

## **الفصل الثالث**

**كيفية حصول النبات على حاجته من  
العناصر المغذية**

**Nutrients Uptake by Plant**



# كيفية حصول النبات على حاجته من العناصر المغذية

## Nutrients Uptake by Plant

كما سبق القول بأن النبات يمتص العنصر الغذائي في صورته الأيونية، وهذه الصورة تكون ذائبة في المحلول الأرضي أو في المحلول المغذى. وتتم عملية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائي بالخطوات التالية:-

- ١ - إنتقال العنصر الغذائي من خلال المحلول إلى جذر النبات.
- ٢ - إمتصاص العنصر بواسطة الجذر.
- ٣ - إنتقال العنصر داخل النبات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية

### أولاً: انتقال العنصر الغذائي من خلال المحلول إلى جذر النبات

لكي يمتص الجذر العناصر الغذائية، يجب أن تتلامس هذه العناصر مع الجذر ويتم هذا التلامس بعدة وسائل هي:

#### ١ - الاعتراض الجذري Root Interception

وفيه لا تتحرك الأيونات ناحية الجذر بل يتحرك الجذر إلى أماكن من بيئة النمو لم يتطرق إليها الجذر من قبل بما فيها من عناصر غذائية ذائبة (في البيئات الخاملة) أو متبادلة (في البيئات التي لها قدرة على التبادل الأيوني). وهناك يصل العنصر إلى الجذر عن طريق التلامس المباشر خلال المحلول أو عن طريق تلامس الجذر مع الأيونات المتبادلة على أسطح حبيبات بيئة النمو، فيحدث التبادل بالتماس Contact exchange وتتم هذه العملية -بشكل مبسط- بأن الأيونات المدمصة على أسطح حبيبات بيئة النمو وعلى جذر النبات يكون لها حجم معين وحيز محدد يحدث فيه تذبذب لهذه الأيونات، فعند تداخل مناطق التذبذب هذه بعضها مع البعض يحدث تبادل في مواقع الأيونات المدمصة على حبيبات بيئة النمو والجذر. والكمية المتبادلة تكون متكافئة وفي الغالب يكون التبادل بين أيونات الهيدروجين

(H<sup>+</sup>) الذى تفرزه الجذور والأيونات المتبادلة على أسطح حبيبات بيئة النمو. وعموماً فإن كمية العناصر المغذية التى يحصل عليها النبات بهذه الطريقة تكون صغيرة بالنسبة للكمية التى يحتاجها النبات، وذلك لأن كمية المغذيات التى يمكن أن تتلامس مباشرة مع الجذر هى الكمية الموجودة فى حجم من بيئة النمو مساوى لحجم الجذور المنتشر فيها. ومع ذلك يمكن أن يساهم الاعتراض الجذرى فى احتياجات النبات من العناصر إذا كان جذر النبات كثيف ومستوى العنصر الميسر فى بيئة النمو مرتفعاً.

## ٢ - التدفق الكتلى Mass Flow

إنسياب حركة الماء فى بيئة النمو نتيجة لاختلاف الضغط الهيدروستاتيكي، حيث ينتقل الماء من الأماكن التى يكون بها تركيزه مرتفعاً (بيئة رطبة) إلى المكان الذى يكون بها تركيزه منخفضاً (بيئة جافة). وبامتصاص الجذر للماء ينخفض محتوى البيئة من الرطوبة فى هذه المنطقة المحيطة بالجذر، وبالتالي يتحرك الماء بما فيه من العناصر المغذية الذائبة اتجاه سطح الجذر، وعلى ذلك يتوقف مدى مساهمة التدفق الكتلى فى إمداد الجذر بالعناصر على عاملين:

**الأول:** تركيز العنصر فى محلول بيئة النمو in Nutrient concentration solution

**الثانى:** كمية الماء المستهلك فى عملية النتح Water consumption by transpiration

## ٣ - الانتشار Diffusion

ويقصد به تحرك الأيونات من حيث يكون تركيزه مرتفعاً إلى حيث يكون تركيزه منخفضاً محكوماً بطاقته الحركية (وليس مع حركة الماء). فعند امتصاص الجذر للعنصر ينخفض تركيزه حول الجذر عنه فى باقى المحلول، وبالتالي ينشأ تدرج فى التركيز وتتحرك الأيونات فى اتجاه الجذر (مع تدرج التركيز). وهناك عدة عوامل تؤثر على معدل الانتشار منها:

(أ) محتوى بيئة النمو من الرطوبة: والعلاقة هنا طردية، حيث يزداد معدل الانتشار في نفس بيئة النمو مع زيادة محتواها من الرطوبة نتيجة لزيادة المقطع الذي يتم خلاله الانتشار.

(ب) قوام بيئة النمو: عند نفس الجهد من الماء في بيئة النمو يزداد معدل الانتشار في البيئة ناعمة القوام عن البيئة خشنة القوام وذلك لاحتواء البيئة الناعمة على مستوى أعلى من الرطوبة عند نفس جهد الماء.

(ج) المسامية: يزداد الانتشار بزيادة نسبة المسام حيث إن الانتشار يتم خلال المسام المملوءة بالماء.

(د) مستوى العناصر في المحلول: يزداد معدل الانتشار كلما ارتفع محتوى المحلول المغذى في بيئة النمو من العناصر، حيث أن المستوى المرتفع من العناصر في المحلول يسمح بتدرج أكبر في التركيز.

## ثانيا: امتصاص العناصر بواسطة الجذر

### Nutrient Uptake by Root

قبل الدخول في شرح النظريات المختلفة لامتناس العناصر بواسطة الجذر فإنه من المهم إعطاء صورة مبسطة عن تركيب الجذر وكذلك الخلية النباتية.

### ١ - تركيب الجذر Root Structure

#### (أ) مناطق امتصاص العناصر بالجذر:

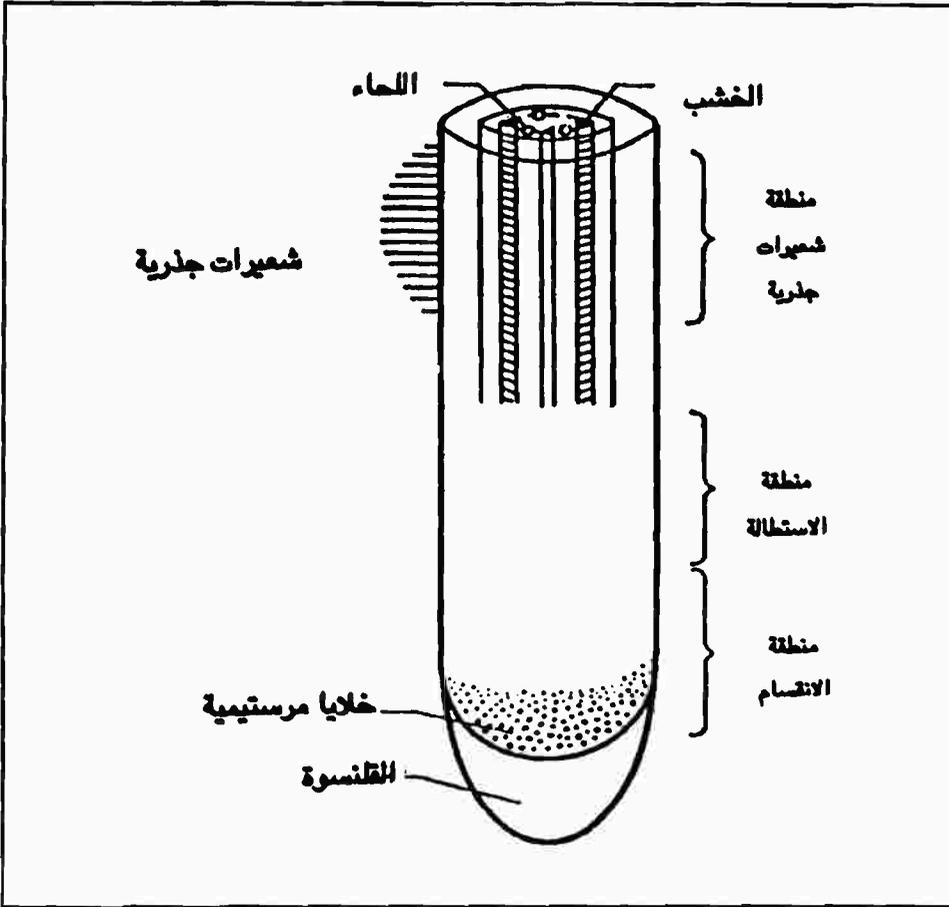
الجذر هو عضو النبات الذي يقوم بامتصاص الماء والمغذيات من الأرض ونقلها إلى باقى أجزاء النبات، ويحدد حجم الجذر ودرجة تفرعه إلى درجة كبيرة قدرة النبات على امتصاص العناصر المغذية. ويتم امتصاص معظم العناصر بواسطة الأجزاء الصغيرة النامية من الجذر، وتشمل مناطق نمو الجذر:

منطقة الانقسام (أو المنطقة) المرستيمية): وهى المنطقة التى لم تتميز بها الخلايا بعد إلى الأنسجة المختلفة.

## منطقة الاستطالة:

### منطقة الشعيرات الجذرية:

وهذه المنطقة يوجد بها كثير من أنسجة الخشب Zylem واللحاء Phloam بالإضافة إلى طبقة البشرة بما فيها من الشعيرات الجذرية (شكل ٣ - ١). وتمتص العناصر الغذائية بأعلى معدل خلال خلايا منطقة الشعيرات الجذرية، وذلك بعكس الحالة في مناطق الانقسام والاستطالة.



شكل (٣ - ١): رسم تخطيطي يوضح تركيب جذر النبات

## السعة التبادلية الكاتيونية للجذر Cation Exchange Capacity of Roots (ب)

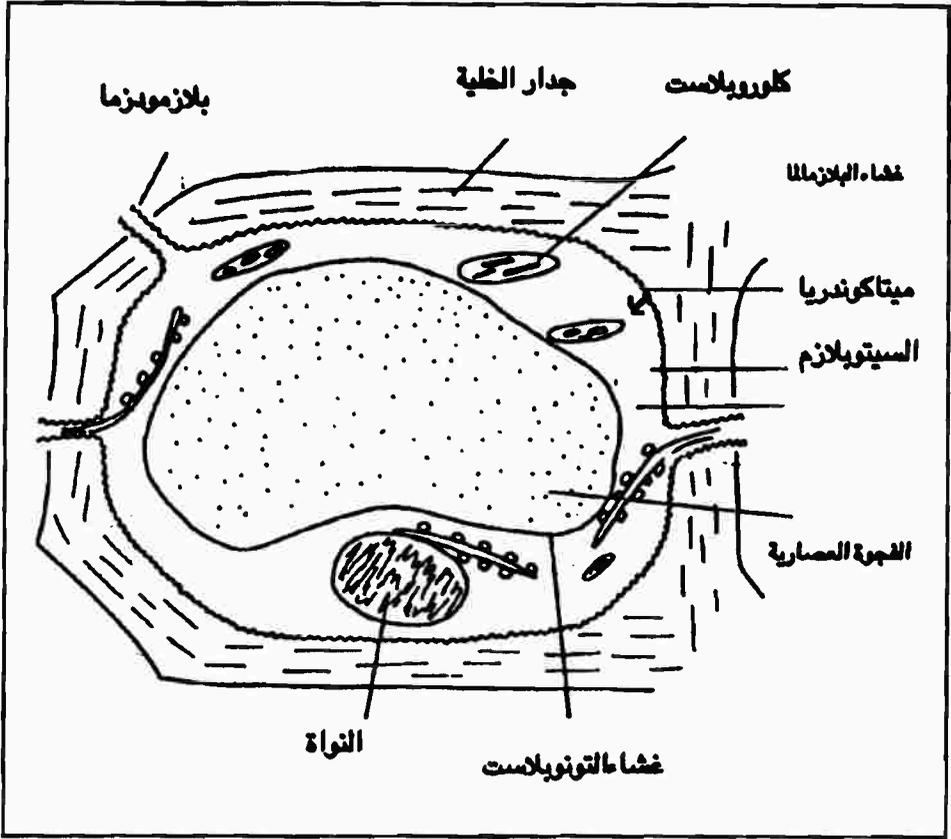
تتميز جذور النباتات بأن لها صفة تبادل القواعد ويرجع ذلك إلى انقسام مجاميع الكربوكسيل في المواد البكتينية الموجودة في جدر الخلايا وعندها يتحمل الجذر بشحنات سالبة تجذب إليها الكاتيونات المختلفة. وتختلف السعة التبادلية الكاتيونية للجذور اختلافاً للنباتات ثنائية الفلقة بالمقارنة Dicotyledon بالنباتات أحادية الفلقة Monocotyledon

جدول (٣ - ١): السعة التبادلية الكاتيونية لجذور بعض النباتات

نوع النبات	السعة التبادلية الكاتيونية (مليمكافىء / ١٠٠ جم وزن طازج)
نباتات ثنائية الفلقة Dicotyledon	
فول الصويا	٦٥,١
البرسيم الحجازى	٤٨,٠
القطن	٣٦,١
الطماطم	٣٤,٦
نباتات أحادية الفلقة Monocotyledon	
الذرة	١٧,٠
الشعير	١٢,٣
القمح	٩,٠

## ٢ - تركيب الخلية النباتية Plant Cell Structure

يبين الشكل رقم (٣ - ٢) صورة مبسطة للخلية النباتية موضحا عليها أهم مكوناتها وهى:



شكل (٣ - ٢) : رسم تخطيطي يوضح تركيب الخلية النباتية

#### (أ) جدار الخلية Cell Wall

يتكون جدار الخلية من مواد بكتينية وسليولوز، وتتجمع مركبات السليلوز في الجدار على شكل سلاسل مكونة ما يشبه الألياف التي تحصر بينها فراغات تسمح بدخول وتواجد الماء والهواء والذائبات داخل جدار الخلية، أي يعتبر الجدار الخلوي منفذ تماما للماء والذائبات.

#### (ب) سيتوبلازم الخلية Cell Cytoplasm

وتتكون من العديد من المواد البروتينية ويوجد داخله العديد من الجسيمات الهامة للخلية والتي تشمل النواه والكلوروبلاست والميتاكوندريا. وتقوم جسيمات

الكلوروبلاست بتحويل الطاقة الضوئية وتمثيل ثاني أكسيد الكربون. بينما يتواجد في الميتاكوندريا الإنزيمات التي تتحكم في دورة الأحماض الكربوكسيلية والتنفس وتمثيل الأحماض الدهنية.

ويتصل سيتوبلازم الخلايا المتجاورة في النسيج النباتي مع بعضها عن طريق خيوط من السيتوبلازم تسمى بخيوط البلازموديماتا **Plasmodesmata**

### (ج) الفجوة العصارية **Vacuola**

وتحتوى على محلول مائي يتركب غالباً من مواد غير عضوية بالإضافة إلى بعض المركبات العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض مثل الأحماض العضوية والأحماض الأمينية والسكريات، وقد يوجد فيها أيضاً بعض الغازات مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وبعض المواد الملونة الذائبة.

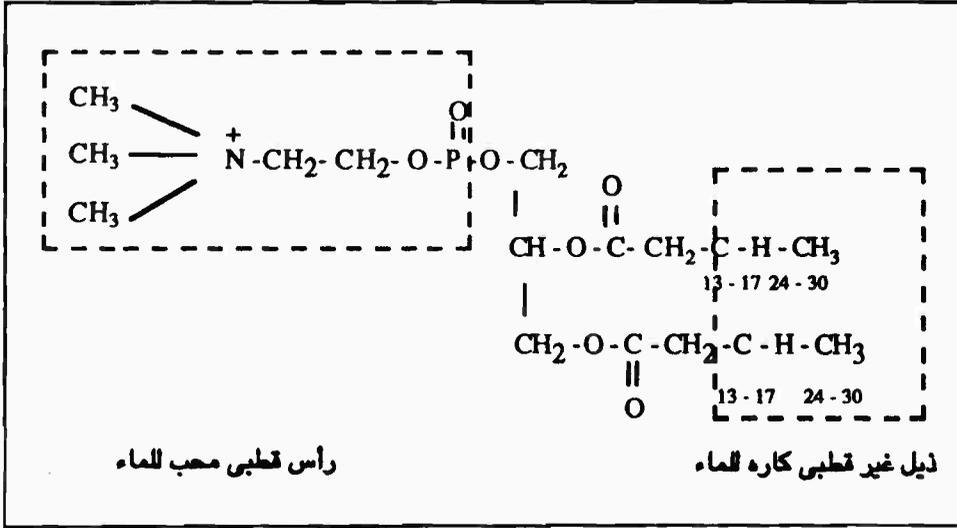
### (د) أغشية الخلية **Cell Membranes**

يوجد في الخلية أغشية عديدة منها (فيما يخص عمليات الامتصاص) غشاء البلازما، وهو الذى يفصل ما بين الجدار الخلوى والسيتوبلازم، وغشاء التونوبلاست، وهو الذى يفصل ما بين السيتوبلازم والفجوة العصارية. بالإضافة إلى ذلك فإن جسيمات الخلية الموجودة فى السيتوبلازم مثل النواه والكلوروبلاست والميتاكوندريا يحاط كل منها بغشاء.

وترجع أهمية أغشية الخلية إلى أنها تتحكم فى حركة الأيونات من وإلى داخل الخلية، وكذلك ما بين الأجسام المختلفة الموجودة فى السيتوبلازم. وهذا التحكم فى الحركة يرجع أساساً إلى أن هذه الأغشية ليست منفذة تماماً للأيونات المختلفة، حيث تسمح بمرور بعض الأيونات دون الأخرى وهى لذلك تسمى أغشية شبه منفذة. وترجع خاصية نفاذية هذه الأغشية وبالتالى قدرتها على التحكم فى عمليات امتصاص الأيونات إلى طبيعة تركيبها.

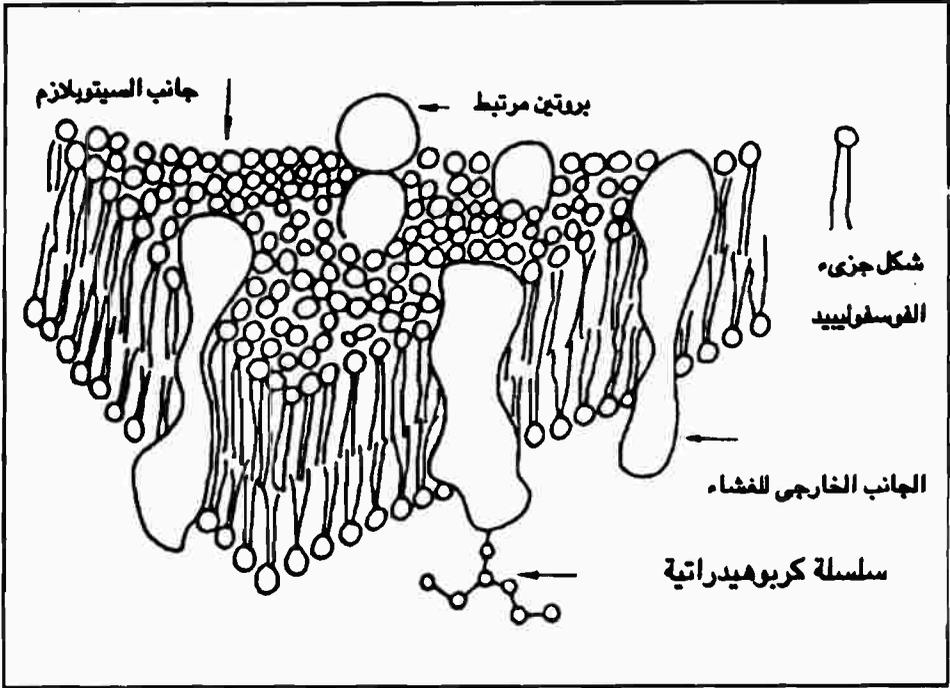
وتتركب الأغشية الحيوية من جزيئات من الليبيدات والبروتينات بنسب متساوية تقريبا، وعلى حسب أحدث الآراء فإن الغشاء الحيوى يتركب من طبقتين من

جزئيات الفوسفوليبيدات يتوسطهما وينظمس فيها جزئيات البروتين. ولجزء الفوسفوليبيد رأس قطبية Polar head (أساسها مجموعات محبة للماء Hydrophilic مثل  $\text{COOH}$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{OH}$ ، وذيل غير قطبي Nonpolar tail عبارة عن سلسلة كربونية طويلة كارهة للماء Hydrophobic كما هو واضح من شكل (٣-٣).



شكل (٣-٣) : تركيب جزئ الفوسفاتيديل كولين (أحد مركبات الفوسفوليبيدات)

وتترتب جزئيات الليبيدات في الطبقة الواحدة من طبقتي الغشاء بحيث تكون الرؤوس القطبية في مستوى أفقي Horizontal Plane يمتد طولاً وعرضاً، بينما تترتب الذيل Tails غير القطبية للطبقتين في اتجاه العمق بحيث تواجه بعضها البعض، ويتراوح سمك الغشاء بين ١٠ - ١٢ نانوميتر (النانوميتر = ١٠<sup>-٩</sup> متر) انظر شكل (٣-٤).



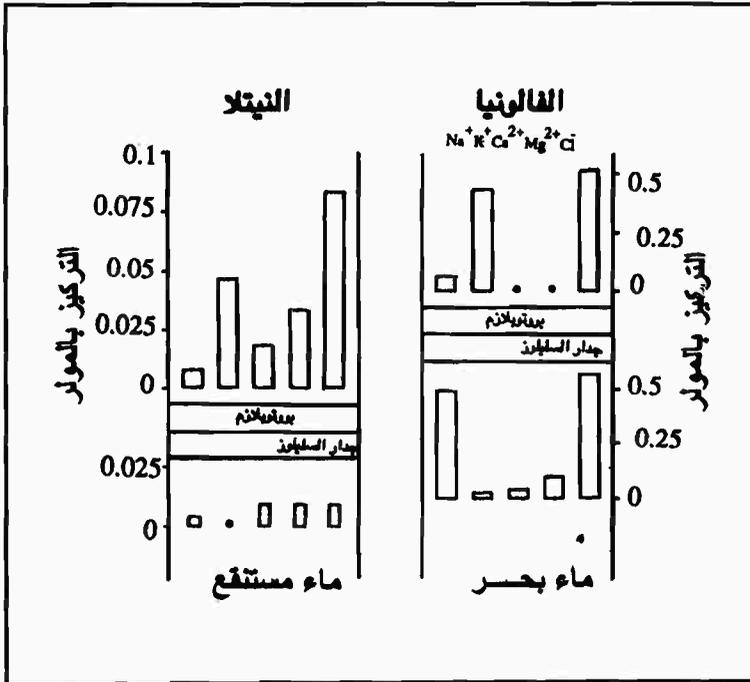
شكل (٣ - ٤) : ترتيب جزيئات الفوسفوليبيدات في الأغشية

وتعمل جزيئات الليبيدات والأغشية كحاجز يمنع انتشار الذائبات المحبة للماء مثل الأيونات غير العضوية والأحماض الأمينية والسكريات خلال الغشاء، أما البروتينات فهي لا تعمل فقط كجزء من تركيب الغشاء بل لها فعل إنزيمي وبالتالي تكون مسئولة عن بعض العمليات الحيوية. وتمتد هذه البروتينات خلال الغشاء من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر مكونة ما يسمى بقنوات البروتين Protein Cannels والتي لها أهمية خاصة في إنفاذ الجزيئات الصغيرة من المواد المحبة للماء مثل الماء والأيونات غير العضوية.

بعد هذا الشرح المبسط لتركيب الجذر والخلية يجدر بنا الانتقال وإلقاء الضوء على كيفية امتصاص العناصر الغذائية والذي يعبر عنه بعدة مصطلحات مثل Absorption أو Uptake - وهي لا تعنى طريقة أو ميكانيكية محددة للامتصاص - وإنما تشير كلها إلى معنى واحد وهو دخول الأيونات إلى داخل جذر النبات.

## نظريات امتصاص الأيونات Ions Uptake Theories

قام هوجلاند Hoagland ومعاونوه ببعض التجارب التي أوضحت الكثير من جوانب عملية امتصاص الأيونات بواسطة النباتات. ففي تجربة عن امتصاص العناصر بواسطة طحلب الـ Nitella الذى ينمو فى المياه العذبة وطحلب Valonia الذى ينمو فى مياه البحار - وهما يتميزان بأنهما من الطحالب ذات الخلايا الكبيرة الحجم حتى يتمكن من فصل مكونات العصارة الخلوية لهما، ثم تقدير محتواها من الأيونات المختلفة - ظهر أن تركيز الأيونات فى الفجوة العصارية لهذه الطحالب لا يتماشى مع تركيز الأيونات فى المياه التى تعيش فيها، حيث يتواجد فى الفجوة العصارية لطحلب Nitella العديد من الأيونات الخاصة  $Cl^-$ ,  $K^+$  بتركيز مرتفع جداً عن تركيزاتها فى الماء الذى تنمو فيه وظهر نفس الشيء فى طحلب Valonia فيما عدا أيون الصوديوم  $Na^+$  الذى قل تركيزه كثيراً فى الفجوة العصارية عن تركيزه فى ماء البحر كما يتضح ذلك من شكل (٣ - ٥).



شكل (٣ - ٥):  
تركيز الأيونات فى  
الفجوة العصارية  
لطحلبى الفالونيا  
والنتلا

ويمكن تلخيص نتائج هوجلاند ومعاونيه فيما يلي:

١ - النباتات تمتص الأيونات اختياريًا، ويتضح ذلك مع عنصر البوتاسيوم القليل التركيز جداً في مياه المستنقع بالمقارنة بباقي الأيونات الأخرى، حيث يعتبر من أكثر الأيونات تجمعاً في الفجوة العصارية لطحلب النيتلا وعكس ذلك عنصر الصوديوم الذى يظل تركيزه منخفضاً في فجوة الفالونيا عن تركيزه المرتفع جداً لهذا العنصر في ماء البحر. وتوضح هذه النتائج أن خلايا النبات يمكن أن تمتص أيونات من وسط النمو وتنقلها إلى داخلها، بينما تستبعد أيونات أخرى، وتسمى هذه الظاهرة الامتصاص الاختياري Selective ion uptake.

٢ - من النتائج أيضاً نجد أن هناك ارتفاع في تركيز كثير من الأيونات في الفجوة العصارية بالمقارنة بتركيزاتها في المحلول الخارجى، وهذا يؤكد أن تجمع الأيونات بواسطة الخلية يتم ضد تدرج التركيز Against concentration gradient.

٣ - يتضح أيضاً أن عملية امتصاص الأيونات بواسطة النبات تحتاج إلى طاقة والتي من عملية التمثيل الحيوى في الخلية.

يتبين مما سبق أن عملية انتقال الأيونات من المحلول الخارجى إلى داخل الخلية النباتية عملية معقدة. وقد وضعت العديد من النظريات لتفسير هذه العملية ومنها ظهر أن ميكانيكية واحدة للامتصاص لا تكفى لتفسير كيفية حدوث هذه العملية المتعددة الجوانب والتي تضم -بلا شك- العديد من الميكانيكيات التى تكمل بعضها البعض.

ومن المتفق عليه حالياً أنه لكى يدخل العنصر إلى داخل الخلية فلا بد له أن يعبر غشائين، الأول هو الجدار الخلوى والذى سبق القول بأنه يتركب من مواد سيلولوزية بينها فجوات مملوءة بالماء والغازات، وهو غشاء منفذ تماماً للماء والعناصر الذائبة، والغشاء الثانى هو غشاء البلازما، والذى يفصل بين الجدار الخلوى والسيتوبلازم، وهو غشاء شبه منفذ للعناصر المختلفة. وعلى ذلك تتم عملية امتصاص العنصر من المحلول وتراكمه داخل الخلية على خطوتين:

١ - الامتصاص البسيط Passive Uptake وفيه ينتقل العنصر من المحلول، حيث تركيزه مرتفع نسبياً إلى داخل الجدار الخلوى حيث تركيزه منخفض نسبياً بدون أى عائق وبطريقة عكسية، ويتبع فى ذلك قوانين الانتشار والإدمصاص، والتي يتم فيها انتقال العنصر مع تدرج التركيز مثل عملية النزول من على تل مرتفع Down hill (وفى هذه الحالة لا تحتاج إلى طاقة).

٢ - الامتصاص النشط Active Uptake وفيه لابد للأيون من عبور غشاء البلازما لما شبه المنفذ ليتم تجميع العنصر داخل الخلية بتركيز أعلى من تركيزه خارج الخلية، أى ينتقل العنصر ضد تدرج التركيز مثل عملية الصعود إلى تل مرتفع Uphill (وهو فى هذا يحتاج إلى طاقة لكى يتم هذا الانتقال).

وسوف نتناول فيما يلى شرح هاتين الميكانيكيتين بالتفصيل:

#### الامتصاص البسيط Passive Uptake :

أوضحت الكثير من تجارب الامتصاص بواسطة جذور النباتات أن الأيونات يمكن أن تتحرك من وإلى جزء من النسيج النباتى بحرية وبطريقة عكسية بواسطة الانتشار، وأنه بالتالى يمكن استخلاصها من النسيج النباتى مرة أخرى بعد امتصاصها.

وقد أطلق العلماء على الجزء من الخلية (أو النسيج النباتى) والذى تتحرك فيه الأيونات عكسياً بواسطة الانتشار (أى من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض) اسم الفراغ الحر Free space (والذى يشغل مساحة محسوسة من نسيج الجذر حيث يشمل الجدر الخلوية لخلايا طبقة البشرة، وطبقة القشرة، كذلك المسافات البينية بين خلايا القشرة) ويتم انتقال الأيونات من المحلول الأرضى إلى الفراغ الحر فى الخلية بوسيلتين هما الانتشار Diffusion والادمصااص Adsorption.

فعند وضع الخلية (أو النسيج النباتى) فى محلول ملحي، يبدأ انتقال الأيونات من هذا المحلول حيث تركيزها المرتفع إلى الفراغ الحر (حيث تركيزها المنخفض) عن طريق الانتشار وتستمر هذه العملية حتى يتساوى تركيز الأيونات داخل وخارج

الفراغ الحر، وعندها يتوقف الانتشار . ويتم الانتقال هنا حسب تدرج التركيز وبدون أن تبذل الخلية طاقة أو جهد في العملية وعليه يزداد معدل الانتشار كلما ازداد تدرج التركيز.

وكذلك فإنه نظراً لوجود شحنات سالبة على الجدار الخلوي للجذر فمن الممكن أن تدمص الكاتيونات عليها عن طريق قوى الجذب الإلكتروستاتيكية (سالب مع موجب) مما يساعد في انتقال الكاتيونات من المحلول إلى داخل الفراغ الحر.

مما سبق يمكن إيجاز خصائص ميكانيكية عملية الامتصاص البسيط فيما يلي:

١- لا يعتمد على النشاط الحيوي للخلية أى لا يحتاج إلى طاقة أو جهد؛ ومما يؤيد ذلك أن عملية الانتشار والإدمصاص يمكن أن تتم فى أنسجة النبات الحية أو الأنسجة الميتة، وتتم كذلك أيضاً فى المواد المخلقة صناعياً سواء بسواء.

٢- الإمتصاص يتم بطريقة عكسية.

٣- هذا الإمتصاص ليس اختيارياً.

### الإمتصاص النشط Active Uptake

يختلف تركيز الأيونات فى العصير الخلوى للخلايا بدرجة كبيرة عن تركيزها فى المحلول النامية فيه مما يبرهن على أن هناك ميكانيكيات أخرى غير الانتشار والإدمصاص تدخل وتتداخل فى عملية الامتصاص.

وفى تجربة هوجلاند السابق شرحها على طحلبى *Nitella and Valonia* تبين أن تركيزات العناصر داخل الفجوة العصارية مرتفع جداً عن تركيزاتها فى المحلول الخارجى، كما ظهر أن هذه الأيونات توجد فى الفجوة العصارية فى صورة حرة غير مرتبطة بالمركبات العضوية فى الخلية مما يوضح أنها انتقلت من مكان كان تركيزها فيه منخفض (المحلول الخارجى) إلى مكان أصبح تركيزها فيه مرتفعاً (الفجوة العصارية)، هذا الانتقال ضد تدرج التركيز لا يمكن أن يحدث تلقائياً بل يحتاج إلى مجهود أو طاقة لكى تتحرك الأيونات ضد تدرج التركيز وهى طاقة

مصدرها النشاط الحيوى للخلية. ولذلك يسمى الانتقال «انتقال نشط» ويطلق على الانتقال ضد تدرج التركيز مصطلح (التجمع أو التراكم Accumulation). وهناك بعض الشواهد التى تؤكد أن عملية تجميع الأيونات أو الامتصاص النشط تحتاج إلى طاقة:

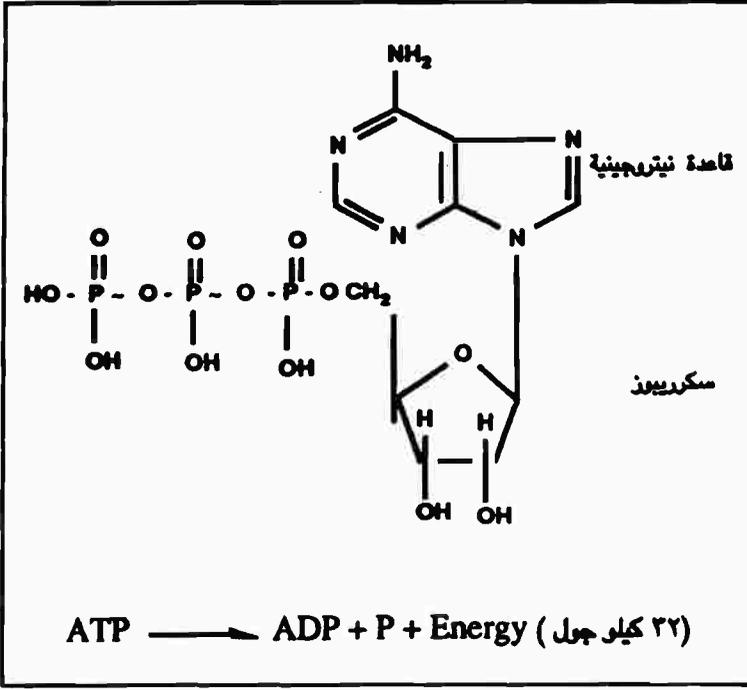
١- يزداد معدل امتصاص الأيونات بازدياد درجة الحرارة (حتى حدود معينة) ويرجع ذلك إلى أن الحرارة تزيد من النشاط الحيوى للخلية.

٢- يزداد معدل الامتصاص مع زيادة ضغط الأوكسيجين فى الوسط النامية فيه جذور النباتات أى أن الامتصاص مرتبط بعملية التنفس.

٣- إن وجود بعض المواد المثبطة فى وسط النمو مثل السيانييد أو 2,4,Dinitrophenol أو الزرنيخ يوقف عملية امتصاص الأيونات. والمعروف عن هذه المواد أنها تثبط العمليات الحيوية فى الخلية.

٤- يزداد معدل الامتصاص مع زيادة محتوى الجذر من المواد الكربوهيدراتية حيث تعمل هذه المواد كمصدر للطاقة لامتصاص الأيونات خلال عملية التنفس.

والدور الفسيولوجى الأساسى لعملية التنفس هو تخليق مركب الأدينوزين ثلاثى الفوسفات (Adenosin Triphosphate (ATP من مركب الأدينوزين ثنائى الفوسفات (Adenosin diphosphate (DTP والفوسفات غير العضوية، وتعتمد جميع العمليات الحيوية المحتاجة إلى طاقة (مثل تخليق المركبات وامتصاص وترحيل الأيونات) على مركب ATP أو مركبات مثيلة له. ويتركب مركب ATP من الأدينين (Adenine) وهى قاعدة نيتروجينية، وسكر الريبوز (Ribose) وهو سكر خماسى) و ٣ مجموعات فوسفات. وترتبط مجاميع الفوسفات ببعضها بروابط غنية فى الطاقة كما يظهر فى (شكل ٣-٦).



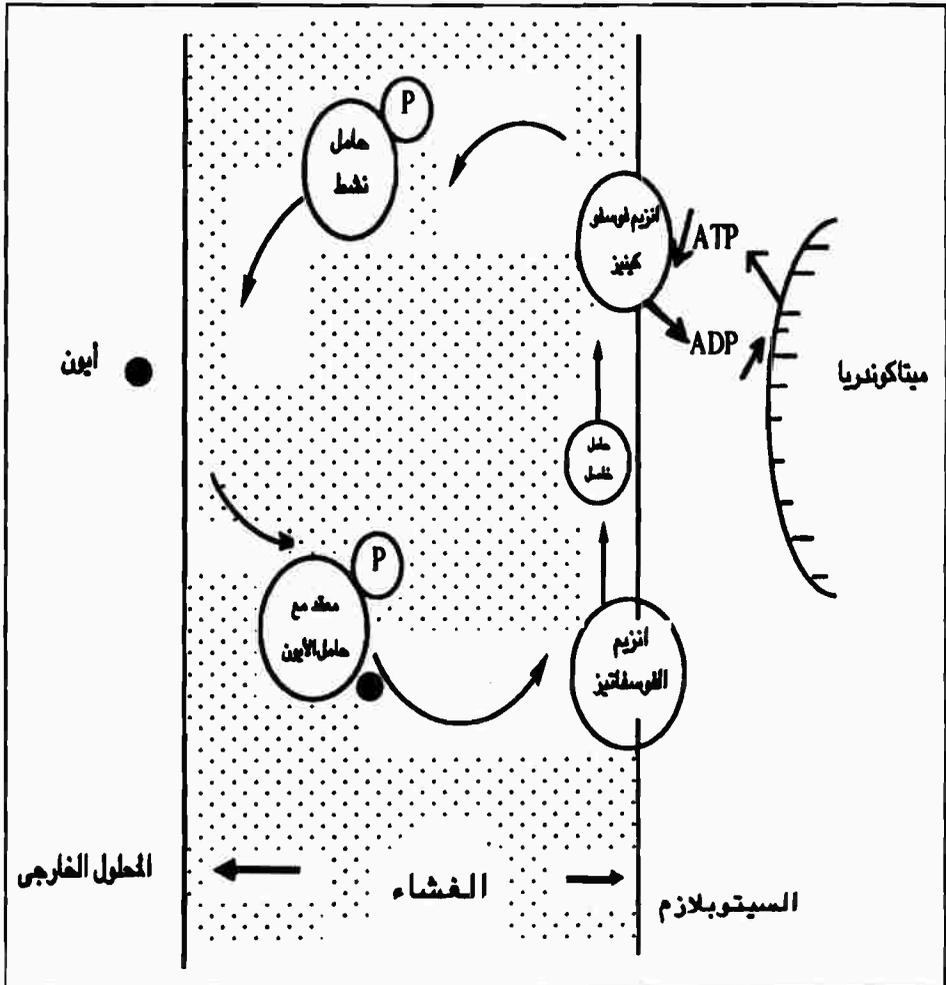
وعند التحليل المائي لهذا المركب تنكسر الرابطة وينتج عن ذلك طاقة تعادل ٣٢ كيلو جول لكل وزن جزيئي من ATP ، ( أو لكل رابطة) .

### ميكانيكية الامتصاص النشط Mechanism of Active Uptake

تبنى نظرية الامتصاص النشط للأيونات على أساس وجود مواد في الغشاء تسمى بالمواد الحاملة Carriers، والتي ترتبط بالأيون عند السطح الخارجي للغشاء (حيث يتكون معقد بين الأيون والحامل) وتقوم بنقله خلال الغشاء إلى سطحه الداخلي حيث ينفرد الأيون من المادة الحاملة ويتجه إلى داخل الفجوة العصارية حيث يتم تراكمه، ثم تقوم المادة الحاملة بالرجوع مرة أخرى تجاه السطح الخارجي لحمل أيون آخر جديد وهكذا..

ويعتقد في هذه النظرية أن الأيون لا يمكنه المرور داخل الغشاء بمفرده ولا بد من ارتباطه بالمواد الحاملة، وأن على كل مادة حاملة مواقع ربط Binding sites متخصصة لكل نوع من الأيونات مما يساعد على الامتصاص الاختياري للأيونات . Selective transport

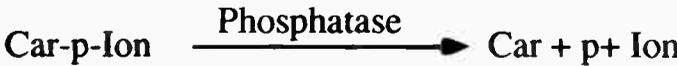
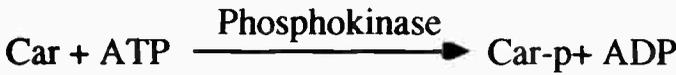
وتحتاج هذه المواد الحاملة لكي تقوم بعملها بطريقة مباشرة أو غير مباشرة إلى مركب (ATP) الذي يقوم بتزويد الحامل بعنصر الفوسفور فيحوله إلى حامل نشط active carrier يمكنه (أى الحامل النشط) الحركة خلال الغشاء والارتباط مع الأيون، ويصبح الحامل عند فقدته للفوسفور غير نشط Inactive carrier وفي هذه الحالة لا يمكنه الارتباط مع الأيون كما لا يمكنه المرور خلال الغشاء (شكل ٧-٣).



شكل (٧-٣): انتقال معقد الأيون مع الحامل خلال الأغشية الحيوية

ويتضح من الشكل السابق أن ميكانيكية الامتصاص النشط يمكن أن تتم بالخطوات التالية:

- ١- تقوم الميتاكوندريا فى السيتوبلازم بتخليق مركب ATP خلال عملية التنفس.
- ٢- يتفاعل إنزيم فوسفوكينيز الموجود على السطح الداخلى للغشاء مع ATP حيث يتحول إلى ADP + فوسفات عادية.
- ٣- تتحد الفوسفات غير العضوية مع الحامل الخامل فتحوّله إلى حامل نشط (حامل مفسفر).
- ٤- يتحرك الحامل النشط خلال الغشاء إلى سطحه الخارجى حيث يقابل الأيون فيرتبط معه مكونا «معقداً» من الحامل النشط والأيون.
- ٥- يتحرك المعقد خلال الغشاء فى اتجاه سطحه الداخلى حيث يقابل إنزيم الفوسفاتيز.
- ٦- يقوم إنزيم الفوسفاتيز بفصل أيون الفوسفات غير العضوى من معقد الحامل النشط مع الأيون، وبالتالي يتحول الحامل إلى حامل غير نشط (حامل غير مفسفر) ويفقد قابليته للارتباط بالأيون الذى انفصل ويتراكم فى الخلية.
- ٧- يقوم الحامل الخامل بالاتحاد مع مجموعة فوسفات أخرى عن طريق إنزيم فوسفوكينيز ليتحول إلى حامل نشط، وبالتالي تتم دورة أخرى كالسابقة.. كما هو مبين بالمعادلات التوضيحية التالية:



وعلى ذلك فأساس نظرية المواد الحاملة (وهى نظرية فرضية) هو أن الأيون غير

حر فى أن يتحرك خلال الغشاء بمفرده. ولكنه يتحرك خلال الغشاء بعد أن يصبح جزءاً مكوناً لمواد معينة (الحوامل) ثم يصبح الأيون حراً مرة أخرى عند انطلاقه من الحامل عند السطح الداخلى للغشاء. ولا يمكن للأيون الرجوع مرة أخرى إلى حيث كان نظراً لقلّة نفاذية الغشاء وكذلك لأن الحامل قد فقد نشاطه وأصبح خاملاً وقد قابلته للارتباط بالأيون.

ونظرية المواد الحاملة كما شرحناها سابقاً هي نظرية فرضية ومع ذلك فإنها تفسر الكثير من الحقائق فى عملية امتصاص الأيونات كتفسيرها مثلاً كون امتصاص الأيونات اختيارياً، وأنها تحتاج إلى طاقة، أو أنها يمكن أن تتم بعكس تدرج التركيز.

#### طبيعة المواد الحاملة:

تعزى خاصية عدم نفاذية بعض الأغشية للمواد المحبة للماء (الأيونات) إلى احتواء هذه الأغشية على جزيئات الليبيدات. وأخذاً بهذا التفسير فمن المحتمل أن تكون المواد الحاملة هي جزيئات من الليبيدات التى لن يرفض الغشاء (المحتوى على ليبيدات) أن تنفذ خلاله جزيئات ليبيدات (المواد الحاملة) وتعزز بعض البحوث هذا الرأى فى تفسير المواد الحاملة، وفى الوقت نفسه لا تعززه أخرى. وهكذا فإن طبيعة المواد الحاملة مازالت محل جدل فمن المحتمل أن تكون المواد الحاملة عبارة عن مشتقات من الأحماض الفوسفاتية أو مواد بيتيدية لها خواص الليبيدات، وفى كل الأحوال يجب أن تكون على المواد الحاملة مواقع لها درجة كبيرة من التخصص لربط الأيونات المختلفة مما يساعد على الامتصاص الاختيارى للأيونات.

#### التأثير المتبادل بين الأيونات عند الامتصاص Ion Interaction :

تتنافس بعض الأيونات مع بعضها الآخر عند امتصاصها بواسطة جذور النبات وقد تؤدي زيادة تركيز أحد الأيونات فى وسط النمو إلى تقليل امتصاص أيون أو أيونات أخرى من الوسط ويسمى هذا بالتضاد Antagonism، وقد تؤدي زيادة تركيز الأيون إلى زيادة امتصاص أيونات أخرى ويسمى هذا بالتنشيط Synergism، وتختلف الآراء فى تفسير سبب هذا التنافس، ففى حين يعتقد

البعض أن هذا التنافس غير متخصص Nonspecific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين في وسط النمو يؤدي إلى تقليل امتصاص كل الكاتيونات أو الأنيونات، نجد أن البعض الآخر يعتقد عكس ذلك من حيث إن هذا التنافس متخصص Specific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين يؤدي إلى تقليل معدل امتصاص كاتيون أو أنيون معين آخر وليس باقى الكاتيونات أو الأنيونات.

#### التضاد غير المتخصص:

سبق القول أن خلايا الجذر تحمل شحنات سالبة وأن الكاتيونات تنجذب إلى أسطح الخلية بواسطة هذه الشحنات حيث يتم امتصاصها، ومن هنا يبدأ التنافس بين الكاتيونات على احتلال مواقعها أمام هذه الشحنات السالبة ويؤدي زيادة تركيز أحد الكاتيونات في الوسط إلى زيادة امتصاص هذا الكاتيون وانخفاض امتصاص باقى الكاتيونات. ويمكن تفسير التنافس غير المتخصص على أساس تفاوت سرعة الكاتيونات في حركتها نحو الشحنة السالبة للخلية بحيث سيكون السبق للكاتيون الأسرع والذي سوف يعادل جزء من الشحنة السالبة للخلية أولاً وبالتالي يقلل من قوة الجذب الإلكتروستاتيكية لباقى الكاتيونات الأخرى. ويعتمد تفسير الامتصاص غير المتخصص بجانب سرعة الأيون على تركيز الكاتيون وعلى ميكانيكية الامتصاص ، فكاتيون البوتاسيوم الذى يمتص بسرعة بواسطة الخلايا- سواء بالامتصاص البسيط أو الامتصاص النشط- ينافس بقوة امتصاص باقى الكاتيونات، بينما يؤدي غياب البوتاسيوم من وسط النمو إلى أن يزداد امتصاص الكاتيونات الأخرى. والتضاد غير المتخصص يحدث في الأنيونات ولكن بدرجة أقل مما هو بين الكاتيونات. ولقد وجد أن امتصاص أيونات  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  يزداد مع نقص تركيز النترات  $\text{NO}_3^-$  في وسط النمو. والتضاد الأكثر شيوعاً بين الأنيونات هو الموجود بين النترات والكلوريد حيث يقلل التركيز المرتفع من الكلوريد في وسط النمو من امتصاص النترات والعكس صحيح.

#### التضاد المتخصص:

في هذا النوع من التضاد تؤدي زيادة تركيز أيون معين في وسط النمو إلى

تقليل امتصاص أيون معين آخر وليس باقى الأيونات ويفسر ذلك بنظرية المواد الحاملة، حيث يفترض اختلاف قوة ربط الكاتيون مع الموقع النشط على الحامل باختلاف الخواص الكيميائية، وتكون أزواج الكاتيونات المتنافسة متماثلة فى شحنتها الكهربائية وخواصها الكيميائية. ومن المعروف حالياً أن الكاتيونات المتشابهة فى خواصها الكيميائية مثل  $Ca^{++}$ ,  $Sr^{++}$  or  $Rb^+$ ,  $K^+$  تتنافس مع بعضها البعض على نفس الموقع النشط من الحامل بحيث أن زيادة تركيز  $Ca^{++}$  يقلل من امتصاص  $Sr^{++}$  والعكس. ونفس الشيء أيضاً يوجد ما بين الأزواج المتشابهة من الأيونات مثل التضاد بين الكبريتات  $SO_4^{--}$  والسليكات  $SeO_4^{--}$  وكذلك ما بين الفوسفات  $H_2PO_4^-$  والزرنيخات  $H_2AsO_4^-$ .

#### التأثير المنشط:

يقصد بالتأثير المنشط Synergism فى تغذية النبات أن تؤدي زيادة تركيز أحد الأيونات فى وسط النمو إلى الإسراع فى امتصاص أيون أو أيونات أخرى وهو بذلك عكس التضاد. وقد وجد مثلاً أن التترات تنشط امتصاص الكاتيونات وكذلك وجد أن زيادة تركيز الكالسيوم فى وسط النمو يزيد من معدل امتصاص البوتاسيوم ويسمى ذلك Viet's effect.

#### امتصاص الأيونات وتراكم الأيونات العضوية:

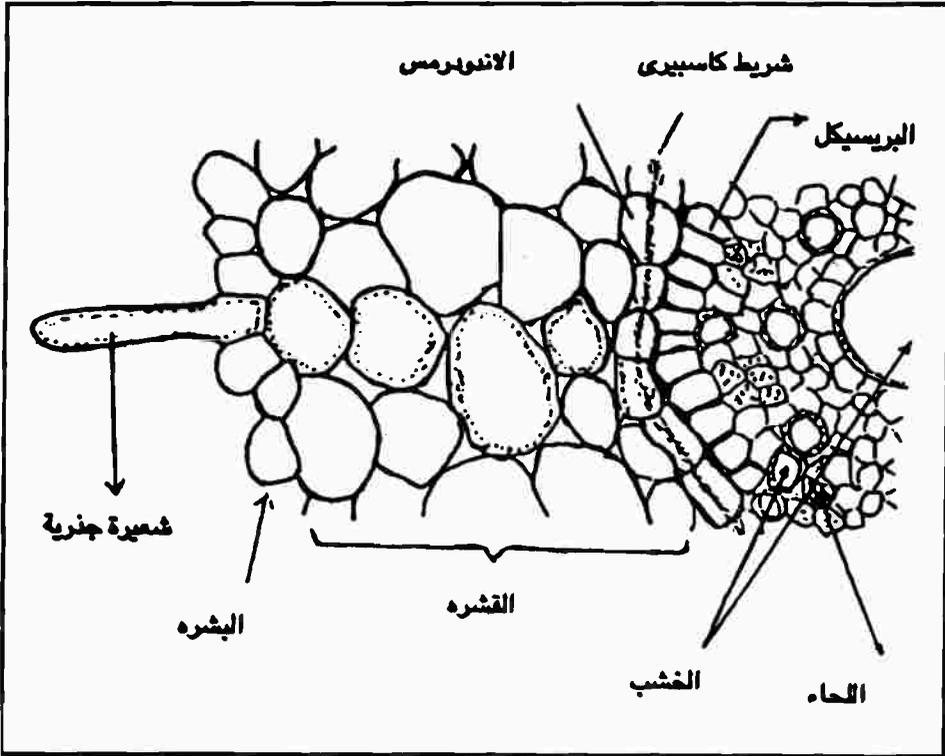
حيث أن الخلية سالبة الشحنة بالمقارنة بالوسط الخارجى فإن ذلك يعنى أن الخلية تحتوى على زيادة من المواد سالبة الشحنة (الأيونات)، ومع ذلك فإن هذه الأيونات الزائدة قليلة جداً لدرجة أنه يمكن القول أن الكمية المكافئة من الأيونات فى الخلية تساوى تقريباً مجموع الكاتيونات.

وتمتص جذور النبات الأيونات غير العضوية المختلفة بمعدلات مختلفة فيتم امتصاص أيونات مثل  $NO_3^-$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$  بسرعة كبيرة، بينما تمتص بعض الأيونات الأخرى مثل  $Ca^{++}$ ,  $SO_4^{--}$  بسرعة بطيئة نسبياً. هذا الاختلاف فى سرعة الامتصاص يعنى أن النباتات تزيل الكاتيونات والأيونات بمعدلات غير متساوية من

وسط النمو، وهذا الامتصاص غير المتوازن للكاتيونات والأيونات يتم موازنته داخل النبات عن طريق تجميع أو هدم بعض الأيونات العضوية وخاصة المالات فإذا زاد امتصاص الكاتيونات عن الأيونات يعمد النبات على تأين الأحماض العضوية داخل الفجوة العصارية إلى أيونات  $H^+$  وأنيون الحامض العضوى ، ثم يتم التخلص من الأيدروجين إلى خارج الخلية ويبقى أنيون الحامض العضوى داخل الخلية مما يحقق التعادل الكهربى، والعكس إذا زادت كمية الأيونات الممتصة.

### ثالثاً: صعود الأيونات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية:

بعد امتصاص الأيونات بواسطة خلايا البشرة فى الجذر تنتقل هذه الأيونات خلال خلايا نسيج الجذر فى اتجاه الداخل حتى تصل إلى الأوعية الناقلة (شكل ٨-٣).



شكل (٨-٣): رسم توضيحي لقطاع عرضى فى جذر النبات

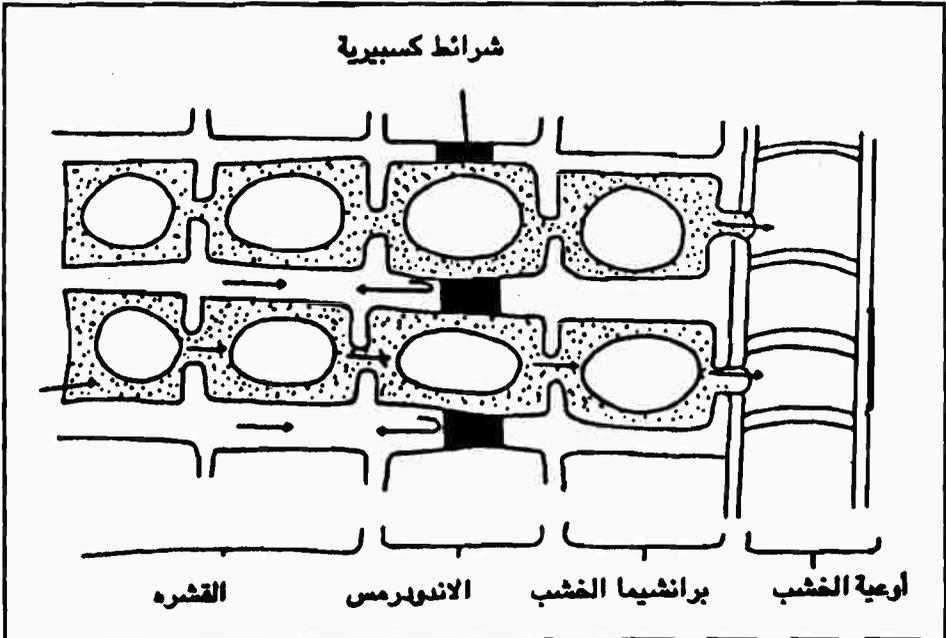
وتتحرك هذه الأيونات إلى داخل الجذر بوسيلتين:

### الوسيلة الأولى:

يتحرك الأيون من سيتوبلازم الخلية إلى سيتوبلازم الخلية التي تليها جهة الداخل عن طريق الخيوط البلازمية التي تربط سيتوبلازم الخلايا مع بعضها البعض حتى يفرز في أوعية الخشب.

### الوسيلة الثانية:

يتحرك الأيون في الفراغ الحر Free space في جذر خلايا البشرة ومنها إلى جذر خلايا القشرة وفي هذه الحالة تتوقف حركة الأيون عند الإندودرمس حيث يوجد شرائط كسبيرية تقلل من نفاذية الجدار الخلوي وتمنع انتقال الأيونات خلاله، وبالتالي فلا بد للأيون عند هذه النقطة أن يدخل إلى سيتوبلازم خلايا الإندودرمس قبل استمرار انتقاله إلى أوعية الخشب (شكل ٣-٩).



شكل (٣-٩): رسم توضيحي لكيفية انتقال الأيونات خلال نسيج الجذر حتى الأوعية الخشبية

وعند وصول الأيون إلى الأندوردرمس فإنه يفرز داخل أوعية الخشب. والميكانيكية التي تتم بها هذه العملية غير واضحة تماماً من حيث هل تفرز هذه الأيونات إلى الخشب بالانتقال البسيط أم بالانتقال النشط؟ وبمجرد وصول الأيونات إلى أوعية الخشب فإنها ترحل بسرعة إلى الأجزاء الهوائية مع تيار الماء الصاعد إلى أعلى حيث تدخل في عمليات التمثيل الغذائي في الأوراق.