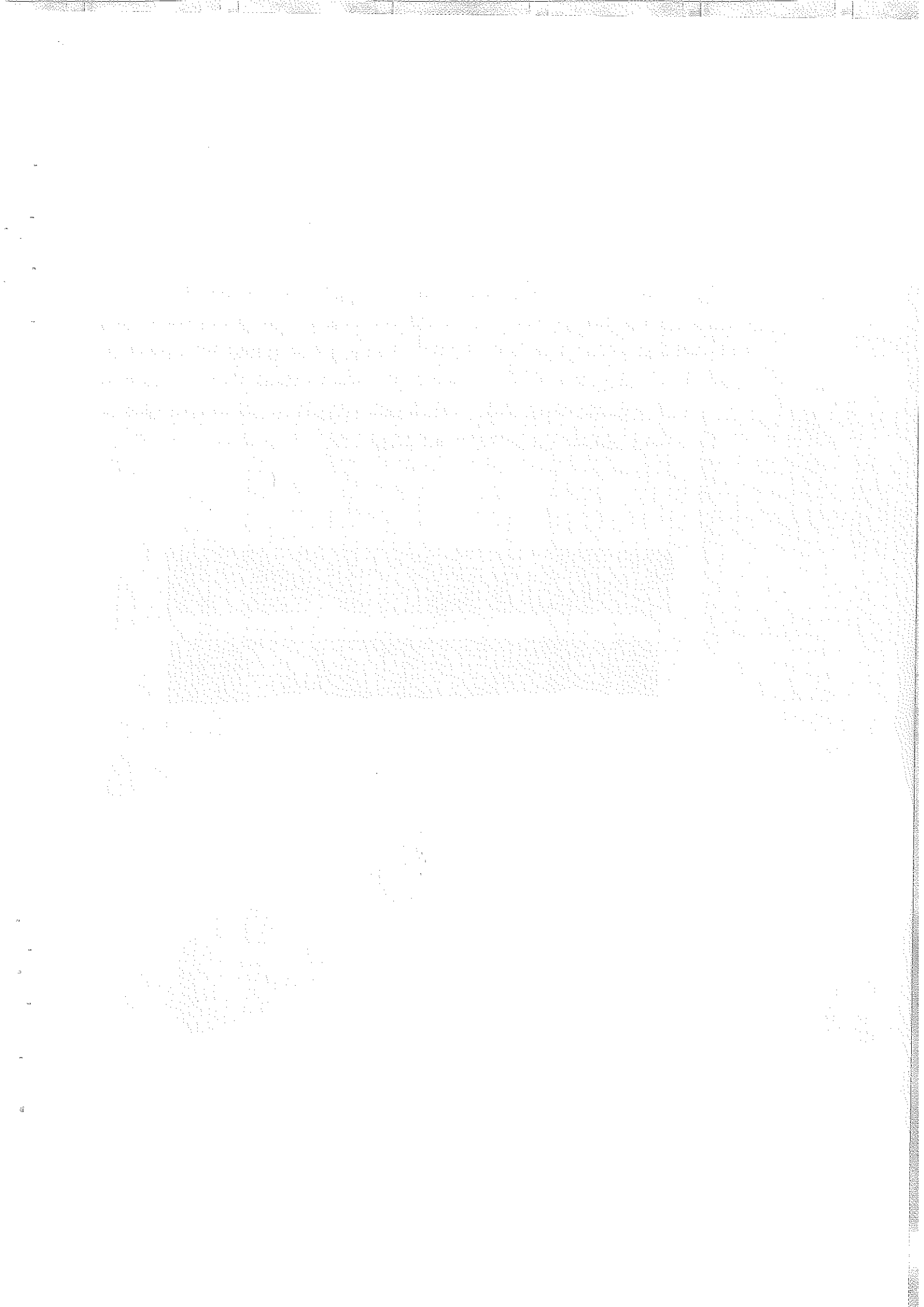
١) نزع للماء ٢) معادلة للشحنة.

ترسيب الغرويات Colloidal Coagulates

إن ثبات الغروي يرجع إلى وجود الشحنة الكهربية حول الدقائق - و يمكن ترسيب الغروي بإزالة هذه الشحنة و ذلك بإضافة زيادة من المحاليل الإلكتروليتية - فبالرغم من أن وجود الإلكتروليتات بكمية صغيرة لازم للحصول على دقائق غروية مشحونة (ثابتة) ؛ إلاّ أن وجودها بنسبة كبيرة يؤدي إلى تعادل شحنات دقائق الغروي بفعل الأيونات المخالفة لها في الشحنة و التي تتوفر في الكمية الكبيرة من المحلول الإلكتروليتي .

مثلاً غروي هيدروكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$ غروي موجب، فإذا أضفنا محلول كلوريد الصوديوم NaCl (إلكتروليت) فإن الشحنة الموجبة لن تلعب أي دور يذكر، بينما أيون الكلوريد السالب يتجاذب مع جزيئات الغروي فيكوّن الراسب.

و من الأمثلة المألوفة استعمال الشب أو كلوريد الحديديك لإيقاف النزيف ، فالدم غروي سالب الشحنة بينما أيونات الحديديك موجبة الشحنة فهي مجلطة قوية للدم. و قد توصل كل من هاردي و شلز Hardy & Schultze إلى أن الأيون الفعال في ترسيب أو تجلط الغرويات هو الأيون ذو الشحنة المخالفة لشحنة دقائق الغروي ، كما أن قدرة الأيون ذو الشحنة الأكبر في عملية الترسيب أكبر من الأيون ذو الشحنة الأقل ... فمثلاً أيونات الكالسيوم Ca^{2+} أكبر أثراً من أيونات الصوديوم Na^{+}، وأيونات الحديد Fe^{3+} أكبر من السابقتين وهكذا .



الانتشار Diffusion

وهو حركة الأيونات، أو الجزيئات، أو الدقائق المكونة لمادة ما من منطقة تركيزها أو نشاطها فيه مرتفع، إلى منطقة تركيزها أو نشاطها فيه منخفض، كنتيجة لطاقتها الذاتية الحركية. وتسمى القوة الناتجة عن حركة الجزيئات المنتشرة بالضغط الانتشاري Diffusion Pressure. وعلى هذا،

فإن الضغط الانتشاري يتناسب طردياً مع الطاقة الحركية للدقائق المنتشرة وعددها. ويعتمد معدل الانتشار، على تركيز الدقائق المنتشرة في وحدة الحجم ودرجة الحرارة.

وعندما يتساوى تركيز الدقائق المنتشرة في كلا المنطقتين، يقف الانتشار ظاهريا في وحدة زمنية، أي تحدث حالة اتزان ديناميكي. وعندما يتوقف الانتشار ظاهرياً، فلا تحدث زيادة في تركيز الدقائق في إحدى المنطقتين على حساب الأخرى.

مثال

عند فتح زجاجة عطر فإننا نلاحظ تبخر جزئيات العطر ويمكننا شم الرائحة في عدة أماكن بعيدة نسبياً عن مكان فتح الزجاجة، هذا يدل على أن جزئيات العطر تحركت وانتشرت في الهواء واختلطت بشكل متجانس مع مكونات الهواء من أكسجين ونيتروجين وثاني أكسيد الكربون... الخ، هذا الانتشار ناتج عن الطاقة الكامنة في جزئيات العطر.

إن انتشار جزئيات العطر في الجو يمكن أن تحدث بشكل أسرع لو لم يكن هناك غازات محيطة بزجاجة العطر وهي الغازات الجوية الكثيرة، فضغط هذه الغازات أعاق سرعة انتشار جزئيات العطر ولو قمنا بقياس سرعة انتشار غاز معين في زجاجة مليئة بالغازات وقارناها مع زجاجة مفرغة من الغازات لوجدنا دون أدنى شك أن انتشار الغاز في الزجاجة المفرغة كان أسرع بكثير

الجهد الكيميائي: Chemical Potetial

كمية الطاقة الحرة لكل واحد غرام وزن جزيئي للمادة وهذا يعني أننا نسبنا الطاقة الحرة إلى كمية معلومة من المادة.

بناء على مفهوم الجهد الكيميائي يمكننا إذاً إعادة تعريف **الانتشار:**

عبارة عن محصلة حركة أي مادة من وسط يحتوي على جهد كيميائي مرتفع إلى وسط يحتوي على جهد كيميائي أقل وهذه الحركة تعتمد على العشوائية والطاقة الكينيتية او الطاقة الانتقالية للجزئيات أو الذرات أو الأيونات.

والطاقة الكينيتية او الطاقة الانتقالية: هي عبارة عن القوة المسؤولة عن تحريك الجزئيات سواء كانت الجزئيات لسائل أم لغاز.

الجهد المائي Water potential (ψw)

الجهد الكيميائي هو الطاقة الحرة لكل مول (وزن جزيئي) لأي مادة في النظام الكيميائي وبالتالي فإن الجهد الكيميائي للمادة تحت ظروف ثابتة من الضغط والحرارة يعتمد على عدد مولات المادة الموجودة، وفي تناولنا لعلاقة النبات والماء فنحن عادة ما نعبر عن الجهد الكيميائي للماء بالجهد المائي (ψw).

ψw

كلما كان الجهد المائي قليل كلما كان ارتباط الماء بالوسط كبير وكذلك فكلما جف الوسط (التربة) كلما زاد الارتباط بينه وبين الماء اي أن جهده المائي ينخفض وهذا يعتبر ذو اهمية مطلقة في عملية النبات البذري والتي سنتطرق لها لاحقا.

الجهد الكيميائي هو الطاقة الحرة لكل مول (وزن جزيئي) لأي مادة في النظام الكيميائي وبالتالي فإن الجهد الكيميائي للمادة تحت ظروف ثابتة من الضغط والحرارة يعتمد على عدد مولات المادة الموجودة، وفي تناولنا لعلاقة النبات والماء فنحن عادة ما نعبر عن الجهد الكيميائي للماء بالجهد المائي Ψw

كلما كان الجهد المائي قليل كلما كان ارتباط الماء بالوسط كبير وكذلك فكلما جف الوسط (التربة) كلما زاد الارتباط بينه وبين الماء اي أن جهده المائي ينخفض وهذا يعتبر ذو اهمية مطلقة في عملية النبات البذري والتي سنتطرق لها لاحقا.

تخضع الأيونات أو الجزيئات فى انتشارها لعدة قوانين طبيعية نذكر منها:

القانون الأول للانتشار : وفيه أن سرعة الانتشار تتناسب تناسب طردياً مع درجة التركيز.

القانون الثانى للانتشار :وفيه أن سرعة الانتشار تتناسب تناسب عكسياً مع حجم الذرات أو الجزيئات.

القانون الثالث للانتشار: وفيه أن سرعة الانتشار تتناسب تناسب عكسياً مع الوزن الذرى أو الجزيئى.

القانون الرابع للانتشار : وينص على أن الذرات أو الجزيئات تنتقل من نقطة فى الوسط درجة تركيزها فيه مرتفعة، إلى نقطة أخرى فى نفس الوسط.

القانون الخامس للانتشار: وفيه أنه إذا وجد مادتين أو أكثر فى وسط الانتشار، فإن كلا منها تنتشر مستقلة عن الأخرى تمام الاستقلال. وتنطبق هذه القوانين على كل من المذاب والمذيب على حد سواء.

أنتشار الغازات

تنتشر الغازات المختلفة بمعدلات مختلفة حتى ولو كانت تحت نفس العوامل الجوية أن معدل انتشار الغازات المختلفة يتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي لكثافتها النسبية،بمعنى أنه كلما زادت الكثافة النسبية للغاز قل معدل أنتشاره وكلما قلت الكثافة النسبية للغاز زاد معدل انتشاره/والكثافة النسبية للغازهي :وزن حجم معين من الغاز بالنسبة لوزن نفس الحجم من الهيدروجين.أو هي النسبة بين الوزن الجزيئي للغاز والوزن الجزيئي للهيدروجين. كذلك تزداد سرعة انتشار الغاز بزيادة درجة الحرارة حيث تعزى هذه الى الزيادة في الطاقة الحركية للجزيئات كما وان الجزيئات تنتشر بصورة ابطئ كلما كان الوسط التي تنتشر فيه أكثر تركيز ويعزى ذلك الى حرية أنتقال الغاز تكون اقل.

أنتشار السوائل أن معدل انتشار المواد العضوية السائلة مثل الايثر والزايلول والكلوروفورم يعتمد بصفة اساسية على قابليتها للذوبان في الغشاء المائي (وسط الانتشار)التي يفصل بينها ،فكلما كان معدل ذوبان المادة العضوية وامتزاجها بالماء عالي كلما كان معدل انتشارها كبير والعكس صحيح

انتشار المواد الصلبة

يعتمد معدل انتشار المواد الصلبة على قابلية ذوبانها في الوسط الموجودة فيه،فكلما كانت قابلية الذوبان كبيرة كلما كان معدل الانتشار أسرع،كذلك يعتمد على حجم وكتلة الدقائق فكلما كانت الدقائق صغيرة كلما كان معدل انتشارها أسرع.مثل انتشار بلورات السكر في الماءاو انتشار بلورات برمنكنات البوتاسيوم في الماء.

أهمية الانتشار للنبات

أن النبات يحتاج خلال مراحل نموه المختلفة الى مواد تتمثل بالجزيئات أو العناصر الكيميائية الموجودة في التربة أو الهواء حيث تدخل العناصر إلى النبات على شكل ايونات موجبة اوسالبة او جزيئات بعضها يدخل عن طريق الاجزاء الخضرية وبعضها عن طريق الجذور فمثلا يدخل الاوكسجين O_2 عن طريق الثغور اما الماء والايونات الموجبة والسالبة للمعادن فتنتقل من التربة الى النبات عن طريق الجذور ثم تنتقل الى باقي أجزاء النبات حيث تشترك في الفعاليات المختلفة،كذلك فأن النبات يفقد بعض من هذه المواد الى المحيط الخارجي عن طريق بعض العمليات الفسلجية التي تعتمد على مبدأ الانتشار ،مثل فقد الماء من الجزء الخضري على شكل سائل او بخار مائي وطرح ثاني اوكسيد الكاربون والاوكسجين وكذلك المواد المتطايرة.

الانتشار الغشائي للسوائل (الازموزية) والجهد الازموزي osmotic potential

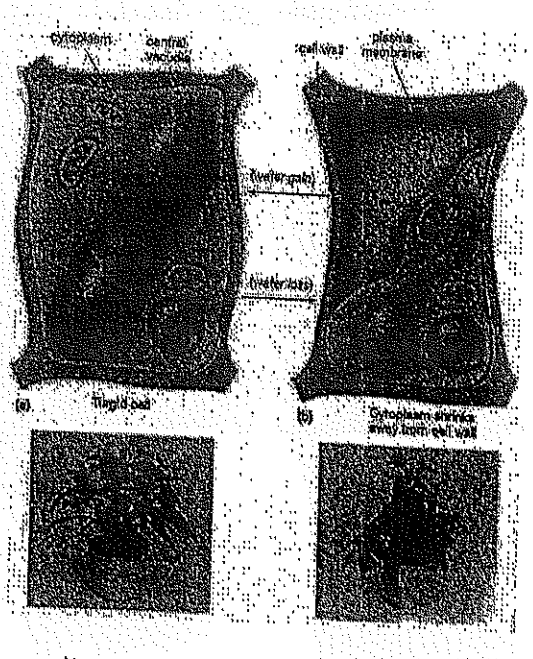
تمثل الازموزية حالة خاصة من الانتشار فهي تمثل حركة جزيئة المذيب الماء خلال غشاء شبه نفاذ Semipermeable membrane اوغشاء ذو نفاذية انتقائية differentilly permeable من الوسط الذي يكون فيه الطاقة الحركية لجزيئات المذيب عالية الى الوسط الذي تكون فيه الطاقة الحركية للجزيئات المذيب واطئة اي من المحاليل ذات التركيز الواطىء (للمذاب) الى المحلول ذات التركيز العالي.

ينشأ عادة ضغط معين عند انتشار المذيب عبر هذه الأغشية يسمى **بالضغط الازموزي** osmotic pressure ويصل هذا الضغط أقصاه عندما يفصل المحلول عن مذيبه النقي بغشاء نصف ناضح . لذا يعرف **بالضغط الازموزي O.P**))على أنه أقصى ضغط يمكن أن ينشا في محلول عند فصله عن مذيبه النقي بغشاء نصف ناضح وان قيمته تعادل الضغط اللازم إحداثه على محلول لمنع دخول الماء اليه عبر الغشاء ،علما إن الضغط الازموزي يتناسب طرديا مع تركيز المحلول،فمحلول واحد جزيئي لمادة غير متأينةله ضغط يساوي ٢٢٠٤بار وأن المواد التي تتاين في الماء كنترات البوتاسيوم وكلوريد الصوديوم على سبيل المثال فأنها تعطي ضغوط ازموزيةأعلى من القيم المتوقعة نظرا لتفكيك جزيئاتها الى ايونات وعلى العكس من ذلك تعطي المواد التي تتجمع جزيئتها في المحلول (مثل المواد الغروية)ضغوط ازموزية اقل بكثير من القيم المتوقعة.

وينتج عن حركة جزيئات المذيب في اتجاة معين ضغط يسمى **بالضغط الا نتفاخي** turger pressure والذي يحد من حركة الماء في ذلك في الاتجاة

يعرف الضغط الانتفاخي على انة الضغط الذي يتكون داخل الخلية والذي يدفع الغشاء والجدار الخلوي نحو الخارج ويكون الضغط الانتفاخي موجب في الخلايا الحية، والضغط الانتفاخي بكون مساوي للضغط الازموزي للخلية عندما تكون الخلية في حالة توازن تام مع الماء أي في حالة ان الجهد الازموزي يساوي صفر.

ضغط الامتلاء (الضغط الانتفاخي) Turgor pressure (ψp)



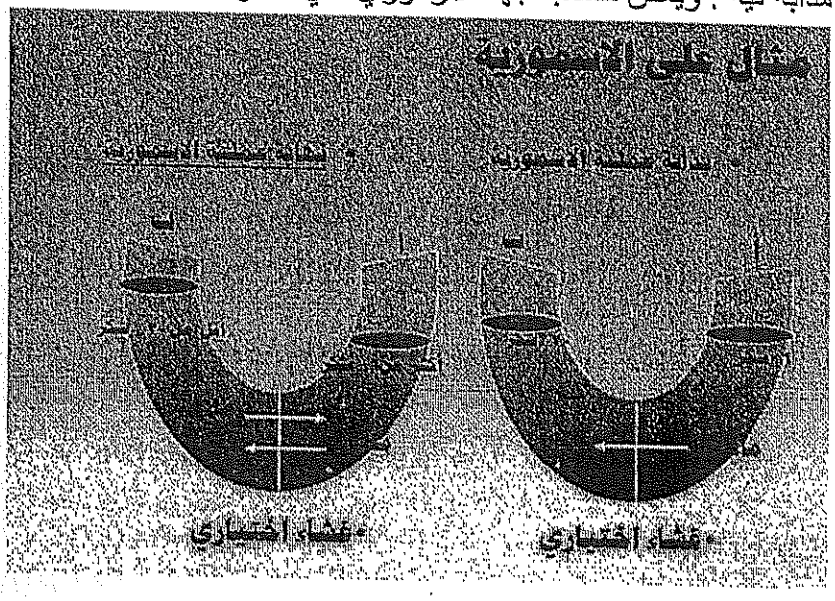
الجدار الخلوي ذو الصلابة والتركيب الغير مطاطي نسبياً يغلف الخلية النباتية وغشائها البلازمي Plasmalemma الاختياري النفاذية، هذه الصفات الفريدة للخلية النباتية تجعلها تعيش دائماً تحت مدى واسع من التركيزات الأزموزية بعكس الخلية الحيوانية التي يمكنها أن تعيش فقط في محاليل ذات تركيزات أزموزية متشابهة تماماً)

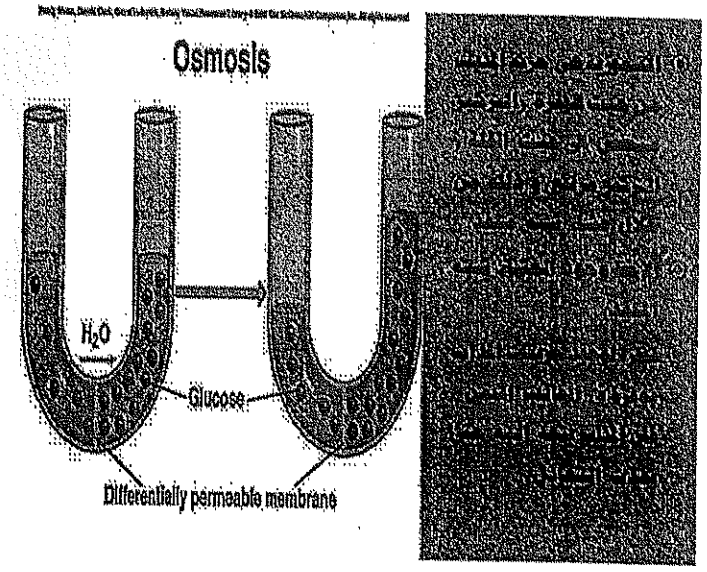
عند وضع الخلية النباتية في ماء نقي فإنها تنتفخ ولكنها لا تنفجر وبسبب سالبية الجهد الأزموزي لمحلول الفجوة (العصير الخلوي) فإن الماء يتحرك إلى الخلية ويسبب دفع الغشاء البلازمي ناحية الجدار الخلوي.

الكمية الحقيقية للضغط الذي ينشأ يسمى بضغط الامتلاء Turgor pressure فالجدار الخلوي يصبح متصلباً ويظهر ضغطاً مساوياً ولكنه عكسي وهو ما نسميه بضغط الجدار wall pressure ونتيجة لهذا التبادل الفعلي بين هذه القوى فإن الخلية النباتية تحت هذه الظروف يقال عنها أنها منتفخة. وبالتالي فان عملية الامتلاء تظهر عندما تكون عملية الري والامتصاص جيدة وتظهر الاوراق يانعة ومنتفخة وأول علامات نقص الماء سهلة الملاحظة في النبات وهو نقص امتلاء خلايا الورقة والذي يعطي للأوراق مظهر الذبول .

يعرف الجهد الازموزي والذي يرمز لة (ψs-) وهو مقدار النقص الحاصل في جهد الماء نتيجة لوجود واحد او اكثر من المواد الذائبة فية وتكون اشارته سالبة والجهد الازموزي مساوي للضغط الازموزي ولكن يعاكسة في الاشارة ان الجهد الازموزي للماء يساوي صفر وهي اعلى قيمة لطاقة الماء تكون جزيئاتة حرة الحركة وغير معقدة او معابجزيئات

مذابة فيه . ويمكن حساب جهد الازموزي لاي محلول اذا عرفنا مقدار المادة المضافة





الخاصية الازموزية في الخلايا النباتية (البلزمة plasmolysis

ان الخلية محاطة بجدار سيلوزي منفذ لاغلب انواع المحاليل الغروية في الخلية النباتية فجوة عصارية او اكثر بمحاليل نشطة ازموزيا (املاح وسكريات) ويحاط بروتوبلازم الخلية بغشائين بلازمين احدهما مبطن للفجوه العصارية يسمى غشاء الفجوة vacuolar membrane والاخر مبطن لجدار الخلية يسمى plasma membrane وهي اغشية ذات نفاذية انتخابية مشابهة في سلوكها الى اغشية نصف ناضجة الصناعية .لذالك ممكن اعتبار الخلية النباتية كنظام ازموزي osmtic system ففي النظام الازموزي ينتقل الماء من المحاليل ذات التركيز المنخفض للمذاب الى المحلول الاكثر تركيز فاذا كان تركيز العصير الخلوي اقل من تركيز المحلول خارج الخالية فان الازموزية تنعكس في هذة الحالة اي ان الماء ينتقل من فجوة العصارية الى الخارج خلال الاغشية البلازمية ونتيجة لذالك فان الخلايا تتكمش عن حجمها الاصلي وايضا ينكمش السايتوبلازم عن صورته الاصلية وتسمى هذةالظاهرة بالبلزمة plasmolysis

وان البلزمة نوعان :

١البلزمة مستديمة permanent plasmolysis وهذة تحدث عند وضع الخلية في محلول زائد التركيز ويكون الغشاء غير منفذ لجزيئات المادة المذابة في المحلول الخارجي .

١٢٠بلزمة مؤقتة temporary plasmolysis وهذا النوع يحدث عند وضع الخلية في محلول زائد التركيز ويكون الغشاء البلازمي في هذه الحالة يسمح لجزيئات المادة المذابة في المحلول الخارجي ان تنفذ خلال العصير الخلوي فتحدث البلزمة في بادى الامر ومن ثم تتعادل .

في حالة وضع هذه الخلية في محلول مخفف او ماء فان الماء ينتقل الى داخل الخلية عبر الاغشية العصارية ويعود السايتوبلازم و الخلية الى شكلها الاصلي وتسمى هذه الحالة الشفاء من البلزمة healing يسمى هذا النوع من المحاليل بمحلول منخفض الازموزية Hypotonic Solution اما اذا كان المحلول الخارجي الذي يحيط بالخلية ذات تركيز مساوي لتركيز العصير الخلوي فان هذا المحلول يسمى سوي التركيز isotonic Solution اما اذا كان تركيز المحلول الخارجي أعلى من تركيز العصير الخلوي فأن هذا المحلول يسمى محلول زائدالتركيز Hypertonic Solution.وهو المحلول الذي يسبب الازموزية.)

healing

الدور الذي يلعبه الضغط الازموزي والخاصية الازموزية في حياة النبات

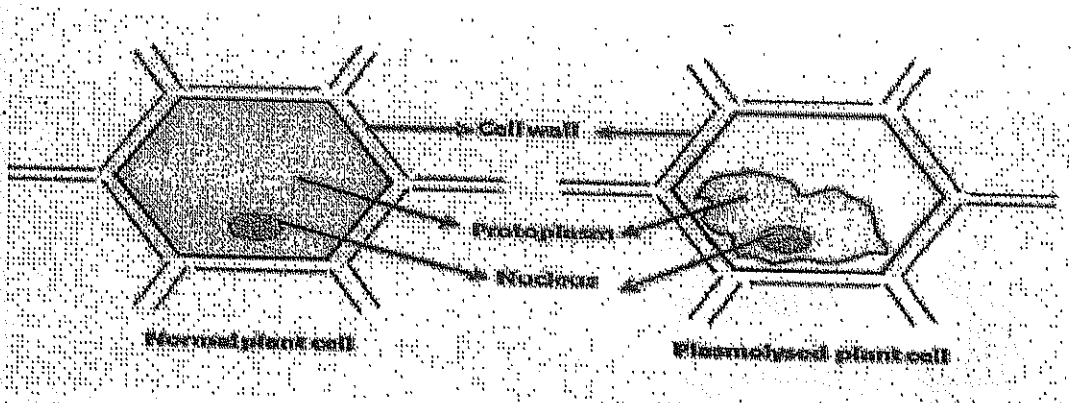
١-امتصاص الماء من التربة بواسطة الشعيرات الجذرية وانتقاله الى باقي اجزاء النبات يتم بالخاصية الازموزية.

٢-تعمل الازموزيةعلى أبقاء الخلايا النباتية في حالة امتلاء والخلية الممتلئة تكسب النبات صلابة وخاصة في الانسجة التي لم يتكون فيها أجهزة دعامية كمناطق النمو في الساق والجذر،تساعد هذه الصلابة الجذر على اختراق التربة وتساعد الساق على الاحتفاظ بقوامه،كما ان الخلايا الممتلئة هي وحدها التي لها القدرة على النمو والانقسام والقيام بسائر عمليات التحول الغذائي.

٣-تعمل الازموزية على توزيع الماء في جسم النبات،فاذا قل الماء في نسيج نباتي فأنه نظرا لارتفاع ضغطه الازموزي يسحب الماء من نسيج اخر مجاور له يكون ضغطه الازموزي منخفض.

٤-تزيد التراكيز الازموزية العالية مقاومة النبات لدرجات الحرارة العالية والجفاف بمعنى ان زيادة تراكيز العصير الخلوي من شانه ان يخفض درجة الحرارة ويقلل من فقد النبات للماء.

٥-ترتبط عملية فتح وغلق الثغور بالضغط الازموزي للخلايا الحارسة،فارتفاع الضغط الازموزي يصاحبه انفتاح الثغور بينما انخفاضه يسبب انغلاقه



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 (-١٤ بار) وضغط إمتلاء يساوي (٤ بار)، أما الخلية B فهي ذات جهد مائي (-١٦ 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 Imbibition

يعتبر التشرب إحدى طرق انتشار الماء في النبات وكما هو الحال في الأزموزية يمكن اعتباره نوعاً خاصاً من الانتشار، إلا أنه في حالة التشرب تدخل المادة الادمصاصية Adsorbant والتي تكون عادة مادة صلبة أو غروية أو جافة،

والادمصاص هو ما يسبق الامتصاص أو الانتشار وهو الانجذاب الذي يحدث بين الشحنات السالبة للمواد المحبة جداً للماء وهي ما نسميها (colloides) مثل (المواد العضوية والمعدنية) وقطب الماء الموجب.

عملية الانجذاب هذه تسمى Electrostatistics فعند وضع المادة الجافة للنبات في الماء نلاحظ حدوث انتفاخ ملحوظ وبالتالي زيادة في الحجم ويمكن أن ينشأ ضغط هائل لو حُبست المادة الادمصاصية داخل حيز صغير ثم يسمح لها بتشرب الماء، وعلى سبيل المثال "خابور" الخشب الجاف الذي يوضع في حُفرة صغيرة الحجم بين الصخور في الجبال ثم يسقى بالماء فينتج ذلك ضغط هائل يؤدي إلى تكسير الصخور وهذه الطريقة كانت تستخدم لتقطيع الصخور والأحجار في الماضي.

العوامل اللازمة للتشرب Condition necessary for imbibition

هناك حالتان لازمتان لكي يحدث التشرب

ا- تدرج الجهد المائي لابد أن يقع بين سطح المادة الادمصاصية والسائل المُتشرب وهنا تتم عملية التصاق سطحي المادة الادمصاصية والمُتشربة (سائلة أو غازية) وهذا نتيجة ارتفاع واختلاف في تركيز المواد.

ب- لابد أن يوجد قابلية امتزاجية بين مكونات المادة الادمصاصية والمادة المدمصة او المُتشربة.

تظهر مواد النبات الجافة سالبية جداً للجهود المائية، على سبيل المثال بعض البذور الجافة قد أظهرت جهداً مائياً=-٩٠٠ بار (bars) وبالتالي عند وضع هذه البذور في ماء نقي يحدث انحدار شديد في تدرج الجهد المائي وتمتص نتيجة البذرة كميات كبيرة من الماء حتى يتساوى جهد الماء الخارجي مع جهد الماء داخل البذرة نظرياً وعند هذه النقطة ينشأ الاتزان ويتوقف التشرب وتحرك الماء من وإلى المادة الادمصاصية يكون متساوياً في الكمية.

جهد الحشوة Matric potential

هو نظير الجهد الأزموزي من حيث أنه الضغط الأقصى التي تظهره المادة الادمصاصية الصلبة او الغروية الجافة عندما تغمس في الماء النقي. وهو بالتالي الضغط الفعلي الذي يتولد عندما تتشرب هذه المادة الادمصاصية الماء، حيث كان سابقا يسمى بضغط التشرب ولذلك فهو نظير الجهد الازموزي ولكن تم تبديل المصطلح ليصبح ضغط او جهد الحشوة:

المعادلة السابقة كانت:

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

ψw = الجهد المائي.
ψs = الجهد الازموزي
ψp = ضغط الامتلاء.

ويمكن تبديل الجهد الازموزي بجهد الحشوة ψm وهو فتصبح المعادلة:

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

ولا ينشأ ضغط الامتلاء ψp عندما تكون المادة الادمصاصية حرة او غير حية أي انه لايوجد قوى اخرى وبالتالي فالمعادلة السابقة في هذه الحالة يمكن تبسيطها:

$-\psi w = -\psi m$

العوامل المؤثرة على معدل ومدى التشرب
Factors affecting rate and extent of imibition

أهم العوامل التي تؤثر على التشرب هي:

a- درجة الحرارة.
b- الجهد الأزموزي.

a- الحرارة

يتأثر معدل ومدى التشرب بالحرارة ودرجة الحرارة لا تؤثر على كمية الماء التي تأخذها المادة الادمصاصية ولكن لها تأثير محدد على معدل التشرب فزيادة درجة الحرارة تسبب زيادة في معدل التشرب.

b-الجهد الأزموزي

تتأثر كمية الماء المتشرب ومعدل التشرب بالجهد الأزموزي للمادة المتشربة وإضافة المذاب للماء النقي يسبب سالبية أكثر للجهد المائي، هذه الإضافة لها تأثير مغير للتدرج للجهد المائي بين ماء المحلول والمادة الادمصاصية، تدرج الجهد المائي يصبح أقل انحداراً عما إذا غمست المادة في ماء نقي وبالمثل فإن النقص في تدرج الجهد المائي سوف يسبب نقص في المعدل الذي فيه يتشرب الماء، وبالتالي الكمية المأخوذة من الماء.

﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ﴾]المجادلة: ١١[.

tropica
P. vivax tertian malaria

L. tropica
L. donovani
L. donovani
L. brasiliensis

donovani brasiliensis
brasiliensis tropica
donovani

P. vivax

P. falciparum

P. vivax
ovale tertian malaria

P. papatasi sand fly

P. ovale

P. falciparum

P. malaria

P. ovale
Falciparum

P. malaria.

Falciparum

ملاريا الثلاث الذي يسبب نوع
٤٨ P. vivax
٤٨ P. ovale
٧٢ P. malaria
٧٢ P. falciparum

التغذية المعدنية للنبات

أمكن معرفة العناصر اللازمة لتغذية النبات وذلك عن طريق استخدام المزارع الرملية والمائية. ووجد أن العناصر التي ثبت أن النبات يعاني نقصاً في النمو عند غياب واحد أو أكثر منها هي:

الكربون ـ الأيدروجين ـ الأكسوجين ـ النيتروجين ـ الفوسفور ـ البوتاسيوم ـ الكبريت ـ الكالسيوم ـ المغنسيوم ـ الحديد. ويسمي بالعناصر الكبرى. هذا بالإضافة إلي بعض العناصر الأخرى الأساسية لحياة النبات ولكنه يحتاجها بكميات بسيطة جداً ومنها: البورون ـ المنجنيز ـ الزنك ـ النحاس ـ الموليبدنم ـ الكلور ويطلق عليها العناصر الصغرى.

شروط العنصر الأساسي:

يكون العنصر اساسيا في تغذية النبات في الحالات التالية:

- لا يستطيع النبات إكمال دورة حياته كاملة في غياب هذا العنصر.
- لا يمكن تعويض غياب هذا العنصر بعنصر آخر.
- لابد وأن يكون له دور مباشر في التحولات الغذائية ويكون تأثره مباشر علي النبات.
- لابد وأن يكون الإحتياج لهذا العنصر واسع الإنتشار وعلي مستوي عدد كبير من النباتات والأنواع.

أهمية العناصر المعدنية للنبات:

- تلعب دوراً مهماً في الحفاظ علي الضغط الإسموزي للخلايا.
- تدخل في تركيب مكونات الخلايا.
- تلعب دوراً في تنظيم درجة PH في الخلية وذلك بتفاعلها مع الأحماض الموجودة بالخلية.
- تلعب دوراً في إحداث التضاد وحماية الخلية من السمية.
- تنشيط الإنزيمات مثل العناصر الصفري.
- تعمل كمصادر للطاقة.

التغذية المعدنية للنبات

أمكن معرفة العناصر اللازمة لتغذية النبات وذلك عن طريق استخدام المزارع الرملية والمائيـة. ووجـد أن العناصر التي ثبت أن النبات يعاني نقصاً في النمو عند غياب واحد أو أكثر منها هي:

الكربون ــ الأيدروجين ــ الأكسوجين ــ النيتروجين ــ الفوسفور ــ البوتاسيوم ــ الكبريت ــ الكالسيوم ــ المغنسيوم ــ الحديد. ويسمي بالعناصر الكبرى. هذا بالإضافة إلي بعض العناصر الأخرى الأساسـية لحيـاة النبات ولكنه يحتاجها بكميات بسيطة جداً ومنها: البورون ــ المنجنيز ــ الزنك ــ النحاس ــ الموليبـدنم ــ

الدور الذي تقوم به العناصر المعدنية في حياة النبات وأعراض نقصها

أولاً: العناصر الكبرى

١ . النتروجين

- يدخل في تكوين الأحماض الأمينية والبروتينات والبروتوبلازم.
- يدخل في تركيب الكلوروفيل والقلويدات والإنزيمات والأحماض النووية.
- يمتص في صورة نشادر أو أمونيا ويضاف للمحاصيل ما عدا البقوليات.
- من أهم أعراض نقصه إصفراراً الأوراق ونقص النمو وصغر حجم الساق والجذور.
- الأوراق السفلي أكثر إصفراراً من العليا في حالة نقص العنصر كما يقل معدل التنفس والبناء الضوئي.

٢ . الفوسفور

- يشترك في تركيب المركبات الغنية بالطاقة.
- يدخل الفوسفور في تركيب مشتقات الدهون والبروتينات النووية ويعمل كمرافق إنزيمي لبعض الإنزيمات.
- يتواجد بنسبة عالية فى البذور والثمار.
- من العناصر المتحركة داخل النبات مثل النتروجين ولذلك يوجد بكثرة في الأنسجة المرستيمية.
- يعمل الفوسفور علي الإسراع في عملية الإزهار بينما النتروجين يؤخر الإزهار.
- من أعراض نقصه: صغر حجم النبات والأوراق والتي تأخذ لوناً قاتماً وقد يظهر اللون القرمزي علي الأعناق والعروق وقد تظهر بقع قرمزية أو بنية علي نصل الورقة وهذا اللون يرجع لتراكم صبغة الأنثوسيانين.
- غالباً يوجد في صورة غير صالحة وغير ذائبة في الأراضي المصرية حيث الوسط القلوي أما في الأراضي الحمضية فيمكن الإستفادة بالفوسفور الموجود بها.

٣. البوتاسيوم

- من العناصر المتحركة ويوجد بنسبة عالية في الأطراف النامية لكل من الجذر والساق والأوراق.
- له دور هام في بناء السكريات والنشا ورفع الضغط الإسموزي للخلايا.
- منظم لعملية فتح وغلق الثغور.
- من أهم أعراض نقصه: إحتراق حواف الأوراق وتشتد هذه الأعراض علي الأوراق السفلية. ويظهر النبات ضعيفاً وقصيراً وأوراق أشجار الفاكهة تتلون باللون الإرجواني وتحتـرق حوافهـا والأوراق المسنة مجعدة ومكرمشة.
- يتوفر بالأراضي المصرية ولكن الأراضي الرملية فقيرة في محتواها من البوتاسيوم.

٤. الكبريت

- يدخل في تكوين البروتينات والأحماض الأمينية سستين وميثيونين وجلوتامين والمرافقات الإنزيمية (أستيل كو أ).
- يدخل في تكوين السيتوكروم وفيتامين الثيامين والبيوتين.
- يدخل في تكوين المواد الطيارة مثل زيت الخردل والثيوكبريتات في البصل والثوم.
- له علاقة ببناء الكلوروفيل وتنشيط إنزيم إختزال النترات.
- أعراض نقص الكبريت مثل النتروجين إلا أنها تظهر علي الأوراق الحديثة.

٥. الكالسيوم

- يدخل في تركيب الصفيحة الوسطي للخلية مع المواد البكتينية.
- ضروري لعمليات الإنقسام الغير مباشر.
- يعادل التأثير السام لحمض الأوكساليك ويترسب في صورة بللورات من أوكسالات الكالسيوم.
- له دور هام في عمليات تحويل النشا إلي سكريات والعكس.
- من العناصر الغير متحركة (ساكن) في النبات ولذلك تبدو أعراض نقصه علي الأوراق العليا والقمة النامية.

- يتحكم في النفاذية الإختيارية للغشاء الخلوي.
- منظم لعملية التنفس وتكوين الميتوكوندريا ومنشط لإنزيمات الفوسفاتيز والكينيز.
- إحتراق حواف الأوراق وتصبح الأوراق غير منتظمة وتموت القمم النامية للسوق وتموت البذور أو تكون ضعيفة التكوين وتموت الأوراق مبتدئة بالأوراق العليا متجهة للقاعدة.
- نقص هذا العنصر يؤدي إلي ظهور أعراض التسمم بالمغنسيوم لزيادة إمتصاص النبات للعنصر الأخير.

٦. المغنسيوم

- يدخل في تكوين الكلوروفيل.
- له دور هام في عملية البناء الضوئي وبناء الكربوهيدرات وبدونه لا تحدث عملية البناء الضوئي.
- ينشط الإنزيمات المصاحبة لتمثيل الأحماض النووية RNA & DNA .
- وجوده ضروري لتنشيط إنزيمات كالفن وخاصة PEP-casboxylase RUBP-Carboxylase &. وكذلك ينشط إنزيمات البروتين.
- نقص هذا العنصر يؤدي إلي إصفرار النصل بينما تظل العروق خضراء.
- نادراً ما تظهر أعراض نقص هذا العنصر في الأراضي المصرية ولكنها تظهر في حالة الأراضي الجيرية التي تحتوي علي نسبة عالية من الكالسيوم أو الأراضي الحامضية أو المسمدة بالنترات.

٧. الحديد

- يعتبر الحديد عنصراً أساسي ولكن بتركيزات منخفضة.
- مهم جداً لتكوين الكلوروفيل ولو أنه لا يدخل في تركيبه.
- يدخل في تركيب إنزيمات الأكسدة (الأوكسيديزات والبيروكسيديزات) والسيتوكروم.
- من أهم أعراض نقص هذا العنصر: إصفرار الأوراق الحديثة بينما الأوراق المسنة تبدو طبيعية وهذا يدل علي أن الحديد من العناصر الساكنة غير المتحركة في النبات.

- تكثر أعراض نقص الحديد في الراضي القلوية فيوجد في صورة غير صالحة للإمتصاص ويعمل وجود النحاس والمغنسيوم علي خفض معدل إمتصاص الحديد وذلك لحدوث ظاهرة التضاد.

ثانياً: العناصر الصغرى

١. البورون

- له دور مهم في تكوين الهرمونات وأيض الدهون وهو عنصر ساكن.
- يعمل كمنظم لمعدل الإمتصاص وفقد الماء وإمتصاص النتروجين.
- له دور مهم في تكوين العقد الجذرية في النباتات البقولية.
- ~~له دور مهم في تكوين العقد الجذرية في النباتات البقولية.~~
- نقصه يؤدي إلي تشوه الأطراف النامية وموت قواعد الأوراق. وتشقق السيقان وتصبح الأوراق قصيرة وسميكة وسهلة التكسير وتتلف الثمار ويظهر عن نقصه أيضاً ظاهرة تعفن القلب في بنجر السكر والقلب البني في اللفت وتشقق ساق الكرفس.

٢. النحاس

- يدخل في تركيب كثير من إنزيمات الأكسدة والإختزال.
- هذا العنصر سام للنبات ولكن ظاهرة التضاد وخاصة في التركيزات المنخفضة تخفف كثيراً من حدة السمية لهذا العنصر.
- كثيراً ما استخدم كمبيد فطري وكذلك للتخلص من الطحالب في المياه الراكدة.
- نقصه يؤدي إلي إصفرار الأوراق في النجيليات وذبولها وعدم ظهور الأعراض علي الأوراق السفلي.

٣. الزنك

- عامل مساعد في تفاعلات إنزيمات الأكسدة والإختزال.
- عامل مساعد في تفاعلات الأوكسينات.
- يلعب دوراً هاماً في تكوين الأحماض النووية والبروتينات.

٤- تظهر أعراض نقصه في أشجار الفاكهة حيث تتشوه الأوراق وتصبح صغيرة

النظريات التي تشرح عملية امتصاص ومرور الأملاح:-

انتقال الاملاح والايونات الى داخل الخلايا يتم التحكم به بواسطة الغشاء الحيوي الذي يحدد نوعية المواد وتراكيزها الداخلة للخلية ويتم هذا الانتقال عبر الغشاء الحيوي بطريقتين،

لانتقال النشط (Active Transport) يحتاج للطاقة.

-الانتقال السلبي (Passive Transport) لا يحتاج للطاقة.

اولا يجب ان نعرف ان المواد تدخل الخلايا تنقسم الى نوعين من:

الاول/ مواد ذات احجام او اوزان جزيئية صغيرة ومواد ذات اوزان جزيئية كبيرة.

الثاني / مواد مشحونة او قطبية ومواد غير مشحونة أي غير قطبية

الانتقال أو الامتصاص النشط "Active transport or absorption" وهو يحدد انتقال المواد او الايونات عكس التدرج في التركيز أي من المنطقة ذات التركيز المنخفض الى المنطقة ذات التركيز المرتفع وهذا ما يجبر الخلية على صرف الطاقة.

بعد البحوثات التي قام بها عدد كبير من العلماء لوحظ أن تركيز الأيونات المختلفة للأملاح تختلف وتتفاوت بين كائنين يعيشان في نفس الوسط/وقد استُنتج من ذلك مايلي:-
يستطيع النبات امتصاص الأيونات بطريقة اختيارية وان هناك استقلالية في عملية الامتصاص مهما كانت الاختلافات في تراكيز هذه الأيونات في الوسط. وعلى هذا فإن وجود عدة أنواع من الأيونات بتراكيز عالية داخل الفجوات العصارية للنبات مقارنة مع الوسط المحيط هو دليل على أن هذه الأيونات تتراكم عكس تدرج التركيز.

-إن عملية امتصاص العناصر تتطلب الحصول على الطاقة التي تتولد نتيجة لعمليات الهدم التي تحصل داخل الخلية وبناء على ذلك تبدو العلاقة بين عملية التنفس وعملية امتصاص الأيونات في الكائنات الحية الهوائية واضحة، فقد وجد أن الأكسجين مهم لأخذ عنصر الفسفور بواسطة جذور الشعير وإن أخذ العناصر الغذائية يزداد بازدياد كمية الكربوهيدرات المتكونة من عملية التمثيل الضوئي الموجودة في الجذور.

-تعتمد جميع العمليات الحيوية التي تتطلب طاقة والتي تشمل عملية الامتصاص لبعض الأيونات وعملية نقلها على مركبات مثل ال ATP، ومركبات شبيهة بـ ATP (يُصنع ATP أثناء التنفس فقط وأثناء كل من دورة التحليل الجليكوليجي وعملية التمثيل الضوئي).

لتفسير عمليات الامتصاص النشط للاملاح عكس ما يعرف بالتدرج في الجهد المائي يوجد حالياً اتجاهان أساسيان غير مستقلين تماماً يتعلقان بعملية أخذ او امتصاص العناصر عن طريق الانتقال النشط الذي يحتاج لطاقة، يختص أحد هذين الاحتمالين بنظرية الحوامل Carriers بينما يركز الآخر على أهمية مضخة الأيونات من خلال الغشاء.

V-2-1-a-نظرية الحوامل: Carrier theory

- افترضت هذه النظرية أن الأغشية الحيوية تحتوي على جزئيات معينة غالبا بروتينية تسمى بالحوامل او Carrier Proteinلكونها قادرة على حمل الأيونات من خلال الغشاء ويعتقد أنها تمتلك مواقع ربط خاصةReceptors لأنواع معينة من الأيونات بحيث تساعدها في نقل الأيونات بصورة اختيارية من خلال الغشاء.

الجزيئات الحاملة او البروتينات القنوية ممكن ان يتم خلالها الدخول جزيئات او ايونات دون استخدام الطاقة وذلك في حالة كون تركيز مثل هذة المركبات في الخارج اعلى من الداخل أي ان الحركة في هذه الحالة مع التدرج في التركيز Down Concentration.

ولكن في حال العكس أي ان التدرج عكسي Up Concentration فستتم هذه العملية بوجود الطاقة الممثلة ب ATP وبعض الانزيمات كأنزيم الكاينيز Kinase أو الفسفوكاينيز phosphokinase بالإضافة إلى أنزيم "phosphatase".

①

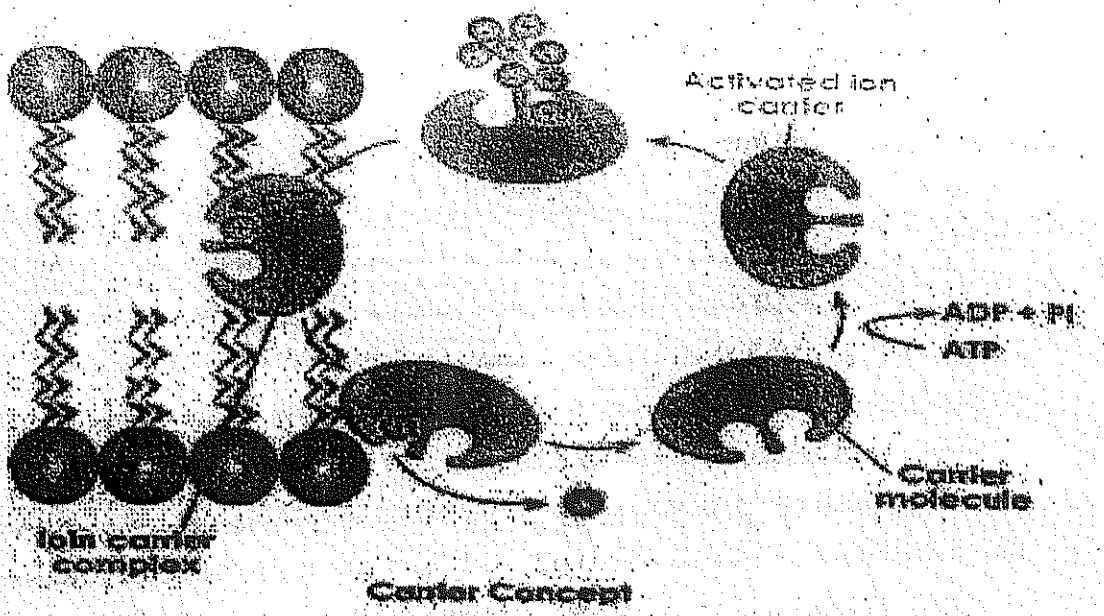
تتم عملية تنشيط الحامل الأيوني بواسطة الطاقة الناتجة من تحليل ATP إلى ADP ويرتبط الحامل بالفسفور فيصبح حامل مفسفر وهذا الحامل المفسفر يقوم بالانتشار عبر الغشاء الخلوي ويرتبط بأيونات معينة عند ارتباطه بها يكون ما نسميه "مُعقد الحامل" Carrier-ion complexe" وبعد مرور هذا الحامل المعقد عبر الغشاء حاملاً معه الأيون اللازم إدخاله يتم فصل وفك مجموعة الفوسفات من الحامل المعقد وبالتالي فإنه يعتقد أنه في نفس اللحظة يفقد الحامل الأيون الذي ينطلق داخل السيتوبلازم.

Cell membrane
Carrier-ion complex

1 - Carrier + ATP $\xrightarrow{\text{kinase}}$ Carrier* + ADP

2- Carrier* + ion $\longrightarrow$ Carrier* - ion complexe

3- Carrier* - ion $\xrightarrow{\text{phosphatase}}$ Carrier + ion + phosphore



تتم عملية الحصول على ATP من عملية التنفس وهو يعتبر المولد أو المنشط للحامل أما في النباتات أو الكائنات التي لا تتنفس هوائياً (Anerobics) فمن الثابت أن الحصول على ذلك يتم بواسطة التحلل الجليكوليجي Glycolysis.

يمكننا أن نلاحظ من خلال ماسبق أن عملية انتقال الأيونات قد تم عكس تدرج التركيز وذلك مخالفاً للقاعدة المعروفة وقد تم ذلك بمساعدة الحامل وبمساعدة الأنزيمات المحللة والرابطة.

- مضخة الأيونات: Ion pumps

التبادل الايوني عبر الاغشية الخلوية النباتية يصبح ممكنا بوجود بروتينات غشائية مندمجة مخترقة للغشاء Transmembrane proteins والتي تتصرف كقنوات يتم عبرها انتقال الايونات المختلفة.

معظم القنوات البروتينية تكون متخصصة جدا لواحد او لعدد محدد من الايونات وبالتالي فإن عملية الامتصاص تكون غالبا محددة جدا وهذا مايفسر عدم امتصاص النبات لكلوريد الصوديوم رغم تواجدة الكثيف في التربة بل ان النبات يطرد هذة اليونات للخارج.

القنوات البروتينية تفتح وتغلق حسب الاحتياج الخلوي لذلك، وهناك العديد من العوامل التي تؤثر سلبيا او ايجابيا على عملية الفتح والغلق ومن هذة العوامل الضوء والشحنات الكهربائية التي تحملها الايونات وكذلك بعض الهرمونات.

Transmembrane proteins

٤٢

عملية إنتقال المحاليل الغير مشحونة كالسكر مثلا هي عملية واضحة حيث تعتمد كما ذكرنا سابقا على عمليات فرق الجهد على جانبي الغشاء البلازمي.

بالنسبة للمحاليل المشحونة كمعظم الاملاح المعدنية والمركبات المختلفة فإن عملية إمتصاصها لاتعتمد على الاختلافات التركيزية فقط وذلك لانها تحمل شحنة كهربائية وعلى هذا فانها ستنتشر بناء على الاختلافات في الشحنة بالاضافة الى الاختلافات التركيزية او اختلافات الجهد، ومثال على ذلك فإن ايون البوتاسيوم الموجب الشحنة سينجذب الى منطقة تحمل شحنة سالبة والنتيجة هي ان حركة الايون المشحون تُحدد بواسطة تدرج ذو شقين، الاول تركيزي والثاني كهربائي وبمعنى إصطلاحي فإنها تتحرك بتدرج كهروكيميائي Electrochemical gradient ويمكن الاضافة الى ذلك خواص كل خلية الشحني او الشحنات التي يحملها السيتوبلازم او التي تحملها اغشية الخلية نفسها والتي يجب ان تؤخذ في الحسبان. فمثلا السيتوسولCytosol يحتوي على كمية كبيرة من الايونات المثبتة الغير قابلة للانتشار مثل الكاربوكسيل R-COO- والامين R-NH4+ اللذات يدخلان في تركيب معظم البروتينات الغشائية المختلفة.

لكي تمتص الخلية مثل هذة الايونات المشحونة يجب ان تولد تدرجا في الشحنات والتركيز بين طرفي الغشاء البلازمي ولذلك تستخدم الطاقة لتنشط مايسمى بمضخة الايونات او مضخة الكاثيونات Pump Cations وخصوصا كاثيون الهيدروجين +Hوالكالسيوم +Ca والصوديوم +Na

العراق

فقد الماء من النبات

يفقد الماء من النبات إما على هيئة بخار وهذا ما يسمى بالنتح أو في صورة سائلة ويعزى فقد الماء في صورة سائلة إلى ظاهرة الإدماع والإدماء والمقصود بالإدماع هو خروج الماء وما به من عصارة في صورة سائلة بعيداً عن الثغور ويحدث هذا الفقد باستمرار من خلال الثغور المائية أما الإدماء فهو خروج الماء عن جرح النبات.

❖ **النتح:(هو عملية فقد الماء من النبات على هيئة بخار)**

❖ **فوائد النتح للنبات:-**

١- يعمل النتح كجهاز تكيف للنبات حيث أنه يبرد الأنسجة في الأوراق وذلك يمنع الأضرار الناتجة من درجات الحرارة العالية.

٢- يعمل النتح على تقليل النمو مما يعطي الفرصة لنمو أعضاء التكاثر وهي الأزهار والثمار وبالتالي نضج النبات مبكراً.

٣- زيادة النتح تعمل على زيادة امتصاص الماء من التربة والمواد اللازمة للنمو.

٤- النتح يعمل على رفع العصارة إلى أعلا بالإضافة إلى بعض المواد العضوية التي قد يتم تكونها في الجذور.

يحدث معظم النتح من الأوراق ويمكن اعتبار أن النتح يحدث على مرحلتين:

أ - تبخير الماء من خلايا نسيج الورقة وتجمع ذلك البخار في المسافات البينية التي توجد بين الخلايا.

ب - نفاذ البخار من هذه المسافات إلى الوسط الخارجي.

س/ من أين ينفذ أو يخرج هذا البخار ؟

ج/ يخرج من خلال الثغور أو العديسات أو الأدمة.

❖ **أنواع النتح:**

هناك ثلاثة أنواع من النتح:-

١- **النتح الثغري:** ينفذ معظم البخار عن طريق الثغور وهو ما يسمى بالنتح الثغري وغالباً حين يذكر النتح فإن المقصود به هو النتح الثغري.

٢- **النتح الكيوتيني:-** (الأدمي)

هناك كمية من بخار الماء تنفذ من خلال جدر خلايا البشرة المغطاة بالكيوتين وهذا النوع من النتح يسمى بالنتح الكيوتيني أو الأدمي.

وتعتمد كمية البخار المفقودة من النتح الكيوتيني على سمك الأدمة وطبيعتها فمثلاً يكون النتح عالياً نسبياً في الأوراق حديثة التكوين.

٣- النتح العديسي:-

تفقد النباتات الخشبية جزء من مائها عن طريق العديسات المنتشرة في سيقانها والتي تمثل فتحات تقفل حسب الحاجة.

❖ الثغور:-

هي فتحات في الأوراق غالباً يتم خلالها الاتصال بين الوسط الخارجي والنبات حيث يتم من خلالها تبادل الغازات مثل CO_2 و O_2 وبخار الماء.

❖ توزيع الثغور:-

توجد الثغور على جميع الأجزاء الهوائية للنبات خاصة الأوراق (لا توجد في الجذور أو الأجزاء المغمورة بالماء) ويختلف عددها حسب نوع النبات ووضع الورقة واتجاهها بالنسبة للضوء في الأوراق التي يتعرض سطحها العلوي للضوء، توجد الثغور بوفرة على السطح السفلي بينما الأوراق التي يتعرض سطحيها للشمس يتساوى عدد الثغور على السطحين.

❖ تركيب الثغر:-

يتركب الثغر من:

أ – خليتان حارستان وهي تختلف عن خلايا البشرة بأنها تحتوي على بلاستيدات خضراء وأن جدرها ذات تغليظ غير منتظم.

ب – فتحة الثغر.

ج – غرفة تحت ثغرية.

❖ ميكانيكية فتح وغلق الثغور:-

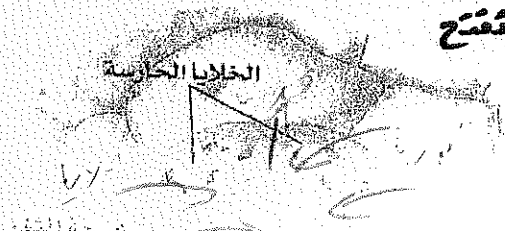
يتأثر فتح وغلق الثغور بالضوء.

١- في الضوء (يفتح الثغر)

أ – تبني الخلايا الحارسة المواد السكرية أثناء قيامها بالبناء الضوئي.

ب – يؤدي زيادة تركيز السكر إلى زيادة قوة الامتصاص الأسموزية بها وهذا يؤدي إلى انتشار الماء أسموزياً من الخلايا المجاورة إلى الخلايا الحارسة المنتفخة بالماء.

جـ- يؤدي انتفاخ أو امتلاء الخلايا الحارسة بالماء إلى الضغط على الجدر الرقيقة البعيدة عن فتحة الثغر فتتمدد إلى الخارج وتفتح.



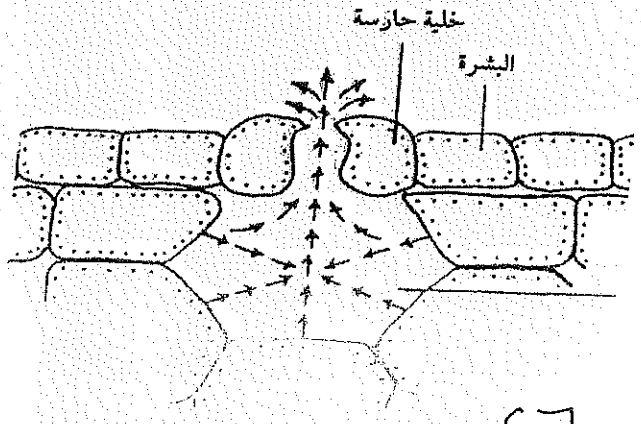
٢- في الظلام (يغلق الثغر)

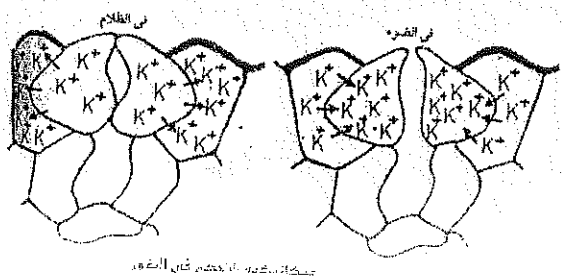
أ – في الظلام يتناقص تركيز المواد السكرية في الخلايا الحارسة نتيجة تحول جزء منها إلى نشاء واستهلاك الجزء الآخر في التنفس.

ب– يؤدي تعرض تركيز السكر إلى تناقص قوة الامتصاص الأسموزية وهذا يؤدي إلى انتشار الماء اسموزياً من الخلايا الحارسة إلى الخلايا المجاورة فتنكمش.

جـ – يؤدي انكماش الخلايا إلى ارتخاء الجدر الرقيقة ومن ثم تتقارب الجدر السميكة الملاصقة لفتحة الثغر وبذلك ينغلق الثغر تماماً.

تستجيب الثغور لتغيرات الجهد الأزموزي للخلايا الحارسة حيث تسبب هذه التغيرات تحرك الماء إلى داخل الخلايا الحارسة أو إلى خارجها. يستحث الضوء النقل النشط "لأيونات البوتاسيوم (K^+) من خلايا البشرة إلى الخلايا الحارسة بفعل الحوامل الأيونية المطمورة في الغشاء البلازمي للخلايا الحارسة. ويصحب تراكم كاتيونات البوتاسيوم (K^+) داخل الخلايا الحارسة ضخ للبروتونات (H^+) إلى خارج الخلايا الحارسة، بينما تتراكم أنيونات الكلوريد (Cl^-) أو أنيونات المالات ($Malate^-$) بداخل الخلايا الحارسة كاستجابة لاختلاف الاتزان الكهربي الناجم عن تراكم كاتيونات البوتاسيوم (K^+) بذلك يصير الجهد المائي للعصير الخلوي للخلايا الحارسة سالبا جداً نتيجة لتراكم أيونات (K^+) و(Cl^-) و($Malate^-$) وينشأ عن ذلك منحدر للجهد المائي يسبب تحرك الماء من خلايا البشرة إلى الخلايا الحارسة فتمتلئ وتتميز الخلايا الحارسة بزيادة سمك جدرها المواجهة لفتحة الثغر مقارنة بالجدر البعيدة عن فتحة الثغر وبالترتيب الشعاعي للويفات السليولوزية الدقيقة المكونة لجدرها. لذا فإن الضغط الناشئ عن امتلاء الخلايا الحارسة (ضغط الامتلاء) يسبب توترها وتمدد جدرها السميكة والرقيقة بدرجات متفاوتة وكذلك ينتج شداً في لويفات السليولوز الشعاعية التي تسبب تباعد الخلايا الحارسة وبالتالي فتح الثغر. هذا ويحدث عكس لاتجاه كل هذه العمليات المذكورة أثناء فترة الظلام (الليل) فترتخي الخلايا الحارسة وتتقارب وتعمل على غلق الثغر.





❖ **العوامل المؤثرة في سرعة النتح:**

يمكن تقسيم هذه العوامل إلى:-

١- **عوامل خارجية تتعلق بالتربة والمناخ.**

٢- عوامل داخلية تتعلق بالنبات.

أولاً: العوامل الخارجية:- العوامل البيئية

أ – **درجة الحرارة:** تزداد سرعة النتح بارتفاع الحرارة حيث يعمل الماء المنتح على تلطيف الجو المحيط بالنبات والعكس صحيح.

ب – **الرياح:** تعمل الرياح على زيادة سرعة النتح لأنها تحمل الماء المنتح بعيداً وبالتالي تواصل الأوراق النتح.

جـ- **الضوء:** يزداد النتح بزيادة شدة الضوء.

د – **الرطوبة الجوية:** تزداد سرعة النتح كلما قلة الرطوبة.

هـ- **المحتوى المائي للتربة:-**

في ظروف معينة قد تكون سرعة النتح غير مرتبطة بكمية الماء في التربة أما في حالة إذا ما قلت نسبة الماء في التربة إلى معدل يؤدي إلى ذبول النبات أصبح المحتوى المائي للتربة عاملاً محدداً بسرعة النتح ففي حالة عدم توفر الماء الكافي للنبات فإن النتح سوف يقل.

ثانياً: العوامل الداخلية:

وهي عوامل تختص بالنبات وأهمها:

أ – **مساحة الورقة:** تكون سرعة النتح عادة اكبر في النباتات ذات الأوراق العريضة.

ب – **شكل الورقة:** فالأوراق الإبرية يقل عن الأوراق العادية.

ج – **سمك طبقة الكيوتين على سطح الورقة:** إذا زادت كمية الكيوتين على الورقة قل النتح.

د- **المحتوى المائي للورقة:** كلما زادت نسبة الماء في الورقة زادت سرعة النتح والعكس قد يكون صحيحاً.

هـ – **الثغور:** تعتبر الثغور أهم العوامل الداخلية كلما زاد عدد الثغور وزاد اتساعها زادت عملية النتح.

نفاذية الأغشية السايتوبلازمية

النفاذية Permeability

أولا : نفاذية الجدار الخلوي

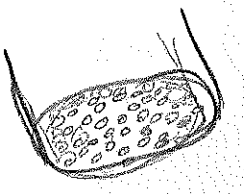
الجدار الخلوي يعتبر مركب غروي متصلب ومن خصائصه أن يتشرب بكمية كبيرة من الماء وبذا يمكن للماء ان يتفذ خلال مسامه وقد يختلط مع المركبات السلولوزية و البكتينية التي تكون الجدار الخلوي مواد مثل اللجنين كما في الأوعية الخشبية وهذه المواد لا تؤثر في نفاذية الجدر الخلوية أما اذا دخل في تركيب الجدار الخلوي الكيوتين أو السوبرين بنسبة محسوسة فأنها تكون عديمة النفاذية للماء أو على الأقل تقلل من درجة نفاذية الجدار الخلوي للماء والمواد الذائبة في الماء تنفذ بسهولة تامة خلال الجدر الخلوية المنفذة للماء

ثانيا - نفاذيةالغشاء البروتوبلازمى

ينفذ الغشاء البروتوبلازمي الماء أنفاذا تاما ولكن تختلف درجة النفاذية باختلاف ظروف خاصة أما الذائبات فنجد انه بينما يسمح هذا الغشاء بنفاذ جزيئات بعضها بسهولة تامة ألا انه يعوق تماما إلى حد محسوس نفاذ جزيئات البعض الأخر ، و المواد التي ينفذها البروتوبلازم تختلف أختلافا كبيرا من حيث خواصها الطبيعية والكيميائية فمنها مواد كربوهيدراتية كالسكريات والكحوليات ككحول الأثيل ومواد غير عضوية و مركبات آزوتية كاليوريا والأحماض الأمينية وهذه المواد جميعها بعضها قابل للذوبان في الماء والبعض لا يقبل الذوبان فيه وقد سبق أن ذكرنا أن الغشاء البروتوبلازمي يتألف من أطوار متباينة فمن المحتمل أن تسمح أطواره التي من شانها أن تمتص الماء كالأجزاء البروتينية بنفاذ الذائبات المائية بينما تمتص أطواره اللامائية كالأجزاء الدهنية مذيبات هذه الأطوار و المركبات االتي تذوب فيها وطالما كان البروتوبلازم حيا وفي حالة طبيعية فأنه لا يسمح بنفاذ معظم الذائبات الموجودة بالفجوة العصارية أو قد ينفذ بعضها بمعدل ضئيل جدا اما في حالة موت البروتوبلازم فان الغشاء يفقد سيطرته على محتويات الفجوة الخلوية وتنهار نفاذيته فتنتشر جميع الذائبات الخلوية إلى الخارج واذا ما حدث تغير في الحالة الطبيعية لغرويات البروتوبلازم برفع درجة الحرارة الى أعلى من ٦٠ درجة مئوية فأنه تحدث عملية التجمع لدقائق المادة الغروية وبذا تكون هذه الدقائق مجموعات كبيرة غير منتظمة تخللها ممرات تسمح بمرور الماء و الذائبات بسهولة وبذا تفسد النفاذية ويمكن احداث عملية التجمع في البروتوبلازم بوسائل أخرى خلاف أرتفاع درجة

الحرارة فمثلا السموم وأملاح المعادن الثقيلة و الأحماض و القلويات وأيضا أستخلاص الماء أستخلاصا بالغا من البروتوبلازم كل هذا يساعد على احداث عملية التجمع في برتوبلازم الخلية وفقدها خاصية النفاذية

نفاذية الذائبات خلال الغشاء البلازمى



هناك عدة عوامل تتحكم في نفاذية الذائبات خلال الغشاء البلازمى ومن أهمها

١ - حجم جزيئات المادة :

هناك نظرية يطلق عليها اسم **النظرية الغربالية** تفترض ان الغشاء البلازمي يشبه الغربال في تركيبه وتوجد في هذا الغشاء فتحات دقيقة لا تسمح لجزيئات أي مادة بالنفاذ خلالها الا اذا اتسعت لها هذه الفتحات وتستند هذه النظرية إلى بعض الحقائق العلمية اذا انه من المعروف أن الأغشية الصناعية كالبارشمنت لا تسمح بالنفاذ خلالها ألا للمواد التي تتسع لها ثقوبها وهذا بالتالي يتوقف على حجم دقائق المادة التي تنفذ ، غير هذه النظرية تعجز عن تفسير بعض الحالات ذلك ان الغشاء البروتوبلازمي تزداد نفاذيته في بعض الاحيان بازديا حجم جزيئات المادة فمثلا وجد ان الغشاء البلازمي لا ينفذ جزيئات الأحماض الأمينية وينفذ جزيئات شبة القلويات كمركبات الكينين والنيوكتين رغم ان حجم جزيئات المواد الاخيرة اكبر من حجم جزيئات الاحماض الامينية.

٢ - درجة ذوبان المادة في الدهون :

يطلق على النسبة بين درجة ذوبان اى مادة في الدهون الى درجة ذوبانها في الماء **اسم معامل التجزئة** اى انه اذا ذابت مادة في مادة دهنية ولم تذب في الماء ففي هذه الحالة تكون ذات معامل تجزئة عالى وقد دلت التجارب على ان هناك تناسبا طرديا بين درجة نفاذية المادة ومعامل تجزئتها اى أنه كلما كانت المادة قابلة للذوبان في الدهون كلما نفذت داخل الخلية بسهولة وقد تمت دراسات واسعة النطاق على درجة نفاذية كثير من الكحولات خلال اغشية الخلية وقد اوضحت النتائج ان الكحولات ذات الوزن الجزيئى الكبير و السريعة الذوبان في الدهون كانت أسرع في النفاذية رغم كبر حجم جزيئاتها لانها كما سبق القول ذات درجة ذوبان عالية في الدهون و لكن يجب ان لا يفهم من هذا ان حجم جزيئات المادة ليس له اى تأثير على النفاذية فقد ثبت من التجارب ان المواد ذات معاملات تجزئة متساوية ولكن تختلف في أوزانها الجزئية فان درجة نفاذيتها خلال الأغشية البلازمية تزداد بانخفاض أوزانها الجزيئية

٣- تدرج التركيز :

اذا ما اتيحت لمادة ما حرية الحركة خلال غشاء فان معدل هذه الحركة يتوقف على الفرق بين درجة تركيز هذه المادة على جانبى الغشاء وذلك في حالة ما اذا كانت جميع العوامل الأخرى ثابتة وهذا ما يطلق علية تدرج التركيز وهذا يتبع الظاهرة الطبيعية للانتشار وكلما ازداد معدل حركة المواد كلما اتيحت لها الفرصة لنفاذية أسرع خلال الغشاء ويزداد هذا المعدل كلما ازداد

الفرق بين تركيزى المادة على جانبى الغشاء حيث يكون معدل نفاذية الجزيئات من الجانب الأكثر تركيزا في المادة خلال الغشاء أعلى من معدل نفاذية نفس المادة من الجانب الأقل تركيزا في المادة

نفاذية الأيونات خلال الغشاء البلازمي

هناك عمل آخر يتحكم في النفاذية هو الشحنه الكهربائية وقد دلت التجارب العديدة عل انه كلما كانت الشحنة التي يحملها الأيون أقوى كلما كانت درجة نفاذية الأيون ابطء وهذا يعني ان الالكتروليتات الضعيفة التاين تنفذ خلال الخلية بمعدل أسرع من الالكتروليتات القوية التأين ويتبع هذا أيضا ان الأيونات أحادية التكافؤ مثل الصوديوم والبوتاسيوم تنفذ خلال الخلية بمعدل أسرع من الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنسيوم اوثلاثية التكافؤ كالحديد والالمونيوم ولم يعرف حتى الأن تفسير لهذه لظاهرة ويجب أن نشير هنا الى ان البروتينات تحمل شحنات موجبة واخرى سالبة وكذلك الفسفوليبيدات فان لها نفس الخاصية وعلى ذلك فان الغشاء البلازمي المكون من البروتينات وفسفوليبيدات يمثل كحاجز يحمل كلا من الشحنتين وعلى ذلك فعند ترك أيون يحمل شحنه خلال الغشاء البلازمي فانه سيكون هناك تجاذب نحو جزء البروتين او الفسفوليبيدات التي تحمل شحنه مضادة وهذا بدوره يعرقل معدل النفاذية وفي نفس الوقت فانه هناك شحنات مماثلة يتحتم ان ينتج عنها تنافر مع شحنة الأيون والسؤال الأن لماذا لا يعادل التجاذب والتنافر وبالتالي يمكن للأيونات المرور خلال الغشاء البلازمي بدون أي تعويق لها وقد درس على نطاق واسع حركة الصوديوم والبوتاسيوم خلال الأغشية البلازمية ووجد أن البوتاسيوم ينفذ خلالها بمعدل أسرع من الصوديوم رغم أن كلاهما يحمل نفس الشحنه ويفسر ذلك على لخاصيه التميؤ اثر في ذلك فكلما زاد سمك الغشاء المائي حول الأيون وبالتالي زاد قطره كلما قلت درجة نفاذيته وفي هذا المثال يكون قطر أيون البوتاسيوم أصغر من قطر أيون الصوديوم عندما يكون كلاهما في حالة تميؤ

وجدير بالذكر أن درجة نفاذية الغشاء البلازمي غير مستقرة فهي في تغير دائم وهذه ظاهرة طبيعية في الخلايا النشطة . وبعض هذه التغيرات ترجع الى أسباب داخلية ترجع الى تغيرات تطرأ على الغشاء البلازمي نفسه فكثيرا ما يكون غشاء خلية ما اكثر نفاذية لبعض المواد في احد اجزائه منها في اجزاء اخرى . وبعد وقت قليل تنعكس الآية من حيث المناطق التي تكون اكثر نفاذية في الغشاء ولنفس المواد . ولذا يطلق على الغشاء البلازمي انه غشاء منفذ اختياري أي يسمح بمرور البعض الاخر . وهو في ذلك يختلف عن الغشاء شبه المنفذ الذي يسمح بمرور كل الجزيئات ما دامت تقل في أقطارها عن أقطار ثقوبه .

الانتقال السالب والنشط للذائبات

يطلق الإنتقال السالب على إنتشار الجزيئات التى لا تحمل شحنات كهربائية مثل المواد العضوية البسيطة

ومنها الجلكوز والذى ينتشر على جانبى الغشاء ونتيجة لفرق الجهد الإنتشارى على جانبى الغشاء ويطلق

على هذا النوع بالإنتشار السالب أو الطبيعى.

ولكن عند حدوث إنتقال أو إمتصاص نشط للجزيئات أو الأيونات متخطية بذلك قوانين الإنتشار المعروفة ،فهذه ما يطلق عليه الإنتقال أو الإمتصاص النشط. ولذلك فإن هذا الإنتقال يحتاج إلى توفر طاقة ليتم حدوثة ضد فروق التركيز ويحدث كلا النوعين من الإنتقال السالب أو النشط للذائبات من جسيم لأخر داخل الخلية أو من خلية لأخرى أو من محلول التربة لخلايا الجذر. وعلى سبيل المثال فان السكروز الذى يبنى داخل البلاستيدة الخضراء أثناء عملية البناء الضوئى ينتقل إلى السيتوبلازم المحيط بالبلاستيدة بالانتشار السالب لفرق التركيز داخل وخارج البلاستيدة وبنفس الطريقة ينتقل إلى الخلايا المجاورة وكذلك خلال الأنابيب الغربالية. وكمثال للإنتقال النشط داخل الخلايا ما يحدث لصبغة الانثوثبانين القرمزية اللون توجد فى كثير من بتلات الأزهار وجذور البنجر وغيرها عند انتقالها من السيتوبلازم إلى الفجوة العصارية حيث مكان تراكمها عبر غشاء التونوبلاست.

وللانتقال النشط أهمية بالغة للخلايا الحية حيث أنه يمنع انتشار العناصر المهمة لنشاط التحولات الغذائية من داخل الخلية إلى خارجها.

ميكانيكية الانتقال النشط

يمكن تلخيص هذه الميكانيكية حسب أراء العلماء فى النقاط التالية:

١ النظرية الغربالية

حيث يتوقف نفاذ الذائبات على حجم الثقوب التى توجد فى الغشاء البلازمى وبذلك تختلف نفاذية المادة حسب حجم وشكل كل من الثقب والدقيقة النافذة، فالمواد التى يقل حجمها عن حجم الثقب والكبيرة الحجم لا تنفذ

٢- نظرية الإذابة

وقد اقترح هذه النظرية العالم اوفرتون وتفترض هذه النظرية أن الغشاء البرتوبلازمى شبة سائل وان الطبقة السطحية منة تتكون من مواد شبيهة بالدهون مع بروتينية وتنفذ المواد القابلة للذوبان فى الدهون بدرجة عالية (المواد الغير قطبية).إلا أن هذه النظرية لا يمكنها تفسير جميع النتائج ، فمثلا بعض الصبغات التى تذوب فى الدهون لا يمكنها

النفاذ خلال الأغشية البرتوبلازمية.وقد أدخلت تعديلات كثيرة على هذه النظرية أهمها التعديل الحديث الذى يفترض أن الغشاء البلازمى يتركب من طورين ممتزجين (موزيك) طور مائى وهو الذى يسمح بنفاذية المواد الذائبة فى الماء وطور دهنى وهوالذى يسمح بنفاذية المواد الذائبة فيه.

٣- نظرية الإنتشار الحر

حيث ينتشر العنصر من التركيز الأعلى خارج الخلية إلى التركيز الأقل داخل الخلية تبعا

لقوانين الانتشار العادية المعروفة. ولم تفسر النظرية تراكم نوعية معينة من العناصر داخل الخلية حيث يصل تركيز العنصر

داخل الخلية إلى أكثر من ٣٠ ضعف تركيزه خارج الخلية وبالرغم من هذا يستمر دخول العنصر إلى داخل الخلايا.

٤ - إتزان دونان

وهذه النظرية تفسر كيف تتركز العناصر الممتصة داخل الخلية بدرجة أعلى من تركيزها فى الخارج . فمثلا النفاذية تعتمد على أن الغشاء البلازمى ينفذ كل من ايونات الصوديوم والكلور ولكنه غير منفذ للبروتينات وعلى ذلك إذا ما وضعت خلية نباتية تحتوى على ملح بروتينات الصوديوم فى محلول خارجى من كلوريد الصوديوم وتركت للتعادل منه. فيلاحظ فى النهاية أن أيونات الصوديوم والكلور نفذت إلى الداخل ويؤدى

فى الخارج) $Cl^- \times Na^+$ = $Cl^- \times Na^+$ فى الداخل).

بالذات داخل الغشاء البلازمى Na^+ وبهذا يمكن تفسير نفاذية ايونات الصوديوم والكلور وتركيز كاتيون بدرجة اكبر من تركيزه فى الخارج وذلك تحقيقا للإتزان.

٥- التبادل الأيونى

التبادل الأيونى يتم بين الكاتيونات المدمصة على سطح غرويات التربة وسطح الخلية السالب الشحنة. وهذاالتبادل يتم أما بطريق الاتصال المباشر بين حبيبات التربة وأسطح الخلية وأما عن طريق محلول التربة . وتفرز مناطق الجذر الممتصة النشطة كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون فى صورة حمض كربونيك وأحماض عضوية أخرى عن طريقها يتم تبادل الايونات والكاتيونات بين محلول التربة وسيتوبلازم الخلية.

٦ - نظرية لوندجارد

وهذه النظرية تعتمد اساسا على أن ذرة الحديد فى مركبات السيتوكروم المختلفة تنتقل من صورة حديدوز إلى حديديك بالاكسوجين الجوى ثم تعود وتختزل مرة أخرى إلى صورة الحديدوز عن طريق المرافقات وذلك خلال الغشاء البلازمى. $FADH_2$ الإنزيمية المختزلة

وقد اقترح لوندجارد أن ذرة الحديديك وهو يحمل شحنة موجبة ينجذب إليه الأيونات (مثل النترات السالبة تنفرد الأيونات داخل الغشاء. ثم F++ إلى F+++ الشحنة) وتمر معه عبر الغشاء إلى الداخل. وعندما يختزل بمساعدة إنزيم سيتوكروم أوكسيديز . وفى هذه O_2 يعود الحديدوز المختزل مرة أخرى ليتأكسد بواسطة

الحالة يكون عند الجانب الخارجى من الغشاء ويكون صالحا لجذب أيونات أخرى إلى الداخل وهكذا . أما

الكالسيوم) فنفترض النظرية أنها تتبع الأنيونات فى المرور. ولكن) ++ca ، (البوتاسيوم) K^+ الكاتيونات مثل

فى عملية إمتصاص (ATP) نظرية لوندجارد تحتاج لبعض التعديلات تفسر أهمية المواد الفسفورية

الأيونات.

٧- نظرية الناقلات

Carrier theory

وهذه النظرية تفترض أن هناك مواد متخصصة فى نقل الذائبات إلى داخل الخلية وهذه المواد توجد في الغشاء البلازمى وتتكون من بروتينات عادية أو نووية وتقوم كل منها بنقل نوع من الأيونات خلال الغشاء البلازمى إلى الداخل تماماً كما يحدث فى التفاعلات الإنزيمية.

وأثناء عملية الإنتقال هذه تنطلق طاقة حرارية أثناء عملية الإمتصاص لكى تمكن الخلية من إمتصاص ما تريده والمحافظة على الأيونات الممتصة فى الداخل. وكذلك العمل على تركيز هذه الأيونات في الداخل حتى ولو كان تركيز هذا الأيون فى الخارج محدوداً.

خارج الخلية ⟷ معدن مرتبط بالناقل ⟷ طاقة ⟷ داخل الخلية

أيون + ناقل ① ② ③ ④ أيون + ناقل

وهذه الحوامل قد تكون متخصصة لعنصر معين بالذات أو أن يكون الحامل متخصص لنقل مجموعة معينة من الأنيونات مثل الهالوجينات أو يكون الحامل عاماً أى ينقل أى ايون طالما توفرت شروط الإنتقال.

وقد أفترض العديد من العلماء أمثلة لمثل تلك الحوامل.

١ الكحولات العطرية. ٢ الأحماض الأمينية. ٣ السيتوكرومات .. 4 - ATP ٥- سيتوبلازم الخلية.

ظاهرة التضاد

من المعروف أن محلول أى ملح منفرداً يكون ضاراً بالنبات إلا أنه إذا خلطت محاليل عدة أملاح منها بنسب فإن كلا من الملحين يضاد التأثير الضار للآخر ويسمى $CaCl_2$ مع محلول NaCl معينة وليكن محلول المحلول فى هذه الحالة متزناً. وفى حين أن ظاهرة التضاد تبدو واضحة بين الكاتيونات الأحادية والكاتيونات ثنائية التكافؤ إلا أنها تكون ضعيفة بين الكاتيونات متشابه التكافؤ.

وظاهرة التضاد يمكن تفسيرها على أن البروتوبلازم يتكون من أملاح بروتينات مع كاتيونات عديدة مثل K^{+} Ca^{++} , Mg^{++} وهذه الأملاح تكون فى حالة أتزان بحيث إذا تعرضت الخلية النباتية لمحلول ملح واحد ، ، فإن نوعاً واحداً من الكاتيونات (كاتيون هذا الملح) تحل محل عدد من الكاتيونات وبهذا يسود هذا الملح مما يؤدى إلى تغيير تركيب وصفات البروتوبلازم ويحدث بالتالى التأثير الضار. ومما يمنع الوصول إلى مثل هذه الحالة وجود ملحين أو أكثر فى الوسط الغذائى مثل .CaCl2 & KCl

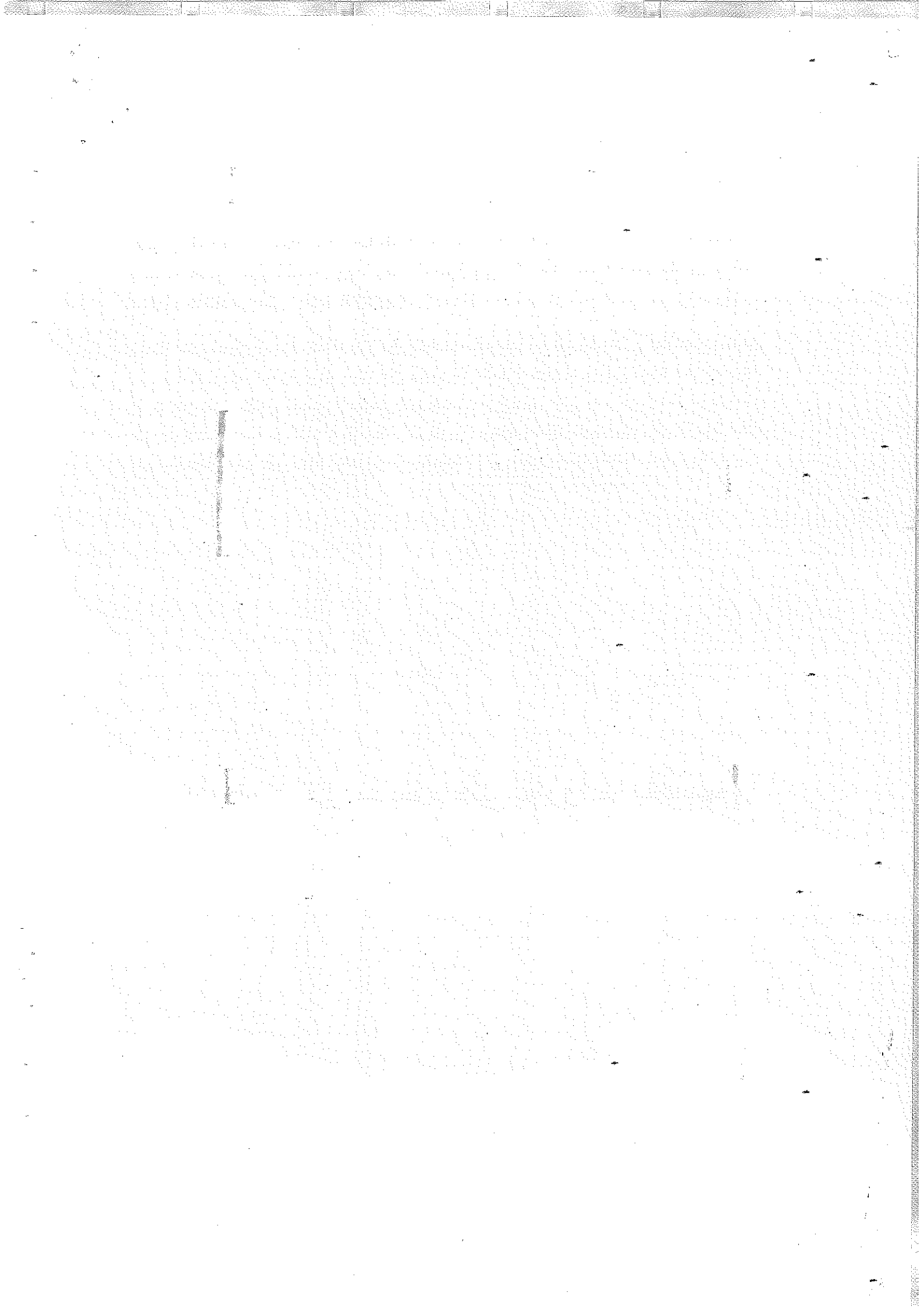
ويعتقد العلماء أن أيونات الملح بدلا من إتحادهما كيميائياً مع البروتوبلازم قد تتجمع سطحياً بواسطة غرويات الخلية. وعلى هذا فإن مجموعة الأملاح حين توجد فى البيئة الغذائية يبدأ أثرها عن طرق تقليل التجمع السطحى لأيونات كل نوع منها على حدة. ومن التفسيرات التى ظهرت كذلك بخصوص ظاهرة التضاد، أفترض أن وجود مادتين كيميائيتين فى الوسط الغذائى بنسب معينة يؤدى إلى حالة ثبات فى المستحلبات التى يتكون منها الغشاء السيتوبلازمى.

(إِنَّ اللَّهَ لاَ يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّى يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ).
الرعد / ١١

وظاهرة التضاد يمكن تفسيرها على أن البروتوبلازم يتكون من أملاح بروتينات مع كاتيونات عديدة مثل K^{+} Ca^{++}, Mg^{++} وهذه الأملاح تكون فى حالة أتزان بحيث إذا تعرضت الخلية النباتية لمحلول ملح واحد ، ، فإن نوعاً واحداً من الكاتيونات (كاتيون هذا الملح) تحل محل عدد من الكاتيونات وبهذا يسود هذا الملح مما يؤدى إلى تغيير تركيب وصفات البروتوبلازم ويحدث بالتالى التأثير الضار. ومما يمنع الوصول إلى مثل هذه الحالة وجود ملحين أو أكثر فى الوسط الغذائى مثل .CaCl2 & KCl

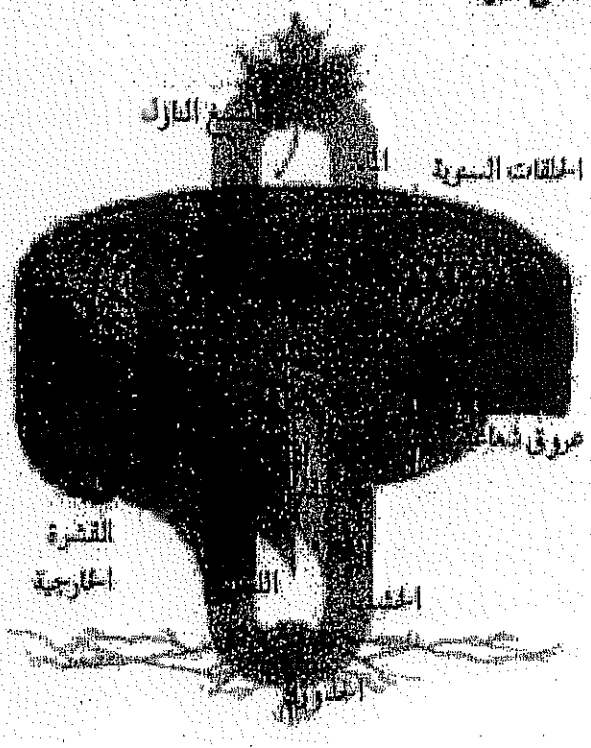
ويعتقد العلماء أن أيونات الملح بدلا من إتحادهما كيميائياً مع البروتوبلازم قد تتجمع سطحياً بواسطة غرويات الخلية. وعلى هذا فإن مجموعة الأملاح حين توجد فى البيئة الغذائية يبدأ أثرها عن طرق تقليل التجمع السطحى لأيونات كل نوع منها على حدة. ومن التفسيرات التى ظهرت كذلك بخصوص ظاهرة التضاد، أفترض أن وجود مادتين كيميائيتين فى الوسط الغذائى بنسب معينة يؤدى إلى حالة ثبات فى المستحلبات التى يتكون منها الغشاء السيتوبلازمى.

(إِنَّ اللَّهَ لاَ يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّى يُغَيِّرُواْ مَا بِأَنْفُسِهِمْ).
الرعد / ١١



النسغ النازل(نقل الغذاء المجهز في النبات

مقطع لشجرة مثل نظام النقل فيها



إن من أهم خصائص أجهزة النقل النباتية اختلافه في نبتي القنوات الناقلة المتألفة من خلايا خاصة لهذه المهمة الحية. و الشكل التخطيطي إلى الجانب يوضح أن الماء و المواد الذائبة يتم نقلهما في أنابيب اللحاء و الخشب اللذين يتم تجديدهما كل سنة. و هكذا يتم التجديد الياتي كل سنة للنظام الرابط بين الورقة و الجذر و هو النظام المتألف من خلايا اللحاء و الخشب.

مما يتركب اللحاء:

١ - الأنابيب الغربالية: وهي الجزء الرئيسي في اللحاء من خلالها تحمل الخيوط السيتوبلازمية الغذاء الجاهز وتنقله من مكان إلى آخر عبر الأنابيب.

٢- الخلية المرافقة: تكون مركب الطاقة (ATP) في أثناء قيامها بعملية التنفس لتزويد الأنبوبة الغربالية بالطاقة اللازمة لعملية النقل النشط للغذاء الجاهز.

حركة الغذاء الجاهز :

١-يتحرك السكر في اتجاه الجذر إلى أسفل لاستعماله في الغذاء أو خزنه على شكل نشاء.
٢-يتحرك إلى أعلى في اتجاه البراعم النامية على قمة الساق او الأزهار أو الثمار في النباتات التي تسقط أوراقها شتاءً.
اللحاء هو المسار الطبيعي للغذاء في النبات

طرق خزن الغذاء المنقول في اللحاء:

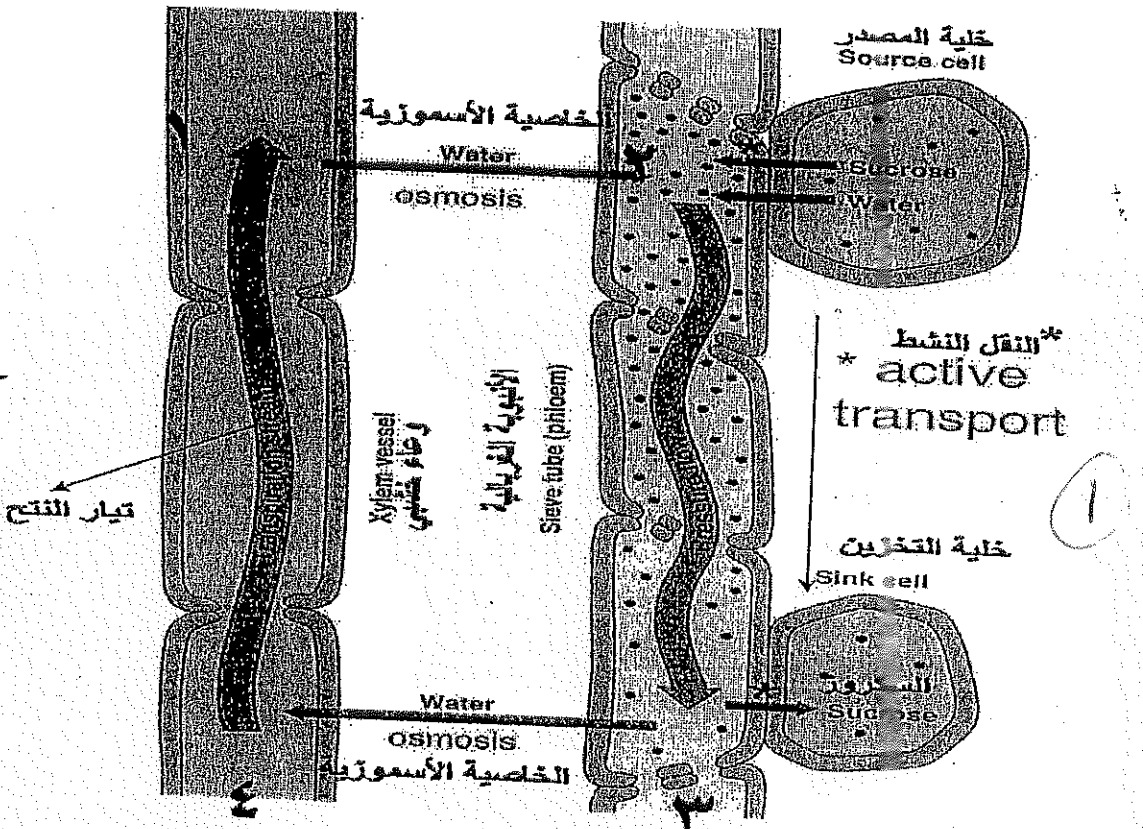
يمكن للنبات أن يقوم بتخزين الغذاء المكون خلال عملية البناء الضوئي في أشكال عديدة نذكر منها:

١-على شكل سكروز مثل البنجر وقصب السكر.
٢-على شكل عديد السكريات النشا كما في البطاطس.
٣-على شكل مركبات معقدة مثل الدهون والبروتينات والكربوهيدرات تخزن في البذور على شكل سكريات أحادية مثل سكر الفركتوز والجلوكوز في العنب.

هناك فرضيتان لتفسير آلية نقل الغذاء الجاهز في النبات هما:

١- **فرضية تدفق الكتلة الإسموزية:** بسبب الاختلاف في التركيز بين خلايا الورقة (مكان صنع الغذاء) وخلايا الجذر حيث تنشأ قوة تضخ الغذاء الجاهز من خلايا الورقة (عالية التركيز) إلى خلايا الجذر (منخفضة التركيز) خلال اللحاء.

٢- **فرضية النقل النشط والحركة السيتوبلازمية.**
وهي تفترض أن يتحد السكروز مع مواد ناقلة نشطة وعندما يصلان للحاء يتحلل المركب إلى السكروز ومواد ناقله حيث يتحرك السكروز في اللحاء حركة دائرية باتجاه حركة الدوران السيتوبلازمية فيه ثم عبر الأنابيب الغربالية محمولاً على الخيط السيتوبلازمية . وتزود الخلايا المرافقة الأنابيب الغربالية بمركب الطاقة (ATP) للقيام بعملية النقل النشط للمواد السكرية على الخيوط السيتوبلازمية.



فرضية ضغط التدفق للعالم منش وتتم كما في الخطوات التالية :

١- يحمل السكروز من مكان تكوينه إلى الأنابيب الغربالية في اللحاء بعملية النقل النشط ، يؤدي ذلك إلى رفع الضغط الأسموزي فيها ، يؤدي ذلك إلى دخول الماء إليها بالخاصية الأسموزية .

٢- يتولد ضغط في الأنبوب الغربالي يدفع بمحتويات اللحاء إلى مكان الاستهلاك أو التخزين بالنقل النشط.

٣- عند خروج السكروز من الأنابيب الغربالية يقل الضغط الأسموزي فيها.

٤- يخرج الماء من الأنابيب حسب الخاصية الأسموزية ويتم استهلاك السكروز وتخزينه في الخلايا التي ينقل إليها ويعود للماء للخشب.

ملاحظه: (نلاحظ أن عمليتي التحميل والتفريغ للسكروز يلزمها طاقة أما النقل داخل الأنبوب فلا يلزمه طاقة، يتم النقل في اللحاء في جميع الاتجاهات .....)

(اقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ * خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ * اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ * الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ * عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ) [العلق: ١ - ٥].

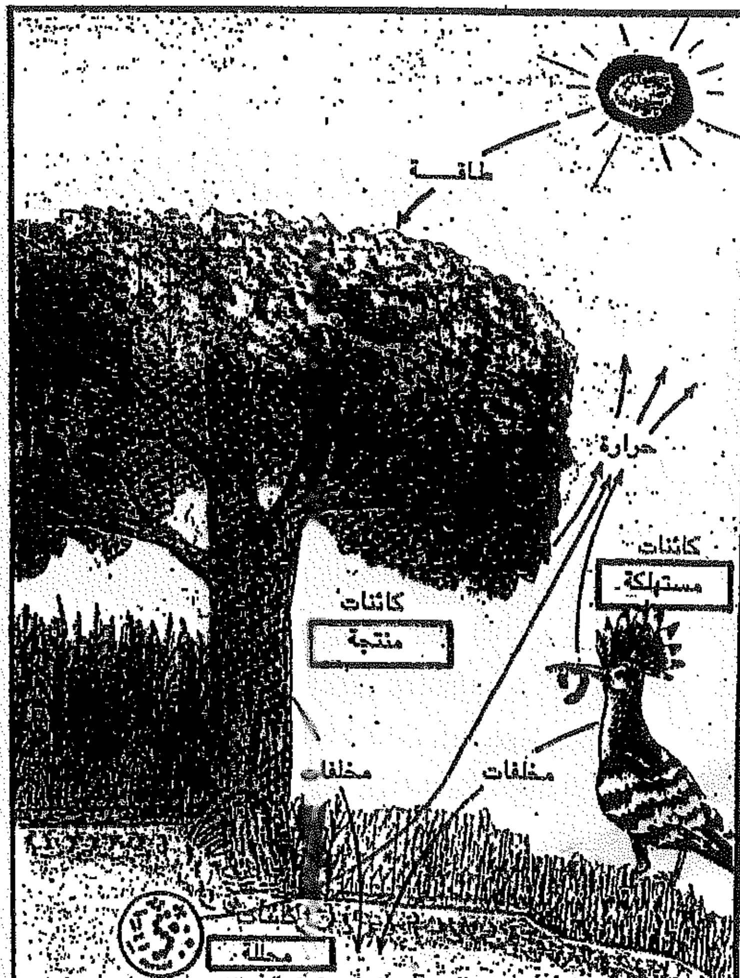
الفصل الثالث عشر ـــ

الحياة والطاقة *Life and Energy*

تعتمد حياة الكائنات على الطاقة، حيث تعتمد حركتها ومايتم بداخل خلاياها من نقل للمواد وتخليق للمركبات اللازمة للنمو، وانقسام خلاياها على هذه الطاقة. وتستطيع الكائنات استخدام الطاقةولاتستطيع خلقها، وعليه فإنه يلزم لحياتها مدخل دائم للطاقة Energy Input. وباعتبار أن الكائنات تفقد ماتستمده من البيئة من طاقة فإنه يمكن اعتبارها أنظمة طاقية مفتوحة Open Systems. فالكائنات النباتية المنتجة للطاقة Producers تقتنص الطاقة الضوئية (ضوء الشمس) في عملية البناء الضوئي Photosynthesis وتختزنها وفقياً على صورة طاقة كيميائية فيما يتم تخليقه أثناء ذلك من مواد كربوهيدراتية. وتستهلك النباتات قدراً من هذه الطاقة الكيميائية في تنفسها، ونموها، وفي تسيير مايتم بداخل خلاياها من عمليات حيوية أخرى، وتحتفظ بقدر من الطاقة مختزنا في خلاياها وينتقل قدر من هذه الطاقة إلى الكائنات الحيوانية المستهلكة للطاقة Consumers التي تتغذى على النباتات، ثم يصل ماتبقى من هذه الطاقة إلى الكائنات الدقيقة المحللة Decomposers والتي تحيا على تحليل بقايا أجسام الكائنات الميتة المنتجة والمستهلكة على حد سواء (شكل ١٣-١). ويعرف انتقال الطاقة على هذا النحو بتدفق الطاقة في النظام البيئي Flow of Energy Through the Ecosystem .

ويعرف أي جسم له كتلة ويشغل حيزاً في الفراغ بالمادة Matter. وقد تكون المواد متناهية في الصغر مثل الجسيمات تحت الذرية Subatomic Particles أو متناهية في الكبر كالكواكب والنجوم. هذا وتعرف القدرة على أداء شغل Work في صورة تحريك المادة أو إحداث تغير في حالتها بالطاقة Energy. فعلى سبيل المثال تلزم طاقة لتحريك قاطرة أو سيارة، كما تلزم طاقة لتحويل الثلج إلى ماء (أي لتحويل الماء من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة) . وتوجد الطاقة في الكون على عدة صور منها الطاقة الحرارية Heat اللازمة لتحويل الثلج إلى ماء مثلاً، والطاقة الكهربائية Electrical Energy اللازمة لتسيير القاطرة، والطاقة الميكانيكية Mechanical Energy اللازمة لتسيير السيارة، والطاقة الكيميائية Chemical Energy اللازمة لتسيير عمليات الأيض داخل خلايا الكائنات الحية، وهناك صور عديدة أخرى من صور

الطاقة مثل الطاقة النووية Nuclear Energy، والطاقة الانتقالية الوضعية Transational Energy، والطاقة الإشعاعية Radiant Energy. وتشمل الطاقة الإشعاعية موجات الراديو Radio Waves، الأشعة تحت الحمراء Infra Red، الضوء المرئي Visible Light، الأشعة فوق البنفسجية Ultra Violet، أشعة إكس X-Rays، أشعة جاما Gamma Rays، والأشعة الكونية Cosmic Rays .



شكل (١٣-١) تدفق الطاقة في النظام البيئي

تتبع تحولات الطاقة قوانين خاصة تعرف باسم قوانين الديناميكا الحرارية. وينص **القانون الأول للديناميكا الحرارية** First Law of Thermodynamics على أن الطاقة لاتفنى ولاتستحدث. لذا فإن الطاقة الموجودة الآن بالكون هي نفس الطاقة التي كانت موجودة عند بدء خلقه، وعلى الرغم من ذلك فإن الطاقة يمكن أن تتحول من صورة إلى أخرى، فالنباتات الخضراء تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في البناء الضوئي، كما أن الحيوانات المتغذية على النباتات تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية عند انقباض عضلاتها أثناء الحركة .

ينص القانون الثاني للديناميكا الحرارية Second Law of Thermodynamics على أن أنظمة الطاقة Energy Systems تزداد عشوائيتها Entropy إذا لم يتم الاستعانة بإمداد مستمر بالطاقة من خارجها، ويوضح هذا القانون أن الكائنات كأنظمة مفتوحة للطاقة تستطيع اقتناص الطاقة الموجودة في الكون، واختزانها وقتياً، ثم تستخدمها لأداء شغل حيث يتحول قدر منها إلى حرارة تنطلق في الكون مرة أخرى لتزيد من عشوائيته .

أما القانون الثالث للديناميكا الحرارية Third Law of Thermodynamics فيشير إلى أن العشوائية المطلقة لمعظم المواد تساوي صفراً عند درجة حرارة (– ١٨ر٢٧٣ درجة مئوية) .

هذا وتتضمن التفاعلات الحيوية تحولات الطاقة، وهي بذلك تنقسم إلى تفاعلات محررة للطاقة Exergonic Reactions وهي تلك التي تنطلق منها الطاقة الحرة، وتفاعلات مقتنصة للطاقة Endergonic Reactions وهي تلك التي تحتاج للطاقة في تسييرها. ويلاحظ أن النظم الحيوية تحدث بها ظاهرة ازدواج التفاعلات Coupling حيث يتم تسيير أحد التفاعلات بما ينتج عن تفاعل آخر من مركبات أو طاقة. ومثال ذلك مايحدث في النباتات الخضراء من تسيير لتفاعلات التنفس (تفاعلات محررة للطاقة) بما يتم إنتاجه من مركبات في تفاعلات البناء الضوئي (تفاعلات مقتنصة للطاقة) .

عمليات اقتناص الطاقة

Energy-capturing Processes

البناء الضوئي *Photosynthesis*

تعتمد حياة النبات على كفاءته في اقتناص الطاقة وتخزينها وتحويلها. وتنفرد النباتات الخضراء بطريقة خاصة لإنتاج غذائها العضوي، فهي تستمد من بيئتها مواداً غير عضوية بسيطة التركيب لتبني بها مركبات عضوية معقدة تعتمد عليها حياتها. لذلك فإن النباتات الخضراء تختلف عن الحيوانات والكائنات الأخرى غير الخضراء التي تعتمد في غذائها على النبات الأخضر الحي أو على مخلفاته وبقاياه بعد موته .

وتعتبر الشمس مصدر كل أشكال الطاقة الموجودة في محيطنا الحيوي Biosphere وتقوم النباتات الخضراء بامتصاص طاقة الضوء المرئي Visible Light وتحولها إلى طاقة كيميائية تستخدمها في تسيير مجموعة من التفاعلات المعقدة ينتج عنها اختزال ثاني أكسيد الكربون إلى مواد كربوهيدراتية هي في الواقع التي تمثل مصدر الطاقة في الخلية. تعرف عمليات اقتناص الطاقة ومايتبعها من اختزال لثاني أكسيد الكربون وتكوين السكريات بعملية البناء الضوئي التي يمكن تمثيلها بالمعادلة العامة التالية :

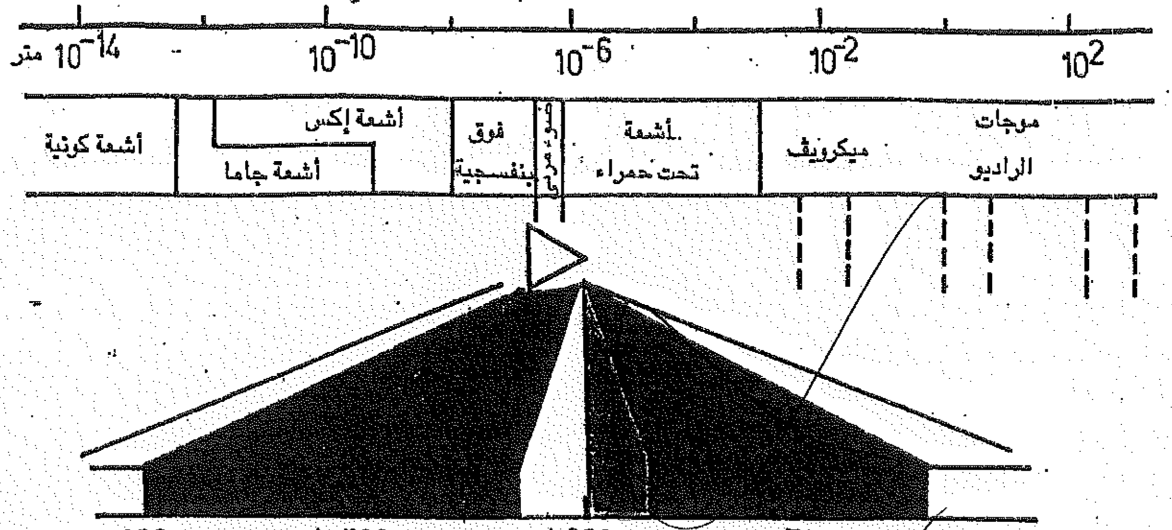
$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية } (h\nu)} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

6CO2+12H2O —— C6H12O6+6O2+6H2O

ويعد البناء الضوئي بحق أهم الظواهر البيولوجية على كوكب الأرض، حيث أنه مصدر المواد العضوية الهامة التي تمثل المصدر الرئيسي لغذاء الإنسان والحيوان على حد سواء، والمصدر الرئيسي للطاقة، كما يعتبر أصل تكوين الوقود الحفري Fossil Fuel المختزن في باطن الأرض كالفحم والبترول. أما كمية الكربون المختزلة في البناء الضوئي سنوياً على الأرض فتقدر بحوالي ١٫٥٥ × ١٠^١١ طن من المادة النباتية الجافة، مما يدل على أهمية هذه العملية لحياة الكائنات الأخرى على كوكب الأرض .

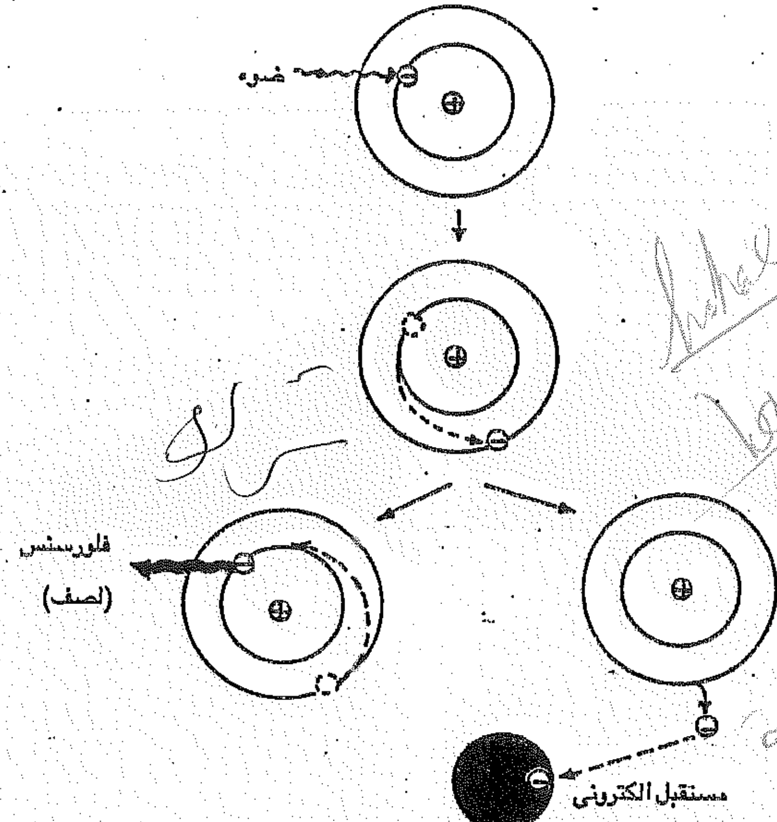
طبيعة الضوء *The Nature of Light*

يمثل الطيف المرئي Visible Spectrum قدراً ضئيلاً من الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation الكلي على الأرض. في هذا الطيف تسلك الأشعة سلوكاً مميزاً للموجات Waves بمعنى أن لها طول موجي Wavelength يمثل المسافة بين قمة الموجه وقمة الموجة التي تليها. وتقع أشعة جاما Gama Radiation ذات التردد المرتفع والطاقة العالية عند أحد طرفي الطيف الكهرومغناطيسي، بينما تقع موجات الراديو ذات التردد المنخفض والطاقة المنخفضة عند الطرف الآخر (شكل ١٣-٢). ويمتد الطيف المرئي بين الأطوال الموجية ٤٠٠ - ٧٠٠ نانومتر تقريباً وتكون للأشعة البنفسجية أقصر الأطوال الموجية بينما تكون للأشعة الحمراء أطول الأطوال الموجية. وتكون للأشعة فوق البنفسجية Ultra Violet أطوالاً موجية أقصر من البنفسجية بينما تلي الأشعة الحمراء أشعة أطول منها تعرف بالأشعة تحت الحمراء Infra Red وكلاهما من الأشعة غير المرئية للعين البشرية .



شكل (١٣-٢) الطيف الكهرومغناطيسي

وبالرغم من هذا السلوك الموجي للضوء فإن له سلوكاً آخر ينبيء بأن له صفات الجسيمات المحملة بالطاقة المسماه بالفوتونات Photons. وتعتمد طاقة الفوتون على الطول الموجي، فتكون كبيرة للموجات القصيرة وتأخذ في الانخفاض بزيادة الطول الموجي. وتتعامل الفوتونات مع ذرات المواد بطرق شتى اعتماداً على ترتيب الالكترونات في هذه الذرات. تعرف الذرات عند أقل مستوى للطاقة بأنها عند الحالة المستقرة Ground State، وعند إضافة الطاقة إلى أي من الكتروناتها يرتفع إلى مستوى طاقة أعلى وذلك بابتعاده في مداره عن النواة ويقال بأن الذرة عند الحالة المثارة Excited State. هذا ولايستمر وجود الالكترون في المستوى الأعلى إلا لوقت قصير جداً، حيث لايلبث أن يعود إلى مداره الأصلي بالذرة فاقداً لما كان قد زود به من الطاقة على صورة حرارة Heat أو ضوء ذي طول موجي طويل (أحمر اللون) فيما يعرف بظاهرة اللصف Fluorescence ويكون فقد الطاقة بهذه الطريقة غير مفيد للنبات. أما في حالة هروب الالكترون ليستقبله مستقبل الكتروني مناسب تاركاً الذرة المثارة مشحونة بشحنة موجبة فيمكن للنبات الاستفادة من طاقة هذا الالكترون في البناء الضوئي (شكل ١٣-٣) .

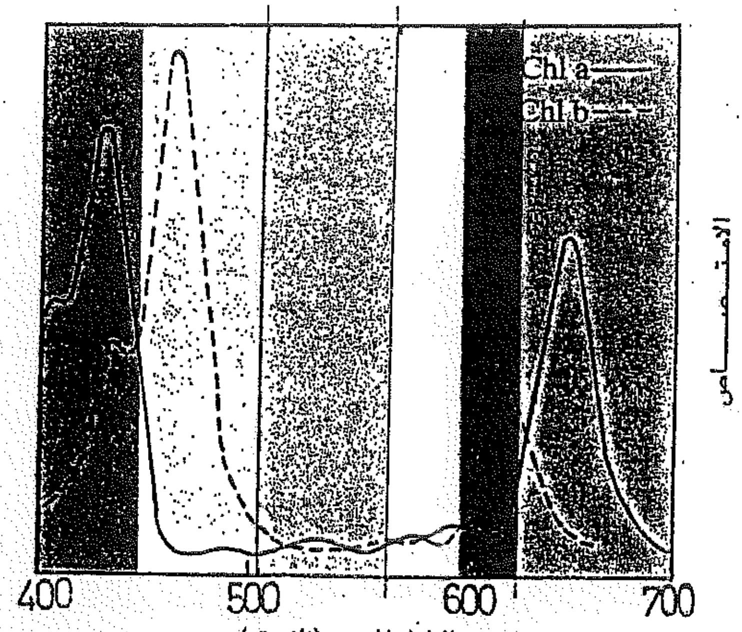


شكل (١٣-٢). إمتصاص الذرات للطاقة الضوئية. تمتص الذرات الطاقة فتحول من الحالة المستقرة إلى الحالة المثارة، وعند فقدها للطاقة ينبعث طيف اللصف (الفلورسنس) .

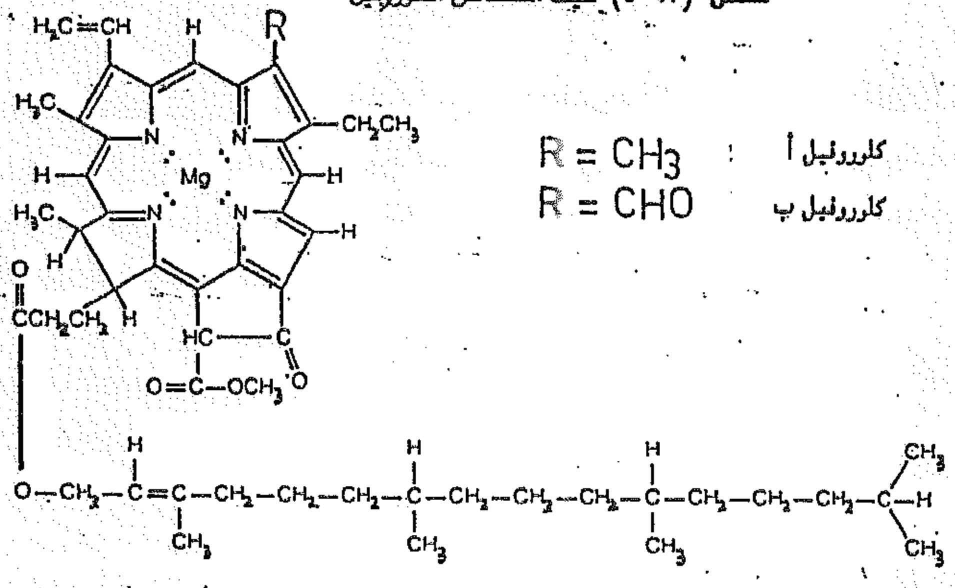
الكلوروفيل وامتصاص الطاقة الضوئية

Chlorophyll and Absorption of Energy

تعرف الأصباغ الملونة بأنها تلك المواد التي تمتص الأطياف الضوئية ذات الأطوال الموجية المختلفة بدرجات متفاوتة، وفي هذا الصدد تعتبر أصباغ الكلوروفيل الخضراء Chlorophylls والمشتملة على عدة أنواع أهمها كلوروفيل أ، وكلوروفيل ب، أصباغاً أساسية للبناء الضوئي، تمتص الأطياف الضوئية في المناطق الزرقاء والحمراء من الطيف المرئي (شكل ١٣-٤)، هذا وتحتوي النباتات على عدد من الأصباغ الأخرى المساعدة منها -الكاروتينويدات Carotenoids التي تمتص الضوء عند أطوال موجية غير تلك الخاصة بامتصاص الكلوروفيل. والكلوروفيل مركب عضوي حلقي (عطري) يسمى بورفرين Porphyrin يحتوي في مركزه على ذرة مغنسيوم هي التي تستثار بفعل الفوتونات الضوئية. ويتصل البورفرين بسلسلة هيدروكربونية تسمى فيتول Phytol (شكل ١٣- ٥) .

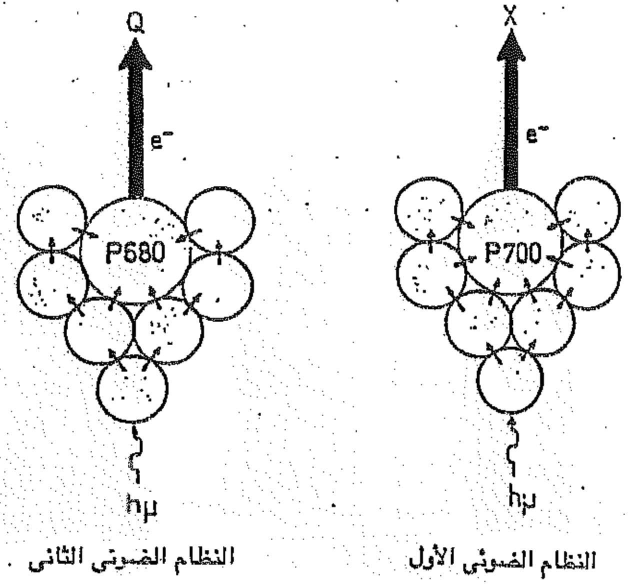


شكل (١٣-٤) طيف امتصاص الكلوروفيل



شكل (١٣-٥) التركيب الجزيئي للكلوروفيل

تنتظم الكلوروفيلات والأصباغ المساعدة في أغشية الثيلاكويد Thylakoids بالبلاستيدات الخضراء في منظومتين تعرفان بالنظام الضوئي الأول Photosystem I والنظام الضوئي الثاني Photosystem II. ويتكون النظام الضوئي من مجموعة الأصباغ الأساسية والمساعدة و زوج خاص من جزيئات الكلوروفيل يعرف بمركز التفاعل Reaction Centre. يعتمد عمل النظام الضوئي على امتصاص الأصباغ الأساسية والمساعدة للطاقة الضوئية وتجميعها في مركز التفاعل (شكل ١٣-٦).



شكل (١٣-٦) النظام الضوئي. تمتص جزيئات الكلوروفيل الفوتونات الضوئية فتثار إلى مستوى الإثارة الأول ثم تهاجر طاقة الفوتونات بين الجزيئات بظاهرة الرنين (Resonance) حتى تتجمع في مركز التفاعل .

التفاعلات الكيموضوئية للبناء الضوئي *Photochemical Reactions*

تعتمد هذه المجموعة من التفاعلات على وجود الضوء وتتم في داخل أغشية الثيلاكويد بالبلاستيدات الخضراء (شكل ١٢-٧) وينتج منها مركبات عالية الطاقة High-energy Compounds، وتحدث على مراحل يمكن تلخيصها فيما يلي :

١- يمتص الكلوروفيل الموجود في النظامين الضوئيين الضوء وتتجمع الطاقة الممتصة في مركز التفاعل لكل من هذين النظامين .

٢- تستثار بذلك ذرات المغنسيوم الموجودة في مراكز التفاعل حيث يرتفع منها الكترون إلى مستوى طاقة أعلى فتصبح جزيئات الكلوروفيل في الحالة المثارة .

٣- يعمل مستقبل الكتروني (Q) على استقبال الالكترونات من النظام الضوئي الثاني ومستقبل الكتروني (X) على استقبال الالكترونات من النظام الضوئي الأول .

٤- يعمل إنزيم خاص (Z) مجاور للنظام الضوئي الثاني على تحليل الماء إلى أكسجين ينطلق حراً وهيدروجين فيما يعرف بالتحلل الضوئي للماء Water Photolysis أو تفاعل هيل Hill Reaction نسبة إلى مكتشفه العالم البريطاني روبرت هيل Robert Hill .

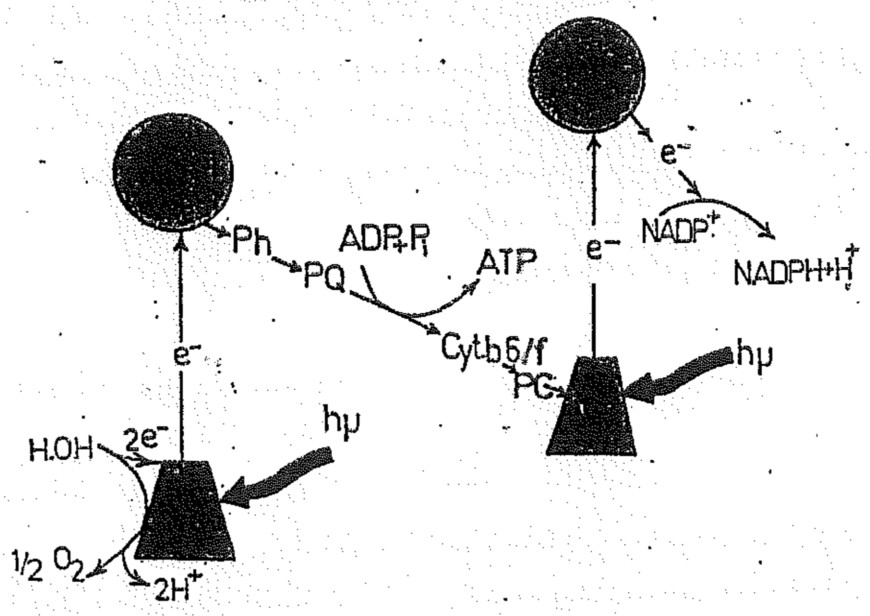
٥- تنفصل الكترونات عن ذرات الهيدروجين لتعوض مافقد من الكترونات من النظام الضوئي الثاني تاركة البروتونات حرة بداخل أغشية الثيلاكويد .

٦- تنتقل الالكترونات من المستقبل (Q) إلى النظام الضوئي الأول لتعوض مافقد من الكتروناته عبر مجموعة من الحوامل الالكترونية هي بلاستوكوينون (Plastoquinone, PQ)، سيتوكروم f (Cytochrome f, Cyt f) وهو مركب بورفريني يحتوي على عنصر الحديد، وبلاستوسيانين (Plastocyanin, PC) وهو مركب عضوي يحتوي على عنصر النحاس، ويفقد أثناء ذلك قدر من طاقة هذه الالكترونات يستخدم في تخليق مركب أدينوسين ثلاثي فوسفات Adenosine Triphosphate (ATP).

٧- تتحد البروتونات الحرة والالكترونات المفقودة من النظام الضوئي الأول مع جزيء حامل للهيدروجين Hydrogen Carrier Compound هو نيكوتين أميد أدنين ثنائي نيوكليوتيد – فوسفات (Nicotine Amide Adenine Dinucleotide Phosphate $NADP^+$ فيختزل إلي ($NADPH + H^+$).

$$12\ H_2O + 12\ NADP^+ + 18\ ADP + 18\ Pi \longrightarrow 6O_2 + 12\ NADPH + 12\ H^+ + 18\ ATP$$

تعرف المركبات الناتجة من هذه التفاعلات ($ATP, NADPH + H^+$) باسم **القوة التمثيلية** Assimilatory Power وتخرج خارج أغشية الثيلاكويد إلى حشوة البلاستيدة الخضراء (ستروما) حيث تستخدم لاختزال ثاني أكسيد الكربون. كما تعرف عملية تخليق ATP في هذه الحالة **بالفسفرة الضوئية** Photophosphorylation نظراً لاستخدام الضوء في إتمامها .



شكل (١٣-٧) التفاعلات الكيموضوئية للبناء الضوئي (مخطط Z للانتقال الالكتروني بالبلاستيدات الخضراء).

التفاعلات الكيموحيوية للبناء الضوئي *Biochemical Reactions*

لاتعتمد هذه المجموعة من التفاعلات على وجود الضوء بطريقة مباشرة إلا أنها تعتمد على مركبات القوة التمثيلية ($ATP, NADPH + H^+$) التي تنتج من التفاعلات الكيموضوئية. تتم التفاعلات الكيموحيوية في حشوة البلاستيدات الخضراء المعروفة باسم ستروما، ويتم فيها اختزال ثاني أكسيد الكربون وإنتاج سكريات بسيطة. وتحدث هذه المجموعة من التفاعلات على شكل دورة (شكل ١٣-٨) تعرف باسم دورة كالفين - بنسون نسبة إلى العالمين الأمريكيين ملفين كالفين Melvin Calvin، وأندرو بنسون Andrew Benson اللذين أدت بحوثهما في هذا المجال إلى كشف طبيعة هذه التفاعلات الهامة، ويمكن تلخيص هذه التفاعلات فيما يلي :

١- يستخدم ATP الناتج من التفاعلات الكيموضوئية في تحويل السكر الخماسي ريبيولوز-٥-فوسفات إلى ريبيولوز -١- ٥- ثنائي فوسفات (Ribulose -1-5 bisphosphate, RuBP) .

٢- يضاف ثاني أكسيد الكربون إلى جزيء ريبيولوز -١- ٥ - ثنائي فوسفات بفعل إنزيم ريبيولوز -١- ٥- ثنائي فوسفات بفعل إنزيم ريبيولوز-١- ٥- ثنائي فوسفات كربوكسيليز (Ribulose-1-5-bisphosphate Carboxylase Oxygenase, RuBISCO) فينتج مركب سداسي الكربون لايلبث أن ينشطر إلى نصفين بكل منهما ثلاثة ذرات كربون ويعرف باسم فوسفوجليسرات (Phosphoglycerate, PGA). وتعرف النباتات التي يحدث بها هذا التفاعل باسم نباتات الدورة الثلاثية أو نباتات C_3 حيث أن أول ناتج من نواتج تثبيت Co_2 بها (PGA) هو مركب ثلاثي الكربون ومن أمثلتها نباتات عباد الشمس، والقمح، والشعير، والشوفان .

٣- يختزل فوسفوجليسرات فينتج فوسفوجليسرالدهيد(Phosphoglyceraldehyde,PGAL) ويستخدم لذلك طاقة من القوة التمثيلية الناتجة من التفاعلات الكيموضوئية .

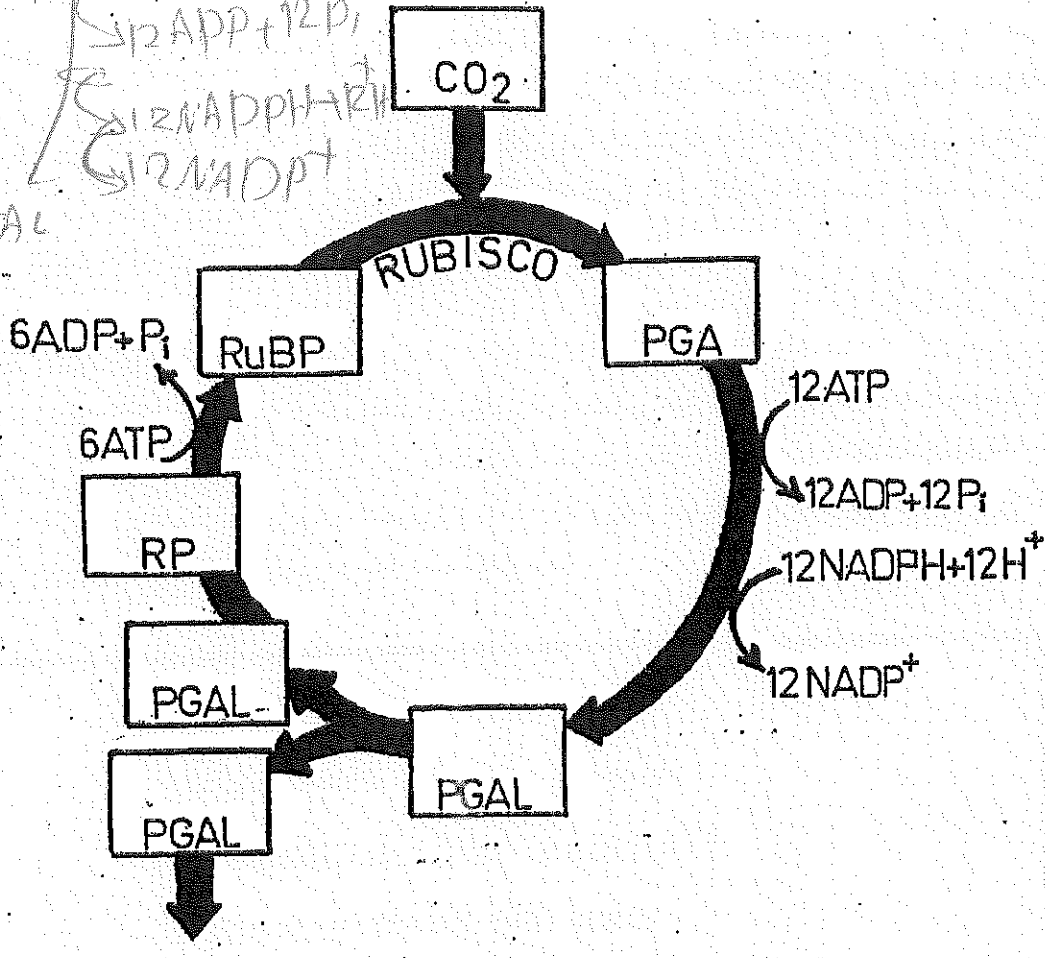
٤- ينتج عن كل ٦ لفات للدورة عدد ١٢ جزيء من فوسفوجليسرالدهيد (12PGAL) تستخدم ١٠ منها في إعادة تخليق السكر الخماسي ريبيولوز - ٥- فوسفات، ويستخدم الجزيئان المتبقيان في تخليق جزيء من الجلوكوز Glucose الذي يعد الناتج الرئيسي للتفاعلات الكيموحيوية للبناء الضوئي .

العوامل المؤثرة على البناء الضوئي

١- الضوء *Light*

أ - شدة الاستضاءة *Irradiance*

يزداد معدل البناء الضوئي بزيادة شدة الاستضاءة إلى حد معين يصل عنده المعدل إلى نقطة التشبع وعندها يظل معدل البناء الضوئي ثابتاً إلى حد ما يبدأ بعده في الانخفاض بسبب التأثيرات الضارة لشدة الاستضاءة العالية التي تشمل تأثيرات عديدة أهمها الأكسدة الضوئية للكلوروفيل والتي تتضمن إثارة عدد هائل من جزيئات الكلوروفيل وأكسدتها في وجود الأكسجين .



شكل (١٢– ٨) دورة اختزال ثاني أكسيد الكربون في البناء الضوئي (دورة كالفين – بنسون)

ب – الطول الموجي *Wavelength*

يقتنص النبات قدراً صغيراً من الطيف الكهرومغناطيسي الساقط على أوراقه. هذا ويبدي الكلوروفيل ذروة امتصاص في المنطقة الحمراء والمنطقة الزرقاء من الطيف المرئي، بينما تبدي الكاروتينويدات ذروة امتصاص في المنطقة الزرقاء، وعليه فإن معظم الضوء المنعكس والنافذ يكون في المنطقة الخضراء معطياً بذلك الأوراق لوناً أخضراً، وبذلك يكون أعلى معدل للبناء الضوئي عند الأطوال الموجية في المناطق الحمراء والزرقاء من الضوء المرئي، وأقل معدل له عند الأطوال الموجية في المنطقة الخضراء.

٢- درجة الحرارة *Temperature*

أ - التأثير على التفاعلات الكيموضوئية

تتركب أغشية الثيلاكويد من لبيدات وبروتينات ويتبع تركيبها نموذج الفسيفساء السائلي المفسر لتركيب الأغشية البيولوجية بصفة عامة. ويتسبب ارتفاع درجة الحرارة فوق الحد الأمثل في زيادة سيولة الليبيدات المكونة لأغشية الثيلاكويد مما يجعل العوامل الالكترونية المسئولة عن النقل الالكتروني عرضة للحركة داخل الغشاء لمسافات وإن كانت متناهية في الصغر إلا أنها تكون كافية لتبعدها بعضها عن البعض بما يسبب تثبيط الانتقال الالكتروني وانخفاض معدل البناء الضوئي .

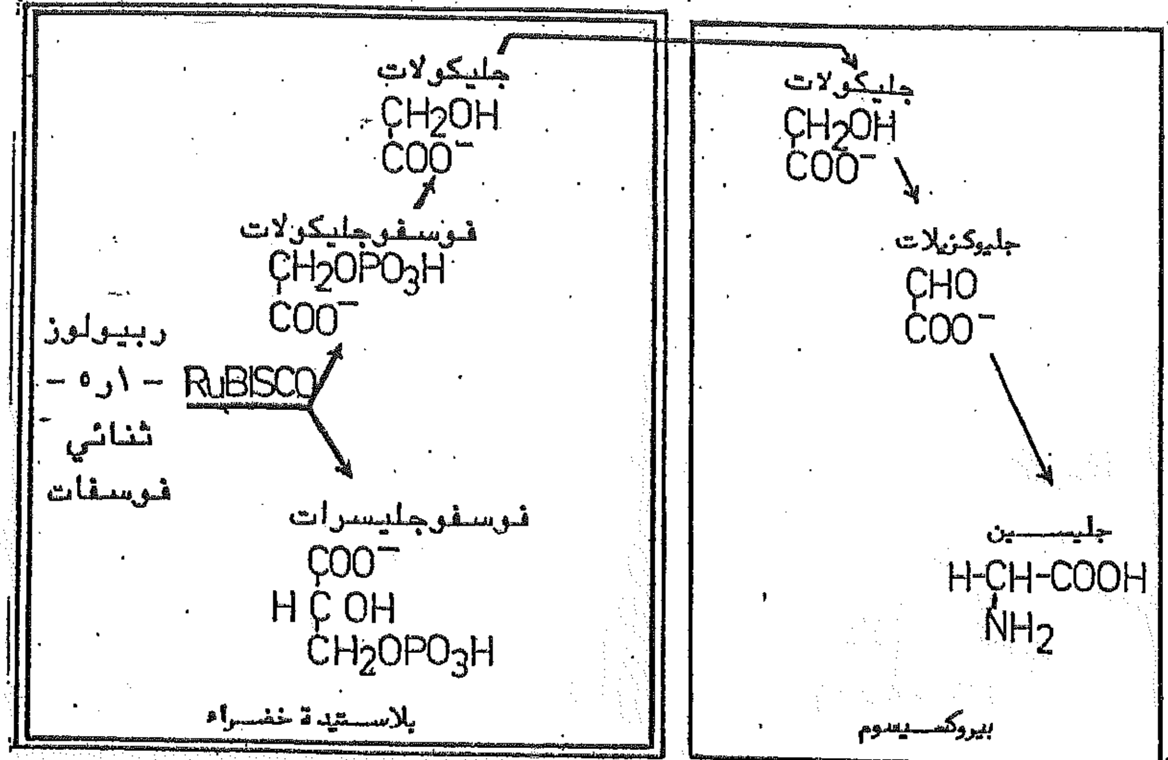
ب - التأثير على التفاعلات الكيمو حيوية

تعتبر التفاعلات الكيموحيوية البناء الضوئي والتي تحدث في حشوة البلاستيدات الخضراء (الستروما) تفاعلات إنزيمية تتأثر تأثراً كبيراً بدرجة الحرارة حيث يرتفع معدل هذه التفاعلات بارتفاع درجة الحرارة في المدى البيولوجي من درجات الحرارة (١٠ - ٤٠ درجة مئوية) ثم ينخفض معدلها بزيادة درجة الحرارة بعد ذلك لما قد يحدث من تغير طبيعة هذه الإنزيمات .

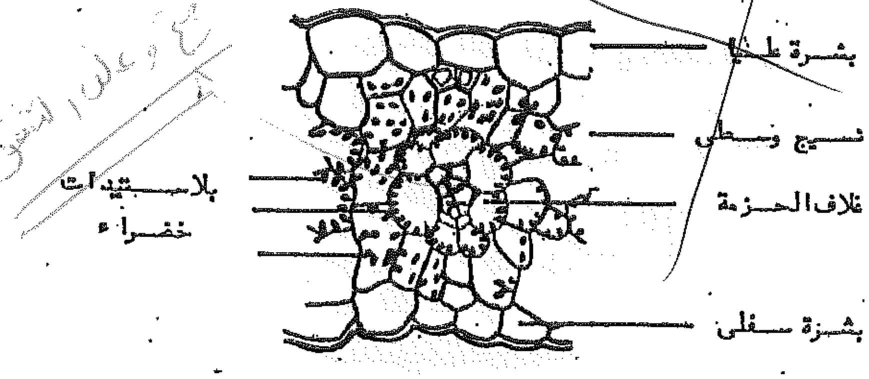
تأقلم البناء الضوئي للبيئة
Photosynthetic Acclimation and the Environment

المسلك الرباعي لتثبيت ثاني أكسيد الكربون *C_4 Pathway*

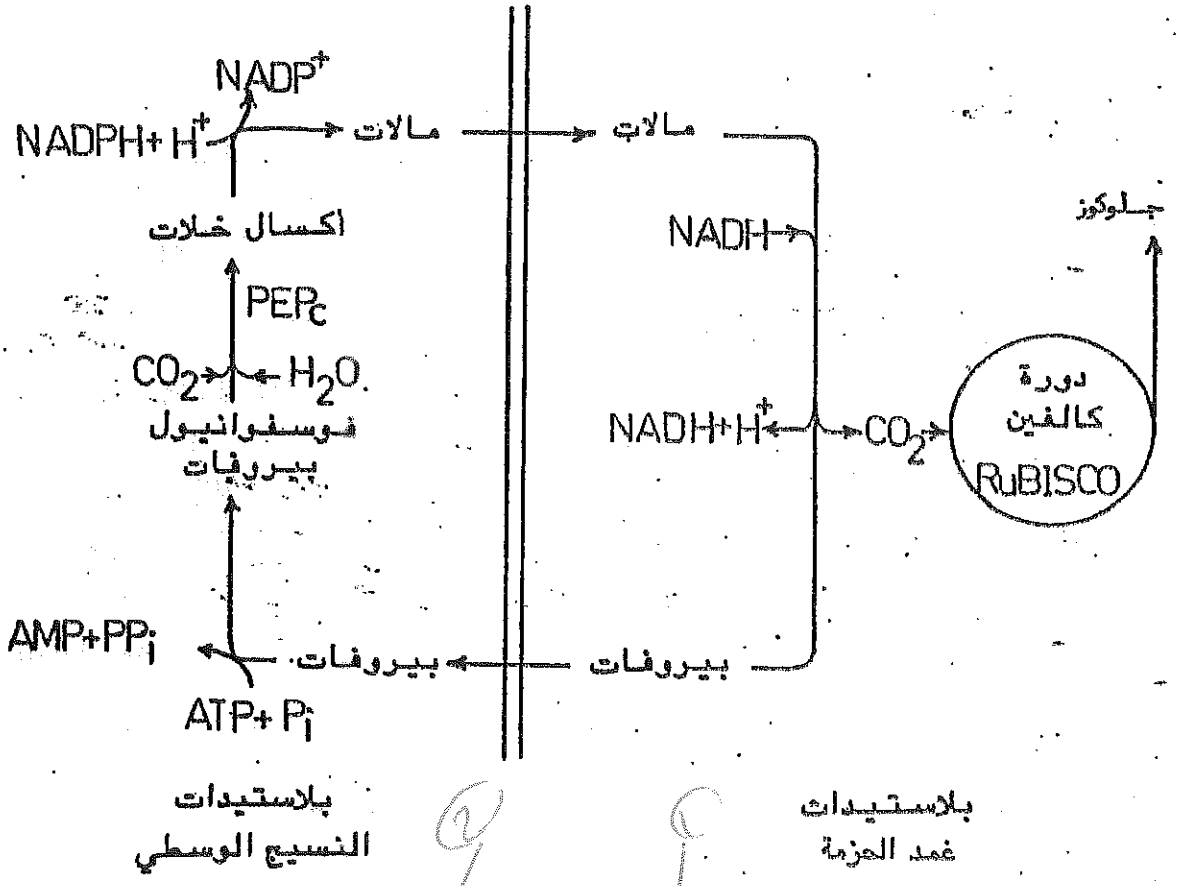
لإنزيم ريبولوز - ١- ٥ - ثنائي فوسفات كربوكسيليز RuBISCO المسئول عن تثبيت غاز CO_2 في نباتات C_3 قابلية ضعيفة للارتباط بهذا الغاز، كما أن نشاطه كمثبت لغاز CO_2 ينخفض بزيادة تركيز الأكسجين، كذلك فإن غاز الأكسجين يتنافس مع غاز CO_2 للإرتباط بالإنزيم مما يجعله يعمل على أكسدة مادة تفاعله (سكر ريبولوز - ١- ٥ - ثنائي فوسفات) بدلاً من كربكسلتها، ينتج عن هذه الأكسدة جزيء فوسفوجليسرات واحد فقط وجزيء فوسفوجليكولات فيما يعرف بعملية التنفس الضوئي Photorespiration مما يسبب انخفاض كفاءة إنزيم RuBISCO لتثبيت CO_2 ويمكن تلخيص تفاعلات التنفس الضوئي كما يلي :



تعمل بعض النباتات على رفع كفاءة إنزيم RuBISCO بوضعه في مكان من أنسجتها الداخلية حيث يرتفع تركيز CO_2 وينخفض تركيز الأكسجين، وهي تنتمي إلى البيئات الاستوائية مثل الذرة وقصب السكر الرجلة *(Portulaca oleraceae)* ولأوراقها تركيب تشريحي خاص يعرف بتشريح الضفيرة Kranz Anatomy حيث توجد حول كل حزمة وعائية خلايا تحتوي على بلاستيدات خضراء بها إنزيم RuBISCO، بينما تحتوي خلايا النسيج الوسطي على بلاستيدات خضراء بها إنزيم فوسفواينول بيروفات كربوكسيليز Phosphoenol pyruvate carboxylase (PEPc).



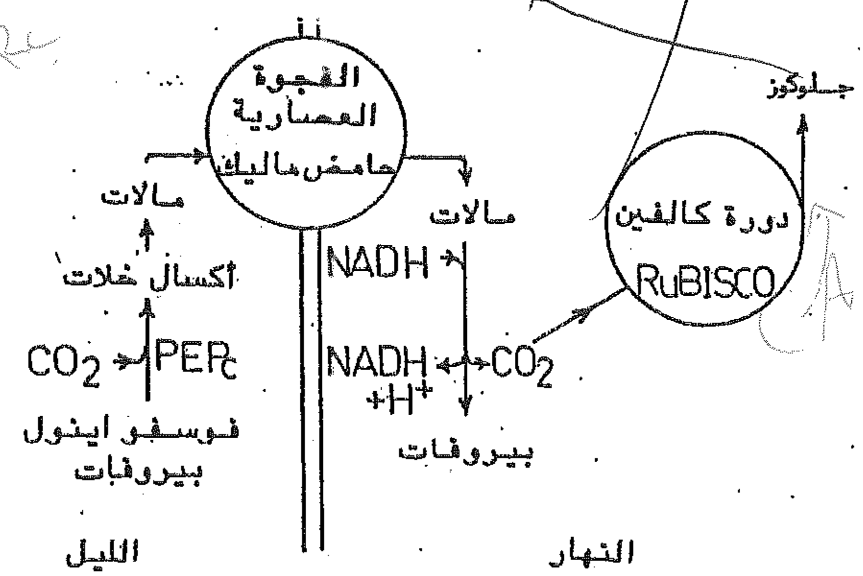
يمتاز إنزيم PEPc بقابلية مرتفعة للارتباط بغاز CO_2، كما أنه لايتأثر بوجود غاز الأكسجين. ويعمل هذا الإنزيم على ربط CO_2 بمادة فوسفوانيول بيروفات PEP لينتج أكسال خلات الذي يختزل إلى مالات تنتقل إلى خلايا الضفيرة حول الحزم الوعائية حيث تتحلل إلى بيروفات وغاز CO_2 حر يتم تثبيته في دورة كالفين بواسطة إنزيم RuBISCO، وتعرف هذه النباتات باسم نباتات المسلك الرباعي أو نباتات C_4 لأن مادة أكسال خلات وهي مركب به أربعة ذرات كربون هي الناتج الأول لتثبيت غاز CO_2 في هذه النباتات كما يلي :



يلائم المسلك الرباعي تكيف للبيئة الاستوائية حيث تعمل نباتات C_4 على تثبيت غاز CO_2 على مرحلتين منفصلتين مكانياً (النسيج الوسطي أولاً، ثم غلاف الحزمة الوعائية). كذلك فإن هذه النباتات تعمل على تركيز غاز CO_2 في نسيج الضفيرة فلا ينخفض معدل البناء الضوئي بها إذا ماأضطرت لغلق الثغور جزئياً في منتصف النهار الاستوائي الحار لتقليل الماء المفقود في عملية النتح. كذلك فإن نباتات C_4 تعتبر ذات كفاءة مرتفعة لاستخدام الماء (كفاءة استخدام الماء = كمية غاز CO_2 المثبت ÷ كمية بخار الماء المفقود) إذا ماقورنت بنباتات C_3 .

الأيض الحمضي الكراسيولي Crassulacean Acid Metabolism (CAM)

يعد الأيض الحمضي الكراسيولي نوع من التاقلم للبيئة يناسب تقليل الماء المفقود في عملية النتح وبالتالي فإنه يناسب رفع كفاءة استخدام الماء، وتنتمي النباتات التي يحدث بها هذا النوع من الأيض إلى البيئات الجافة التي يندر فيها الماء مثل الصحاري، أو عند قمم الجبال الشاهقة وفي المناطق تحت القطبية حيث يتجمد الماء ويصبح غير متاح للامتصاص عبر المجموع الجذري، وقد أطلق على هذا النوع من الأيض إسم الكراسيولي حيث أنه اكتشف لأول مرة في نبات الكراسيولا (*Crassula* sp.) المنتمي للعائلة الكراسيولية (*Crassulaceae*)، إلا أنه قد اكتشف أيضاً في كثير من نباتات العائلة الصبارية (*Cactaceae*) والعائلة الأجافية (*Agavaceae*) المنتمية لبيئة قاسية جداً شديدة الجفاف والحرارة في جنوب الولايات المتحدة الأمريكية تعرف بوادي الموت Death Valley، وتعرف هذه النباتات باسم نباتات CAM. وتفتح نباتات CAM ثغورها ليلاً حيث تكون رطوبة الهواء مرتفعة نسبياً مما يقلل من الماء المفقود في عملية النتح، وفي هذه النباتات يعمل إنزيم PEPc على ربط غاز CO_2 أثناء الليل بمادة فوسفو اينول بيروفات لينتج مادة أكسال خلات تختزل إلى حامض ماليك Malic Acid يختزن في الفجوة العصارية طول الليل مما يجعل لأوراق هذه النباتات مذاقاً حمضياً. وعند حلول النهار يتم غلق الثغور وإخراج حامض الماليك من الفجوة العصارية وتكسيره إلى بيروفات وغاز CO_2 حر يتم تثبيته في دورة كالفين بفعل إنزيم RuBISCO. وبذلك تعمل نباتات CAM على تثبيت غاز CO_2 على مرحلتين منفصلتين زمانياً لرفع كفاءة استخدام الماء حيث تظل ثغورها مغلقة أثناء النهار لتفادي فقد الماء في النتح .

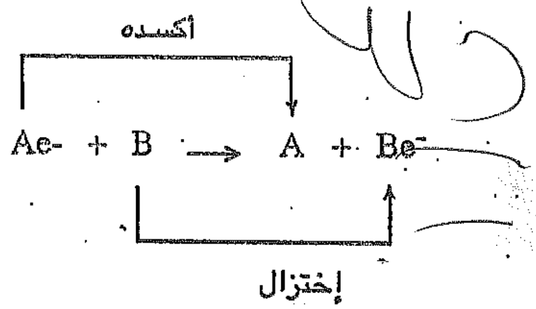


عمليات انطلاق الطاقة

Energy - releasing Processes

التنفس *Respiration*

تستخلص الخلايا الحية الطاقة من المواد العضوية التي تصنعها أو تقتنصها من مكونات بيئتها ففي الحيوانات مثلاً يتضمن هضم الطعام هدم البروتينات إلى مكوناتها من الأحماض الأمينية، وهدم الكربوهيدرات إلى السكريات البسيطة، وهدم الدهون إلى جليسرول وأحماض دهنية. وتتشابه مثل هذه العمليات في النبات والحيوان على المستوى الخلوي، كما يطلق على مجموع هذه العمليات الحيوية مصطلح عمليات الهدم Catabolism وتحدد خصائص البيئة التي تنتمي إليها خلية ما نوع المسار الحيوي الذي تسلكه عمليات الهدم، ففي الخلايا المنتمية إلى البيئات الغنية بالأكسجين تستخدم مسارات حيوية غاية في الكفاءة لاستخلاص الطاقة يلزم لسيرها وجود الأكسجين وتسمى مسارات هوائية Aerobic Pathways، بينما تعتمد الخلايا المنتمية إلى البيئات الفقيرة في الأكسجين على مسارات لاهوائية Anaerobic Pathways لعمليات الهدم. وتتم عمليات الهدم على وجه العموم باستخدام سلاسل من التفاعلات المعروفة باسم تفاعلات الأكسدة والاختزال Redox Reactions حيث تستخلص الخلية الطاقة بواسطة سريان فيض من الالكترونات والبروتونات في هذه التفاعلات. ففي تفاعلات الأكسدة تفقد المادة الكترونات، بينما تكتسب الكترونات في تفاعلات الاختزال ويمكن تمثيل مثل هذه التفاعلات كما يلي :



حيث : -Ae عامل مختزل (Reducing Agent)، B عامل مؤكسد (Oxidising Agent)، -e الكترون (Electron)

التنفس الخلوي الهوائي تفاعل أكسدة واختزال
Cellular Respiration is a Redox Reaction

تعتبر عملية التنفس الخلوي عملية أكسدة واختزال تتم من خلال مسار حيوي معقد يتضمن عدداً كبيراً من التفاعلات تبدأ في السيتوبلازم وتنتهي في داخل الميتوكوندريا. يتم في هذه العملية انتقال الهيدروجين من الجلوكوز إلى الأكسجين، وعليه يتأكسد الجلوكوز ويختزل الأكسجين وينطلق في هذه العملية كم من طاقة الالكترونات يستخدم في تخليق المركب الهام أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP . كما يتضح من المعادلة التالية :

أكسدة

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 + 6\,H_2O \longrightarrow 6\,CO_2 + 12\,H_2O + \text{طاقة}$$

إختزال

مراحل التنفس الخلوي *Phases of Cellular Respiration*

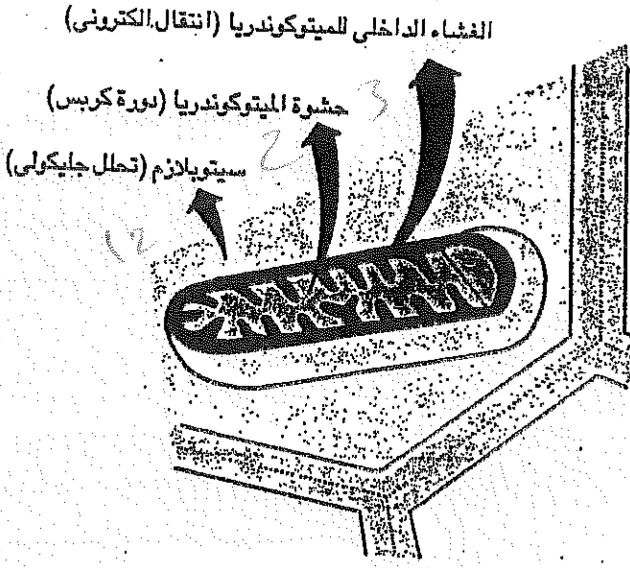
يمكن تقسيم مراحل التنفس الخلوي إلى ثلاث مجموعات من التفاعلات تبعاً لمكان حدوثها بداخل الخلية والظروف اللازمة لحدوثها فالتحلل الجليكولي يحدث في السيتوبلازم، وتفاعلات دورة كربس في حشوة الميتوكوندريا، أما الانتقال الالكتروني وتخليق **ATP** فيتم في داخل الغشاء الداخلي للميتوكوندريا (شكل ١٣-٩)، كما يمكن تلخيص هذه التفاعلات فيما يلي :

أولاً: التحلل الجليكولي *Glycolysis*

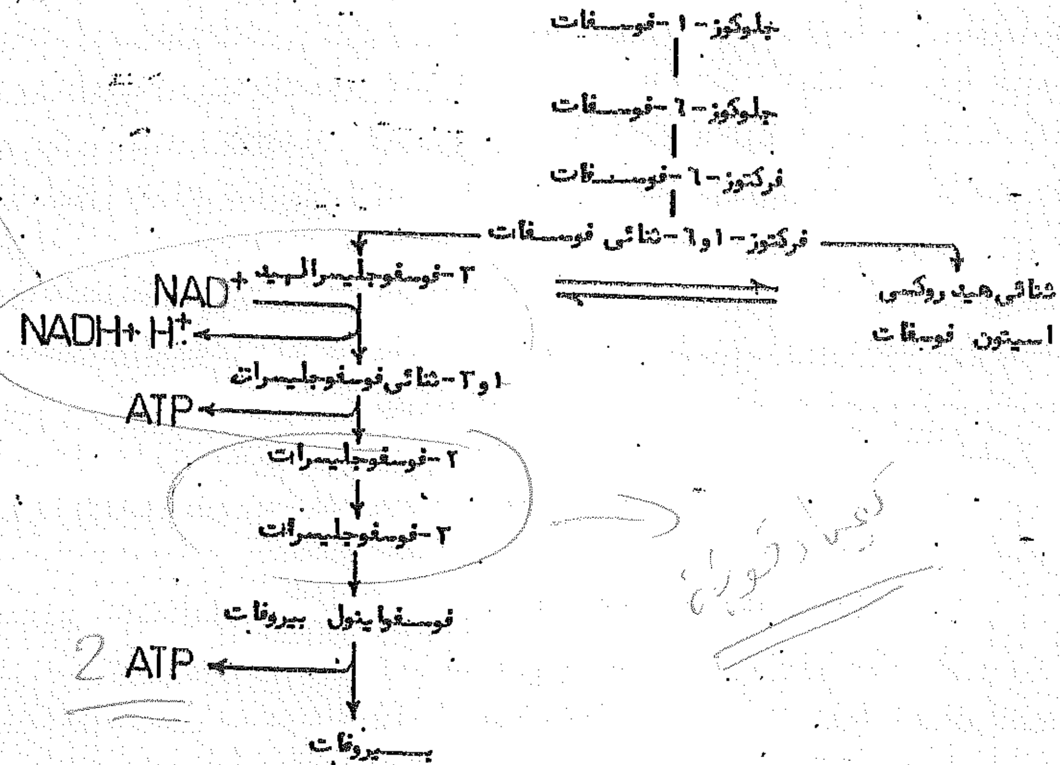
تحدث هذه المجموعة من التفاعلات في السيتوبلازم ولايلزم لحدوثها وجود الأكسجين (تفاعلات لاهوائية) ويتم بانتهائها انشطار جزيء الجلوكوز (٦ ذرات كربون) إلى جزيئين من حامض البيروفيك (٣ ذرات كربون). هذا ويتم تخليق جزيئين من ATP (شكل ١٣-١٠) فيما يعرف بالفسفرة على مستوى مادة التفاعل Substrate level phosphorylation .

ثانياً: تكوين خلات المرافق الإنزيمي - أ *Formation of Acetyl-CoA*

يتم في هذه التفاعلات نزع ذرة كربون من كل جزيء من حامض البيروفيك وانطلاقه على صورة ثاني أكسيد كربون. بذلك يتحول حامض البيروفيك إلى مركب ثنائي ذرات الكربون يرتبط بالمرافق الإنزيمي - أ (Coenzyme A). هذا ويتم أيضاً انطلاق ذرتي هيدروجين (٢ بروتون + ٢ إلكترون) يتحدا مع مستقبل هيدروجين $NADP^+$ فيختزل إلى $NADPH + H^+$.



شكل (١٢-٩) أماكن حدوث المراحل المختلفة للتنفس الخلوي

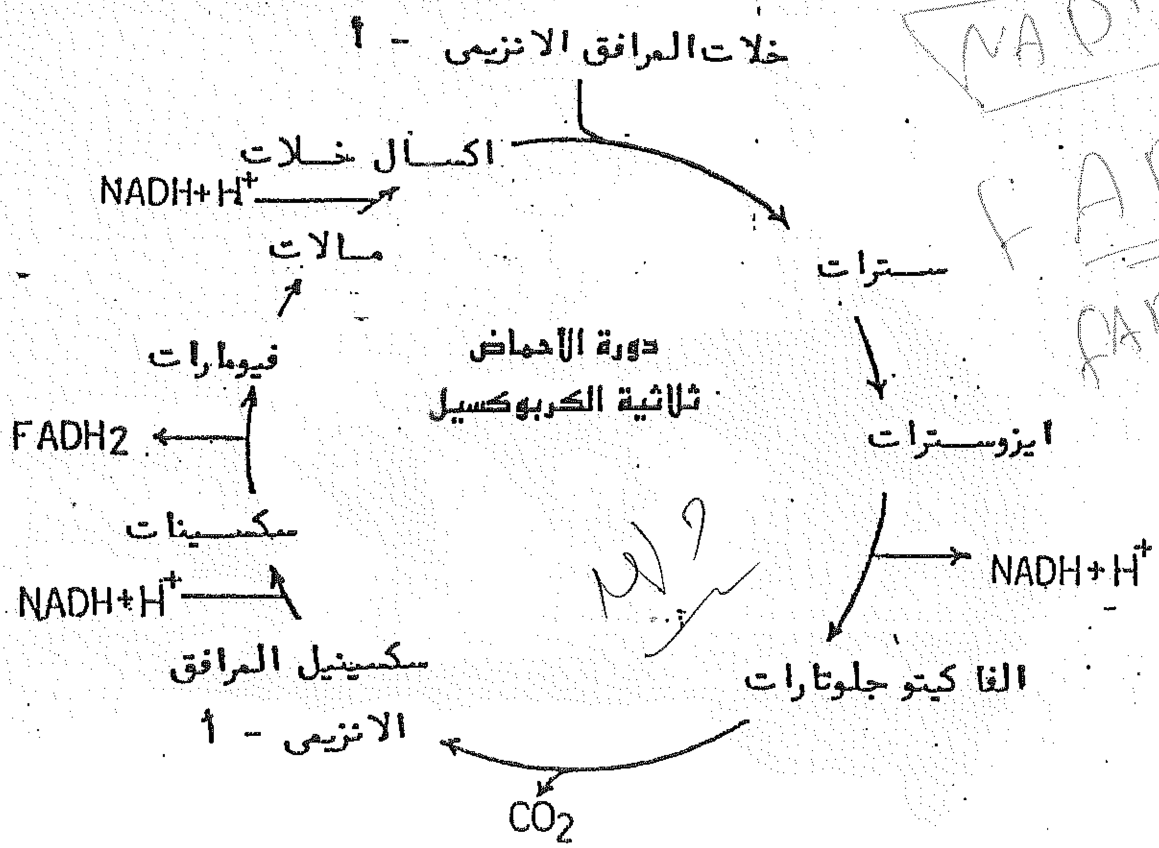


شكل (١٢-١٠) خطوات التحلل الجليكولي

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-COO^- \xrightarrow[NADP^+ \quad NADPH+H^+]{CoASH \quad CO_2} CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-S-CoA$$

ثالثاً : دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل *Tricarboxylic Acid Cycle*

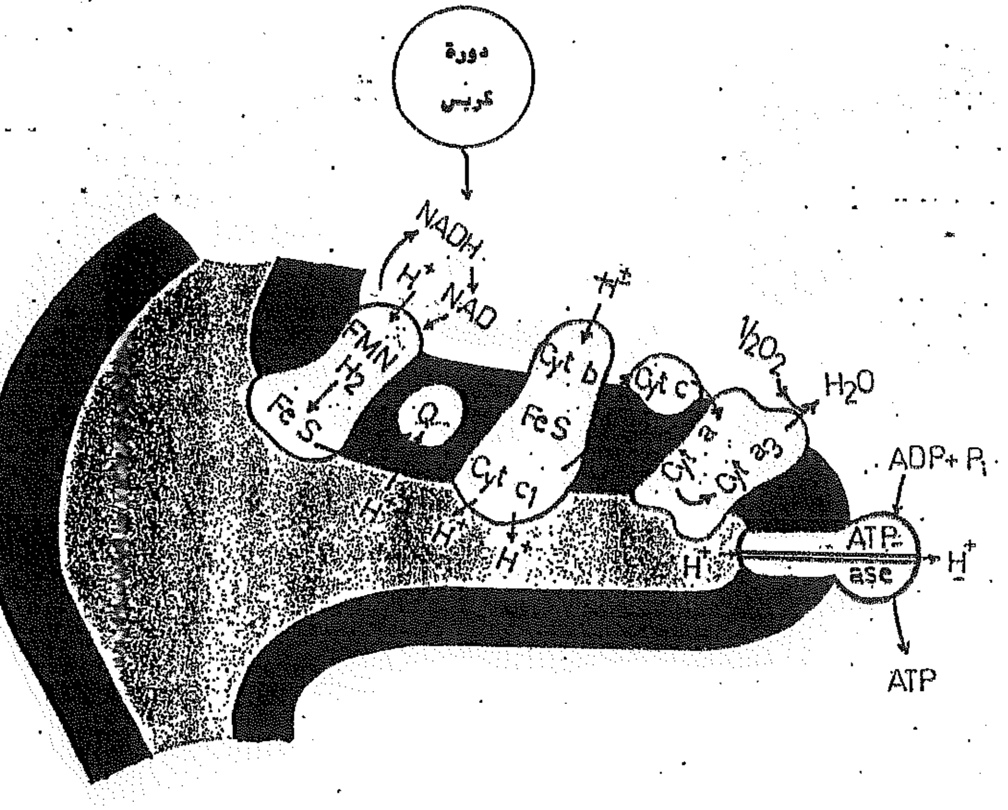
تتم هذه المجموعة من التفاعلات في حشوة الميتوكوندريا ويلزم لها وجود الأكسجين (تفاعلات هوائية) وتؤدي إلى تحرر ذرتي الكربون من خلات المرافق الأنزيمي – أ على صورة ثاني أكسيد الكربون (شكل ١٣–١١)، بينما يرتبط الهيدروجين المنطلق مع مستقبلات الهيدروجين مثل مركب نيكوتين أميد أدنين ثنائي نيولكيوتيد NAD^+ وفلافين أدنين ثنائي نيوكليوتيد FAD، فتختزل هذه المركبات ($FADH_2$, $NADH+H^+$) ويطلق عندئذ على مجموعها مصطلح **القوة الاختزالية** Reducing Powe .



شكل (١٣–١١) دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل (دورة كربس)

رابعاً : الانتقال الإلكتروني وتخليق أدينوزين ثلاثي الفوسفات
Electron Transport and ATP Synthesis

تحدث هذه التفاعلات في الأغشية الداخلية للميتوكوندريا والمعروفة باسم الأعراف Cristae، ويلزم لحدوثها وجود الأكسجين أي أنها تفاعلات هوائية (شكل ١٣-١٢) . يتم في هذه المرحلة انتقال ذرات الهيدروجين (بروتونات + الكترونات) من مركبات القوة الاختزالية ($FADH_2$, $NADH+H^+$) إلى سلسلة من المركبات المستقبلة للهيدروجين Hydrogen Acceptors والمركبات المستقبلة للالكترونات Electron Acceptors المعروفة بالسيتوكرومات المطمورة بالغشاء، حيث تنفصل البروتونات عن الالكترونات، فتفقد الالكترونات قدراً من طاقتها يستخدم في تخليق جزيئات أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP أثناء ضخ البروتونات الحرة إلى حشوة الميتوكوندريا بفعل الإنزيم الهام الخاص بتخليق ATP الموجود بأغشية الميتوكوندريا والمعروف باسم إنزيم **تخليق أدينوسين ثلاثي الفوسفات** ATP Synthetase. وتعرف عملية تخليق ATP هنا بالفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylatio نظراً لأن الأكسجين يمثل المستقبل النهائي للالكترونات Terminal Electron Acceptor في عملية الانتقال الالكتروني .



شكل (١٣-١٢) الانتقال الالكتروني وتخليق ادينوسين ثلاثي الفوسفات (الفسفرة التأكسدية)

التنفس اللاهوائي *Anaerobic Respiration*

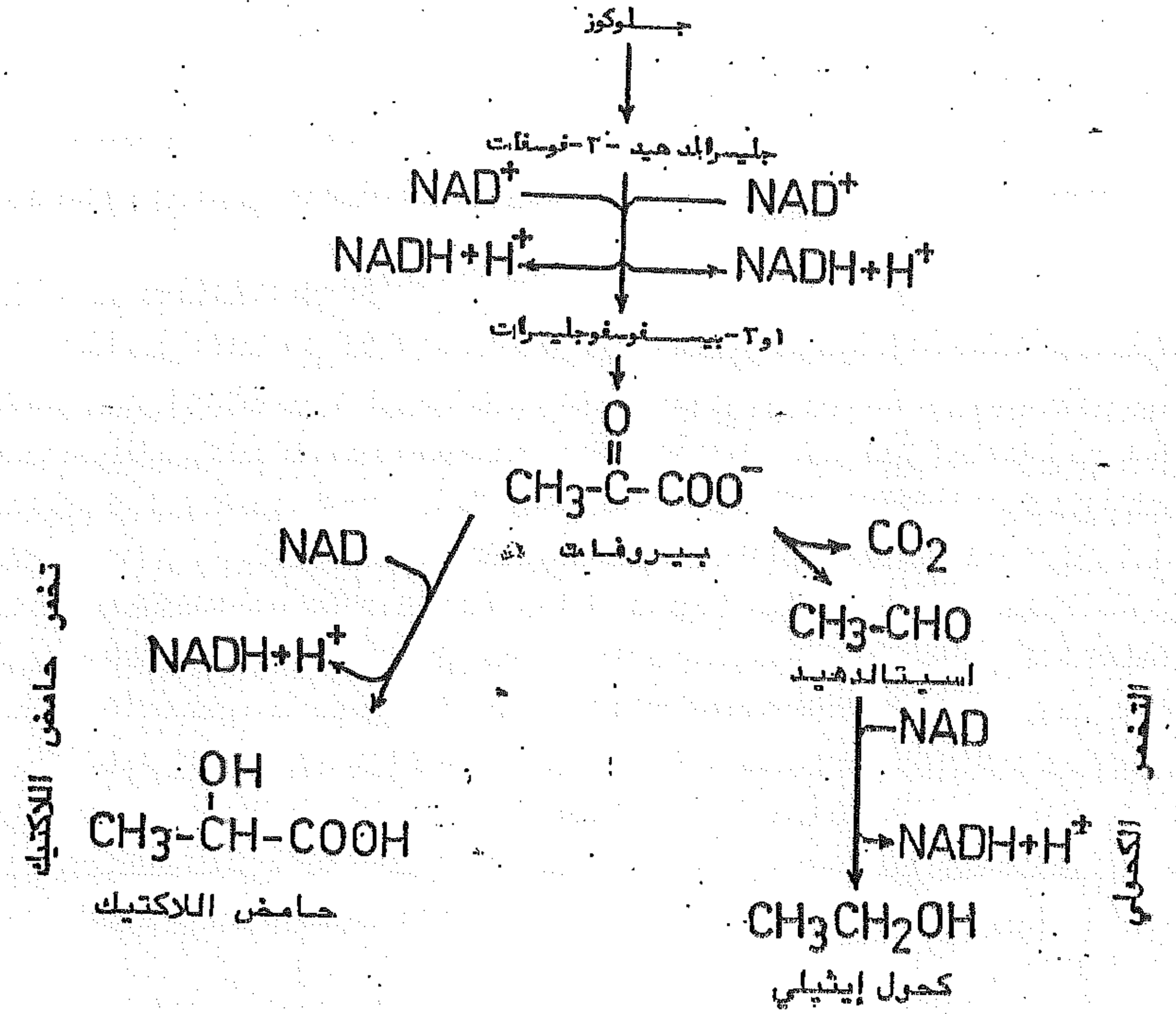
تعمد بعض الكائنات الدقيقة المنتمية إلى بيئات مفتقرة للأكسجين إلى القيام بنوع خاص من التنفس لايعمل فيه الأكسجين كمستقبل نهائي للالكترونات ويعرف هذا المسلك بالتنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration وفيه تستخدم الخلية مستقبلاً نهائياًللالكترونات مثل أيونات النترات كما في البكتريا التي تحدث عملية عكس النيترة Denitrification، أو أيونات السلفات كما في البكتريا المختزلة للسلفات .

التخمر *Fermentation*

تلجأ بعض الكائنات إلى نقل الإلكترونات إلى مركب عضوي موجود داخل الخلية فيما يعرف بالتخمر وبعض الكائنات الدقيقة الهوائية تقوم بالتنفس اللاهوائي دون الاعتماد على وجود الأكسجين . فخلايا فطرة الخميرة *(Saccharomyces cerevisiae)* مثلاً تحول حامض البيروفيك الناتج من التحلل الجليكولي إلى اسيتالدهيد يختزل بواسطة الهيدروجين من المركب $NADH + H^+$ لينتج كحول إيثيلي (شكل ٥– ١٦) فيما يعرف بالتخمر الكحولي Alcohol Fermentation. كما أن بكتريا حامض اللاكتيك *(Lactobacillus acidophyllus)* وخلايا عضلات الحيوانات تعمل على اختزال حامض البيروفيك الناتج من التحلل الجليكولي إلى حامض اللاكتيك باستخدام الهيدروجين من $NADH + H^+$ (شكل ١٣–١٣) فيما يعرف بتخمر حامض اللاكتيك Lactic Acid Fermentation، وجدير بالذكر أن تراكم حامض اللاكتيك أثناء بذل الإنسان لجهود عضلي كبير يسبب الشعور بالام العضلات المعروف بتعب العضلات Muscle Fatigue. وتمثل التفاعلات اللاهوائية أساساً لكثير من الصناعات الغذائية الهامة فتستخدم الخميرة لإنتاج الكحول والمشروبات الكحولية وفي صناعة الخبز، كما تستخدم بكتريا حامض اللاكتيك في صناعة منتجات الألبان Dairy Products كالجبن واللبن الزبادي (الروب) .

مسارات التنفس وإنتاج الطاقة

تعتبر مسارات التنفس اللاهوائية أقل كفاءة في إنتاج الطاقة مقارنة بالمسار الحيوي للتنفس الهوائي. فالتخمر الكحولي لفطرة الخميرة ينتج عنه جزيئان من أدينوسين ثلاثي الفوسفات (2 ATP)، والكحول الإيثيلي الناتج عنه يمكن أكسدته لإنتاج المزيد من الطاقة. وبالمثل فإن تخمر حامض اللاكتيك لبكتريا حامض اللاكتيك ينتج عنه جزيئان من (2 ATP)، كما أن حامض اللاكتيك مركب به ثلاثة ذرات كربون يحوي مزيداً من الطاقة غير المحررة إلا أن هذه الكائنات الدقيقة تكتفي بالقدر من الطاقة المنطلقه في عمليات التخمر، بينما تعمد الكائنات الهوائية إلى إنتاج المزيد من الطاقة في التنفس الهوائي . ويمقارنة هذين المسارين بالتنفس الهوائي يتضح أن التنفس الهوائي هو المسار الأكثر كفاءة حيث تتم فيه أكسدة الغذاء أكسدة تامة لتتحرر بذلك كل الطاقة المتاحة في الغذاء كما أنه ينتج عنه عدد ٣٨ جزيء من أدينوسين ثلاثي الفوسفات لكل جزيء جلوكوز تتم أكسدته تماماً إلى H_2O, CO_2 (شكل ١٣–١٤) .

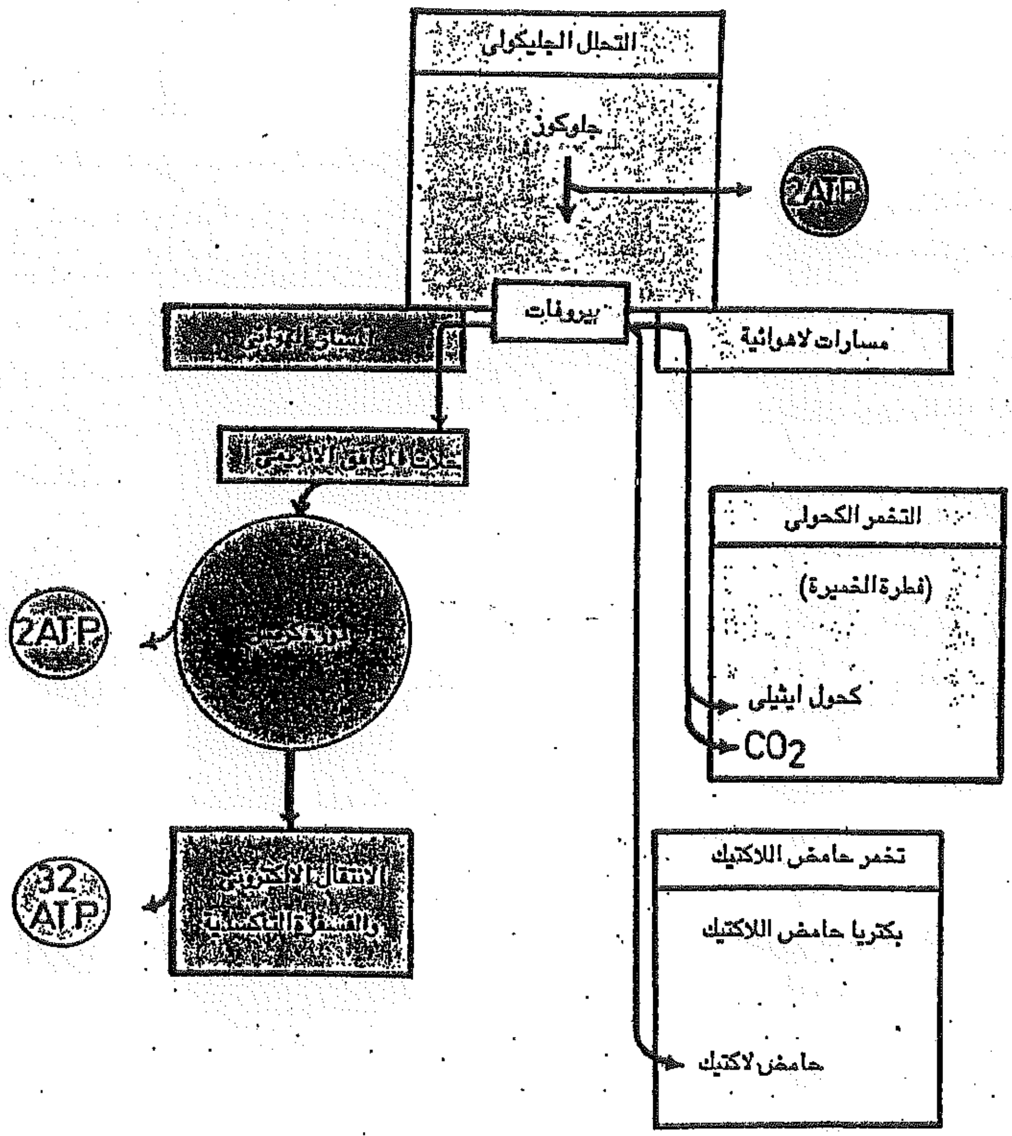


شكل (١٣-١٢) التخمر

معامل التنفس *Respiratory Quotient*

يمكن معرفة معدل التنفس بقياس معدل انطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون أو معدل استهلاك غاز الأكسجين، إلا أنه من المستحب قياس كل من المعدلين حيث أن النسبة بين CO_2 المنطلق، و O_2 المستهلك والمعروفة باسم معامل التنفس (RQ) لها دلالات بيولوجية هامة. وتختلف قيمة معامل التنفس باختلاف المادة المستخدمة في التنفس، فعند استخدام المواد الكربوهيدراتية (الجلوكوز مثلاً) كمادة تنفسية فإن قيمة معامل التنفس تساوي الوحدة ($RQ = CO_2 / O_2 = 1$)، وعند استخدام المواد الدهنية التي تعتبر أكثر اختزالاً من الكربوهيدرات فإنه يلزم استخدام قدر أكبر من الأكسجين لأكسدتها وعليه فإن قيمة معامل

التنفس تكون أقل من الوحدة ($RQ = CO_2 / O_2 < 1$) . أما عند استخدام أحد الأحماض العضوية (أحد أحماض دورة كربس مثلاً) كمادة تنفسية وهي مركبات أكثر أكسدة من الكربوهيدرات فإنه يلزم استخدام قدر أقل من الأكسجين لأكسدتها وبالتالي تكون قيمة معامل التنفس أكبر من الوحدة ($RQ = CO_2 / O_2 > 1$) وتكمن أهمية معرفة قيمة معامل التنفس في إمكان التنبؤ بنوع المادة المستخدمة في التنفس على وجه التقريب .



شكل (١٣-١٤) مسارات التنفس وإنتاج الطاقة

الفصل الثالث عشر ـــ

العوامل المؤثرة على معدل التنفس

١- درجة الحرارة *Temperature*

تعتبر معظم تفاعلات التنفس تفاعلات إنزيمية، لذا فإن لدرجة الحرارة تأثيراً كبيراً على معدلها. ويكون معدل التنفس منخفضاً جداً عند درجات الحرارة المنخفضة ولايلبث أن يرتفع بارتفاع درجة الحرارة حتى يصل إلى أقصى قيمة له في المدى الحراري ٣٥ – ٤٥°م تقريباً. هذا وارتفاع درجة الحرارة فيما وراء هذا المدى إلى تغير طبيعة الإنزيمات مما يسبب انخفاض معدل التنفس (شكل ١٣– ١٥) .

٢- الأكسجين *Oxygen*

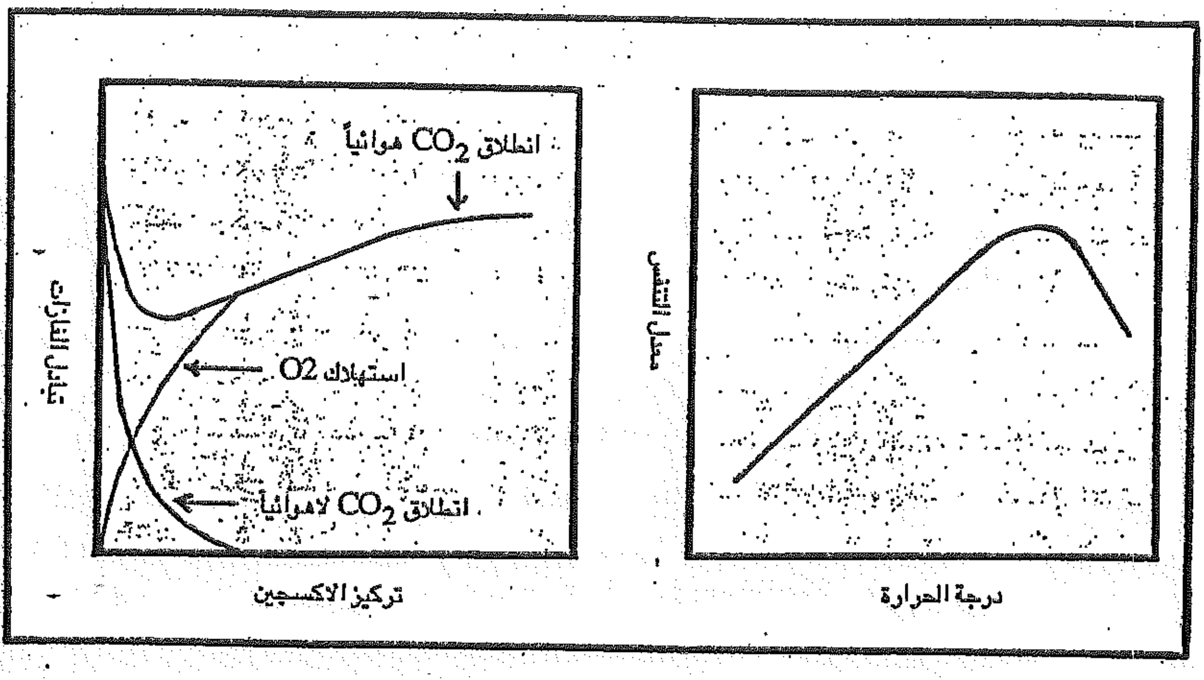
إن وجود الأكسجين لازم لحدوث تفاعلات دورة كربس، كما أن الأكسجين هو المستقبل النهائي للالكترونات في نظام النقل الالكتروني، ولذلك يكون لتركيز الأكسجين أثر كبير على معدل التنفس. وفي غياب الأكسجين يكون كل غاز ثاني أكسيد الكربون المنطلق في التنفس هو في الواقع ناتج الخطوات اللاهوائية، وعند زيادة تركيز الأكسجين يزداد معدل التنفس الهوائي إلى أن يصل إلى معدل يثبت عنده مهما زاد تركيز الأكسجين (شكل ١٣– ١٥)، وتصل قيمة معامل التنفس عند هذا التركيز إلى الوحدة. وتعرف النقطة التي تصل عندها قيمة معامل التنفس إلى الوحدة عند تركيز معين للأكسجين بنقطة الانتهاء. Extinction Point.

٣- ثاني أكسيد الكربون *Carbon Dioxide*

لغاز ثاني أكسيد الكربون تأثير مثبط للتنفس، ويعتقد بأن هذا التأثير المثبط تأثير غير مباشر حيث أن الدراسات الحديثة قد أشارت إلى أن زيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء تؤدي إلى غلق الثغور ومن ثم إلى الحد من تبادل الغازات .

٤- الحث الميكانيكي والجروح *Mechanical Stimulation and Wounds*

أثبتت الدراسات أن معدل تنفس أوراق النبات يزداد عند لمسها أو عند اصطدامها بشدة ببعضها وبالفروع فيما يعرف بالحث الميكانيكي للتنفس. هذا وقد لوحظ أيضاً أن الجروح التي تحدث بالأعضاء النباتية تزيد من معدل التنفس في أنسجة هذه الأعضاء المجروحة بصفة عامة، ويتزامن مع هذه الزيادة في معدل التنفس زيادة في النشاط الإنشائي اللازم لالتئام الجروح .



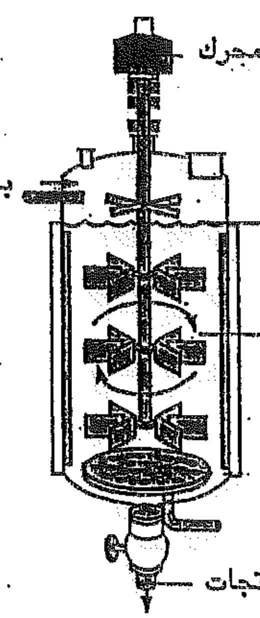
شكل (١٣-١٥) تأثير درجة الحرارة وتركيز الأكسجين على معدل التنفس

التخمر الكحولي والتقنية الحيوية

Alcohol Fermentation
And Biotechnology

يعد إنتاج الكحول الإيثيلي صناعياً باستخدام خلايا فطرة الخميرة أحد التقنيات الحيوية ذات الأهمية الاقتصادية الكبيرة التي لقيت اهتماماً عظيماً في السنوات الأخيرة، خاصة في بعض الدول التي يصل إنتاجها من الكحول الإيثيلي إلى بلايين اللترات في العام الواحد مثل البرازيل والولايات المتحدة الأمريكية. وترجع أهمية الكحول الإيثيلي إلى استخدامه كوقود قائم بذاته،

أو كمخلوط مع المنتجات البترولية الأخرى، وتستخدم سلالات عديدة من فطرة الخميرة في عمليات إنتاج الكحول الإيثيلي على نطاق تجاري واسع، وتختلف السلالات المستخدمة من بلد لآخر تبعاً لنوع المادة السكرية الخام المتوفرة لهذه الصناعة. ويرجع ذلك إلى اختلاف قدرة السلالات المختلفة من الخميرة على تخمير السكريات المختلفة، فعلى سبيل المثال تستطيع سلالة *(Saccharomyces cerevisiae)* تخمير سكريات الجلوكوز، والفركتوز، والمالتوز المتوفرة في المنتجات النباتية ذات المحتوى السكري المرتفع مثل عصير قصب السكر والمولاس، بينما تستطيع سلالة *(Saccharomyces diastaticus)* تخمير سكر اللاكتوز. وتشترك كل هذه السلالات في صفات منها تفضيلها للنمو في المدى الحراري ٢٥-٣٢ْم في أوساط غذائية ضعيفة الحامضية لها أرقام هيدروجينية ٤-٥. وتنقسم عملية إنتاج الكحول الإيثيلي صناعياً إلى مراحل عديدة تشمل إعداد المواد الخام السكرية Stock Preparation، التخمر Fermentation، التقطير Distillation لإنتاج الكحول الإيثيلي ٩٦٪، التجفيف Dehydration لإنتاج الكحول الإيثيلي المطلق Absolute Ethanol، ثم في النهاية تركيز المخلفات Stillage Concentration لاستخدامها في صناعات أخرى هامة مثل صناعة الأسمدة Fertilizers، وفي إنتاج غاز الميثان. وتجدر الإشارة إلى أن إحدى العمليات الجانبية الهامة لهذه الصناعة هي إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون على نطاق تجاري واسع أيضاً .



الفصل الخامس عشر ـــ
85
الإيقاع البيولوجي /
الساعة البيولوجية / هي صفة بعض الظواهر الفسيولوجية في النبات على هيئة
دورات تتم على مدار الساعة
هرمون النباتي الفيتوكروم / يعد بمثابة مستقبل لضوئي التروف وعلاقة الشمس
يومياً من أمثلة الإيقاعات اليومية حدوث عملية فتح وغلق الثغور
وحركات النمو الانتشارية الأخرى

نمو النبات
PLANT GROWTH

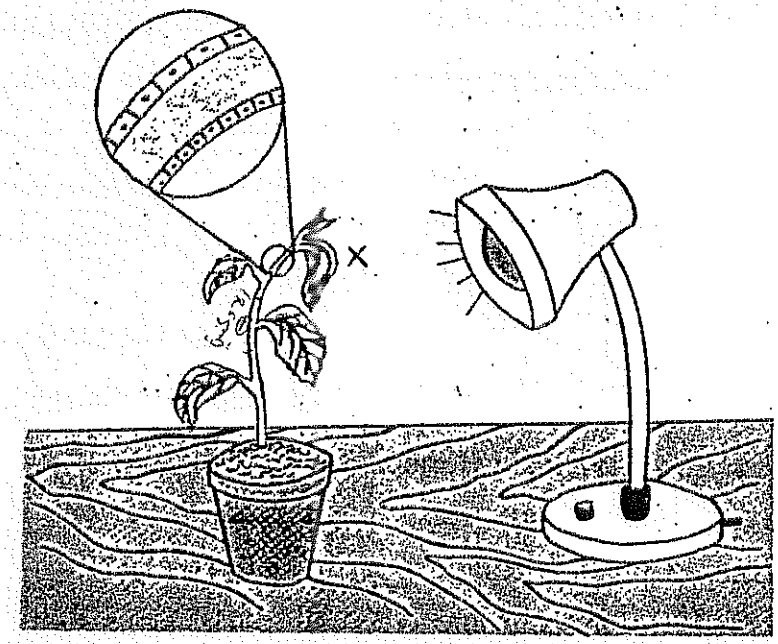
-النمو والتشكل *Growth and Differentiation*

يعد نمو النباتات الزهرية من الظواهر المعقدة في عالم النبات، ويبدأ بإنبات البذور ومايتبعه من تغيرات كبيرة في الشكل الظاهري للنبات وصفاته الفسيولوجية. ويمكن تعريف النمو على أنه الزيادة غير الرجعية في عدد وحجم الخلايا وتنتج هذه الزيادة عن التخليق الحيوي للمكونات البروتوبلازمية. كذلك فيمكن تقسيم النمو إلى مرحلتين أساسيتين هما الانقسام الخلوي Cell Division الذي ينتج عنه تكون خليتين بنويتين من الخلية الأم المنقسمة، واستطالة الخلايا Cell Elongation التي تشمل زيادة حجم كل من الخليتين البنويتين .

ويتبع حدوث التخليق الحيوي لمكونات البروتوبلازم حدوث ظاهرة هامة تعرف بالتشكل Differentiation وهي ظاهرة تمثل في مجملها الجانب الوصفي للنمو، وتحدث ظاهرة التشكل على المستوى الخلوي لتشمل تكون التراكيب تحت الخلوية كالعضيات السيتوبلازمية مثلاً، وحدوث التخصص الخلوي حيث تظهر خلايا متخصصة في التوصيل أو التخزين مثلاً. هذا وتحدث ظاهرة التشكل على المستوى العضوي أيضاً حيث تتكون الأعضاء النباتية المختلفة كالأوراق والأزهار.

الساعة البيولوجية *Biological Clock*

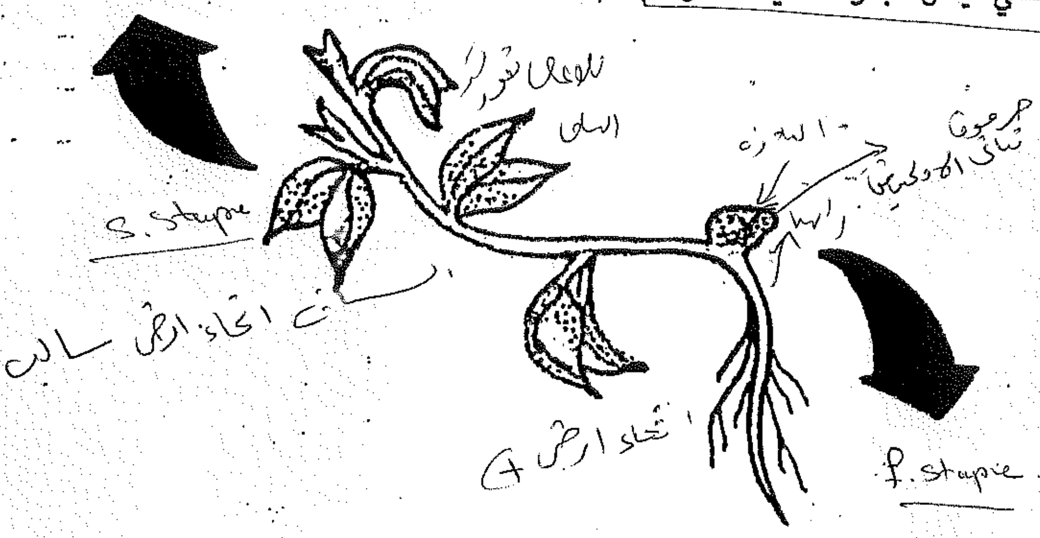
تحدث ظاهرتي النمو والتشكل تحت تأثير مجموعة من المواد الكيميائية الطبيعية التي يتم تخليقها في النبات وتعرف باسم الهرمونات النباتية Plant Hormones، وتحت تأثير مايعرف **بالساعة البيولوجية** Biological Clock التي تتمثل في حدوث بعض الظواهر الفسيولوجية في النبات على هيئة دورات تتم على مدار الساعة وتعرف **بالإيقاع اليومي** Circadian Rhythm. ويتحكم في حدوث الإيقاع اليومي أحد الهرمونات النباتية يعرف باسم **الفيتوكروم** Phytochrome ويعد بمثابة المستقبل الضوئي Photoreceptor لشروق وغياب الشمس يومياً ومن أمثلة الإيقاعات اليومية في حياة النبات حدوث عمليات فتح وغلق الثغور وحركات النمو التأثيرية الأخرى .

الفصل الخامس عشر ـــ


شكل (١٥-١) الانتحاء الضوئي

٢ – الانتحاء الأرضي *Gravitropism*

يبدو الانتحاء الأرضي واضحاً عند وضع بادرة نامية في وضع أفقي حيث تلاحظ استجابتها السريعة لتأثير الجاذبية الأرضية بنظام نمو خاص حيث تنمو الساق لأعلى حتى يصير نموها رأسياً مرة أخرى بينما ينمو الجذر لأسفل حتى يصير نموه رأسياً أيضاً (شكل ١٥-٢) . ونظراً لابتعاد الساق عن اتجاه المؤثر (الجاذبية الأرضية) فإنه يقال بأن للساق انتحاء أرضياً سالباً Negative Gravitropism، ونظراً لاتجاه الجذر باتجاه المؤثر (الجاذبية الأرضية) فإنه يقال بأن للجذر انتحاء أرضياً موجباً Positive Gravitropism ويعتقد بأن الانتحاء الأرضي ينتج عن تراكم الهرمون النباتي المعروف باسم الأوكسين Auxin في الخلايا الموجودة على الجانب السفلي من البادرة الموضوعة أفقياً مما يزيد من استطالة خلايا الساق السفلية بمعدل أكبر من معدل استطالة خلايا الساق العلوية فتنمو بذلك الساق إلى أعلى. أما في حالة الجذر فإن تراكم الأوكسين في الجهة السفلية يسبب تثبيط استطالة الخلايا الموجودة على الجانب السفلي نظراً لحساسية خلايا الجذر الشديدة للتركيزات المرتفعة من الأوكسين فتستطيل بذلك الخلايا الموجودة على الجانب العلوي من الجذر بمعدل أكبر من معدل استطالة الخلايا الموجودة على الجانب السفلي فينمو الجذر منحنياً لأسفل .



شكل (١٥-٢) الانتحاء الأرضي. ينتحي الساق انتحاءً أرضياً سالباً، بينما ينتحي الجذر انتحاءً أرضياً موجباً

ثانياً : حركات النمو التأثيرية *Nastic Growth Movements*

تحدث حركات النمو التأثيرية دون استجابة خاصة لاتجاه المؤثر البيئي، كما أنها تحدث نتيجة اختلاف معدلات النمو على سطحي العضو النباتي. ومن أمثلتها حركة **النمو التأثيرية العليا** Epinasty مثل تفتح البراعم الزهرية التي يشمل انحناء القنابات وأجزاء الكأس للخلف نتيجة نمو الأجزاء العلوية من هذه الأجزاء بمعدل أسرع من معدل نمو الأجزاء السفلية (شكل ١٥-٣) .

شكل (١٥-٣) حركة النمو التاثيرية العليا لتفتح البراعم الزهرية

ومن أمثلة حركات النمو التاثيرية أيضاً حركة نوم الأوراق Sleep Movements حيث تكون أوراق بعض النباتات في وضع أفقي أثناء النهار لكي تكون معرضة لأشعة الشمس، ولاتلبث أن تتحرك لتتخذ وضعاً رأسياً أثناء الليل كما في نبات لوسيانا (شكل ١٥-٤) . كذلك فإن استجابة نبات الست المستحية (*Mimosa pudica*) بإبعاد فروعه عند لمسها، وتحريكها في اتجاه بعيد عن المؤثر (موضع اللمس) تعد من حركات النمو التاثيرية .

(ب) (أ)

شكل (١٥-٤) حركة نوم الأوراق في نبات لوسيانا. (أ) أثناء النهار تكون الرويشات معتدلة. (ب) أثناء الليل تكون الرويشات متدلية

الهرمونات النباتية *Plant Hormones*

يتم التحكم في النمو وحركاته المختلفة بواسطة مجموعة من الكيماويات الخلوية المعقدة التركيب والتي تعرف بالهرمونات النباتية Plant Hormones. وقد كان افتراض وجود الهرمونات المنظمة للنمو في النصف الأخير من القرن التاسع عشر افتراضاً فذاً فتح المجال على مصراعيه لدراسة تنظيم نمو النبات في القرن العشرين .

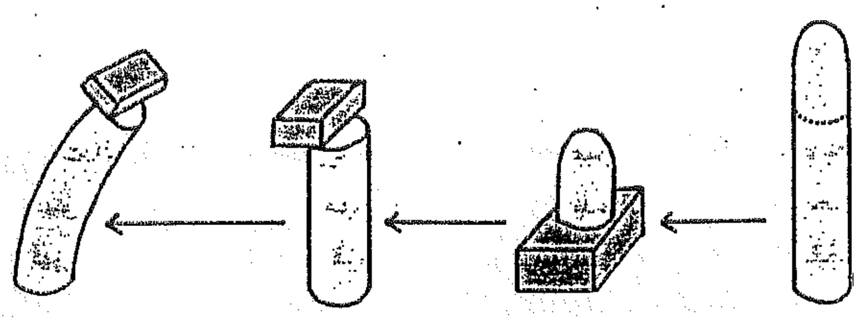
تشمل الهرمونات النباتية مواداً عضوية يتم تخليقها في عضو نباتي ما، ثم يتم بعد ذلك نقلها إلى مكان تأثيرها في عضو نباتي آخر. ولكل هرمون نباتي وظائف عديدة قد تتداخل عند إحداث تأثيراته على النمو مع تأثيرات الهرمونات الأخرى. كذلك فإن تأثيرات الهرمونات النباتية تختلف باختلاف تراكيزها، فهي قد تكون منشطة للنمو عند تركيز معين وتصبح مثبطة للنمو إذا مازاد تركيزها عن مستوى معين. هذا وقد تم حتى الآن التعرف على التركيب الكيميائي لخمسة مجموعات رئيسية من الهرمونات النباتية تتلخص صفاتها ووظائفها فيما يلي :

الأوكسينات *Auxins*

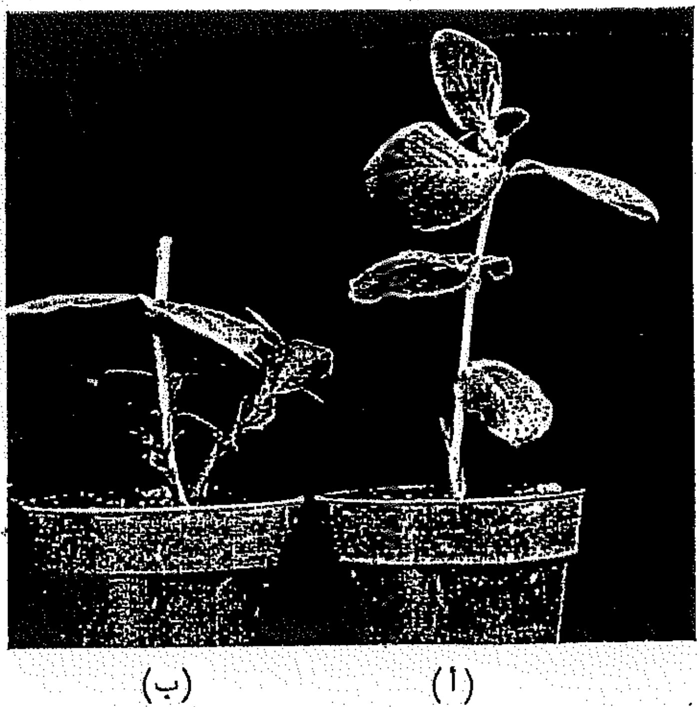
عزل العالم الهولندي فرست فنت Frist Went الهرمون النباتي المسئول عن الاستجابة الضوئية للنبات Phototropic Hormone من بادرات نبات الشوفان *(Avena sativa)*، وذلك عندما وضع قمم البادرات المقطوعة على مكعبات صغيرة من مادة الآجار لفترة من الزمن . وعندما وضع مكعبات الآجار بعد ذلك على قمة نبات الشوفان (بعد قطع قمته) في وضع جانبي حدث انحناء لقمة البادرات (شكل ١٥-٥) . وقد أطلق فرست فنت إسم **أوكسين** Auxin على هذا الهرمون النباتي وهو إسم مشتق من كلمة في اللغة اليونانية تعني يكبر أو يزيد. وقد تم الكشف فيما بعد عن التركيب الكيميائي للأوكسين على أنه اندول -٣- **حامض الخليك** Indole-3-acetic acid (IAA)، واتضح أنه يخلق في القمة النامية للساق ثم ينتقل في النبات في اتجاه رأسي أو قطبي Polar Transport. هذا وقد تم الكشف عن عدد من المركبات الكيميائية ذات الصلة بهذا المركب والتي تتشابه معه في تأثيراتها مثل إندول حامض البيوتيريك والأوكسينات هي الهرمونات المحفزة لاستطالة الخلايا بعد انقسامها في القمة، وجدير بالذكر أن هذا الأثر ينعكس - أي أن الأوكسين يثبط الاستطالة إذا زاد تركيزه عن حد معين .

للأوكسين تأثيرات عديدة على ظواهر تتعلق بنمو النبات فهو الهرمون المسئول عن حدوث ظاهرتي الانتحاء الضوئي والانتحاء الأرضي، وتشجيع إنمائية الجذور كما أن له دوراً في ظاهرة السيادة القمية Apical Dominance . وفي هذه الظاهرة تبدي بعض النباتات ميولاً قليلة للتفرع، ويزيد ميولها للتفرع عند قطع القمة النامية لها (شكل ١٥- ٦) . ويعزي ذلك إلى تخليق الأوكسين في القمة النامية لهذه

النباتات وانتقاله انتقالاً قطبياً على طول الساق مما يثبط نمو البراعم الإبطية على طول الساق فيقل التفرع، وعند إزالة القمة النامية يزيد نمو البراعم الإبطية ويزيد التفرع . ومثال ذلك مايحدث لنباتات الأسوار من تفرع غزير بتكرار تقليم أطرافها .



شكل (١٥-٥) إختبار غمد ريشة الشوفان للكشف عن الأوكسين



شكل (١٥-٦) السيادة القمية في نبات الفول. (أ) نبات ضابط. (ب) نزع البرعم الطرفي يسبب اختفاء السيادة القمية ونمو البرعم الإبطي.

الجبريلينات Gibberellins

إكتشف العالم الياباني كيوروساوا أن فطرة جيبريلا (Gibberella fujikoroy) تصيب نباتات الأرز وتفرز مادة أسماها جبريلين Gibberelli تسبب استطالة غير عادية في بادرات الأرز (Oryza sativa) يليها موت تلك البادرات فيما كان يعرف وقتئذ باسم مرض البادرة البلهاء Foolish Seedling Disease. تلى هذا الاكتشاف التعرف على عدد يزيد على السبعين من هذه المجموعة من الهرمونات النباتية المعروفة باسم الجبريلينات، وهي ذات تركيب كيميائي معقد وتأثيرات مختلفة على نمو النبات منها تشجيع استطالة السلاميات (شكل ١٥-٧)، والتغلب على ظاهرة التقزم الوراثي، وتشجيع الأزهار، وتكوين الثمار اللابذرية في نباتات عديدة منها الطماطم، كما أنه يعتقد بأن لهذه المجموعة من الهرمونات دور في إنبات البذور .

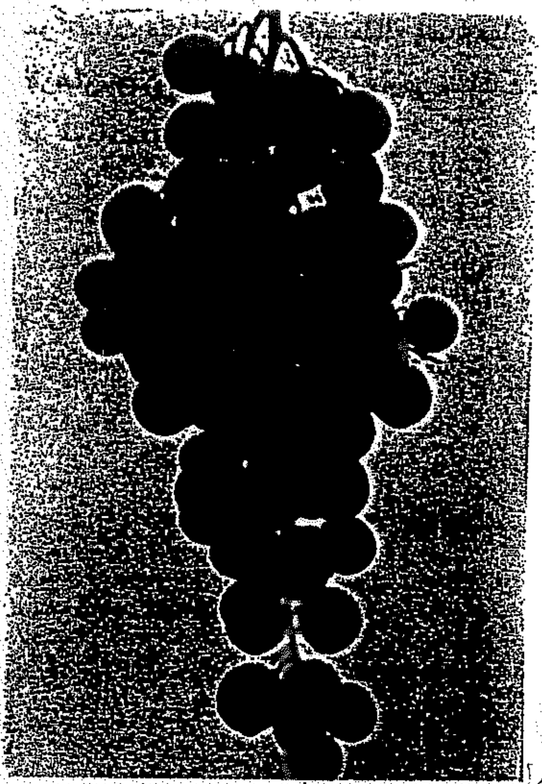
شكل (١٥ – ٧) تاثير التركيزات المختلفة من الجبريلين على استطالة الساق في نبات الشعير أضيف الجبريلين بتركيزات ٠و٠ (نبات ضابط) ، ٠و٠٠١، ٠و٠١، ٠و١٠ نانو جرام GA_3 .

تستخدم الجبريلينات على نطاق تجاري واسع في مجال الزراعة فهي تشجع استطالة الساق في نبات قصب السكر، وتستخدم لإنتاج الثمار اللابذرية لنبات الطماطم، وفي زيادة حجم حبات العنب

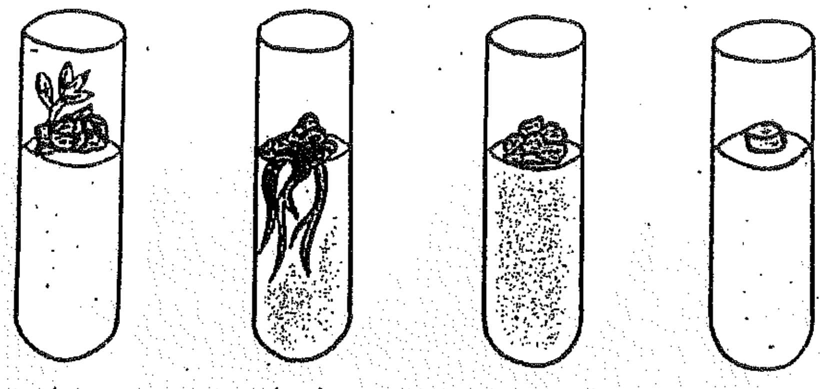
وعددها في عناقيد العنب (شكل ١٥- ٨)، كما تستخدم لتشجيع عقد الثمار في التفاح والكمثرى. هذا وبما عرف عن الجبرلينات من نشاط مقاوم للشيخوخة فإنها تستعمل لتلطيف فسيولوجيا مابعد القطف في ثمار الحمضيات كالبرتقال (*Citrus sinensis*) واليوسفي (*Citrus reticulata*) .

السيتوكينينات *Cytokinins*

تتشابه السيتوكينينات في التركيب الكيميائي مع قاعدة البيورين المعروفة باسم أدنين والداخله في تركيب الأحماض النووية ويتم تخليق السيتوكينينات في الجذور ثم تنتقل في عناصر الخشب إلى بقية أجزاء جسم النبات وتحفز السيتوكينينات الانقسام الخلوي والتشكل، حتى أنها تمثل مكوناً رئيسياً من مكونات الأوساط المستخدمة في زراعة الأنسجة النباتية Tissue Culture Media حيث تحفز الانقسام غير المباشر كما يتداخل عملها مع الأكسينات في هذه الأوساط بحيث يتسبب هذا التداخل في حدوث عمليات التشكل والتعضي Organogenesis ويوضح شكل (١٥-٩) أن اختلاف نسبة السيتوكينينات إلى الأكسينات في مزارع الأنسجة يؤدي إلى تداخل عملهابطرق مختلفة تؤدي إلى تكون الجذور أو المجموع الخضري في تلك المزارع هذاويعد تأخير الشيخوخة Delayed Senescence من التأثيرات المثيرة حقاً للسيتوكينينات في النبات وعلى ذلك فإنها تستخدم على نطاق تجاري في المحافظة على الأزهار أثناء عمليات التصدير.



شكل (١٥ - ٨) يستخدم الجبرلين تجارياً لزيادة عدد وحجم حبات العنب

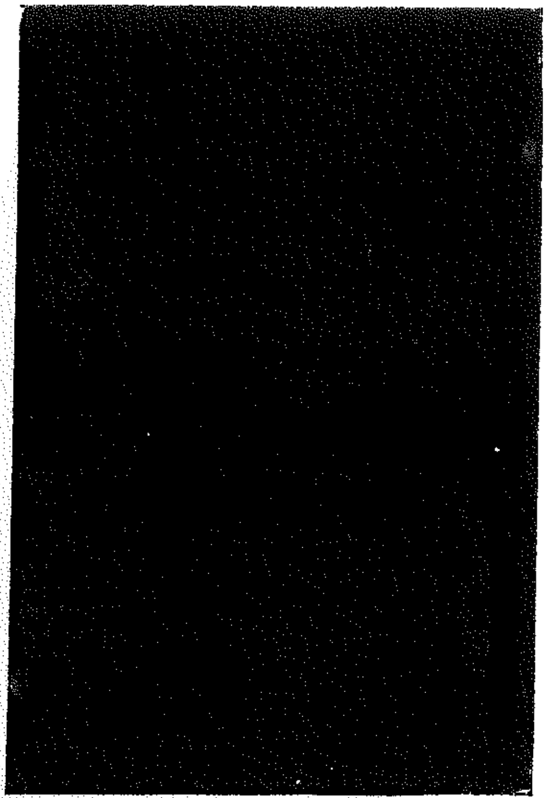


	(أ)	(ب)	(جـ)	(د)	
	قطعة من النبات	الكالوس	مجموع جذري	مجموع خضري	
أوكسين	ــــ	٢و٠٠	٢و٠٠	٠و٠٢	ملجم / لتر
كينيتين	ــــ	٠و٢٠	٠و٠٢	١و٠٠	ملجم / لتر

شكل (١٥-٩) تداخل تأثيرات الأوكسين والكينيتين يؤثر على حدوث التعضي في مزارع الأنسجة. (أ) قطعة من النبات، (ب) الكالوس، (جـ) المجموع الجذري، (د) المجموع الخضري

الإيثيلين *Ethylene*

يعتبر الإيثيلين الهرمون النباتي الوحيد الموجود بصورة غازية، وهو غاز عديم اللون يتم إنتاجه في عدة أماكن من جسم النبات كالعقد الموجودة على الساق، والثمار الناضجة والأوراق المسنة، وللإيثيلين عدة تأثيرات على نمو النبات أهمها تثبيط الاستطالة الخلوية، والإسراع من العمليات الحيوية المتصلة بالشيخوخة Senescence مثلما يحدث للأزهار بعد القطف (شكل ١٥-١٠) . يعمل هذا الهرمون على إنضاج الثمار فيتغير لون الثمرة بتحفيز تكسير الكلوروفيل، وتحفيز بدء تحول النشا والأحماض المختزنة بالثمرة إلى سكريات تكسب الثمرة المذاق الحلو، وكذلك تحفيز إنتاج النكهات المميزة للثمار ومن ثم تكتسب الثمرة صفات النضج. هذا ويجدر القول بأن الثمرة الناضجة لاتلبث أن تنتج كماً هائلاً من الإيثيلين الذي يعمل بدوره على الإسراع من إتمام نضج هذه الثمرة والثمار المختزنة معها وعليه فإن القول الشائع بأن « التفاحة الفاسدة تفسد بقية التفاح » هو قول صحيح حيث أن التفاحة الفاسدة في هذه الحالة ماهي إلا ثمرة زائدة النضج Overripe fruit تنتج مزيداً من الإيثيلين فتسرع من إنضاج وإفساد ماحولها من الثمار .



شكل (١٥-١٠) تأثير معاملة أزهار نبات القرنفل (*Dianthus caryophyllus*) بمادة ثيوكبريتات الفضة المثبطة لإنتاج الإيثيلين. (أ) زهرة غير معاملة بعد أسبوع من القطف. (ب) زهرة معاملة بعد أسبوع من القطف .

حامض الأبسيسيك *Abscisic Acid*

يتم إنتاج حامض الأبسيسيك ABA في الأوراق والسيقان والجذور ويتم نقله عبر الأنسجة الوعائية . هذا وتحتوي البذور على قدر عال من حامض الأبسيسيك . ويحفز هذا الهرمون النباتي عدداً من الاستجابات النباتية للإجهاد الناتج عن تعرضها لظروف بيئية غير مناسبة ومن ثم فقد أطلق عليه اسم هرمون الإجهاد Stress Hormone . وفي هذا الصدد يزيد تركيز حامض الأبسيسيك بدرجة كبيرة في أوراق النباتات المعرضة لظروف الإجهاد المائي Water Stress والجفاف Drought ويؤدي ذلك إلى الإسراع بخروج أيونات البوتاسيوم (K^+) من الخلايا الحارسة للثغور، ومن ثم إلى إغلاق الثغور في محاولة لتقليل النتح في النبات المتعرض لحالات الإجهاد المائي . هذا ويحفز هذا الهرمون أيضاً كمون البذور، وكمون البراعم، وتكوين البراعم الشتوية ذات الأوراق الحرشفية حيث تمثل ظروف الشتاء نوعاً من الإجهاد للنبات . هذا وقد لوحظ أن أهم تأثيرات حامض الأبسيسيك في النبات هي إحداث تساقط الأوراق Leaf abscission .

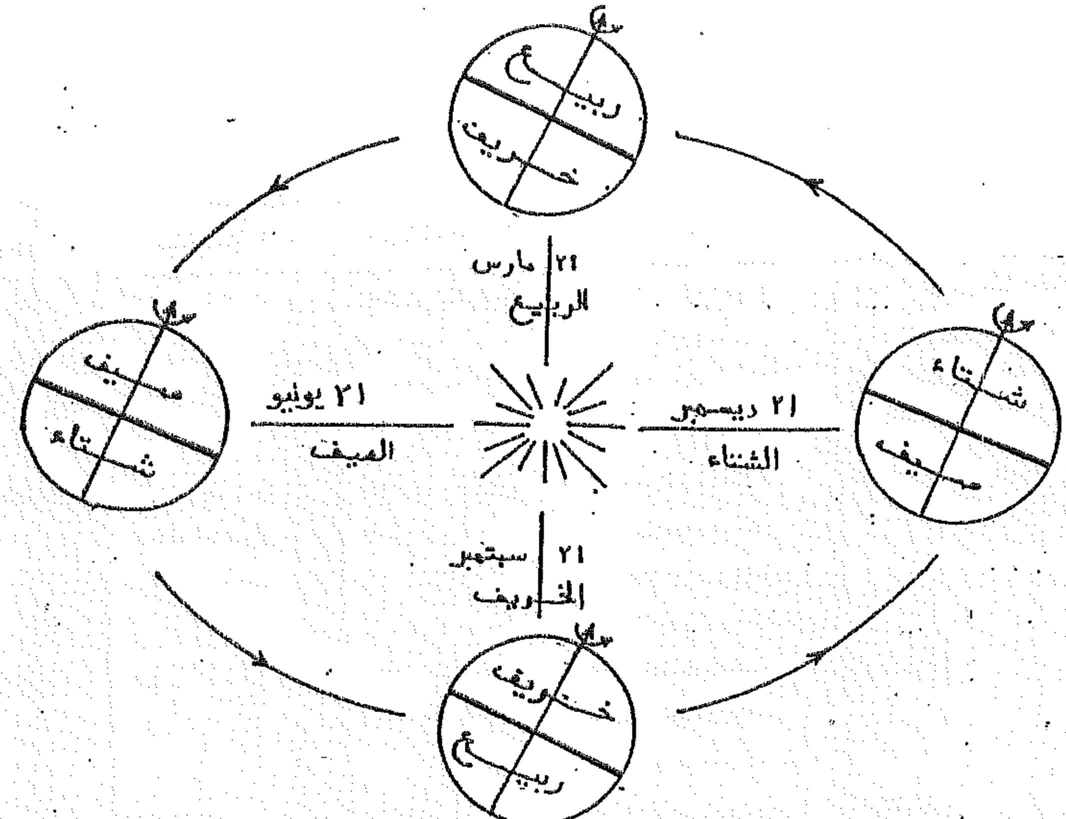
جدول (١٥-١)

خصائص ووظائف بعض أنواع الهرمونات النباتية

الهرمون	مكان الإنتاج	طريقة الانتقال	التأثيرات	الأمثلـة
الأوكسين	القمة النامية للساق	إنتقال قطبي في الخلايا البرانشيمية	الانتحاء الضوئي، الانتحاء الأرضي، إنتاج الثمار اللابذرية للخيار	اندول-٣- حامض خليك (IAA)، ٢، ٤- ثنائي كلوروفينوكسي حامض خليك (2,4-D)
الجبريلين	الأوراق حديثة السن، القمة النامية للساق	انتقال غير قطبي في اللحاء	التغلب على ظاهرة التقزم الوراثي وتشجيع استطالة السلاميات، تشجيع الإزهار، تكوين الثمار اللابذرية للطماطم.	حامض جبرليك (GA_3)
السيتوكينين	الجذور	إنتقال قطبي في الخشب	تشجيع الانقسام الخلوي، تضخم الخلايا والأعضاء، إنمائية البراعم ونمو الأغصان	كينيتين زياتين
الإيثيلين	عقد الساق، الثمار الناضجة	بالانتشار	إنضاج الثمار وتكوين جذور عرضية على الساق	غاز الإيثيلين
الأبسيسيك	الأوراق المسنة	الأنسجة التوصيلية لأعناق الأوراق	تشجيع كمون البراعم، تثبيط إنبات البذور، غلق الثغور	حامض أبسيسيك (ABA)

الفيتوكروم والتواقت الضوئي *Phytochrome and Photoperiodism*

يلعب الضوء دوراً هاماً في حياة النبات، فبخلاف أهميته في البناء الضوئي وتأثيره على الانتحاء الضوئي للنبات، فإن بعض العمليات الحيوية الهامة الأخرى تتأثر أيضاً بطول الفترة الضوئية التي يتعرض لها النبات يومياً (أي تتأثر بطول النهار) فيما يعرف بالتواقت الضوئي Photoperiodism. وفي هذا الصدد يجدر التنويه بأن طول النهار يكون ثابتاً إلى حد كبير على مدار العام عند خط الاستواء، إلا أنه يتغير عند البعد عن خط الاستواء، فيكون النهار قصيراً في الشتاء وطويلاً في الصيف. ويرجع اختلاف طول النهار على مدار العام إلى تغير ميل محور دوران الأرض حول نفسها بمقدار ٢٣٫٥ درجة عن الاتجاه العمودي أثناء دورانها حول الشمس (شكل ١٥-١١) .



شكل (١٥-١١) تغير ميل محور دوران الأرض عن الاتجاه العمودي على مدار العام

ويمثل الإزهار تحولاً كبيراً في حياة النبات فهو دليل على تحول النبات من مرحلة النمو الخضري إلى مرحلة التكاثر. وتتميز النباتات بوجه عام بقدرتها على الإزهار في موعد محدد من العام، مما لفت الأنظار إلى تأثر الإزهار بطول الفترة الضوئية المتعرض لها النبات يومياً.

وقد قسمت النباتات تبعاً لتأثر إزهارها بطول النهار إلى ثلاثة مجموعات هي :

١ - نباتات اليوم القصير *Short-day Plants*

وهي نباتات تزهر إذا ماقل طول الفترة الضوئية عن حد حرج معين، ومن أمثلتها الرمرام *(Xanthium pennsylvanicum)*، والشبيط *(Chenopodium rubrum)*.

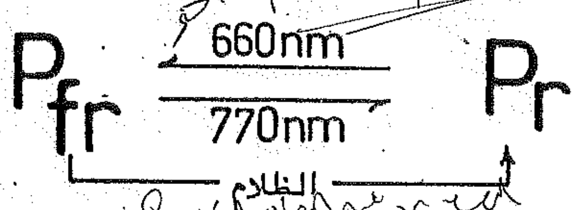
٢ - نباتات اليوم الطويل *Long-day Plants*

وهي نباتات تزهر إذا مازاد طول الفترة الضوئية عن حد حرج معين، ومن أمثلتها السبانخ *(Spinacea oleracea)*، وبنجر السكر *(Beta Vulgaris)*.

٣ - نباتات محايدة لطول النهار Day - neutral Plants

وهي نباتات لايتأثر إزهارها بطول الفترة الضوئية، مثل الطماطم (*Lycopersicon esculentum*)، والبسلة (*Pisum sativum*) .

أدت الأبحاث العديدة في هذا المجال إلى الكشف عن طبيعة وتركيب الصبغ النباتي المسئول عن تأثر النبات بطول الفترة الضوئية، وسمي هذا الصبغ باسم الفيتوكروم Phytochrome . والفيتوكروم بروتين ذو مجموعة صبغية، ويتركب كيميائياً من سلسلة مفتوحة لرباعي البيرول . ويوجد هذا الصبغ على صورتين داخل النبات أحدهما نشيطة يرمز لها بالرمز Pfr، وصورة أخرى غير نشيطة يرمز لها بالرمز Pr ويوجد الفيتوكروم في حالة تحول دائم بين الصورة النشيطة والصورة غير النشيطة بتأثير الضوء، فتتحول الصورة غير النشيطة Pr في ضوء أحمر Red light طوله الموجي ٦٦٠ نانومتر إلى الصورة النشيطة Pfr . هذا وتعود الصورة النشيطة Pfr إلى الصورة غير النشيطة Pr في الضوء الأحمر البعيد Far-red light طوله الموجي ٧٧٠ نانومتر . هذا وقد لوحظ أيضاً أنه يمكن أن تتحول الصورة النشيطة Pfr إلى الصورة غير النشيطة Pr في الظلام (شكل ١٥– ١٢) .



شكل (١٥–١٢) تأثر نشاط الفيتوكروم بنوعية الضوء المتعرض لها النبات

ولايقتصر تأثير طول الفترة الضوئية على الفيتوكروم على مجرد التحكم في موعد إزهار النباتات فقد لوحظ تأثر العديد من العمليات الحيوية الأخرى بطول النهار. ومن هذه العمليات نذكر إنبات البذور، استطالة السلاميات، تكوين وتساقط الأوراق، نفاذية الأغشية، وغيرها من الظواهر الهامة في حياة النبات.

وبناءً على ماتقدم نستطيع القول بأن وجود الفيتوكروم في النبات على الصورة النشيطة أو غير النشيطة والنسبة بين هاتين الصورتين تكون دليلاً للنبات على طول الفترة الضوئية وطول فترة الإظلام. وفي هذا تجسيد لآلية قياس الزمن في النبات، وإدراكه بحلول النهار أو انقضائه وحلول الليل، وكذلك إدراكه للفصول على مدار العام .

فسيولوجيا الإجهاد ونمو النبات

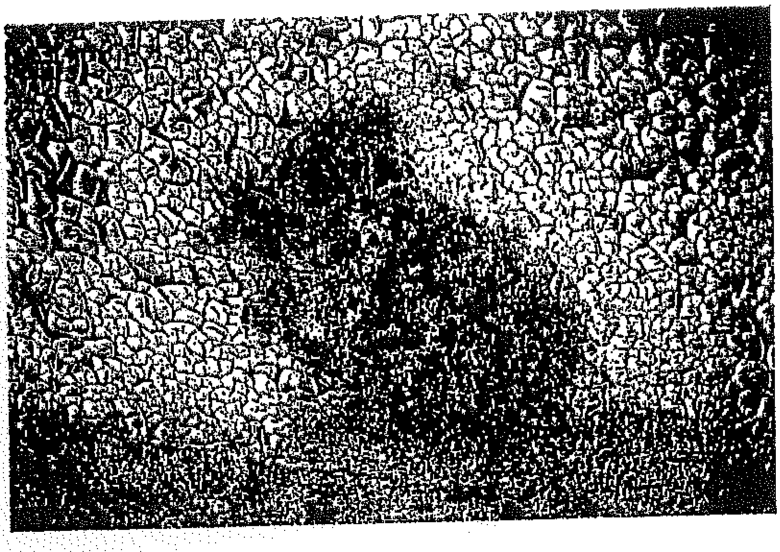
Stress Physiology and Plant Growth

يستجيب نمو النبات للعوامل البيئية استجابة سريعة تمثل دائماً محوراً للدراسات الفسيولوجية التي تحاول تفسير استجابة النبات للإجهادات البيئية Environmental Stresses بما يوضح التوزيع الجغرافي الطبيعي للنباتات. ويعرف الإجهاد ميكانيكياً بأنه القوة المؤثرة على وحدة المساحة من المادة، إلا أن الإجهاد المقصود هنا هو الإجهاد البيولوجي والمعروف بأنه أي تغير حاد في الظروف البيئية ينتج عنه نقص في إنتاجية النبات. تستجيب النباتات للإجهاد بطرق عديدة منها إنهاء دورة حياتها قبل حلول الظروف المجهدة أو تحور شكلها الظاهري وتركيبها التشريحي بما يلائم ظروف البيئة أو بتغيير بعض العمليات الحيوية لخلاياها بما يلائم ظروف الإجهاد.

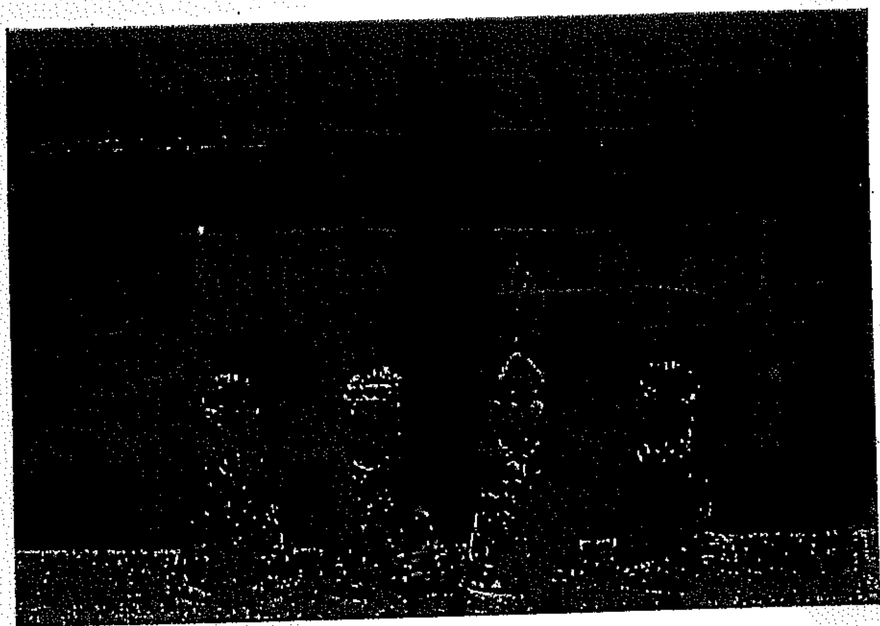
تحدث ظروف **الإجهاد المائي** Water Stress عند زيادة الماء في البيئة إلى حد **الفيضان** Flooding بما يسبب نقصاً حاداً في الأكسجين المتوفر للجذور في التربة فينعكس ذلك سلباً على تنفس نمو الجذور وامتصاص العناصر المعدنية. كما تحدث ظروف الإجهاد المائي عند نقص الماء في البيئة بما يسبب حالة من **الجفاف** Drought تتسبب بدورها في نقص المحتوى المائي للنبات وزيادة تركيز المواد الذائبة في الخلايا نتيجة نقص المحتوى المائي، وفقد حيوية الأغشية الخلوية. وتستجيب النباتات فسيولوجياً للجفاف بغلق الثغور محاولة بذلك تقليل الماء المفقود في عملية النتح، كما تستجيب بعض النباتات للجفاف بإحداث زيادة فعلية لتركيز بعض الذائبات التي تحفظ البروتوبلازم من أخطار الجفاف فيما يعرف بالضبط الأزموزي Osmotic Adjustment. وللإجهاد المائي أثر على نمو النبات يسبب انخفاضاً حاداً في نمو المجموع الخضري لأسباب عديدة منها نقص استطالة الساق.

ينتج **إجهاد درجات الحرارة** Temperature Stress عن تعرض النبات لظروف حرارية متطرفة. ويؤثر **إجهاد البرودة** Shilling Stress على النباتات المنتمية للبيئات الدافئة بما يسبب نقص استطالة الأوراق وذبولها وشحوبها وظهور مساحات نخرية ميتة عليها Necrosis وينعكس ذلك على العمليات الحيوية فينخفض معدل التنفس والبناء الضوئي ويتعطل تخليق البروتين، أما

الفصل الخامس عشر ـــ



الاجهاد المائي في نبات الهرم القطري



الاجهاد الملحي في نبات لوسيانا ويلاحظ إنخفاض معدل النمو .
بزيادة تركيز كلوريد الصوديوم في المحلول المغذي

زراعة الخلايا والأنسجة

١-نشوء زراعة الخلايا والأنسجة وتطورها:

سعى الإنسان، منذ أن اهتدى لزراعة بعض أنواع النباتات، إلى معرفة طرائق تكاثرها، وتحسين إنتاجها عن طريق الاصطفاء والتطعيم، وكانت الطبيعة خير مرشد له فوجهته أولاً إلى الطرائق الأساسية لهذا التكاثر وهي التكاثر بالترقيد، التكاثر بالفسائل – التكاثر بالتطعيم، وبما أن البذور تنشأ من اتحاد خليتين عروسين كما لاحظنا سابقاً، لذلك يطلق على التكاثر بوساطة البذور اسم التكاثر الجنسي، أما بقية الطرائق فيجري تكاثرها بغرس أقسام من السوق الهوائية أو الترابية، لذلك يطلق عليها اسم التكاثر الاعاشي أو اللاشقي.

لقد تضاعف عدد سكان الأرض آلاف وملايين المرات فازدادت حاجتهم إلى الإنتاج الزراعي لتحقيق المتطلبات الغذائية والصناعية والدوائية..لذلك سعى الباحثون لاكتشاف طرائق حديثة تؤمن حاجات الإنسان من تلك المنتجات، بمقادير كافية، وبكلفة زهيدة، وضمن زمن قصير. وبخاصة إذا وضعنا في حسابنا ما ذكره العالم بورلوغ Borieaug عام ١٩٨٣ من أن عدد الأنواع النباتية التي استعملها الإنسان في غذائه قبل ١٠٠٠٠ سنة كانت بحدود ٣٠٠٠ نوع، وأننا حالياً نستعمل في غذائنا نحو ٣٠ نوعاً فقط، بل إن غالبية البشر تستخدم الآن مالايزيد على اثني عشر نوعاً نباتياً في غذائها، نتيجة الاستثمار غير الرشيد للبيئة ونتيجة التطور الصناعي والعمراني الذي أدى إلى تدهور المزروعات بهذا الشكل.

وتعد طريقة إنتاج النباتات ضمن الأنابيب، عن طريق زرع نسج أو خلايا في مستنبت مغذ، أحدث الطرائق المستعملة حالياً لتحقيق هذه الأغراض.

إن أول من فكر بزراعة النسج ضمن مستنبت يحوي المركبات الغذائية الضرورية لحياة الخلايا كان الطبيب الإنكليزي المشهور الكسيس كارل Alexis carl (١٨٧٣-١٩٤٤ م)، وقد استطاع لأول مرة في تاريخ العلم تحقيق التكاثر

الخلـــوي للأنســـجة الحيوانـــية. وفـــي عام ١٩٠٢ م نشر العالم الألماني هابرلنت Haberlandt بحـــثاً تكلم فيه عن محاولة قام بها لزرع نسج نباتية مختلفة المنشأ، لأن ذلـــك يســـمح بفهم العلاقة الموجودة بين مختلف الأنسجة، والتناسب الموجودة بين الأعضاء، كما تنبأ في بحثه عن أهمية سائل الكيس الجنيني في نمو الجنين، و امكان الحصول على أجنة اصطناعية انطلاقاً من خلايا نباتية. وقد تأكدت نبوءاته بعد أكثر من خمسين عاماً.

ولكن بالرغم من الجهود التي بذلها هذا الباحث لم يتمكن من الحصول على انقسام الخلايا النباتية في الأنابيب، لكنه استطاع أن يبقيها حية مدة من الزمن.

لقـــد تتابعت الأبحاث المتعلقة بزراعة الخلايا والنسج للحصول على الانقسام والـــتمايز الخلوي ضمن الأنابيب ولكنها لم تفلح إلا في عام ١٩٣٤ م، وذلك حينما اســـتطاع العالم الأمريكي وايت White (من ١٩٣٤-١٩٤٠م) تحقيق نمو جذور البـــندورة فـــي المستنبت، وقد لاحظ هذا العالم أهمية وجود الفيتامينات كمحرضة للانقســـام الخلوي، وفي الفترة نفسها تمكن العالم الفرنسي غوتير Gautheret من زرع خلايـــا كامبيوم منزوعة من قشور نبات الصفصاف في مستنبت يحوي مادة الأكســـين Auxine بالإضـــافة إلـــى المواد المغذية، فنمت تلك الخلايا وانقسمت بصورة مستمرة، ولكنها لم تعط نباتاً كاملاً.

ويعـــد العالم ستيوارت Stewart (الشكل ١٥٥، انظر الملحق الملون) أول مـــن نجح في زراعة الأنسجة بصورة كاملة وعمل في مخابر جامعة كورنيل في الولايـــات المـــتحدة، حيث أخذ شرائح رقيقة من الجزر، وضعها في أنبوب اختبار يحـــوي مستنبتاً مغذياً ومعقماً، وثبت الأنبوب على جهاز ميكانيكي رجراج، وهزه هـــزاً متواصـــلاً وشديداً حتى انفصلت خلايا الميريستيم المتماسكة. وكانت بعضها مـــنفردة وبعضـــها بشـــكل مجموعـــات. ثم عزل الخلايا المنفردة بوساطة أنابيب شعرية،ووضـــع كل خلية في أنبوب اختبار يحتوي مستنبتاً سائلاً معقماً. وبعد مدة قصـــيرة بدأت الخلايا بالانقسام، وأعطت أنسجة ذات جذور. ثم نقلت هذه الأنسجة

إلـــى أطـــباق تحـــوي مستنبتاً هلامياً، فنمت وتفرعت فيها الجذور وأخذت تمتص الغـــذاء وتدفعـــه إلـــى الأنسجة ثم ظهرت السوق والأوراق. وأخيراً نقلت النباتات الصغيرة إلى أرض زراعية، فنمت بصورة طبيعية.

وقام بعد ذلك العالمان فاسيلي وهيلدبراندت بتجارب مماثلة على نبات التبغ، واســـتطاعا الحصول على أكثر من ألف نبتة صالحة للزراعة من غرام واحد من الخلايا الحرة المزروعة.

وهكـــذا بـــدأت بيـــن عام ١٩٦٠-١٩٧٠ م تطبيقات البستنة على النباتات الســـحلبية *Orchidaceae* مـــن قـــبل العالم الفرنسي موريل Morel ومساعديه (١٩٦٠م) وعلـــى القرنفليات من قبل العالم اندرسون Anderson (١٩٦٧م)، كما بـــدأ الاســـتعمال الـــتجاري لـــزراعة الأنســـجة بخاصـــة فـــي أمريكا (مورشنج Morchenge) مـــنذ عـــام ١٩٧٠م. إلا أن التوسع السريع في الأبحاث والطرائق وزيادة الاستثمار التجاري لزراعة الخلايا والنسج جاء مع بداية الثمانينيات في كل من أمريكا واليابان ومعظم الدول الأوروبية.

٢- طرائق الحصول على نباتات الأنابيب:

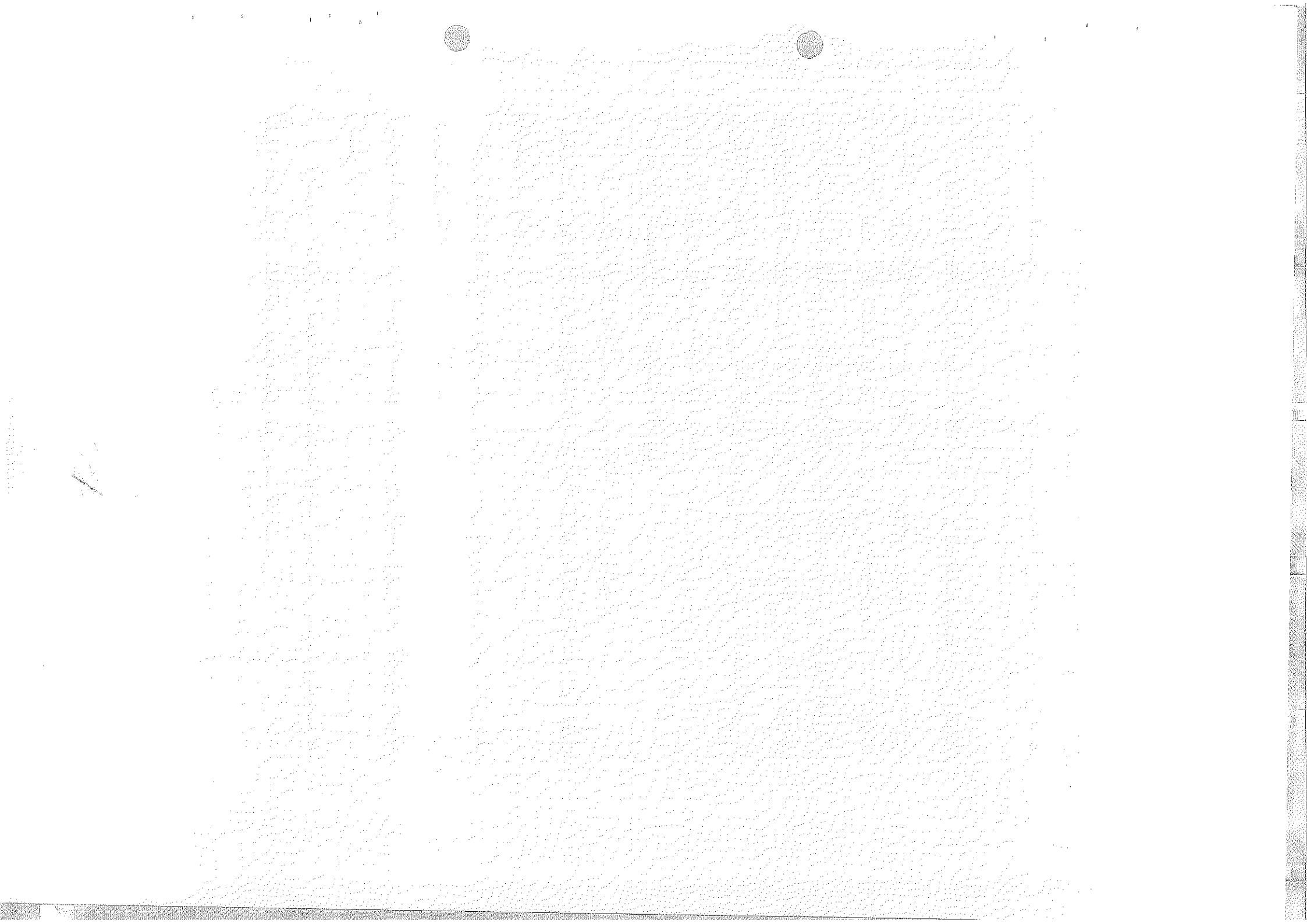
من المعلوم أن كل نبات حي يحوي ثلاثة أنواع من الخلايا:

-خلايـــا حـــية، ذات نوات نشيطة، أي تقوم بالانقسام مولدة خلايا، ونسجاً جديدة، متشابهة ثم تتمايز.

-خلايـــا ذات نواة ساكنة، ولكن يمكن، ضمن بعض الشروط، أن تتحول إلى خلايا نشيطة منقسمة.

-خلايـــا ميـــتة، لأن الـــنواة فـــيها زالـــت، وتراكمت في جوف الخلايا فضلات ومدخرات.

تؤلـــف الخلايـــا الحية النشيطة نسيجاً يعرف باسم الميريستيم، ويتوضع هذا النسيج كما ذكرنا سابقاً في عدة مناطق من جسم النبات هي:



١-في البراعم الانتهائية والجانبية الموجودة على الساق. ويؤدي انقسام خلاياه إلى استطالة الجذع والأغصان الجانبية في النبات.

٢-في نهاية الجذور الفتية، وفوق القلنسوة، ويؤدي انقسام خلاياه إلى زيادة في طول الجذر.

٣-في منتصف الساق والجذر وأعناق الأوراق، حيث يشكل الميريستيم الثانوي (الكامبيوم) حلقة من الخلايا النشيطة، تعطي عند انقسامها لحاء إلى الأعلى وخشباً إلى الأسفل، وهذا ما يؤدي لنمو الساق والجذر عرضاً.

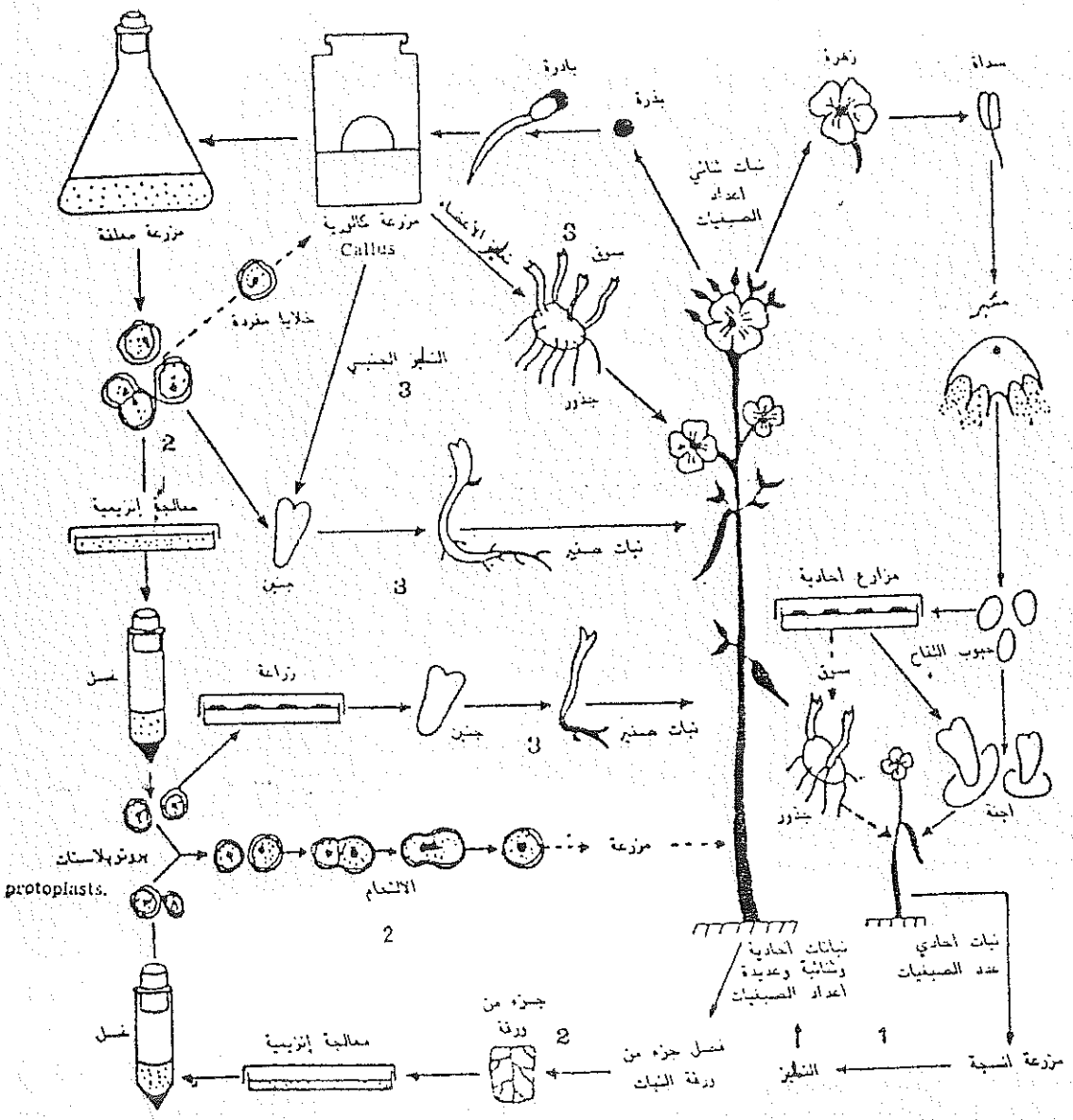
٤-في الرشيم حيث تكون جميع خلاياه حية، إلا أنها تمر بدور حياة ساكنة عند الجفاف، ثم لا تلبث أن تتحول إلى خلايا نشيطة حينما تتوفر لها الرطوبة والحرارة.

وللحصول على نباتات تنمو ضمن الأنابيب لا بد لنا من تحقيق الأمور التالية:

١. تحضير مستنبت معقم يحوي مواد سكرية مغذية، بالإضافة إلى مجموعة من الشوارد الضرورية لنمو النبات، ويكون المستنبت سائلاً أو صلباً، حسب الحاجة. وتضاف إليه منشطات ومركبات تثبت فيه درجة الـ pH. ويوضع في شروط مناسبة من الحرارة والإضاءة.

ويبدو أن توفير الشروط البيئية المناسبة لنمو الخلايا والأنسجة النباتية وتطورها مخبرياً، لم يكن بحاجة لكبير جهد من العلماء، فاستخدام صنف من أنابيب الفلورسنت التي يمكنها أن تعطي إنارة ضوئية تتراوح بين ١٠٠٠-٥٠٠٠ لوكس أو أكثر، وذلك حسب نوع النبات (من نباتات الشمس أو نباتات الظل) وحسب عمره أيضاً، لمدة تتراوح بين ١٢-١٦ ساعة يومياً وحرارة ٢٠-٢٥° م مع توافر الرطوبة الجوية الملائمة؛ استطاع أن يوفر النمو الجيد لعدد كبير من الأنواع والأصناف النباتية.

٢.تؤخذ قطع صغيرة من نسيج نباتي يحوي خلايا حية، وتعقم ثم تزرع في المســتنبت كمــا هي؛ أو بعد تفككها لخلايا معزولة وتحت ظروف معقمة (الشكل ١٥٦).



الشكل-١٥٦- شكل توضيحي يلخص طرائق إكثار النباتات بزراعة الخلايا والأنسجة.
١-إنتاج سلالات أحادية وعديدة الصيغة الصبغية. ٢-إنتاج سلالات وأنواع نباتية جديدة من خلال التحام البروتوبلاست. ٣-حث الخلايا الناتجة على التمايز إلى نباتات كاملة.

المركبات الكيميائية المستخدمة في تحضير المستنبتات:

يحضر الوسط المغذي المناسب لنمو النسيج النباتي حسب نوع النبات واختلاف مرحلة نموه، كما أن الشروط البيئية من حرارة ورطوبة تختلف أيضاً باختلاف تلك النباتات. أما الأملاح التي تقدم الشوارد الضرورية لنمو النبات فكثيرة العدد، وهي تضاف للمستنبت بنسب متفاوتة، ومن الممكن تصنيف الشوارد المستعملة في تحضير المستنبات بالاستناد إلى الكمية الداخلة منها إلى ثلاثة أقسام.

عناصر كبرى: وتقاس كميتها الموجودة في ليتر من المستنبت بالغرامات وهي : البوتاسيوم- الآزوت، الكالسيوم – المغنزيوم، الفوسفور، الصوديوم، الكبريت، الكلور.

عناصر صغرى: وتقاس كميتها الموجودة في ليتر من المستنبت بالميلي غرام وهي: البور- المنغنيز- التوتياء- اليود- النحاس- الحديد- الكوبالت.

عناصر ميكرونية: وتقاس كميتها الموجودة في ليتر من المستنبت بالميكروغرام وهي: التيامين- الاينوزيتول- حمض التبغ- البيريدوكسين-الأدنين- الأوكسين- السيتوكين- حمض الاندول الخلي، حض الجبرلي.

إضافة إلى المواد السكرية (سكاروز-غلوكوز) الموجودة بنسبة عالية تتراوح بين ٢٠-٣٠ غ/ل.

وفي المستنبتات الصلبة يضاف الآغار بنسبة ٦-٨ غ/ل ويكون pH الوسط حمضياً خفيفاً (نحو ٦,٥).

وتجدر الإشارة إلى أن الطرائق المتبعة لإنشاء مزارع الخلايا والأنسجة النباتية مشتقة أصلاً من الطرائق المتبعة في مجال عزل الكائنات الحية الدقيقة وزراعتها، وبخاصة بعد شيوع النجاح الذي حققه علماء الميكروبيولوجيا في أواخر القرن الماضي في مجال عزل الميكروبات من بيئاتها المختلفة (كوخ Koch وباستور Pasteur حوالي عام ١٨٨٢م)، حيث تضع هذه الطرائق في الحسبان أن كل خلية جرثومية تلتصق بسطح الوسط المغذي الصلب سرعان ما تنقسم بنشاط

مكونة مستعمرة من بلايين الخلايا، يمكن عدها وعزلها في وسط مغذ جديد تمهيدا لدراستها.

لقد حث هذا النجاح علماء فيزيولوجيا النبات على التساؤل عن إمكان تبني الأسلوب نفسه من أجل فصل خلايا النباتات الراقية وانسجتها في أوساط مغذية معقمة، تمهيداً لدراسة أنشطتها المختلفة بمعزل عن باقي الخلايا والأنسجة في النبات الكامل.

٣- الفوائد العملية لزراعة الخلايا والأنسجة:

إن أهمَ العقبات التي واجهت العلماء في أبحاث زراعة الخلايا والنسج هي الجدران الخلوية، التي يجب إزالتها دون الإضرار بمحتويات الخلية، وتتم هذه العملية في الوقت الحاضر بمعالجة أنزيمية.

تتضمن معالجة الخلايا بمزيج من أنزيمات تحلل السيللوز والبكتين ضمن وسط له ضغط حلولي معين، فنحصل بالنتيجة على خلايا عارية من الجدار تعرف باسم البروتوبلاست Protoplaste. يمكننا الانطلاق منها للأغراض والفوائد التالية:

أ-الحصول على عدد كبير من النباتات المتماثلة والسليمة ضمن مدة قصيرة:

لقد استعملت زراعة الخلايا والأنسجة على نطاق واسع للحصول على النباتات الاقتصادية؛ وتطبق كما يلي:

١-تؤخذ قطع من البراعم الرأسية للنباتات المنتخبة (بالنسبة للورود، والنسيج المتوسط في ورقة التبغ)، بطول ١٠-٢٠ ملم، ويشترط أن تكون النبتة الأم حاملة للصفات الوراثية النقية للنوع، وتعقم هذه الأنسجة بنقعها في محلول تحت كلوريت الصوديوم لمدة عشر دقائق، وتغسل بعد ذلك بالماء المقطر والمعقم، ثم يتم فصل جدارها الخلوي فنحصل على البروتوبلاست Protoplaste.

تفكك خلايا البروتوبلاست وتوضع كل قطعة صغيرة في أنبوب يحوي وسطاً مغذياً صلباً، مع ملاحظة أي تلوث يمكن أن يحدث في أحد الأنابيب خلال أسبوعين، وبعد ستة أسابيع تنمو خلايا البروتوبلاست بشكل كتلة خلوية تسمى كالوس Callus (الثفنات) مما يسمح بنقلها إلى مزارع جديدة.

٢-مرحلة التكاثر: يستعمل الوسط المغذي السابق نفسه (وسط التمايز) لزرع قطع الكالوس (الثفنات) بشكل متكرر كل أربعة أسابيع، مما يمكن من مضاعفة عدد الخلايا (البراعم) في كل شهر .

٣-مرحلة التجذير: ويتم ذلك بنقل البراعم إلى أوساط خالية من الأكسين أو السيتوكينين فتتشكل الجذور.

٤-مرحلة التقسية أو الفطام: تنقل النباتات بعد تشكل الجذور إلى وسط جديد مع توفير رطوبة جيدة وتدفئة لمدة أسبوعين، ويلاحظ نمو النبات الجديد بعد نقله إلى الأصص ثم إزهاره وإنتاجه للبذور.

وهكذا يمكن الحصول من عشرة نماذج برعمية على خمسمئة نبتة مجذرة، تنمو خلال تسعة أشهر. ونعتمد عند الزراعة استعمال وسط انباتي صلب (٦ غ آجار) يحوي سكاكر بمقدار ٤٠ غ/ل والشوارد المعدنية الضرورية بكمية كافية مع مراعاة الـ pH بحدود (٥,٥).

ومما يجب ملاحظته أن هذه الطريقة من الزراعة تخلص النبات من الاصابات الفيروسية، لأن أنسجة البراعم النهائية خالية من الفيروسات، لذلك يجب الانتباه إلى عدم التلوث عند القيام بهذا العمل.

ب-الحصول على نباتات تستفيد من آزوت الجو وبالتالي لا تحتاج للتسميد:

لقد قام مجموعة من الباحثين في معهد ماكس بلانك لوراثة النبات في ألمانيا الغربية بحقن العوامل الوراثية الجرثومية المتحكمة في تثبيت الآزوت الجوي داخل بروتوبلاست النباتات الراقية، واستنباط سلالات من نباتات تثبت الآزوت

الجـــوي بنفســـها، ولهـــذه الســـلالات أهمية خاصة، حيث إن زراعتها تجود في الأراضي الفقيرة، ولا تكون بحاجة إلى مخصبات أثناء نموها ونضجها.

كمـــا استطاع علماء النبات نقل الشريط الوراثي الذي يثبت الآزوت الجوي مـــن جراثـــيم الريزبـــيوم Rhizobium، إلى آلاف الأنواع الأخرى من الجراثيم الموجودة في الأراضي الزراعية، فتتحول تلك الجراثيم إلى مصانع أسمدة آزوتية؛ مما يوفر على المزارعين نفقات التسميد وخفض سعر المحاصيل.

ج- نقل المورثات Genes ودمجها:

مـــنَ المعلـــوم أن الصـــفات التي يمتلكها النبات تعود أصلا إلى المورثات المتوضـــعة علـــى الصبغيات الموجودة في نواة خلاياه، لذلك يجب قبل كل شيء تحديـــد عمـــل كل مورث والسعي لعزله ثم ادخاله في نواة النبات الذي يحتاج إلى الصـــفة التي يحملها ذلك المورث، ولهذا تحضر بروتوبلاست الخلايا المدروسة ثم تحقـــن المورثات ذات الصفات النوعية المطلوبة بداخلها بوجود مواد تساعد على دخولهـــا، وتقـــوم البروتوبلاست بعد ذلك بتشكيل جدار جديد لكل خلية، ثم يجري زرع تلك الخلايا فتعطي نباتاً جديداً.

يعد جرثوم التربة المحرّض للتورم *Agrobacterium tumefaciens* من أكثر حوامل المورثات شيوعاً لنقلها إلى خلايا النباتات، وهذا الكائن المجهري هو مهندس طبيعي للوراثة، إذ يقوم بغرز قطعة صغيرة من الـ DNA هي (DNA-T) المتوضـــعة علـــى السيتوبلاسميد Ti-plasmide (وذلك عند وجود جرح في النـــبات)، داخـــل صـــبغيات الخلايا النباتية، مؤدياً إلى ورم يدعى التدرن التاجي Crown galle يصـــيب الأشجار المثمرة (تفاحاً، أجاصا، لوزاً وغيرها) ويسبب لجذورهـــا انـــتفاخات صـــغيرة طـــرية، فاتحة اللون لا تلبث أن تتحول إلى ورم سرطاني متخشب بني اللون.

ونذكر هنا بأن العالمين Tzrailskyi, Eagydin (عام ١٩٧٩م) يعتقدان أن ســـبب هذا التدرن هو فيروس (لم يحدد اسمه بعد) يدمص إلى الجرثوم السابق ثم

ينفصل عنه في ظروف محددة وينتشر داخل خلايا النبات محولاً إياها إلى خلية سرطانية.

يؤدي دخول قطعة السيتوبلاسميد (T-DNA) إلى تكاثر اعاشي وانقسام خلوي مستمر وغير مسيطر عليه ينتج عنه التدرن المذكور، كما تصطنع هذه الخلية النباتية المصابة بتوجيه من المورثات الجديدة مواد خاصة باختلاف النوع الجرثومي نسميها الأوبينات Opines لا تلبث أن تفرز في الوسط الخارجي وتعود للدخول والمساهمة في نمو الخلية الجرثومية وتطورها.

يتطور التدرن ويزداد إفراز الأوبينات التي تغذي الجراثيم وتزيد من عددها، وهكذا يعد التدرن المكان البيئي الطبيعي للجراثيم التي يمكنها أن تنتشر بأعداد كبيرة في التربة بعد موت النبات؛ وأن تدخل نباتات أخرى وتبدأ دورة حياة جديدة.

تتوسط في عملية النقل السابقة متتاليات من الـ DNA ، الواقعة على جانبي المورثات المحرضة للورم، ومن الممكن أن يقوم العلماء مخبرياً Tempe'et Schell عام ١٩٧٨) بإحلال أي مورثة محل مورثات السيتوبلاسميد والتي تسبب التورم، ثم تفرز المتتاليات الجانبية المورثة الغريبة داخل صبغيات النبات، كما يوضح الشكل (١٥٧) الذي يتضمن عدة مراحل هي:

- بناء المورثة الجديدة (شكل رقم ١٥٧-A) التي تتألف من ثلاثة أجزاء:

١-مورثة الجرثومية وهي هنا المورثة المرمزة للنيومايسين فوسفور ترانسفيراز (NPT)، والتي تتصف بمقاومتها للمضادات الحيوية مثل الكاناميسين Kanamycine.

٢-مل (Nos) للمورثة ومن منهي لها يُتمان عمل المورثة. ثم إدخال هذه المورثة إلى السيتوبلاسميد.

- نقل المورثة الجديدة المحمولة على السيتوبلاسميد إلى خلية جرثوم A.tumefaciens (الشكل ١٥٧-B).

-وضـــع الجـــرثوم الحامل للصفة الجديدة (مقاومة الكاناميسين) مع بروتوبلاست البنات، لإحداث الانصهار الخللولي (الشكل ١٥٧-C).

-نلاحـــظ بعـــد عـــدة أسابيع تشكل الثفنات (Callus) التي تزرع مخبرياً بطريقة نباتات الأنابيب، (الشكل ١٥٧-D).

تتشكل نباتات جديدة، يتميز معظمها بصفة المقاومة للكاناميسين. (الشكل١٥٧-E).

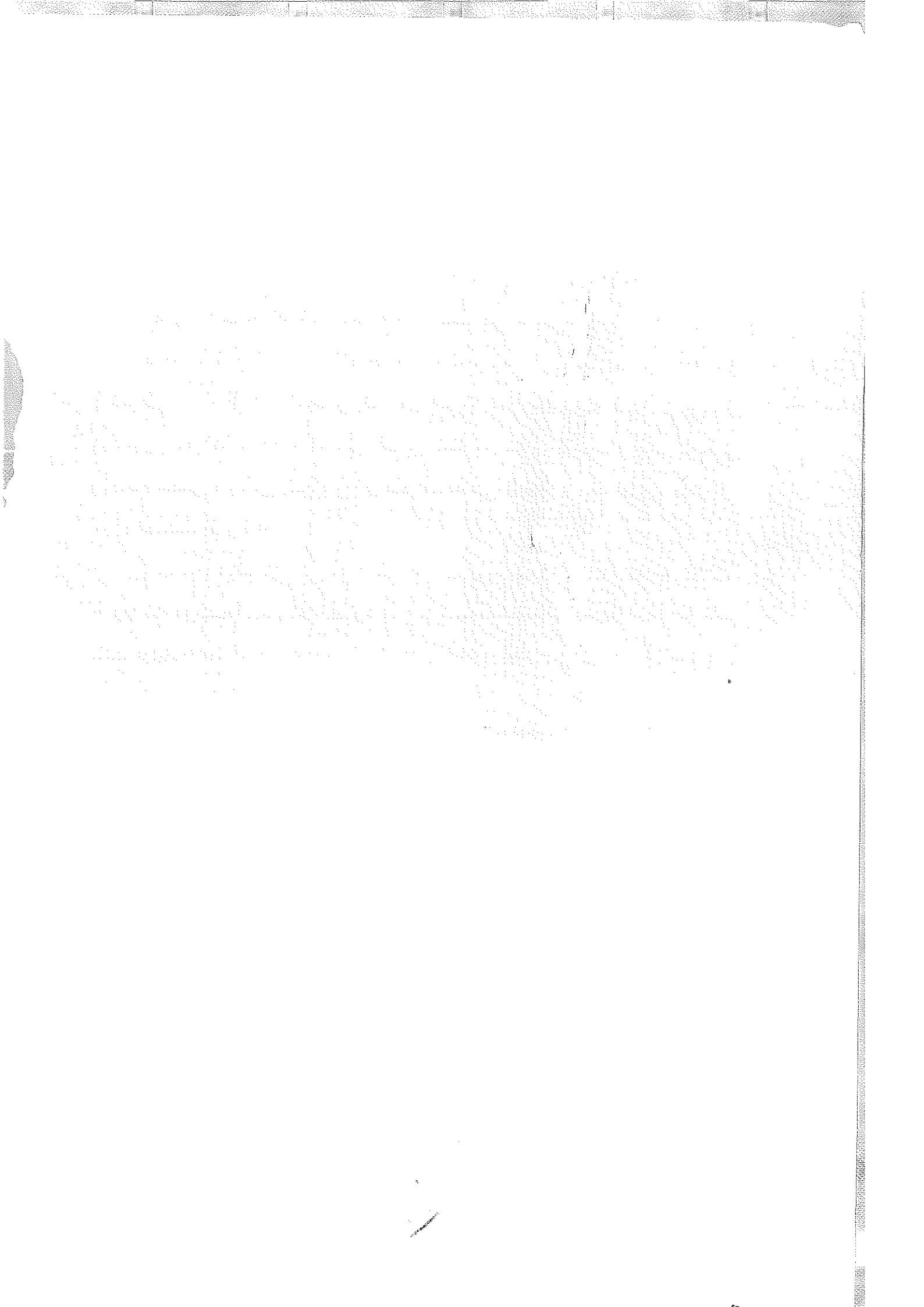
ولدراسة صفة المقاومة للكاناميسين يعمد إلى ما يلي:

يـــتم إنـــتاج الـــبذور بالالقاح الذاتي، ثم تزرع على وسط يحوي الكانامسين (الشـــكل ١٥٧-F) فـــنلاحظ أن الـــبذور التي لا تحوي المورثة المقاومة لا تنتش ويكـــون وجودها بنسبة 1/4، وأن البذور المقاومة تنتش وتقوم بالتركيب الضوئي وتصبح خضراء وتكون نسبتها ¾ وهذه النسبة هي المنتظرة وفقاً لقانون مندل في عزل الصفات الوراثية.

وتجـــدر الإشـــارة إلى أن العالم هربرت بوير (عام ١٩٧٣) كان قد اكتشف طريقة تسمح بإدخال مورثات غريبة إلى جرثومة الـــسيات المعوية المعروفة باسم Echerichea coli تنـــتج مـــا تنتجه بعض الخلايا الطبيعية في جسم الإنسان مثل الأنسولين والانترفيرون.

ومـــنذ بداية الثمانينيات بدأ علماء بلجيكيون (Herrea Esterlla ومساعدوه عـــام ١٩٨٣) مـــن جامعـــة Gand باســـتخدام هـــذه الجـــرثومة مـــع جـــرثوم A.tumefaciens للغرض نفسه.

كمـــا تمكن العالم الأمريكي موري Mourai ومساعدوه في العام (١٩٨٣) نفســـه مـــن عزل المورثة التي تصطنع الابروتين من خلايا بذور الفاصولياء، ثم نقلوا هذه المورثة وأدخلوها في خلايا نبات عباد الشمس باستخدام الجراثيم السابقة A. tumefaciens كوســـيط، فحصـــلوا على بذور جديدة لنبات أطلقوا عليه اسم فاصولياء الشمس.



الشكل-١٥٧-طريقة الضم الوراثي التجريبي المستخدمة في تحسين الأصول النباتية. A-بناء المورثة الجديدة. B-نقل هذه المورثة المحمولة على السيتوبلاسميد Ti إلى جراثيم A.tumenfaciens. C-التحام هذه الجراثيم مع بروتوبلاست الخلايا النباتية. D-تشكل الثفنات Callus . E-مرحلة التجذير والتقسية للنباتات الجديدة التي تحمل صفة مقاومة الكاناماسين. F-دراسة صفة المقاومة للكاناماسين.

ومـــن النـــباتات الجديـــدة التـــي نمت من عمليات انصهار البروتوبلاست للـــبطاطا والبـــندورة في مخابر جامعات السويد وألمانيا الغربية وأمريكا في بداية الثمانينـــيات نبـــتة تجمع أوصاف البطاطا والبندورة، وتمتاز هذه النبتة بأنها تعطي ثمـــار البندورة ودرنات البطاطا بآن واحد، وبالإضافة إلى ذلك فإن دمج المورثات التـــي تقاوم أمراض النبات الموجودة في البندورة قد ساعدت على إنتاج سلالة من البطاطا مقاومة للأمراض.

د- الصعوبات التي تواجه الحصول على نباتات الأنابيب:

إذا كانـــت طريقة زرع النباتات في الأنابيب (مخبرياً) سهلة التطبيق نسبياً؛ إلا أنها لا تخلو من عوائق أهمها التقانة والاقتصادية.

من المشاكل التقنية:

١-حصـــول التلوث بالفطريات أو الجراثيم أو الفيروسات، وإذا ثبت حدوث أي تلوث؛ فيجب إتلاف محتوى جميع الأنابيب المزروعة.

٢-يمكن أن نشاهد أثناء أطوار التكاثر المختلفة للأنسجة، أن بعض النباتات أخـــذت تظهر بشكل شبيه بالزجاج، فتكون الأوراق بلون أخضر لامع، تلتف على نفسها وتصبح سهلة الكسر وشفافة، ويزداد ظهور هذه الأعراض في أوساط تحوي كميات كبيرة جداً أو قليلة جداً من السيتوكسين، مما يؤدي لتوقف نمو النبات عادة.

ويســـتعيد النـــبات حالـــته الطبيعـــية أحياناً عند وضعه في وسط لا يحوي الأوكسين أو السيتوكسين.

٣-تعد مرحلة التجذير في نباتات الأنابيب من أصعب المراحل التي تخضع للســـيطرة الهرمونـــية، لذلـــك يجـــب أن نضع في الحسبان النسبة المئوية للنباتات المجـــذرة ونوعية وجودة التجذير الحاصل، مما سيحدد شروط النجاح عندما تزرع تلك النباتات في الأراضي الزراعية.

٤-إن بعـــض الأجـــناس والأنواع النباتية الجديدة التي استنبطها العلماء في مـــزارع الخلايـــا النباتية عقيمة لا تزهر، لذلك يجري إكثارها إعاشياً، كما تجري

حالـــياً بحوث في مزارع الخلايا بهدف تنمية هذا العقم وحث النباتات على تشكيل الأزهار والثمار والبذور.

ومـــن المشكلات الاقتصادية: تلك التي تتعلق بتلك الصعوبات التي تعترض مخابر البحث العلمي، لتقديم الإنتاج في أقصر فترة زمنية، حيث يجب العمل على إنـــتاج أكـــبر قـــد ممكن من النباتات بأجود الصفات وأقل التكاليف وبأسرع وقت ممكن.

ومـــنها مـــا يتعلق بالتجهيزات المخبرية التي تشكل نفقات أقامتها؛ وبخاصة بالنســـبة للدول النامية عائقاً لا يستهان به، علماً بأن كثيراً من الدول المتقدمة مثل أمريكا والسويد واليابان لديها حالياً مصانع لإنتاج البادرات النباتية إعاشياً؛ بدءاً من مزارع الخلايا والأنسجة والتي تعمل بصورة آلية تماماً.

1-8. الإجهاد المائي :

الإجهاد المائي هو الحالة الفسيولوجية التي يعاني منها النبات من نقص الماء ، وتتعرض النباتات إلى الإجهاد المائي باستمرار وفي بعض الحالات وخاصة في فصل الصيف تتعرض النباتات إلى الإجهاد المائي يومياً ، حيث يكون معدل النتح مرتفعاً ، يفوق بكثير معدل امتصاص الماء من التربة ، ولا يستطيع النبات تعويض الفاقد فيتعرض النبات إلى الإجهاد وتظهر عليه أعراض الذبول .

وقد يتعرض النبات إلى الإجهاد المائي لأحد الأسباب الآتية :

1. عدم توفر الماء في التربة لعدم هطول الأمطار ، أو عدم انتظام الري.
2. قد يحدث بطء في عملية امتصاص الماء لارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها .
3. زيادة الأملاح في التربة وانخفاض جهدها المائي فيصعب على النبات امتصاصه .
4. نقص التهوية في منطقة الجذور ، فينخفض معدل الامتصاص .
5. إصابة المجموع الجذري للنبات ببعض الأمراض الفطرية أو ديدان النيماتودا فينخفض معدل الامتصاص .

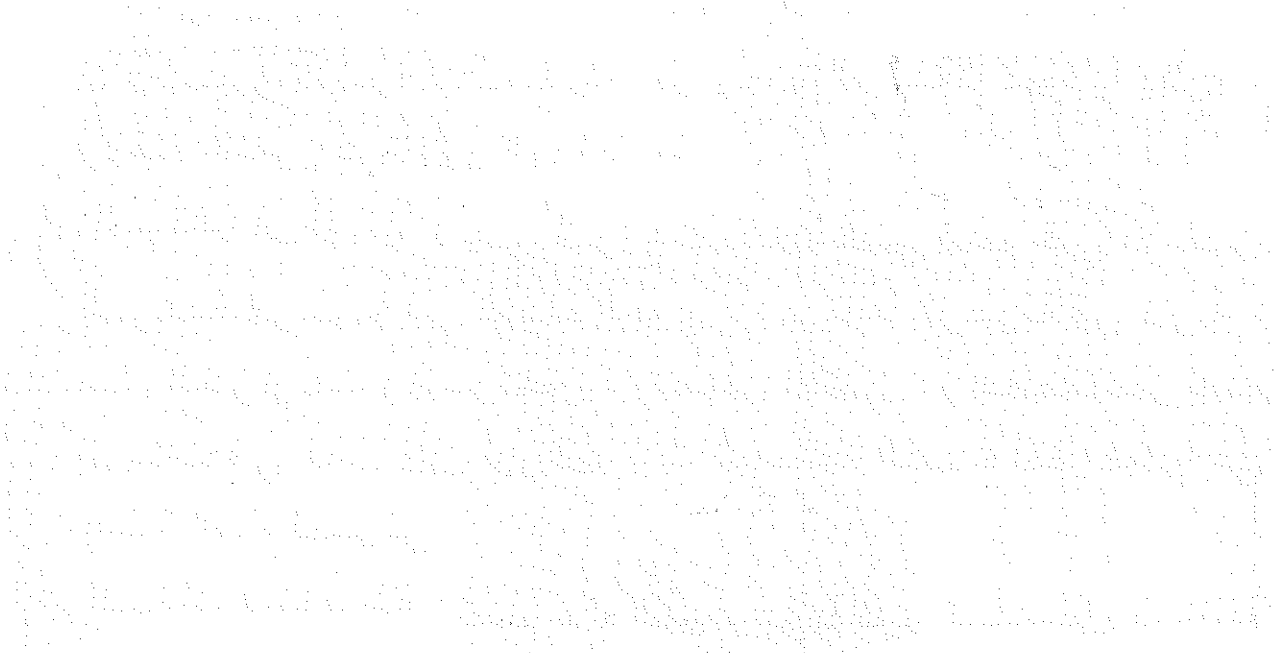
وتختلف النباتات في مقدرتها على تحمل الجفاف والإجهاد المائي ، ولذلك فقد تم تقسيم النباتات إلى عدة مجموعات حسب البيئة التي تنمو فيها وهي :

1- النباتات المائية : تضم مجموعة من أنواع النباتات التي تعيش مغمورة أو شبه مغمورة في الماء ، وقد تحورت بها الكثير من الأعضاء والأنسجة لتلائم البيئة مثل وجود الفراغات الهوائية بكثرة ، وانعدام الثغور في الأوراق وغيرها .

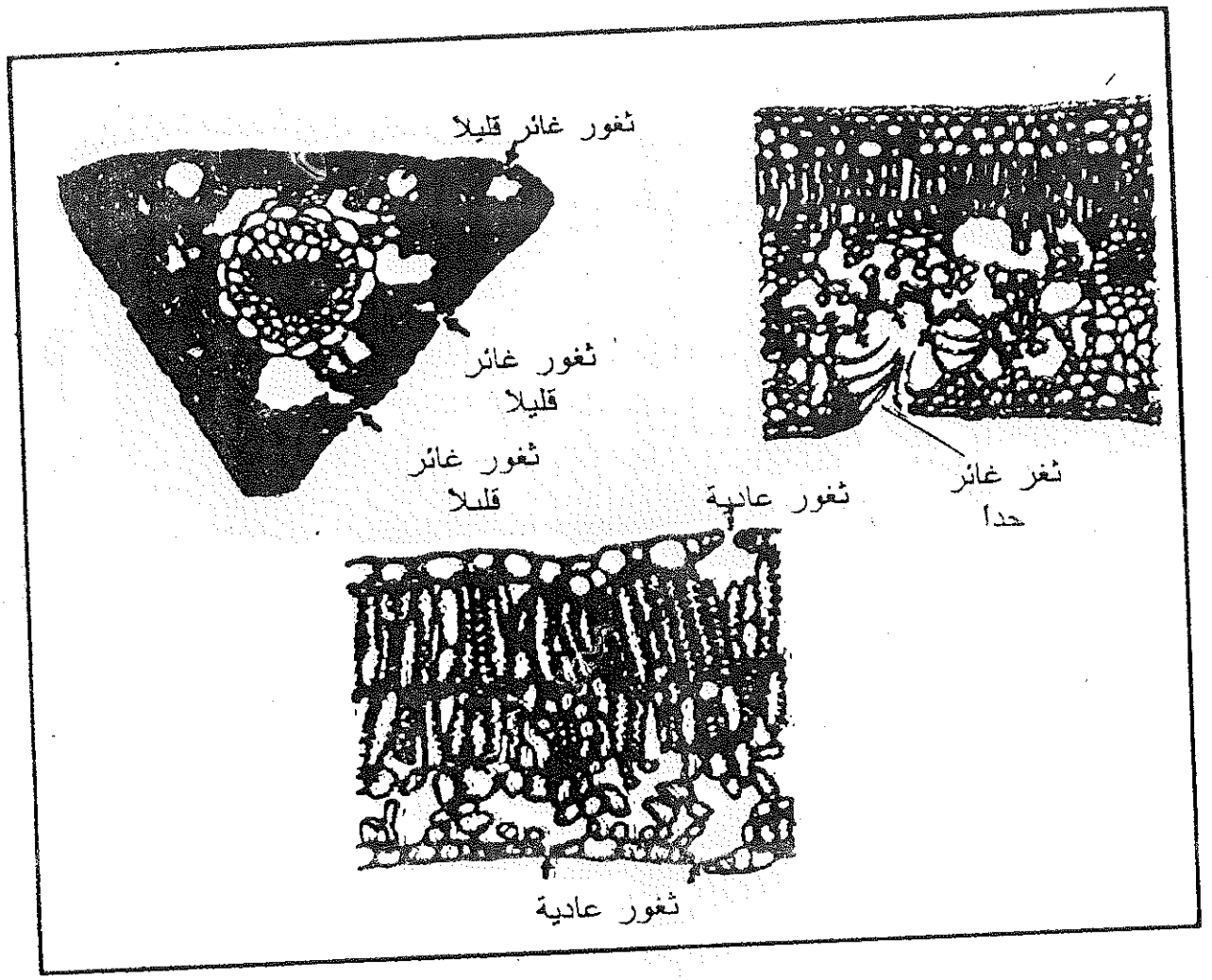
2- النباتات الرطوبية : هي أنواع النباتات التي تنمو في الأماكن المرتفعة الرطوبة في الهواء الجوي ، ومرتفعة الرطوبة في التربة ، مثل الخزازيات والسراخس ، وبعض الأشنّ ، وعندما تنمو هذه النباتات في الظل فإن أوراقها ذات المساحة الكبيرة أكثر فعالية في عملية البناء الضوئي .

3- النباتات المتوسطة : تضم هذه المجموعة نباتات المحاصيل المختلفة كالحبوب والخضراوات والبقول وأشجار الفاكهة وغيرها ، وسميت بالمتوسطة لاحتياجاتها المائية . وبيئتها تقع بين المجاميع السابقة التي تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه وبين المجموعة التي تليها ؛ أي النباتات الصحراوية. وتحتاج هذه النباتات إلى تربة جيدة التهوية ، وإلى توفر الماء في التربة كما تمتاز هذه المجموعة بوجود آلية تتحكم في كمية الماء المفقود منها عن طريق التحكم في حجم فتحات الثغور وعددها .

4- النباتات الصحراوية : هي النباتات التي تتحمل الجفاف لمدة طويلة وقد تحور بعض أعضائها للتوافق مع الظروف البيئية الصعبة ، كاختزال المجموع الخضري وغزارة المجموع الجذري ، وسمك



الأدمة ، ووجود الشعيرات حول الأوراقُ والسيقان والثغور الغائرة وغيرها.



شكل (1-5). أنواع الثغور.

طرق تحمل الجفاف :

يوجد العديد من الوسائل التي تستطيع بها النباتات التأقلم مع الظروف البيئية الصعبة وخاصة عدم توفر الماء اللازم لحياة النبات وقد تم تقسيمها إلى عدة مجموعات أهمها :

1- نباتات تهرب من الجفاف : هي الأعشاب الحولية الصحراوية ، لأن بذورها لا تنمو إلا في وجود كمية من الماء تكفي لإنباتها ونموها وازدهارها وتكوين البذور قبل أن تتعرض للجفاف مرة أخرى وقد يحدث ذلك في مدة لا تزيد على الشهر ؛ أي إنها تقاوم الجفاف بالهرب منه .

2- نباتات تتحاشى الجفاف : هي مجموعة من النباتات الصحراوية المعمرة تتحاشى الجفاف عن طريق تحورات تشريحية كصغر حجم الأوراق والثغور الغائرة ، وقلة عدد الثغور على السطح العلوي للورقة أو انعدام وجود الثغور على السطح العلوي وسمك الأدمة ووجود الشعيرات وتحور بعض الأوراق إلى أشواك ، ووجود مجموع جذري غزير يتعمق وينتشر في التربة وله مقدرة كبيرة على امتصاص الماء .

3- نباتات تتحمل الجفاف : وهي مجموعة النباتات التي تعرف بالنباتات الجفافية الحقيقية وبالإضافة إلى التحورات الكثيرة في أعضائها فهي تمتاز عن المجاميع السابقة في أن السيتوبلازم في خلاياها يتحمل الجفاف بدرجة كبيرة ولا يتغير ولا تتوقف العمليات الفسيولوجية حتى في حالة فقد كمية كبيرة من المياه .

التغير في الشكل الظاهري :

عندما يتعرض النبات إلى الإجهاد المائي ، يستجيب النبات لتفادي هذا الضرر بعدة طرق ، فالإجهاد المائي الذي لا يحدث أضراراً ، أو يؤدي إلى موت النبات يتسبب في إبراز بعض الخصائص والمميزات في الشكل لأعضاء النبات الرئيسة وخاصة الأوراق ومن أهم هذه التغيرات ما يأتي :

1- الأوراق : يؤثر الإجهاد المائي على الأوراق في النباتات التي تتحمل الجفاف كالآتي :

أ. صغر حجم الأوراق .
ب. تحور بعض الأوراق إلى أشواك .
ج. تغير زاوية الورقة مع الساق لتفادي سقوط أشعة الشمس رأسياً .
د. تساقط الأوراق في حالة تعرض النبات إلى الجفاف الشديد .
هـ. التفاف الأوراق أو انطواؤها في بعض النباتات عن تعرضها للإجهاد المائي .
و. انخفاض عدد الثغور ، ووجود الثغور الغائرة وصغر حجم فتحة الثغر يؤدي إلى انخفاض معدل النتح .
ز. وجود شعيرات على الأوراق وحول الثغور وعلى الأغصان .
ح. وجود طبقة شمعية ، وأدمة سميكة تلعب دوراً في التقليل من فقد الماء .

2- الساق: تحدث بعض التغيرات الشكلية في السيقان نتيجة تعرض النباتات إلى الإجهاد المائي على النحو الآتي :

- تحور الساق إلى تخزين كميات كبيرة من الماء .
- منع فقد الماء عن طريق السيقان .

3- الجذر: أما الجذور فلها من الخصائص والمميزات والتحورات التي تمكنها من تحمل الجفاف ؛ منها :

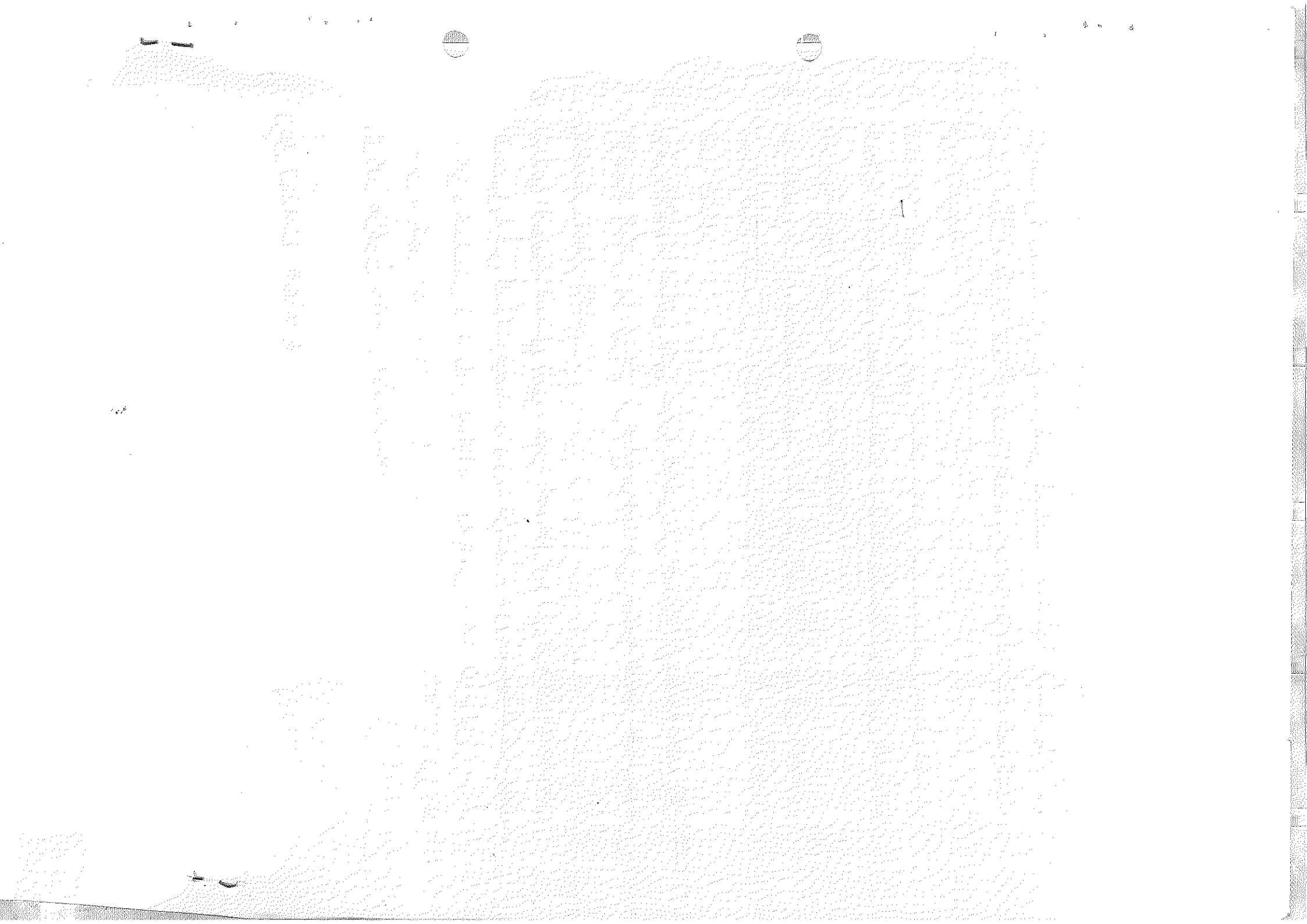
أ. توقف نمو قمة الجذر في حالة الإجهاد المائي وتعرض النبات للجفاف .
ب. تخزين الماء في بعض أنسجة الجذور كما يحدث في جذور نبات الحنظل .
ج. كثافة المجموع الجذري في التربة وغزارته وتعمقه وانتشاره .

العوامل الفسيولوجية :

يؤدي الإجهاد المائي إلى عدة تغيرات فسيولوجية من أهمها :

1. لا يتمكن النبات من الحصول على العناصر الغذائية اللازمة لنموه لعدم توفر الماء الميسر للامتصاص وتعرض النبات للإجهاد المائي ، وتظهر أعراض نقص العناصر على النبات بسرعة .
2. عندما يتعرض النبات للإجهاد المائي تقل حركة النقل داخل النبات أو تتوقف ولا يحدث توزيع متجانس للعناصر الغذائية وللسكريات في جميع أعضاء النبات كما أن نقص الماء يزيد من تركيز هذه المركبات في الأنسجة .
3. انخفاض الجهد المائي في النبات يؤدي إلى انخفاض معدل انقسام الخلايا ونقص النمو بصفة عامة ، ولذلك تلاحظ الفرق بين النباتات المروية وغير المروية في حجم النبات .
4. من المعروف أن انخفاض الجهد المائي في الورقة يؤدي إلى انخفاض معدل البناء الضوئي ، وتتوقف عملية البناء الضوئي في حالة نقص الماء الشديد .
5. يؤثر الإجهاد المائي على عملية التنفس في النبات ، وبصفة عامة فإن الإجهاد المائي يؤدي إلى ارتفاع مؤقت في عملية التنفس قد يعقبه انخفاض معدل التنفس .
6. يؤدي الإجهاد المائي إلى وجود اضطراب في تركيز الأحماض العضوية في النبات فبعضها يزيد تركيزه ، وبعضها الآخر يقل تركيزه كحامض الستريك والماليك وزيادة في تركيز البرولين .
7. يتغير تركيز الهرمونات في النبات نتيجة للإجهاد المائي ، فيزداد تركيز هرمون حامض الأبسايسيك .

1-9. العناصر الغذائية :



تراكم الاملاح :

تقوم النباتات بامتصاص العناصر الغذائية من محلول التربة ، ولكل عنصر صيغة معينة يجب أن تتوفر في التربة حتى تتمكن النباتات من امتصاصها كما هو موضح في الجدول (1-5). وتوجد عدة طرق لتفسير عملية الامتصاص أهمها :

1- الانتشار : هو عبارة عن انتقال العناصر من محلول التربة إلى جذور النباتات بالانتشار المباشر ؛ أي إن أيونات العنصر تنتقل من الخارج إلى الداخل بناء على فرق في تركيز العنصر ؛ أي إن تركيزه في محلول التربة أعلى من تركيزه في جذور النبات ، وعملية الامتصاص هذه تعرف أيضاً بالامتصاص السلبي ؛ أي إن النبات لا يبذل مجهوداً أو طاقة للحصول على العناصر الغذائية بل متنقل وهي مذابة في الماء بناء على فرق الجهد المرتفع في محلول التربة إلى الجهد المنخفض في خلايا جذور النبات .

2- **الامتصاص النشط :** هو الذي يبذل فيه النبات طاقة على هيئة ات ف ATP التي يحصل عليها من التنفس أو البناء الضوئي . لكي يقوم بامتصاص العناصر الغذائية ، وتحدث هذه العملية في حالات توازن الجهد الأيوني بين محلول التربة وخلايا الجذور ، أو امتصاص العناصر

عكس منحدر الجهد الأيوني ؛ أي إن تركيز العنصر في الجذور أعلى من تركيز العنصر في محلول التربة.

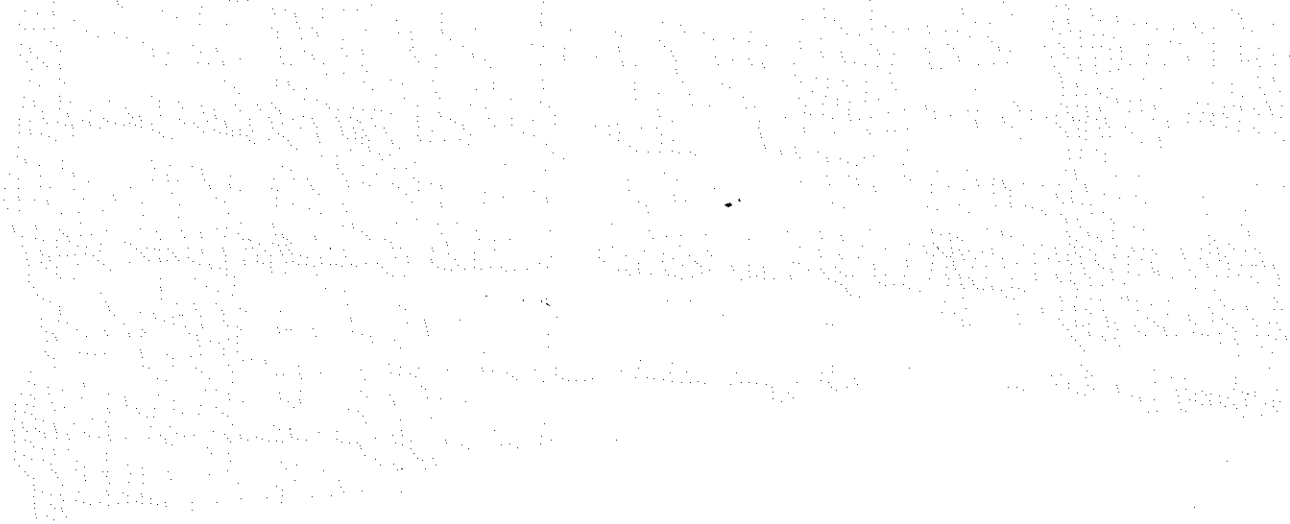
3 ـ نظرية الناقل : تفترض هذه النظرية وجود مادة ناقلة وهي تشبه الإنزيم موجودة في أغشية الخلية ، وتقوم بنقل الأيونات من خارج الخلية إلى داخلها عبر الغشاء ولكل عنصر ناقل خاص به يقوم بنقله من الخارج إلى الداخل ، وقد يقوم الناقل بنقل أكثر من عنصر تتشابه في تكافؤها . ويمتلك الناقل خاصية الاختيارية ، أي مقدرته على اختيار عناصر معينة يسمح بنقلها وإدخالها في النبات ولا يسمح بامتصاص عناصر أخرى ويقوم باستبعادها . وهذه العملية تحتاج إلى الطاقة التي يبذلها النبات .

العوامل المؤثرة في امتصاص العناصر الغذائية :

يتأثر معدل امتصاص العناصر الغذائية بعدة عوامل أهمها :

1 ـ درجة الحرارة : تقوم النباتات بامتصاص العناصر الغذائية في إعطاء معدل لها عندما تتوفر درجة الحرارة المثلى لعملية النمو والامتصاص وينخفض معدل الامتصاص عندما تكون درجة الحرارة منخفضة وهذا ما يفسر بطء النمو في فصل الشتاء . وينخفض معدل الامتصاص عندما تبلغ الحرارة درجة صفر مئوية وينخفض معدل تراكم العناصر عند هذه الدرجة . وعندما تبدأ درجات الحرارة في الارتفاع يزيد معدل امتصاص العناصر ، لزيادة معدل التنفس الذي يوفر الطاقة اللازمة لعملية الامتصاص النشط .

2- الضوء : تزيد شدة الإضاءة من معدل امتصاص العناصر إذ يعتقد أن شدة الإضاءة تزيد من معدل البناء الضوئي الذي يوفر الغذاء



اللازم للجذور ولعملية التنفس التي توفر الطاقة لزيادة معدل الامتصاص .

3- التهوية : تحتاج الجذور إلى التهوية المناسبة لكي يتوفر لها الأكسجين اللازم لتنفسها ، وتتمكن من القيام بعمليات الامتصاص اللازمة لتوفير العناصر الغذائية للنبات . كما أن تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في التربة حول الجذور يضربها ويعوق عملية الامتصاص .

4- الرقم الهيدروجيني (pH) : يؤثر الرقم الهيدروجيني في عملية امتصاص العناصر الغذائية إما بتأثيره في نفاذية الأغشية النباتية أو تأثيره في التفاعلات الكيميائية التي يحدث للعناصر وتصبح غير ميسرة للامتصاص ولا يستطيع النبات الحصول عليها . فمثلا تصبح العناصر الدقيقة غير ميسرة للامتصاص في التربة القلوية أو التربة الرملية ، حيث تتأكسد هذه العناصر ، وتصبح غير ميسرة للامتصاص .

5- تركيز العناصر في النبات : عندما يكون تركيز عنصر معين في جذور النبات مرتفعاً ، فإن الجذور لا تمتصه بالمعدل أو الكمية نفسها عندما يكون تركيز هذا العنصر منخفضاً في الجذور ؛ أي إن معدل امتصاص العناصر يرتفع في حالة نقص العناصر .