الفصل الثالث

كيفية حصول النبات على حاجته من العناصر المغذية

Nutrients Uptake by Plant

obeikandl.com

obeikandl.com

كيفية حصول النبات على حاجته من العناصر المغذية

Nutrients Uptake by Plant

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

١ - إنتقال العنصر الغذائى من خلال المحلول إلى جذر النبات.

٢ - إمتصاص العنصر بواسطة الجذر.

٣ - إنتقال العنصر داخل النبات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية

أولا: انتقال العنصر الغذائى من خلال المحلول إلى جذر النبات

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

١ - الاعتراض الجذرى 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 (فى البيئات الخاملة) أو متبادلة (فى البيئات التى لها قدرة على التبادل الأيونى). 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 فى مواقع الأيونات المدمصة على حبيبات بيئة النمو والجذر. والكمية المتبادلة تكون متكافئة وفى الغالب يكون التبادل بين أيونات الهيدروجين

(H^+) الذى تفرزه الجذور والأيونات المتبادلة على أسطح حبيبات بيئة النمو. وعموما 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 الهيدرو ستاتيكى، 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، وبالتالى 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 Nutrient concentration in solution

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

٣ – الانتشار Diffution

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، وبالتالى 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 فى نفس بيئة النمو مع زيادة محتواها من الرطوبة نتيجة لزيادة المقطع الذى يتم خلاله الانتشار.

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

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

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

ثانيا: امتصاص العنصر بواسطة الجذر

Nutrient Uptake by Root

قبل الدخول فى شرح النظريات المختلفة لامتصاص 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:

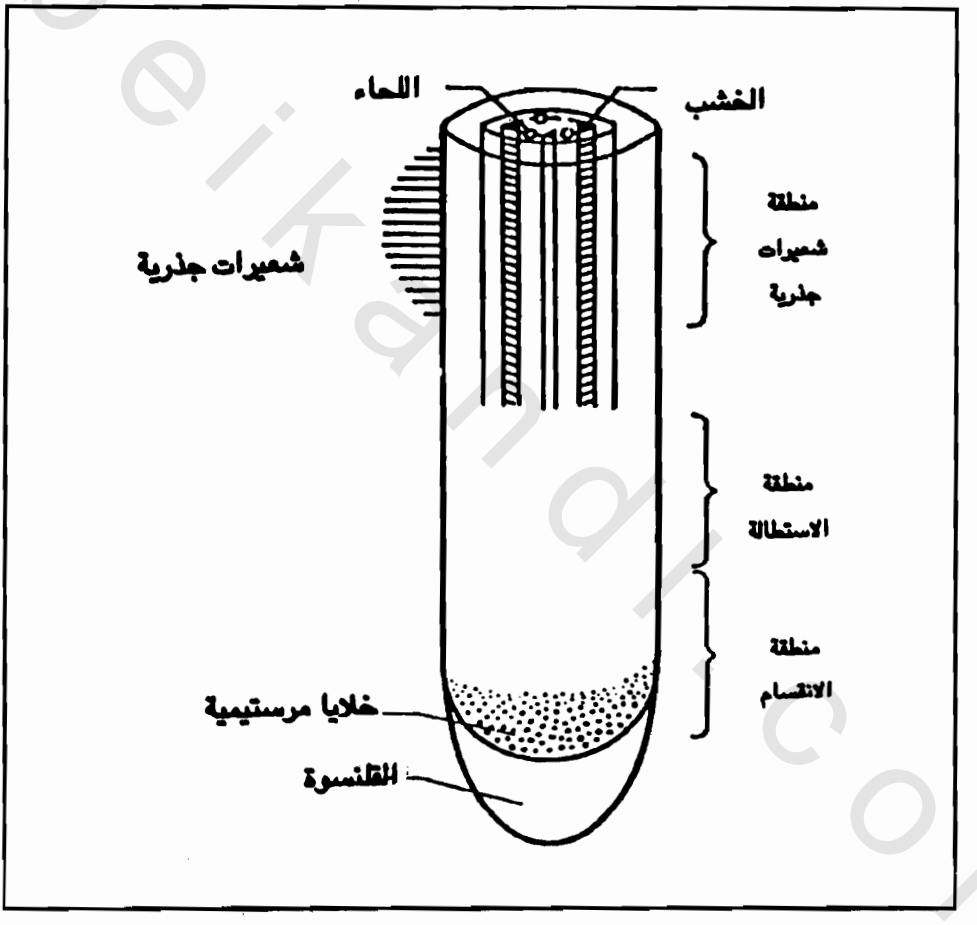
الجذر هو عضو النبات الذى يقوم بامتصاص الماء والمغذيات من الأرض ونقلها إلى باقى أجزاء النبات، ويحدد حجم الجذر ودرجة تفرعه إلى درجة كبيرة قدرة النبات على امتصاص العناصر المغذية. ويتم امتصاص معظم العناصر بواسطة الأجزاء الصغيرة النامية من الجذر، وتشمل مناطق نمو الجذر:

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 فى مناطق الانقسام والاستطالة.



شكل (٣ – ١): رسم تخطيطى يوضح تركيب جذر النبات

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

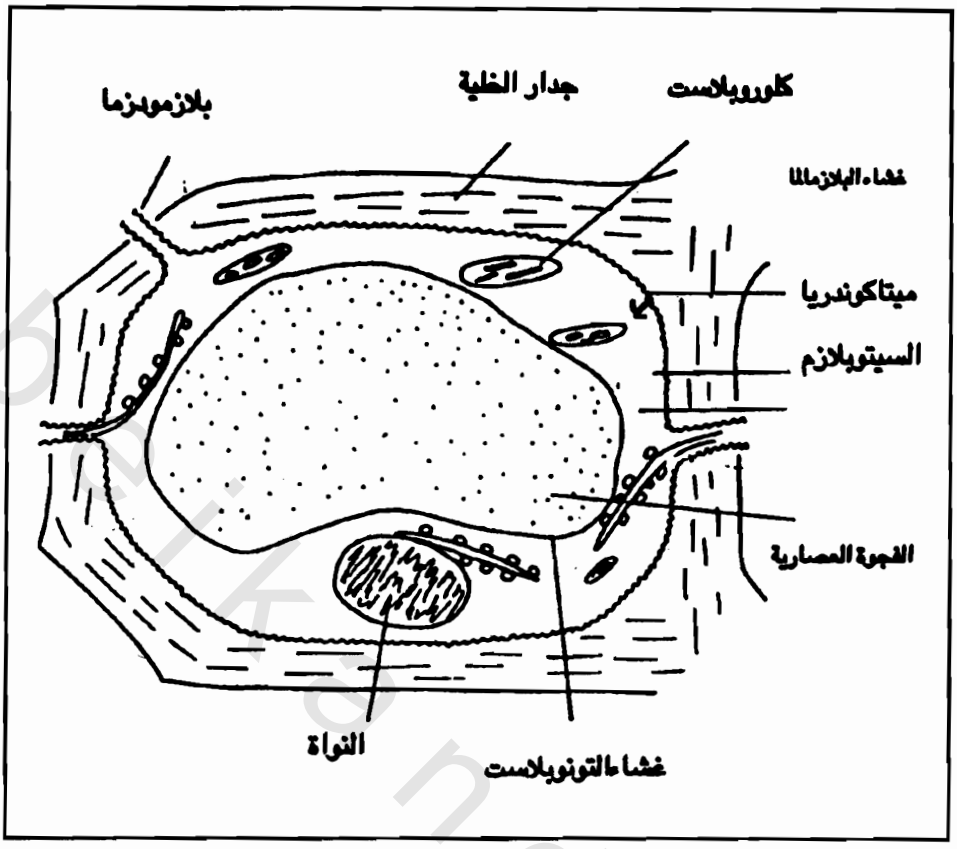
تتميز جذور النباتات بأن لها صفة تبادل القواعد ويرجع ذلك إلى انقسام مجاميع الكربوكسيل فى المواد البكتينية الموجودة فى جدر الخلايا وعندها يتحمل الجذر بشحنات سالبة تجذب إليها الكاتيونات المختلفة. وتختلف السعة التبادلية الكاتيونية للجذور اختلافاً النباتات ثنائية الفلقة بالمقارنة Dicotyledon بالنباتات أحادية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

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

نوع النبات	السعة التبادلية الكاتيونية (ملليمكافىء / 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 تخطيطى يوضح تركيب الخلية النباتية

(أ) جدار الخلية Cell Wall

يتكون جدار الخلية من مواد بكتينية وسليلوز، وتتجمع مركبات السليلوز فى الجدار على شكل سلاسل مكونة ما يشبه الألياف التى تحصر بينها فراغات تسمح بدخول وتواجد الماء والهواء والذائبات داخل جدار الخلية، أى يعتبر الجدار الخلوى منفذ تماما للماء والذائبات.

(ب) سيتوبلازم الخلية Cell Cytoplasm

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

الكلوروبلاست بتحويل الطاقة الضوئية وتمثيل ثانى أكسيد الكربون. بينما يتواجد فى الميتاكوندريا الإنزيمات التى تتحكم فى دورة الأحماض الكربوكسيلية والتنفس وتمثيل الأحماض الدهنية.

ويتصل سيتوبلازم الخلايا المتجاورة فى النسيج النباتى مع بعضها عن طريق خيوط من السيتوبلازم تسمى بخيوط البلازمودزماتا Plasmodesmata

(ج) الفجوة العصارية Vacuola

وتحتوى على محلول مائى 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 الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون وبعض المواد الملونة الذائبة.

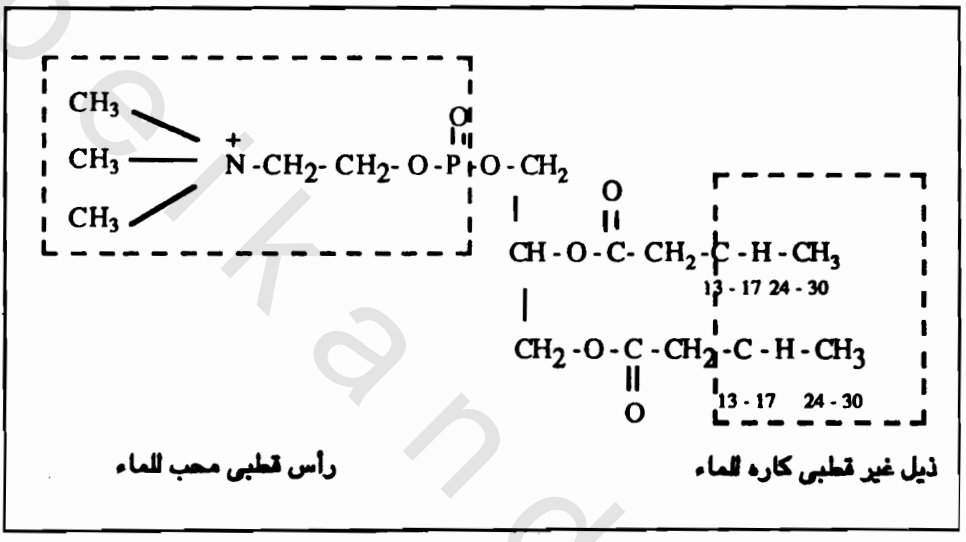
(د) أغشية الخلية Cell Membranes

يوجد فى الخلية أغشية عديدة منها (فيما يخص عمليات الامتصاص) غشاء البلازمالما، 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.

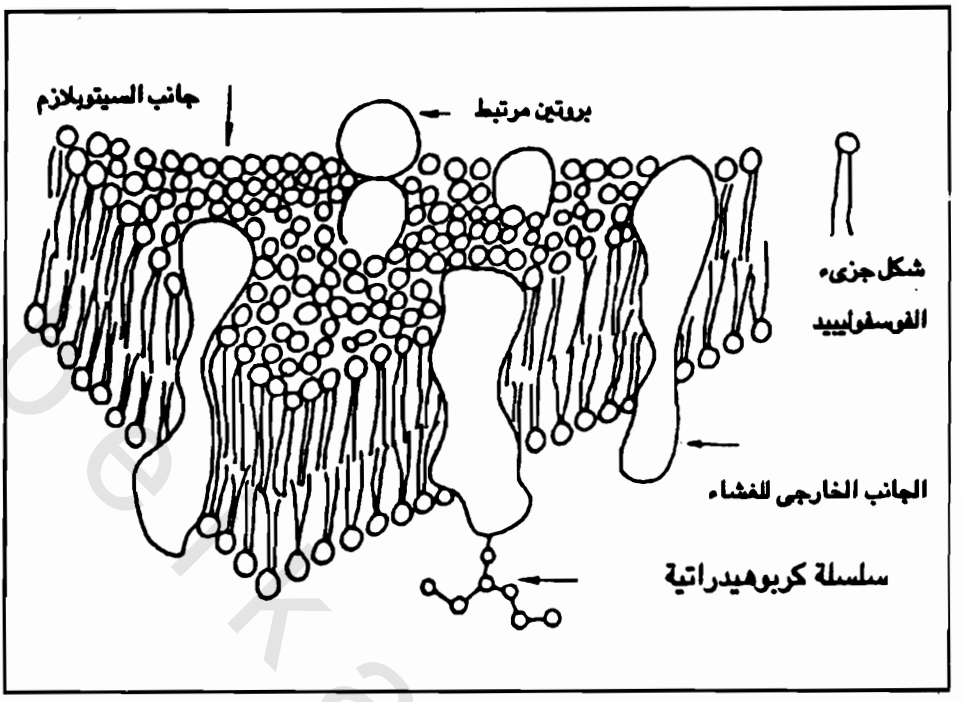
وتتركب الأغشية الحيوية من جزيئات من الليبيدات والبروتينات بنسب متساوية تقريبا، وعلى حسب أحدث الآراء فإن الغشاء الحيوى يتركب من طبقتين من

جزئيات الفوسفوليبدات يتوسطهما وينطمس فيها جزئيات البروتين. ولجزىء الفوسفوليبيد رأس قطبية Polar head (أساسها مجموعات محبة للماء Hydrophillic مثل مجاميع $COOH, PO_4, NH_2, OH$، وذيل غير قطبى Nonpolar tail عبارة عن سلسلة كربونية طويلة كارهة للماء Hydrophobic كما هو واضح من شكل (٣- ٣).



شكل (٣ – ٣) : تركيب جزىء الفوسفاتيديل كولين (أحد مركبات الفوسفو ليبيدات)

وتترتب جزيئات الليبيدات فى الطبقة الواحدة من طبقتى الغشاء بحيث تكون الرؤوس القطبية فى مستوى أفقى Horizontal Plane يمتد طولا وعرضا، بينما تترتب الذيول Tails غير القطبية للطبقتين فى اتجاه العمق بحيث تواجه بعضها البعض، ويتراوح سمك الغشاء بين ١٠ – ١٢ نانوميتر (النانوميتر = ١٠ $^{-9}$ متر) انظر شكل (٣ – ٤).



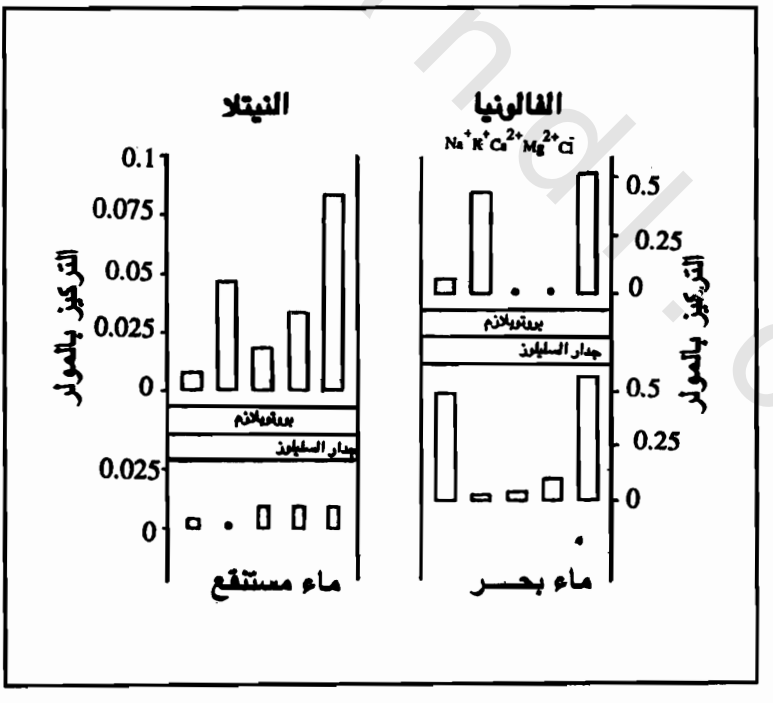
شكل (٣ - ٤) : ترتيب جزيئات الفوسفوليبيدات فى الأغشية

وتعمل جزيئات الليبيدات والأغشية كحاجز يمنع انتشار الذائبات المحبة للماء مثل الأيونات غير العضوية والأحماض الأمينية والسكريات خلال الغشاء، أما البروتينات فهى لا تعمل فقط كجزء من تركيب الغشاء بل لها فعل إنزيمى وبالتالى تكون مسئولة عن بعض العمليات الحيوية. وتمتد هذه البروتينات خلال الغشاء من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر مكونة ما يسمى بقنوات البروتين Protein Cannels والتى لها أهمية خاصة فى إنفاذ الحبيبات 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 العنصر الغذائى والذى يعبر عنه بعدة مصطلحات مثل Absorption أو Uptake –وهى 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 التى أوضحت الكثير من جوانب عملية امتصاص الأيونات بواسطة النباتات. ففى 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 يتمشى مع تركيز الأيونات فى المياه التى تعيش فيها، حيث يتواجد فى الفجوة العصارية لطحلب Nitella العديد من الأيونات الخاصة K^+, Cl^- بتركيز مرتفع جداً عن تركيزاتها فى الماء الذى تنمو فيه وظهر نفس الشىء 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 والنيتلا

ويمكن تلخيص نتائج هوجلاند ومعاونيه فيما يلى:

١ - النباتات تمتص الأيونات اختيارياً، ويتضح ذلك مع عنصر البوتاسيوم القليل التركيز جداً فى مياه المستنقع بالمقارنة بباقى الأيونات الأخرى، حيث يعتبر من أكثر الأيونات تجمعاً فى الفجوة العصارية لطحلب النيتلا وعكس ذلك عنصر الصوديوم الذى يظل تركيزه منخفضا فى فجوة الفالونيا عن تركيزه المرتفع جداً لهذا العنصر فى 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 الاختيارى Selective ion uptake.

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

٣ - يتضح أيضا أن عملية امتصاص الأيونات بواسطة النبات تحتاج إلى طاقة والتى من عملية التمثيل الحيوى فى 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 والتى تضم -بلا شك- العديد من الميكانيكيات التى تكمل بعضها البعض.

ومن المتفق عليه حاليا أنه لكى يدخل العنصر إلى داخل الخلية فلابد له أن يعبر غشائين، الأول هو الجدار الخلوى والذى سبق القول بأنه يتركب من مواد سيلولوزية بينها فجوات مملؤة بالماء والغازات، وهو غشاء منفذ تماما للماء والعناصر الذائبة، والغشاء الثانى هو غشاء البلازمالما، 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، والتى 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 البلازمالما 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 والادمصاص Adsorption.

فعند وضع الخلية (أو النسيج النباتى) فى محلول ملحى، 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 فى العملية وعليه يزداد معدل الانتشار كلما ازداد تدرج التركيز.

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

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

١- لايعتمد على النشاط الحيوى للخلية أى لايحتاج إلى طاقة أو جهد؛ ومما يؤيد ذلك أن عملية الانتشار والإدمصاص يمكن أن تتم فى أنسجة النبات الحية أو الأنسجة الميتة، وتتم كذلك أيضا فى المواد المخلقة صناعيا 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 لايمكن 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:

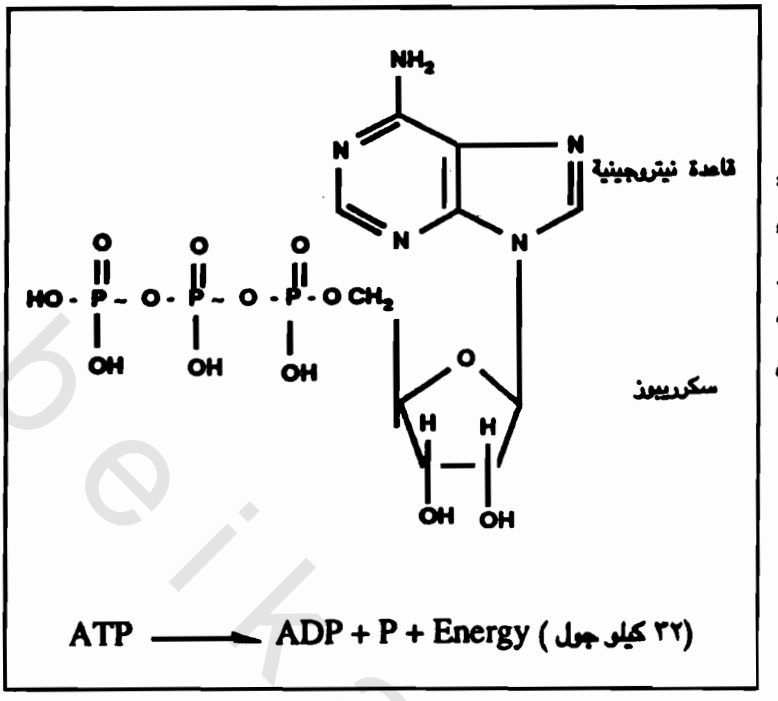
١- يزداد معدل امتصاص الأيونات بازدياد درجة الحرارة (حتى حدود معينة) ويرجع ذلك إلى أن الحرارة تزيد من النشاط الحيوى للخلية.

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

٣- إن وجود بعض المواد المثبطة فى وسط النمو مثل السيانيد 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).



شكل (٣-٦): تركيب جزيء ATP ومقدار الطاقة الناتجة عند تحوله إلى ADP

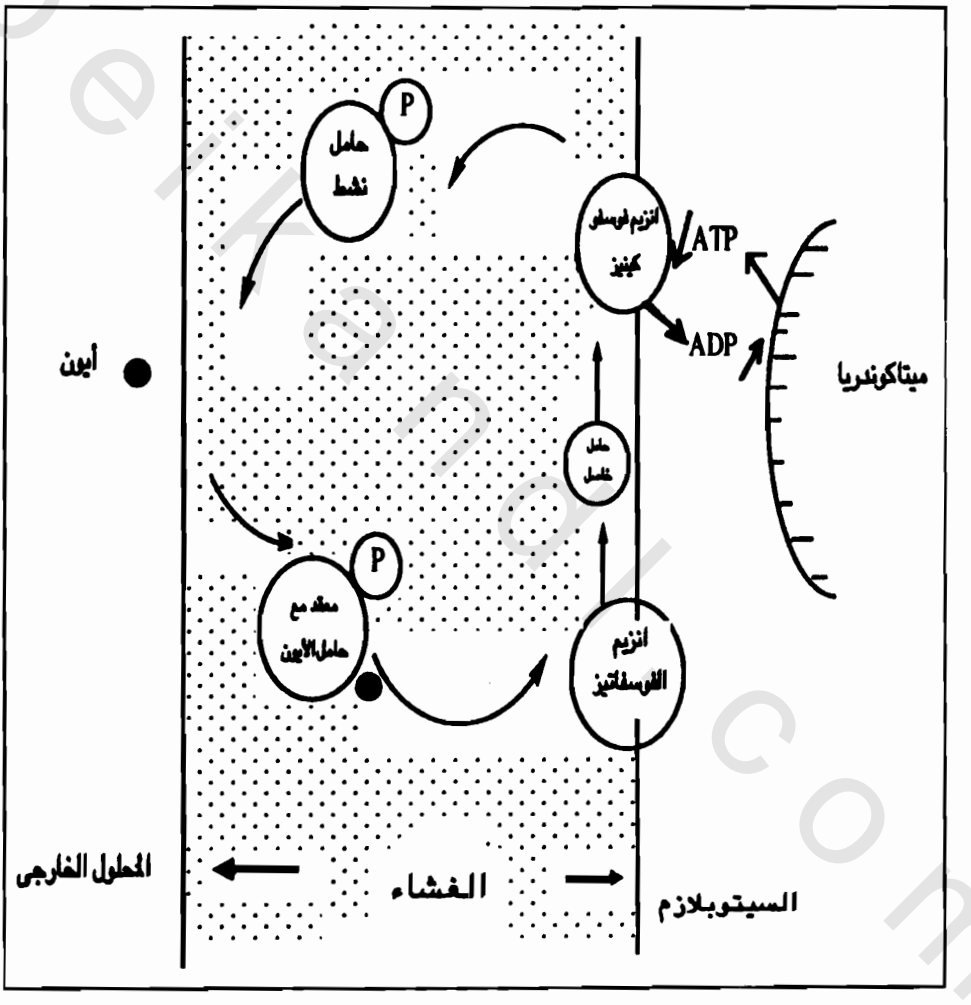
وعندالتحليل المائى لهذا المركب تنكسر الرابطة وينتج عن ذلك طاقة تعادل ٣٢ كيلو جول لكل وزن جزيئى منATP ، (أو لكل رابطة) .

ميكانيكية الامتصاص النشط Mechanism of Active Uptake

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

ويعتقد فى هذه النظرية أن الأيون لايمكنه المرور داخل الغشاء بمفرده ولابد من ارتباطه بالمواد الحاملة، وأن على كل مادة حاملة مواقع ربط Binding sites متخصصة لكل نوع من الأيونات مما يساعد على الامتصاص الاختيارى للأيونات Selective transport .

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



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

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

١- تقوم المتياكوندريا 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 فتحوله 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، وبالتالى يتحول الحامل إلى حامل غير نشط (حامل غير مفسفر) ويفقد قابليته للارتباط بالأيون الذى ينفصل ويتراكم فى الخلية.

٧- يقوم الحامل الخامل بالاتحاد مع مجموعة فوسفات أخرى عن طريق إنزيم فوسفوكينيز ليتحول إلى حامل نشط، وبالتالى تتم دورة أخرى كالسابقة.. كما هو مبين بالمعادلات التوضيحية التالية:

$$\text{Car} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{Phosphokinase}} \text{Car-p} + \text{ADP}$$

$$\text{Car-p} + \text{Ion} \longrightarrow \text{Car-p-Ion}$$

$$\text{Car-p-Ion} \xrightarrow{\text{Phosphatase}} \text{Car} + \text{p} + \text{Ion}$$

$$\text{Ion} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{transport}} \text{Ion} + \text{ADP} + \text{p}$$

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 جزءا مكوناً لمواد معينة (الحوامل) ثم يصبح الأيون حراً مرة أخرى عند انطلاقه من الحامل عند السطح الداخلى للغشاء. ولايمكن للأيون الرجوع مرة أخرى إلى حيث كان نظراً لقلة نفاذية الغشاء وكذلك لأن الحامل قد فقد نشاطه وأصبح خاملاً وفقد قابليته للارتباط بالأيون.

ونظرية المواد الحاملة كما شرحناها سابقاً هى 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 هى جزيئات من الليبدات التى لن يرفض الغشاء (المحتوى على ليبيدات) أن تنفذ خلاله حبيبات 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 ببتيدية 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 تؤدى زيادة تركيز أحد الأيونات فى وسط النمو إلى تقليل امتصاص أيون أو أيونات أخرى من الوسط ويسمى هذا بالتضاد Antagonism، وقد تؤدى 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 فى وسط النمو يؤدى 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 يؤدى 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 ويؤدى زيادة تركيز أحد الكاتيونات فى الوسط إلى زيادة امتصاص هذا الكاتيون وانخفاض امتصاص باقى الكاتيونات. ويمكن تفسير التنافس غير المتخصص على أساس تفاوت سرعة الكاتيونات فى حركتها نحو الشحنة السالبة للخلية بحيث سيكون السبق للكاتيون الأسرع والذى سوف يعادل جزء من الشحنة السالبة للخلية أولاً وبالتالى 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 يؤدى غياب البوتاسيوم من وسط النمو إلى أن يزداد امتصاص الكاتيونات الأخرى. والتضاد غير المتخصص يحدث فى الأنيونات ولكن بدرجة أقل مما هو بين الكاتيونات. ولقد وجد أن امتصاص أيونات $H_2PO_4^-$, SO_4^{--}, Cl^- يزداد مع نقص تركيز النترات NO_3^- فى وسط النمو. والتضاد الأكثر شيوعا بين الأنيونات هو الموجود بين النترات والكلوريد حيث يقلل التركيز المرتفع من الكلوريد فى وسط النمو من امتصاص النترات والعكس صحيح.

التضاد المتخصص :

فى هذا النوع من التضاد تؤدى زيادة تركيز أيون معين فى 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 الشئ أيضا يوجد ما بين الأزواج المتشابهة من الأنيونات مثل التضاد بين الكبريتات SO_4^{--} والسلينات SeO_4^{--} وكذلك ما بين الفوسفات $H_2PO_4^{-}$ والزرنيخات $H_2AsO_4^{-}$.

التأثير المنشط:

يقصد بالتأثير المنشط Synergism فى تغذية النبات أن تؤدى زيادة تركيز أحد الأيونات فى وسط النمو إلى الإسراع فى امتصاص أيون أو أيونات أخرى وهو بذلك عكس التضاد. وقد وجد مثلاً أن النترات 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:

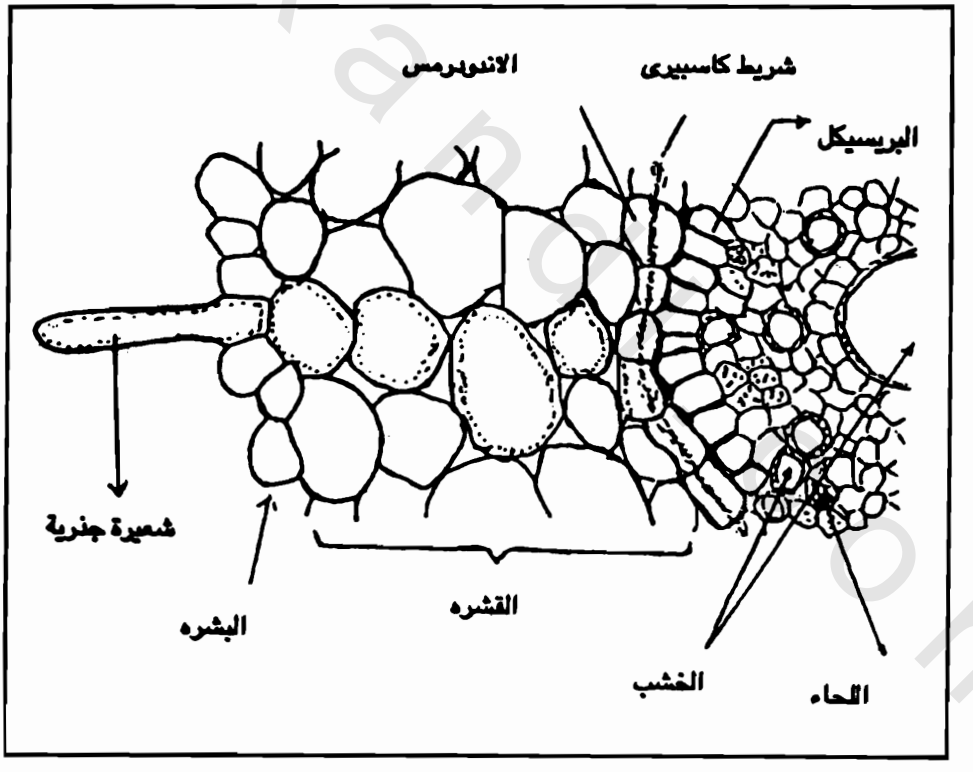
حيث أن الخلية سالبة الشحنة بالمقارنة بالوسط الخارجى فإن ذلك يعنى أن الخلية تحتوى على زيادة من المواد سالبة الشحنة (الأنيونات)، ومع ذلك فإن هذه الأنيونات الزائدة قليلة جداً لدرجة أنه يمكن القول أن الكمية المكافئة من الأنيونات فى الخلية تساوى تقريباً مجموع الكاتيونات.

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 والأنيونات بمعدلات غير متساوية من

وسط النمو، وهذا الامتصاص غير المتوازن للكاتيونات والأنيونات يتم موازنته داخل النبات عن طريق تجميع أو هدم بعض الأنيونات العضوية وخاصة المالات فإذا زاد امتصاص الكاتيونات عن الأنيونات 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 الأنيونات الممتصة.

ثالثا: 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 ٣-٨).



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

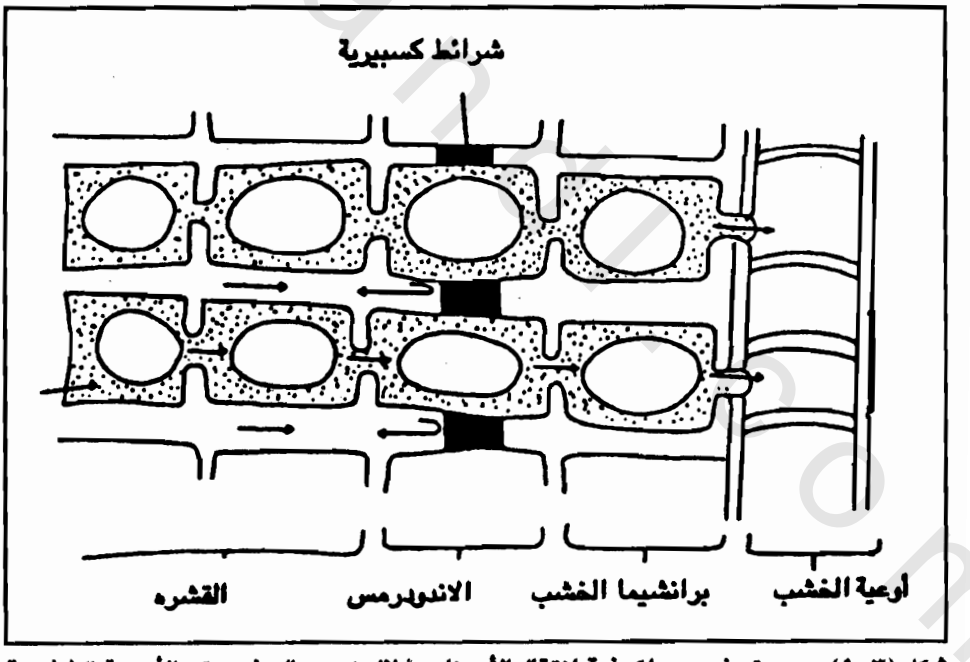
وتتحرك هذه الأيونات إلى داخل الجذر بوسيلتين:

الوسيلة الأولى:

يتحرك الأيون من سيتوبلازم الخلية إلى سيتوبلازم الخلية التى تليها جهة الداخل عن طريق الخيوط البلازمودزمية التى تربط سيتوبلازم الخلايا مع بعضها البعض حتى يفرز فى أوعية الخشب.

الوسيلة الثانية:

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



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

وعند وصـول الأيون إلى الأندوردرمس فـإنه يفـرز داخل أوعـيـة الخـشب. والميكانيكية التى تتم بها هذه العملية غير واضحة تماماً من حيث هل تفرز هذه الأيونات إلى الخشب بالانتقـال البسيط أم بالانتقـال النشط؟ وبمجرد وصـول الأيونات إلى أوعية الخشب فإنها ترحل بسرعة إلى الأجزاء الهوائية مع تيار الماء الصاعد إلى أعلى حيث تدخل فى عمليات التمثيل الغذائى فى الأوراق.

obeikandl.com