الفصل السادس

التغذية المعدنية

Mineral Nutrition

obeikan.com

obeikan.com

مقدمة

سوف نتناول فى هذا الباب المبادئ الاساسية لتغذية النبات المعدنية فقد أدرك المزارعون الأوائل أن النباتات النامية فى الوحل (الماء المختلط بالطين Muddy water) أفضل من النباتات النامية على ماء المطر الرائق. وبفضل العالم De-Sausure(١٩٠٤) عرف العالم حاجة النبات للعناصر الغذائية الموجودة فى التربة . وبأستخدام المزارع المائية (محاليل مائية تنمو فيها النباتات لتتغذى على ما فيها من عناصر) ثم التعرف على أهمية العناصر الغذائية للنبات.

قسمت العناصر الغذائية الى مجاميع على أساس تأثير العنصر على نمو النبات وتركيبه ودوره فى تكوين المحصول النهائى الى :

عناصر ضرورية:

وهى التى توجد فى النبات بكمية كبيرة وكمية وجودها فى التربة كافية لسد حاجة النبات منها وفى حالة عدم كفايتها لابد من اضافتها للتربة (التسميد) لتعويض النقص وحتى لا تعانى النباتات من الحرمان عند عدم أخذ كفايتها منها ، ولو أخذ النبات منها كمية أكبر من حاجته اليها فأنها تسبب له التسمم.

وقد قسمت العناصر الضرورية الى مجموعتين هما :

العناصر الكبرى:

وهى ستة عناصر هى النيتروجين N, الفسفور P, البوتاسيوم K, الكالسيوم Ca, لماغنسيوم Mg, الكبريت S, بالاضافة الى الكربون C, والاوكسجين أ، والأيدروجين H^+ الذى يحصل عليهم النبات من امتصاص غاز ثانى اكسيد الكربون .

ك أ، أثناء عملية التمثيل الضوئى والماء المستخدم فى نفس العملية.

العناصر الصغرى:

وهى عناصر ضرورية ولكن لا يحتاجها النبات بكميات كبيرة وهى جميعها تعمل كعناصر منظمة للنمو حيث انها تعمل كمساعدات انزيمية Cofactor ولا تدخل فى تركيب المركبات الاساسية للنبات (كربوهيدرات ، بروتينات ، دهون) كما فى حالة سابقتها اى العناصر الكبرى ، والعناصر الصغرى ست عناصر هى الحديد ، والمنجنيز، البورون ، الزنك ، النحاس ، الموليبدنيم . ويعتبر البعض أن الحديد عنصرا من العناصر الكبرى والبعض الأخر لا يعتقد هذا ويبدو ان الامر يتعلق بالنبات ففى حالة احتياج النبات لهذا العنصر بكميات كبيرة يعتبر عنصرا من العناصر الكبرى ، وفى حالة احتياجه بكميات قليلة يعتبر عنصرا من العناصر الصغرى. وهناك معيار اخر يمكن ان يحدد لنا مدى احتياج النبات وكونه من العناصر الكبرى ام الصغرى وهى نفس المعيار التى نحكم بها على كون المحلول المغذى محلول جيد يفى باحتياجات النبات. وهذا المعيار هو نسبة تركيز العنصر فى صورته الايونية والتى تتفاوت مع نسبة الايونات فى المحلول الأرضى للأراضى الخصبة التى تمد النبات بأحتياجاته فلا يعانى من نقص اى من العناصر الضرورية.

العناصر الكبرى:-

عناصر يحتاجها النبات بنسب كبيرة

الأيون	التركيز
ن أ	1000
K^+	500
Fe	1.0

عناصر يحتاجها النبات بنسب متوسطة

الأيون	التركيز
Ca^{++}	200
So_4^-	200
$H_2Po_4^-$	100
Mn	0.5
B	0.5

عناصر يحتاجها النبات بنسب قليلة

الأيون	التركيز
Mg++	50

العناصر الغير ضرورية:

وهى التى ينطبق عليها شروط العناصر الضرورية بمعنى عدم تأثر نمو النبات بها ولا تدخل فى تركيبه ولا تؤثر فى المحصول النبات النهائى ويظل لها دور فى النبات وهو حفظ التوازن الأيونى داخل النبات، والعناصر الغير ضرورية هى الكلورين ، الصوديوم ، اليود ، السيلكون ، الالمونيوم .

التعرف على الأحتياجات الغذائية للنبات :

أولا : تحليل الرماد:

يمكن التعرف على احتياج النبات من العناصر الغذائية بالكشف على ما يحتويه النبات النامى فى ظروف ملائمة وفى تربة جيدة للوقوف على كمية العناصر فى ذلك

النبات. لكن تلك الطريقة غير مجدية حيث لا يوجد فى الرماد سوى العناصر المعدنية لخروج بعضها فى صورة غازية مثل الكربون والأيدروجين والأوكسجين والنتروجين حيث تتطاير على هيئة ثانى أكسيد الكربون وبخار ماء و أوكسجين وأمونيا . لذلك فبيانات تلك الطريقة غير موثوق بها بالأضافة لأخطاء التحليل الكمى الا انها تمدنا بنسب العناصر بعضها الى بعض فعلى سبيل المثال نجد تلك النسب كما فى الجدول التالى عند تحليل الرماد.

جدول يوضح نسب العناصر فى رماد نبات الذرة

العناصر الكبرى			العناصر الصغرى		
نسب العناصر	العنصر	التركيز %	نسب العناصر	العنصر	التركيز%
النسب الكبرى	النتروجين	1.46	النسب الكبرى	الحديد	0.083
	البوتاسيوم	0.92	النسب المتوسطة	المنجنيز	0.35
النسب المتوسطة	الكالسيوم	0.23		البورون	غير مقدرة
	الكبريت	0.21	النسب القليلة	الزنك	غير مقدرة
	الفسفور	0.20		النحاس	غير مقدرة
النسب القليلة	الماغنسيوم	0.18	النسب القليلة جدا	المولبيدنيم	غير مقدرة

ثانيا : مزارع المحاليل الغذائية :

أستخدمت تلك المزارع فى الدراسات الجادة لمعرفة مدى احتياج النبات الى العناصر الغذائية الكبرى والصغرى لأنة وجد من الصعب دراستها بالتربة لصعوبة التحكم فى المغذيات لذلك أستخدم الماء كوسط للزراعة وباستخدام أوعية زجاجية من نوع البوروسليكات او البولى اثيلين المتعادل ثم أستخدمت المحاليل الغذائية لتنمية الجذور فيها مع التهوية او اذابة الأوكسيجين فيما يعرف Culture Hydroponics وبالرغم من أنها بدأت للدراسة فقط الا أنها تطورت لتصبح وسيلة من وسائل الزراعة الغير تقليدية خاصة لانتاج النباتات البستانية مثل الخضروات ونباتات الزينة وبعض نباتات الفاكهة وذلك داخل الصوب الزراعة فى المناطق القاحلة او تحت الاقبية او فى الحدائق المنزلية أو فوق أسطح المنازل ٠

(الشكل ١٣) يوضح الزراعة فى الاوساط الغير تقليدية والمعروفة Hydroponics والمستخدمة فى الصوب والحدائق المنزلية وفوق أسطح المنازل ٠

تأتى الخطوة التالية وهى تحضير المحاليل المغذية التى تحتوى على العناصر الغذائية الضرورية بكميات كافية تلائم النبات النامى وبنسب معلومة وفى حالة اتزان (تساوى عدد الكاتيونات مع عدد الأنيونات) وبالطبع لا يوجد محلول مغذى يصلح

لجميع النباتات لاختلاف الاحتياجات الغذائية من نبات الى آخر ولاختلاف حاجه النبات من مرحلة الى آخرى ولكون النبات الدمى كائن حى فأن له اختيارية فى الامتصاص وهو ما يجعل بعض النباتات تلائمها بيئة دون غيرها.

يجب تغيير المحلول الغذائى من آن الى آخر للاسباب التالية:

١. بقاء المجموع الجذرى في المحلول الغذائى لفترة طويلة يغير من تركيز العناصر به ويخل توازنها.

٢. امتصاص الماء منها يزيد الضغط الاسموزى للمحلول المتبقى.

٣. تغير pH المحلول نتيجة تنفس الجذور وخروج ثانى اكسيد الكربون الذى يتحول الى حمض الكربونيك والذى يعمل على تعديل الرقم الايدروجينى وهو ما يدعونا الى تغيير المحلول من آن الى آخر.

٤. غسيل أحواض الزراعة حتى لا تنمو فيها الفطريات.

ثالثا: دراسة اعرض نقص العناصر على النبات :

دراسة نقص العناصر وسيلة لتحديد حاجة النبات للتغذية الا انها طريقة غير سليمة للاعتبارات التالية:

١. أعراض نقص عنصر ما ليست متشابة فى جميع النبات بل تختلف من نبات الى اخر وان وجدت أعراض عامه مشتركة.

٢. تختلف أعراض نقص العنصر فى النبات الواحد من طور نمو الى اخر.

٣. فى حالة نقص اكثر من عنصر يصعب تحديد الأعراض حيث تتداخل مظاهر الأعراض للعناصر وأيهما هى المسببة للأعراض وتحتاج المسئلة الى خبرة

عالية وفى نفس الوقت لا يعتمد عليها بدقة فى تعويض النقص فى تغذية العناصر.

٤- هناك تأثيرات متبادلة للعناصر وتأثيرها على بعضها.

٥- تتشابة أعراض نقص العناصر مع أعراض نقص الرى أو أضرار الرش بالمبيدات الحشرية والمرضيه ، وأعراض سوء الأحوال الجوية.

الأعراض العامة لنقص العناصر الغذائية على النباتات :

أولا : أعراض نقص تظهر على النبات كله :

أ. اذا كان المجموع الخضرى أخضر فاتح فى الأوراق العليا وبالنزول نجدالأوراق صفراء، أما الأوراق السفلية فنجدها بنية اللون. وعلى الأرض نجد أوراق ميتة وملقاء على الأرض. فيكون ذلك نقص عنصرالنيتروجين يرجع الأصفرار الى هدم الكلوروفيل وقد تظهر الألوان الأرجوانية علىالأعناق بعد اختفاء الكلوروفيل فتظهر لون صبغات الانثوسيانين.

ب. اذا كان المجموع الخضرى ذو لون أخضر داكن مع وجود نقط حمراء فى الأوراق العلوية وعند النزول على النبات نجد الأوراق ذات لون بنى مخضر وبالنزول أكثر نجد الأوراق لونها اسود . أما الأوراق المسنة فتموت وتقع على الأرض فتكون هذه أعراض نقص الفسفور.

ثانيا : أعراض نقص تظهر على الأوراق السفلى وتظل الاوراق العليا سليمة:

- الأوراق العلوية سليمة والسفلية صفراء وعليها بقع من انسجة ميتة بنية . فيكون نقص العنصر متوقف على مكان البقع الميتة:-

- اذا كانت البقع الميتة البنية على حواف الورقة يكون النقص هو البوتاسيوم.

- اذا كانت البقع الميتة البنية بين العروق بنصل الورقة يكون النقص هو الزنك.

ب- اذا كانت الأوراق السفلية صفراء بدون بقع ونصل الورقة ملتف على بعضها وتأخذ شكل الطبق ، يكون أعراض النقص هو الماغنسيوم.

ثالثا : أعراض نقص تظهر على الأوراق العليا وتظل الاوراق السفلية سليمة :

أ. تظهر الأعراض على الأوراق العلوية والبرعم الطرفى يظل حيا.

- الأوراق خضراء داكنة مع ذبول الأوراق العلوية بدون اصفرار والنصل منحنى فتكون هذه أعراض نقص النحاس

- الأوراق صفراء مع تواجد بقع متحللة بوضع منتظم فى شطرى الورقة .فيدل ذلك على نقص المنجنيز.

- الأوراق صفراء وبدون بقع والعرق الوسطى أخضر فاتح فيكون النقص للكبريت

- الأوراق صفراء وبدون بقع والعرق الوسطى أخضر داكن فيكون النقص الحديد

ب. تظهر الأعراض على الأوراق العلوية والبرعم الطرفى ميت .

- الأوراق الطرفية تأخذ شكل خطاف مع تفصيص النصل فتكون الأعراض لنقص الكالسيوم .

- الأوراق الطرفية سليمة أما قاعدة نصل الورقة تأخذ اللون الأخضر الغامق وعليها نقط حمراء نتيجة ظهور صبغة الأنثوسيانين نتيجة ضعف عمليات التمثيل الكربوهيدراتى فيكون ذلك عرض نقص البورون.

أهمية العناصر وتواجدها :

النيتروجين :

يدخل النيتروجين فى تركيب جزئى البروتين حيث يدخل أولا فى صورة مجموعة أمين بتركيب الحمض الأمينى وعلية فهو يدخل فى تركيب كل المركبات التى تتكون منها الأحماض الأمينية مثل الانزيمات الذى يشكل البروتين الجزء الأساسى فى بنائها كما يدخل النيتروجين فى بناء الأغشية الخلوية حيث تحتوى على جزء بروتينى ، كما يدخل فى بناء الأحماض النووية لوجود القواعد النيتروجينية فى تركيبها مثل قواعد البريميدين والبيورين ، كما يدخل فى بناء المرافقات الأنزيمية لأنة يدخل فى بناء الفيتامينات وهى الشق النشط فى المرافق الأنزيمى ، كما يدخل النيتروجين فى البورفيرينات والتى تكون مركبان غاية فى الأهمية للنبات الأول هو جزئى الكلوروفيل الهام لعملية التمثيل الضوئى والثانى فى تكوين السيتوكرومات اللازمة لأتمام عمليات التأكسد الطرفى فى التنفس والتى تقوم بدور مضخة لامتصاص الانيونات من التربة اثناء الامتصاص النشط للأملاح ، كما يدخل النيتروجين فى بناء المركبات الحاملة للطاقة والمانحة لها مثل ATP .

الفسفور :

يوجد كمكون أساسى للأحماض النووية والتى تحتوى على شق قاعدى هو القواعد النيتروجينية وسكر خماسى وحمض الفوسفوريك ، كما يدخل الفوسفور فى تكوين الفوسفوليبيدات والمرافقات الأنزيمية مثل NAD, NADP كما يدخل فى بناء المركبات الغنية بالطاقة مثل ATP .

البوتاسيوم :

لا يدخل البوتاسيوم فى تركيب أى مركب من مركبات الخلية النباتية أو من المركبات العضوية بالنبات الا أنه له دور هام جدا فى فسيولوجية النبات منها :

- للبوتاسيوم دور فى فتح وغلق الثغور وبالتالى فهو المتحكم فى التوازن المائى داخل النبات ٠

- البوتاسيوم منشط أساسى للأنزيمات المصاحبة لتمثيل الروابط الببتيدية فعند نقصة يضعف تكوين البروتين مما يؤدى الى تراكم الكربوهيدرات والذى كان يجب أن يستهلك فى بناء البروتين " حيث أن البروتين يتكون من هيكل كربونى يأتى من الكربوهيدرات فى صورة الأحماض الكيتونية التى يتم تركيب مجموعات الأمين عليها " ٠

- يعمل كمنشط لعديد من الأنزيمات التى تصاحب تمثيل الكربوهيدرات ونجد أن السيادة القمية تختفى عند نقص البوتاسيوم ٠

- يعتبر البوتاسيوم وزير المواصلات داخل النبات فهو المنظم لحركة الذائبات بدأ بالماء الحر الى الكربوهيدرات من الأوراق والى الثمار والأزهار والدرنات لذلك نقصة يؤدى حتما الى نقص المحصول وتساقط الأزهار والثمار لنقص المدد الكربوهيدراتى والهرمونى الذى يساعد البوتاسيوم على نقله ٠

الكالسيوم :

يدخل فى تركيب الصفيحة الوسطية والتى تتركب كيميائيا من بكتات الكالسيوم وهو هام لتكوين الاغشية الخلوية ، وقد اقترح أن الكالسيوم يشترك فى تنظيم الكروماتين على المغزل أثناء الأنقسام الميتوزى وينشا الأنقسام الشاذ نتيجة نقص الكالسيوم ، كما وجد أن له دورا فى تنشيط لبعض الانزيمات مثل Adenozine Ariginen kinase , triphosphatase

الكبريت :

يدخل فى تركيب البروتين فى صورة الأحماض الأمينية الحاملة للكبريت مثل السستئين و السستين والمثيونين ، كما يقوم الكبريت بالربط بين البروتينات عن طريق رابطة ثنائية الكبرتيد ، كما يدخل الكبريت فى بعض الفيتامينات مثل البيوتين والثيامين والمرافق الانزيمى أ . كما أن الكبريت يمثل المركز النشط لكثير من الأنزيمات التى يكون احدى مراكزها مجموعة السلفهيدريل وله دور فى التمثيل الضوئى وأيض النيتروجين .

الماغنسيوم :

هو من مكونات الكلوروفيل ، كما يدخل فى تنشيط العديد من الأنزيمات أثناء الأيض الكربوهيدراتى وهو منشط للأنزيمات التى تصاحب تمثيل الأحماض النووية ويعتقد ان دورة التنظيمى يكون من خلال ارتباطه بكل من ATP والأنزيم ليكون معقد مخلبى (الأنزيم ، المغنسيوم ، البيروفوسفات) . فى بعض الحالات يحل المنجنيز محل المغنسيوم كمعاون انزيمى كما يقوم بدور العامل المساعد فى تفاعلات تثبيت ثانى أكسيد الكربون لكل من انزيمى Phospho cnol pyruvate carboxylase, Ribulose 1,5 diphospho carboxylase وقد يكون هو عامل الربط لدقائق اريبوزومات عند تكوينها للبروتينات أثناء عملية الترجمة .

الحديد :

يدخل الحديد الى النبات فى صورة حديديك الا أن الصورة النشطة هى الحديدوز حيث يدخل فى تركيب السيتوكرومات . تلك المركبات التى تساهم فى انسياب الألكترونات فى الميتوكوندريا أثناء التنفس الطرفى أو أثناء انتقال الألكترون من النظام الصبغى الأول وهى يرجع الألكترون مرة أخرى خلال الأكسدة الضوئية الدائرية Cyclic photophosorelation ويصاحب الحديد أنزيمات تمثيل الكلوروفيل الذى

يعتمد فيتمثيلة على المغنسيوم أو الحديد كما يوجد الحديد في كل مكونات الفلافوبروتين ٠

المنجنيز :

هو عنصر من العناصر الصغرى يقوم بدور العامل المساعد للأنزيمات في عمليات التنفس وأيض النيتروجين فهو على سبيل المساعد Co-factor لأنزيم Malic dehydrogenase بدور كربس ، وكذلك Oxalasuccinc decarboxylase كما يلعب دورا في اختزال النترات حيث يعمل كمعادن أنزيمي لأنزيم Nitrate reductase وانزيم hydroxylamine reductase كما أن له دور في هدم أوأكسدة الأوكسين الطبيعي حيث يعمل كمعاون انزيمي لأنزيم oxidase indole-3- acetic acid كما يدخل في أنتقال الألكترون من الماء الى الكلوروفيل في تفاعلات الضوء للتمثيل الضوئي ٠

البورون :

يلعب دور في انتقال الكربوهيدرات داخل النبات ٠ حيث يكون مع الكربوهيدرات معقد بوراتي يسهل الأنتقال عبر الأغشية الخلوية لذلك فنقصة يسبب أعراض مشابة لنقص أعراض السكر وهي موت القمم النامية والجذور وتساقط الأزهار وهي الأعضاء النشطة أيضيا لم يثبت ان له دورا آخر غير انتقال السكريات حتى الأن ٠

الزنك :

يلعب الزنك دورا أساسيا في تمثيل التربتوفان وهو منشأ الأوكسين وبالتالي في تمثيل الأوكسين الطبيعي في النبات٠ كما يساعدعلى تفاعل السيرين مع الأندول لتكوين التربتوفان ٠ كما ان له دور منشط للعديد من الأنزيمات مثل Carbonic anhydrase

الذى يحلل حمض الكربونيك الى ثانى أكسيد الكربون والماء كما ان له دور مع أنزيمات الأكسدة والأختزال · وفى الأنزيمات الناقلة الفوسفات مثل Hexosc kinase

كما يدخل الزنك فى تكوين أصابع الزنك فى عوامل النسخ المسئولة عن البحث عن صندوق TATA والتى تحدد أماكن نسخ الجينات لأنتاج البروتينات فى عملية الترجمة والنسخ وتكوين الجديد من mRNA .

النحاس :

يعمل النحاس كمكون لأنزيمات Phenolases, Ascorbic acid oxidase كما أنه يعمل كحامل للأكترون فى عمليات التمثيل الضوئى كما تحتوى البلاستيدات الخضراء على بروتينات بها نحاس تسمى Plastocyanin

أما الدور الأساسى فهو عمليات الأكسدة والأختزال التى تقوم بها مجموعة انزيمات Phenolases والتى تحرر الفينولات كمادة مقاومة ومهاجمة للكائنات الممرضة وعند الأصابة الحشرية فهى بمثابة الجهاز المناعى لحماية النبات·

المولبيدنيم:

يلعب دورا هاما فى تثبيت غاز النيتروجين ، كما يلعب دورا هاما فى أختزال النترات لتكوين النشادر واللازم لتكوين الأحماض الأمينية أثناء تمثيل البروتين·

أمتصاص العناصر الغذائية :

كما سبق الاشارة اليه توجد العناصر الغذائية فى التربة أما فى صورة مركبات معدنية أو عضوية ذائبة فى محلول التربة على صورة أيونات موجبة الشحنة الكهربائية تعرف بالكاتيونات مثل ص$^{+}$ ، يد$^{+}$ ، بو$^{+}$ ، كا$^{++}$ ، مغ$^{++}$ ، ح$^{+++}$ ، نح$^{++}$ ، ز$^{+}$ او فى صورة ايونات سالبة تعرف بالانيونات مثل ن أ$_{٣}^{-}$ ، كب أ$_{٤}^{-}$ ، أيد$^{-}$ ، يدك أ$_{٣}^{-}$ وقد يمتص العنصر فى صورة مخلبية·

تتحول العناصر الغذائية من صورتها الصلبة سواء كانت على معدن الطين او مضافة عند التسميد فى صورة سماد ملحى الى الصورة السائلة بثلاث اليات هما

١- الإذابة ٢- التبادل ٣- الخلب

١- **الإذابة** حيث تذوب الاملاح بالتربة فى الماء ويساعد الاذابة ارتفاع درجة حرارة التربة وكلما توفر ثانى أكيد الكربون تحول لحمض الكربونيك المانح للأيدروجين البدول الذى يساعد الأملاح التى لا تذوب الا فى الوسط الحمضى ٠

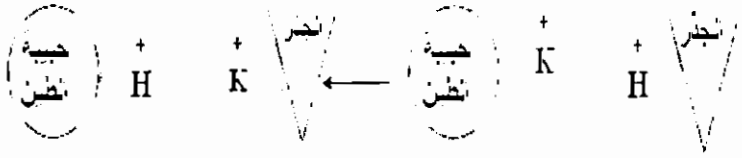
٢- **التبادل** حيث تتبادل الأيونات المدمصة على أسطح الغرويات سواء كانت معادن الطين الغروية أو المادة الدبالية بالتربة مع الأيونات المذابة فى محلول التربة مثل أيونات الأيدروجين الناتجة من حمض الكربونيك لتتبادل بدورها مع أيونات الأيدروجين الموجودة على أغشية خلايا الجذر والناتجة من مضخة السيتوكروم لتتمكن الايونات من الدخول للجذر ٠

٣- **الخلب** وهو اتحاد أنيون عضوى مع كاتيون معدنى فييسر امتصاصه دون التعرض للتثبيط أو الادمصاص على أسطح الغرويات فلا يتأثر بظروف الأكسدة والاختزال بالتربة مثل اتحاد انيون الحديدوز الميسر Fe^{++} مع انيون الطرطريك فيصبح الحديدوز فى صورة مخلبية ولا يتحول الى الحديديك Fe^{+++} الغير ميسر للامتصاص ٠

الانتقال Translocation .

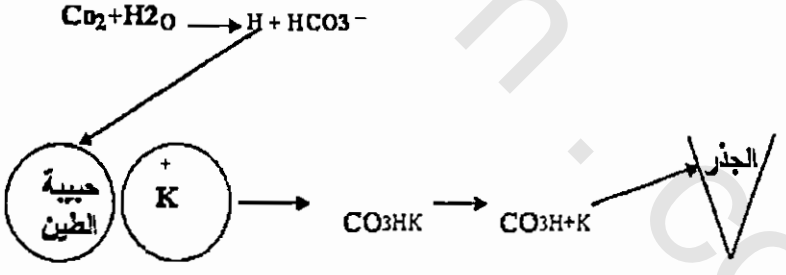
١- يتم الانتقال من التربة إلى الجذر بطريقتين٠

أ- التبادل بالتلامس :



يتم انتقال الأيون من حبيبة الطين إلى الجذر بدون تدخل الكتروليتات حرة أي أن الأيون قد يدمص على جذور النبات بدون أن يحتاج للذوبان أولاً في محلول التربة فالأيون إلكتروستاتيكياً على الجزئ الصلب مثل حبيبة التربة أو جذر النبات لا يكون ممسوكاً بقوة شديدة بل يكون مفصولاً عنه بفراغ معين ولو صفر · فلو أن جزيئان مدمصان (الجذور و حبيبة التربة) كانا بالقرب الكافي فأن الفراغ الفاصل بين الأيون الممتص على أحد الجزئيات قد يتدخل مع الفراغ الفاصل لأيون ممتص على حبيبة أخرى وبالتالي قد يحدث تبادل للأيونات على الحبيبات·يمتص النبات الأيونات بواسطة مجموع النبات الجذرى بواسطة عدة أليات للامتصاص·

ب- نظرية حمض الكربونيك :



يقوم محلول التربة بدور هام حيث يكون هو وسط التبادل الأيوني بين الجذر وحبيبة التربة وحسب هذه النظرية فإن ك أ ٢ الناتج من تنفس الجذور يتحول في التربة إلى حمض كربونيك بعد اتصاله بمحلول التربة وهنا يتحلل إلى كاتيون يد + وانيون يد ك أ٣ وبينما ينتقل أيون الأيدروجين إلى حبيبة التربة يتحرر أحد الكاتيونات المدمصة

عليها ويدخل إلى الجذر كاتيونات في محلول التربة أو محمولاً في صورة بيكربونات.

تدخل الأيونات إلى خلايا البشرة عن طريق الامتصاص السلبي والانتقال النشيط معاً. حيث يدخل إلى الحيز الظاهري الحر بالامتصاص السلبي ثم ينتقل بالانتقال النشيط إلى الحيز الداخلي Inner space .

الامتصاص السلبي Passive Absorption :

يحدث الامتصاص عن طريق الاتصال المباشر بين حبيبات التربة أو محلولها والمجموع الجذري وكثيراً ما لوحظ أنه عن نقل أنسجة النبات من وسط يحتوي على تركيز منخفض من الأملاح إلى وسط يحتوي على تركيز ملحي مرتفع فإنه يحدث امتصاص uptake سريع للأيونات اى تنتقل الايونات من الوسط الأكثر تركيزا الى الوسط الاقل تركيزا داخل النبات حتى يحدث الاتزان عندما يتساوى نشاط الأيون في جميع اجزاء المحلول الداخل والخارج ويسمى ذلك بالانتشار البسيط Simple diffusion ويعقب ذلك فترة من الامتصاص البطيء المستقر والذي يخضع للنشاط الأيضي والامتصاص الأول السريع لا يتأثر بدرجة الحرارة ولا بمثبطات التمثيل الغذائي أي أن الطاقة الأيضية لا تتدخل في هذه الخطوة ولو أعيد النسيج بعد ذلك إلى وسط ذو تركيز منخفض من الأملاح فإن بعض الأيونات الممتصة سوف تخرج إلى الوسط الخارجي وبعبارة أخرى فإن جزء من الخلية أو النسيج المغمور في المحلول الملحي سوف يكون معرضاً لخروج الأيونات منه بطريقة حرة حتى يتم حدوث توازن بين الأيونات بصورة ما داخل وخارج الخلية أو النسيج والمحلول الخارجي وهذا الجزء من النسيج المسموح له بالخروج الحر للأيونات يرمز له باصطلاح الحيز الخارجي Outer space وهو بصفة عامة يعتبر جدار الخلية وجزء من السيتوبلازم.

العوامل المؤثرة على الامتصاص السلبي :

١- التبادل الأيوني Ionic adsorption exchange

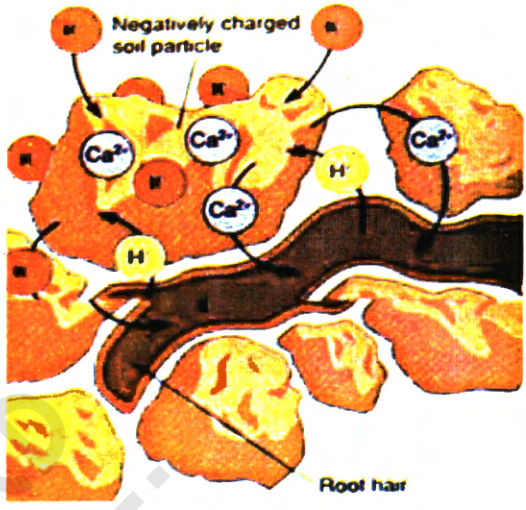
٢- توازن دونان Donnan equilibrium

٣- الانسياب الكتلي Mass Flow

٤- تبادل الأيونات بالتلامس The contact Exchange

١- التبادل الأيوني Ionic adsorption exchange :

الكاتيونات الممسوكة على غرويات التربة يلزم لكى تترك السطوح الغروية أن تتبادل مع كاتيونات أخرى وتلك الكاتيونات الأخرى لها مصدران :١- الكاتيونات الحرة فى محلول التربة ٢- الأيدروجين الخارج من سطوح جذور النبات ومن ناحية اخرى فقد يكون أيدروجين الجذور ممسوكا هو الآخر على السطوح الفعالة لهذة الجذور على نقط خاصة على هذه السطوح تعرف بمراكز التبادل ولكى يصل هذا الأيدروجين الى كاتيونات التربة المتبادلة على أسطح الطين لابد ان يتبادل أولا مع الكاتيونات الحرة فى المحلول الأرضى لذلك ظهر ما يعرف بنظرية ثانى أكسيد الكربون وملخصا أن ك أ حول الجذور والناتج من تنفسها او من تنفس الكائنات الحية الدقيقة الموجودة فى التربة عند ذوبانه فى الماء يتحول الى حمض الكربونيك الذى يتأين الى كاتيونات الأيدروجين وأنيونات البيكربونات ثم يتبادل الأيدروجين مع الكاتيونات الغذائية المدمصة على أسطح غرويات التربة فتنساب فى محلول التربة ليمتصها الجذر بالانتشار البسيط تبعا لتدرج التركيز او تتبادل الكاتيونات على أسطح أغشية الجذر مع الأيدروجين الخارج من الجذور من خلال مضخة السيتوكروم وعند امتصاص الكاتيونات يخرج بدلا منها أنيونات أيد - والتى تتبادل بدورها مع انيونات اخرى مثل الكبريتات او النترات ...الخ وعادة يحدث التبادل الايونى بين الأيونات المتماثلة فى الشحنة او يتبادل أيونين أحادى التكافؤ مع أيون ثنائى التكافؤ.



(الشكل ١٤) يوضح التبادل الكاتيزنى بين الكاتيونات المدمصة على حبيبات الطين والايدروجين المدمص على الشعيرات.

وظهرت معارضة لتلك النظرية حيث أن لو فرض أن الامتصاص يتم بالآلية السابقة فيجب بناء على ذلك أن يكون من معلق الطين يساوى الامتصاص من مستخلص هذا المعلق الناتج من تشبعة بغازك أ٢ الا أنه اتضح أن الامتصاص من المعلق يزيد كثيرا على الامتصاص من مستخلص حمض الكربونيك لهذه المعلقات وقد فسر هذا النقض عن طريق نظرية تبادل الأيونات بالتلامس.

٢- توازن دونان Donnan equilibrium :

يتم الاتزان ويقف الامتصاص تبعا لتلك النظرية إذا كان حاصل ضرب التركيز الجزئي للكاتيونات والأنيونات في جانب من غشاء ما يساوي حاصل ضرب تركيزها في الجانب الآخر . فلو أن الغشاء كان منفذاً للكاتيونات والأنيونات سوف تنتشر من المحلول الخارجي مخترقة الغشاء حتى تصل إلى حالة استقرار ويكون الوضع متوازن كهربياً إلا أن هناك حاجة إلى كاتيونات إضافية لمعادلة الشحنة السالبة للأنيونات المثبتة على السطح الداخلي للغشاء وعلى ذلك فإن تركيز الكاتيونات سوف يكون أعلى في

المحلول الداخلي وسوف يكون أقل من تركيزها في المحلول الخارجي · وهذا يمكن أن يفسر تراكم الأنيونات عند وجود تدرج في التركيز وظهور حالات الاستقرار أو التعادل بدون تدخل الطاقة التمثيلية·

٣- الانسياب الكتلي Mass Flow :

يتسبب الماء الخارج من الثغور في سحب تيار من الماء يبدأ من الثغر وينتهي إلى الجذر ثم محلول التربة وهذا التيار يتسبب في زيادة امتصاص الأيونات إما بصورة غير مباشرة عن طريق تحريك الأيونات بعد خروجها من أوعية الخشب مما يتسبب في زيادة نشاط الامتصاص الأيوني أو بصوره مباشرة بانسياب تيار الماء حاملا الأيونات من المحلول الأرضي خلال الجذور إلى الأفرع وقد تأيد تلك النظرية بتعريض الجذور لضغط هيدروستاتيكي فكانت النتيجه زيادة الأيونات الممتصة ·

٤- تبادل الأيونات بالتلامس The contact Exchange :

فسر تلك النظرية القصور فى امتصاص الكاتيونات عن طريق نظرية ك أ٢ فالامتصاص يتم أحيانا بدون وجود الكاتيون فى محلول التربة أو عند pH مناسب ليحدث الامتصاص نتيجة لفرق الجهد ولكن تستطيع الجذور أخذ الكاتيونات مباشرة دون المرور بالمحلول الأرضى فلكل أيون مدمص له حقل يتذبذب فية Field Oscillation فأذا تداخل مع مجال ذبذبة لأيون آخر مدمص على سطح غروى آخر أو على أسطح الأغشية السيتوبلازمية للجذور فانه يحدث التبادل وبهذا يمكن أن تنتقل الأيونات مباشرا من حبيبة الطين الى الجذر حيث أن الجدار السليولوزى ليس خاملا لارتباطه بمجموعة حامضية والجدار السليولوزى غير نقى لتخلل المسافات البينية له باللجنين والمواد البكتينية والتى لها خواص تبادلية·

الانتقال النشيط :

لوحظ أن امتصاص الأيونات يحدث بدون تدخل الطاقة الأيونيه إلى حد معين ثم يستمر بعد ذلك بصوره لا يمكن لنظريات الامتصاص السلبي تفسيرها وهذا الامتصاص التالي يحدث فيه تراكم للأيونات ضد تدرج التركيز ويتم تثبيطه عندما يكون النشاط الأيضي للنبات مثبطا بلخرارة المنخفضة أو تركيز الأكسجين المنخفض أو المثبطات الأيضيه ....إلخ · وهنا يمكن افتراض أن التراكم الأيوني في النبات يحتاج إلى طاقه أيضيه وانتقال الأيونات بالأستعانه بالطاقة التمثيلية ويرمز له باصطلاح الامتصاص انتشيط Active Transportion عن طريق حوامل Carrier موجودة في الأغشية الخلوية·

ما هو الحامل Carrier Concept ؟

أعتقد البعض أن هناك ممرات خلال المنطقة بين الحيز الخارجي والداخلي للخلية لا تكون منفذه للأيونات الحرة تحتوي على حوامل منخفضة هذه الحوامل ترتبط مع الأيونات في الحيز الخارجي ثم تتخلص منها في الحيز الداخلي وأكثر ملامح نظرية الحوامل أهميه هو افتراض وجود معقد الحامل والأيون وهو مركب يمكنه التحرك خلال الغشاء الغير منفذ السابق ذكره وعند تتحرك الأيونات ولا تستطيع الحامل الحركة مره أخرى للخارج وعلى ذلك يتم تراكما بينما يعود الحامل فارغا · وهناك ثلاث خصائص تزيد بشده صدق مفهوم الحوامل·

١- تبادل النظائر Isotopic Exchange :

وجد أن الأيونات الممتصة امتصاصا نشيطا تكون غير قابله للتبادل مع الأيونات من نفس النوع في الحيز الخارجي أو الوسط الخارجي وقد لوحظ ذلك بأستخدام النظائر المشعة مما يدل على أن الغشاء ذو مناعة مرتفعه للأنتشار الحر للأيونات

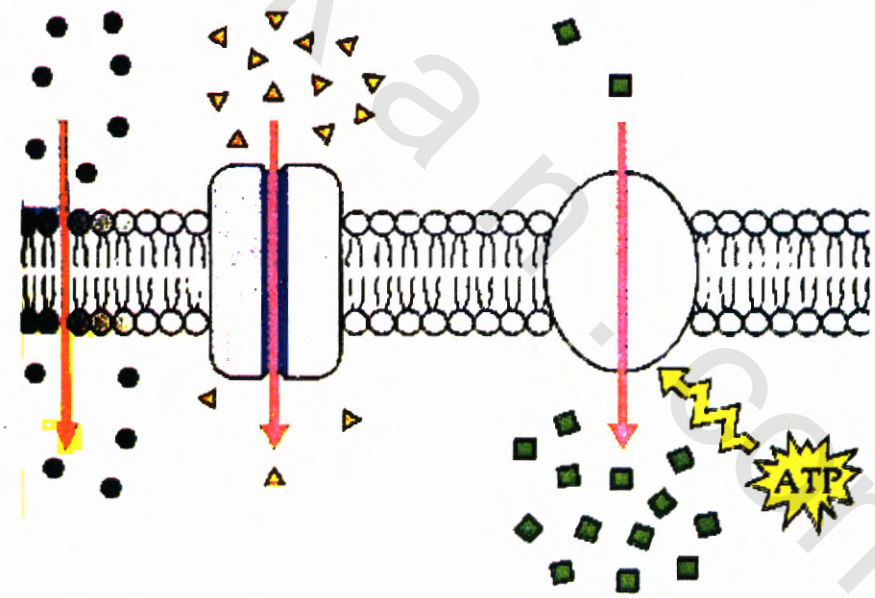
وحيث أن الأيونات تمتص فإن حركتها خلال الغشاء يجب أن تمر بواسطة وسيط هو الحوامل ·

وقد تم دراسة امتصاص الكبريت المعلم كب^{35} بواسطة جذور الشعير ووجد أن الكميه الممتصة يمكن أن تفصل إلى جزئين :

1- كمية تمتص بالأنتشار ·

٢- كمية تمتص بالامتصاص النشط ·

كما وجد أن الكميه الممتصة بالأنتشار يمكن أن تخرج عند غمر النسيج في الماء خروجا حرا بينما الكميه الممتصة امتصاصا نشيطا لا تخرج إلى الماء كما لا يمكنها التبادل مع أيونات كبريت عاديه في محلول كبريت غير مشبع ·



الامتصاص النشط الانتشار بالمساعدة الامتصاص النشط الانتشار خلال الاغشية الدهنية

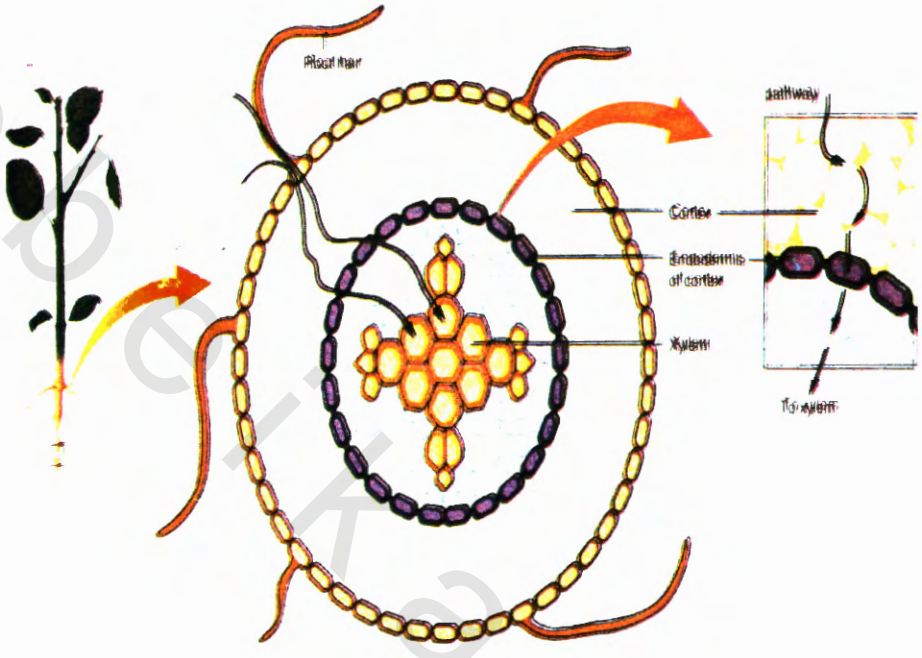
(الشكل ١٥) يوضح أنواع الامتصاص حيث يمتص النبات مغذياته بطريقتين اما امتصاصا سلبيا او امتصاصا نشطا·

٢- التشبع Saturation :

الامتصاص يقف عند حد معين أو عند نقطة التشبع عندها تكون جميع المواضع النشطة على الحوامل ممتلئة ، وهي حالة متشابه لتأثير التشبع المعروف في التفاعلات الأنزيمية ، وهناك حقيقة تقول أن مستوى المعدل الأقصى للامتصاص يمكن أن يستمر لفترة طويلة نسبيا يؤيد وجود عدد محدود من الحوامل العاملة بأقصى كفاءه بمعنى أن المواضع النشيطة على الحوامل تكون مشغولة طول الوقت · وبمجرد أن يتخلص أحد الحوامل من الأيون في الحيز الداخلي فانه في الحال يتم انشغاله بأيون آخر من منطقة الحيز الخارجي للنسيج وعلى ذلك فإنه عند نقطة التشبع تظل الدورة مستمرة ولا يمكن أن تعمل بسرعة أكبر لو أن تركيز الأملاح تزايد·

٣- التخصص Specificity :

الجذور تمتص الأيونات اختياريا بمعنى أن معدل امتصاص الأيونات يختلف كما يختلف معدل تراكمها في أنسجة الجذور مما يؤيد وجود الحوامل المتخصصة Specificity Carriers هذه الخاصية ترتبط بالأيونات ذات السلوك الكيميائي الغير متشابه إلا أنها لا تظهر مع الأيونات المتشابه أو تكون ضعيفة الأثر فمثلا الكاتيونات الأحادية مثل البوتاسيوم والسيزيوم والروبيديوم تتنافس مع بعضها على نفس موضع الالتحام على الحامل أي أن معدل امتصاص الروبيديوم يمكن أن يخفض بإضافة مزيد من البوتاسيوم أو السيزيوم إلى المحلول المغذي وزيادة تركيز الروبيديوم يمكن أن يتلاشى الأثر المثبط للكاتيونات الأخرى ومما يؤيد وجود مواضع التحام مختلفة أن وجود زيادة من الصوديوم لا يثبط امتصاص الروبيديوم ، كذلك فإن السلينات تثبط امتصاص الكبريتات بينما لا تؤثر على امتصاص الفوسفات أو النترات· وهي حاله تتشابه أيضا مع علاقة الأنزيم فسيسترات حيث يفسر على أساس انتقال المواضع الفعالة في الأنزيم ·



(الشكل ١٦) يوضح قطاع عرضى فى جذر من ذوات الفلقتين

ميكانيكية الامتصاص النشيط :

هناك ميكانيكيتان محتملتان لعمل الحوامل :

١- مضخة السيتوكروم Cytochrome Pump :

لاحظ Hoagland وأخرين أن غمر النسيج في محلول محلي يتسبب في زيادة معدل التنفس وهو ما يسمى بالتنفس الملحي وأن امتصاص الاملاح يعتمد على التنفس وهو ما قاد Lundagardh 1950 إلى نظرية تصيغ العلاقة السابقة ومحتواها هو أن الامتصاص يحدث من خلال السيتوكروم أوكسيديز هذا بالاضافة الى أن السيتوكروم قد

يكون حاملا للأيونات وقد تأكد من ذلك عندما وجد أن الامتصاص يثبط بتثبيط التنفس بمثبطات السيتوكروم أوكسيدير فالحديد بالسيتوكروم يغير تكافؤه من ثنائي الى ثلاثي والعكس فأذا كان ثلاثي ح$^{+++}$ يأخذ الكترون او انيون سالب ليصبح ح$^{++}$ والعكس وأن مصدر الأيدروجين هو الأحماض العضوية الموجودة بجدار الأندوبلاست تحت تأثير أنزيم Dehydrogenase .

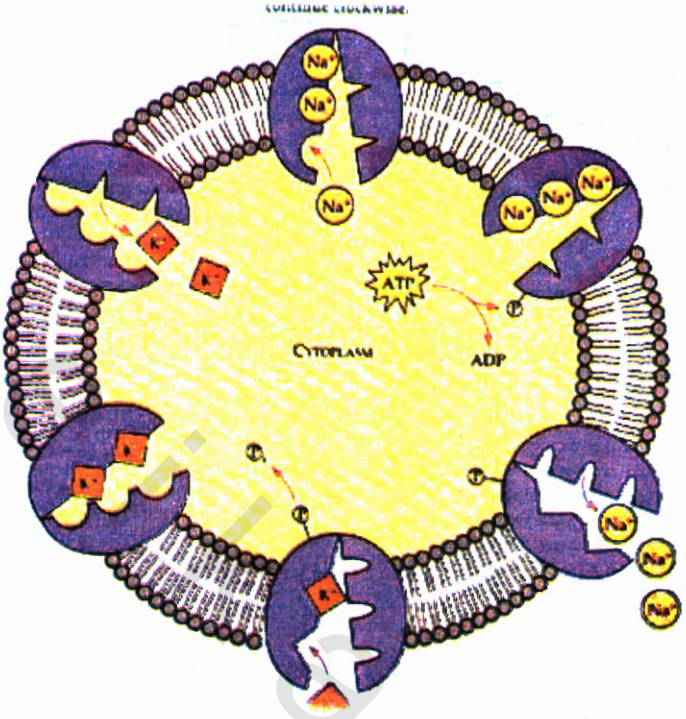
وعلية فإن:

١- امتصاص الأنيونات يعتبر مستقلا عن امتصاص الكاتيونات وكلاهما يحدث عن طريق ميكانيكيات مختلفة.

٢- يوجد تدرج في تركيز الأكسجين من السطح الخارجي الى السطح الداخلي للغشاء منها عند السطح الداخلي.

٣- الانتقال الفعلي للأنيونات يحدث من خلال نظام السيتوكروم.

وحيث أن هناك علاقة كميه بين امتصاص الأيونات والتنفس الملحي وهذه العلاقة لا تظهر عند امتصاص الكاتيونات فقد أفترض أن أيونات فقط تنتقل انتقالا نشيطا . وتثبط التنفس لملحي وما يترتب عليه من تثبيط امتصاص الأملاح بواسطة أول أكسيد الكربون قادت لاند جارد لأن يفترض أن انتقال الأيونات يتم بواسطة السيتوكروم اوكسيديز وبالتالي فإن السيتوكروم قد يكون من الحوامل الأنيونية.



(الشكل١٧) يوضح الية الامتصاص تبعا لنظرية الحوامل أو نظرية مضخة السيتوكروم التى تفترض وجود حامل ينشطة ATP يغير من شكله فينفتح على الخلية من الداخل ليمتص منها الصوديوم ثم يغير من شكله ليفرز الصوديوم خارجها ويمتص بدلا منه البوتاسيوم او اى كاتيون آخر ثم يغير شكله مرة آخرى ليتمكن من افراز الكاتيونات داخل الخلية.

نـظـريـة لانـد جـارد:

- هناك علاقة بين التنفس وامتصاص الأنيونات
- أن الأنيونات تمتص امتصـاصـا نشـــطا.
- أي تثبيط للتنفس الملحمي يسبقه تثبيط لامتصاص الأيونـات .

• امتصاص الأيونات يتم بواسطة السيتوكروم أو الأكسيديز لذلك أفترض أن السيتوكروم من الحوامل الأنيونيه ·

تفسير نظرية لاند جارد :

وطبقا لنظرية لاند جار يتفاعل أنزيم الديهدروجينيز على السطح الداخلى بإنتاج بروتون F^+ والإكترون e^- يتحرك الإلكترون إلى الخارج عن طريق سلسله السيتوكرومات بينما يتحرك البروتون إلى الداخل · وعلى السطح لخارجي للغشاء يتم أكسدة الحديد الذي كان قد أختزل بالسيتوكروم فيفقد الكترون ويتكون أنيون يتحد الإلكترون المتحرر مع بروتون والأكسجين مكونا جزئ ماء وعلى السطح الداخلي يصبح الحديد المؤكسد بالسيتوكروم مختزلا بإضافة الإلكترون الناتج من تفاعل الديهيدروجينيز ويتحرر البروتون إلى الداخل أثر هذا التفاعل · أما للكاتيونات فإنها تمتص امتصاصا سلبيا لموازنة فرق الجهد الناتج عن تراكم الأنيونات على السطح الداخلي·

الاعتراضات :

رغم أن نظرية الانتقال بالسيتوكروم تعطي صوره واضحة عن كيفة مساهمة الطاقة التمثيلية في امتصاص الأيونات إلا أنها لم تلقي قبولا عاما وواجهت اعتراضات محرجه مثل :

• نوحظ أن أحد مثبطات الفسفره الأكسجين وهو مركب يزيد من التنفس وفي نفس الوقت يقلل من امتصاص الأملاح · وذلك يعني أن الفسفره يجب أن تكون ضمن أي نظريه تفسر تراكم الأملاح ·

• كما لوحظ أن الأنيونات ليست هي فقط التي تشجع التنفس لأن أيونات كلا من الصوديوم والبوتاسيوم تشجع التنفس ·

• وأخيرا ، لو أن هناك حامل واحد فقط لكل أنيون لكان من المؤكد أن يظهر تنافس بين الأنيونات على شغل موضع الالتحام ولكن على العكس (وكما ذكر من قبل) فإن الأنيونات مثل الكبريتات والنتروفوسفات لا تتنافس مع بعضها ٠

٢- ميكانيكية الحوامل :

أقترح Bennet – Clark 1956 ميكانيكية الامتصاص النشيط للأملاح يستخدم فيها ATP وفيها اقتراح بأن الفوسفوليبيدات قد تكون هامة لانتقال الأيونات خلال الأغشية التي تعتبر غير منفذه ، وفي هذا الانتقال يتم تخليق فوسفوليبيد وهو اللسيثين Lecithin يتحلل مائيا فيما يشبه الدورة فيلقط الأيونات من السطح الخارجي ثم يدخلها عن طريق التحلل المائى إلى الحيز الداخلي وتخليق أحد مكونات هذه الدورة الفوسفاتيدية Phosphatide cycle على الأقل يحتاج إلى ATP .

العوامل المؤثرة على امتصاص الأملاح :

يتم الامتصاص تحت ظروف متوافقة ومناسبة للنشاط الحيوي والتحولات الفيزيائية الحادثة ٠ ولو تغيرت الظروف البيئية فإن الامتصاص يتأثر ٠ وأهم العوامل هي :

١- درجة الحرارة Temperature :

ارتفاع الحرارة بصفة عامه يسرع الامتصاص السلبي بزيادة الطاقة الكامنة لجزئيات وفي الامتصاص النشيط يزيد النشاط إلى درجه مثلى ثم يتناقص مكافئ نشاطك حيوي آخر أي أن لها درجه صغرى ومثلى وعظمى٠

٢- تركيز أيون الأيدروجين Hydrogen ion Concentration :

زيادة أو نقص التركيز الأيدروجيني لمحلول التربة عن المدى الفسيولوجي يمر بالنشاط الحيوي العام بما فيه الامتصاص٠ وفي داخل هذا المدى فإن ارتفاع أو

انخفاض رقم pH لا يؤثر إلا في حالة نقص العناصر في التربة بينما يكون تأثيره قليل في وجود وفره منها · وتحت هذه التحفظات فإن الظروف الحامضية تساعد على توفير الفوسفات الأحادي الصالح للامتصاص · كذلك بتحسن صلاحية البورون للامتصاص في الظروف الحامضية · بينما تكون زيادة القلوية مناسبة لامتصاص الكاتيونات ·

٣- الضوء Light :

الضوء يساعد على فتح الثغور وعلى التمثيل الضوئي · الثغور المفتوحة تزيد تدفق كتلة الماء في تيار النتح فيشجع الامتصاص· والطاقة المستمرة من التمثيل الضوئى تشجع الانتقال النشيط كما أن الأوكسجين الناتج يحسن الظروف المناسبة للامتصاص ·

٤- التركيز الأكسوجيني Oxygen tension :

الانتقال النشيط يثبط في كميات الأوكسجين كما أن الأوكسجين يساعد على امتصاص الفوسفات ·

٥- الأثر المتبادل Interaction :

وجد أن امتصاص الشعير للبوتاسيوم يتأثر بوجود الكالسيوم أو الماغنسيوم كما لوحظ أن الكالسيوم يقلل امتصاص البوتاسيوم والبروتين إلى حد معين لو زاد الكالسيوم يزيد الامتصاص مره أخرى · والماغنسيوم يقل امتصاصه بوجود الكالسيوم· كما لوحظ أن البوتاسيوم والروبيديوم والسيزيوم تتنافس على شغل موضع التحام واحد · والباريوم والكالسيوم تتنافس على موضع واحد · وعموما ففي وجود مواضع التحام كافيه لا يظهر هذا التضاد · ولكن يظهر في وجود حوامل شديدة التخصص ·

٦- النمو Growth :

عموماً فإن الأنسجة الحديثة أو المرستيمية يزيد فيها الامتصاص، ويتطور النسيج وتغليظه يقلل الامتصاص والمناطق المسوبرة على الجذور غير صالحة للامتصاص وزيادة النشاط الأيضي يزيد استهلاك العناصر وبالتالي الامتصاص كما أن النمو الخضري المتزايد يكون مصحوبا بزيادة تحركات الماء فيزيد الامتصاص.

تنتقل العناصر الغذائية داخل النبات :

تدخل الأيونات إلى خلايا البشرة عن طريق الامتصاص السلبي والانتقال النشيط معاً. حيث يدخل إلى الحيز الظاهري الحر بالامتصاص السلبي ثم ينتقل بالانتقال النشيط إلى الحيز الداخلي Inner space وتتحرك داخل خلايا البشرة بحرية حتى تصل إلى نسيج القشرة الداخلي Endodermis حيث تلاقي ما يعيق تقدمها وهو الأشرطة الكسبرية والتحرك خلال خلايا البشرة يكون عن طريق Plasmodia estate أو الطرق البلازميدية بين خلايا البشرة .

يوجد تدرج في تركيزك أ٢ المتزايد و ك أ٢ المتناقص من القشرة إلى الحزمة الوعائية وبالتالي فإن النشاط الأيضي وبالتالي الامتصاص النشيط يقل في المنطقة المحيطة بأوعية الخشب فتميل هذه المنطقة إلى فقد الأملاح. ونظراً لأن الانتشار العكسي خلال الحزام الكسبري الغير منفذ يعتبر مستحيلاً فإن ذلك يعني أن هناك اتجاه واحد ووحيد للتخلص من هذه الأملاح وهو الاتجاه إلى داخل أوعية الخشب .
تتحرك الأملاح المتراكمة في أوعية الخشب من الجذر إلى الأفرع ومنها يعاد توزيعها في أنحاء النبات وعموماً فإن هذه التحركات تحدث في الأنسجة الوعائية وباستخدام العناصر المشعة أمكن تحديد طرق واتجاهات هذه العناصر وهي :-

١- الانتقال لأعلى في أنسجة الخشب:

ويتم بواسطة تيار النتح من أسفل الجذر إلى أعلى الساق ، وقد لوحظت هذه الحركة باستخدام عناصر مشعة وتحليق للحاء حيث لوحظ أن الانتقال لأعلى استمر رغم التحليق إلا أنه بدرجة أقل إلى حد ما مما يدل على أن هناك احتمال انتقال لأعلى داخل اللحاء أيضاً ·

٢- الانتقالات الفرعية للأملاح :

يعتقد أن نسيج الكمبيوم الفاصل بين الخشب واللحاء يقوم بتنظيم كمية الأملاح المنقولة لأعلى مع تيار النتح ويساعد على ذلك ما يحدث من تراكم تنشيط للأملاح في أنسجة الكمبيوم ، فلو أن عنصر ما كان موجوداً بتركيز عالي في اللحاء وحدث توازن بين اللحاء والكمبيوم فإن التدخل في مرور هذا العنصر مع تيار النتح يكون ضئيلاً ، ومن ناحية أخرى لو أن هذا العنصر موجود بتركيز منخفض في اللحاء فإن انتقاله من الخشب إلى اللحاء خلال الكمبيوم يكون سريعاً ·

٣- انتقال الأملاح في اللحاء :

لوحظ في اللحاء حركة ذات اتجاهين : اتجاه لأعلى للأملاح المتساوية من الخشب عن طريق الكمبيوم · واتجاه لأسفل للأملاح الخارجة من الورقة التي تعاود الحركة لأعلى عن طريق اللحاء أو خلال الكمبيوم عن طريق الخشب ·وهذه الحركة ذات الاتجاهين Bi- directional للأملاح تكون مميزة لأنسجة اللحاء ·

٤- انتقال الأملاح إلى خارج الورقة :

لوحظ أن أوراق النبات المتساقطة تحدث حركة للأملاح قبيل التساقط إلى خارج الورقة حيث تخرج بعض العناصر مثل النيتروجين والبوتاسيوم و لفوسفات والكبريت· وتحت ظروف خاصة قد يخرج الحديد والماغنسيوم بينما لا يخرج عناصر أخرى مثل الكالسيوم البورون والمنجنيز والسليكون ·

والمواد الخارجة من الورقة تظهر أولاً في اللحاء حيث تتحرك لأسفل ثم تتحرك حركة فرعية خلال الكمبيوم إلى الخشب وهنا تتحرك لأعلى في الخشب ولأعلى وأسفل في اللحاء · وقد يتحرك الفوسفور من الأوراق السفلية لأسفل إلى الجذر بينما يتحرك الفوسفور من الأوراق العلوية لأعلى في الساق · وتستقبل الأوراق الصغيرة هذه العناصر وتلاحظ هذه الظاهرة مثلاً عند نقص النيتروجين والفوسفور في التربة فإن الأعراض تظهر أولاً على الأوراق السفلى حيث تهاجر منها العناصر إلى الأوراق الأصغر التي يتأخر ظهور أعراض النقص عليها ·

opeikan.com

مراجع مختارة :

1- Asher, C. J and Edwards, D. G.(1983) : Modern solution culture techniques . In Inorganic Plant Nutrition (Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 15B), A.Läuchli and R. L. Bieleski, eds., Springer, Berlin, pp. 94-119 .

2- Bloom, A. J. (1994) : Crop Yield, K. J. Boote, J. M. Bennett. T. R. Sinclair, and G. M. Paulsen, eds., Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, pp. 303-309 .

3- Bloom, A. J.; Jackson, L. E. and Smart, D.R. (1993) : Root growth as a function of ammonium and nitrate in the root zone . Plant Cell Environ. 16: 199-206 .

4- Bret-Harte, M. S. and Silk, W. K. (1994) : Nonvascular, symplasmic diffusion of sucrose cannot satisfy the carbon demands of growth in the primary root tip of *Zea mays* L. Plant Physiol. 105: 19-33 .

5- Brundrett, M. C. (1991) : Mycorrhizas in natural ecosystems . Adv. Ecol. Res. 21: 171-313 .

6- Clarke, S. M. and Eaton-Rye, J.J. (2000) : Amino acid deletions in loop C of the chlorophyll a-binding protein CP47 alter the chloride requirement and/or prevent the assembly of photosystem II . Plant Mol. Biol. 44: 591-601 .

7- Epstein, E. (1999) : Silicon. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50: 641-664.

8- Foehse, D.; Claassen, N. and Jungk, A. (1991) : Phosphorus efficiency of plants . Significance of root radius , root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species . Plant Soil 132: 261-272 .

9- Harling, H.; Czaja, I.; Schell, J. and Walden, R.(1997) : A plant cation-chloride co-transporter promoting auxin-independent tobacco protoplast division . EMBO J. 16: 5855-5866 .

10- Hasegawa, P. M ; Bressan, R. A.; Zhu, J. K. and Bohnert, H. J.(2000) : Plant cellular and molecular responses to high salinity . Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51: 463-499 .

11- Loomis, R. S. and Connor, D. J.(1992) Crop Ecology : Productivity and Management in Agriculture Systems . Cambridge University Press, Cambridge .

12- Macek, T.; Mackova, M., and Kas, J. (2000) : Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation . Biotech. Adv.18: 23-34 .

13- Marschner, H. (1995) : Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, London .

14- Nolan, B. T. and Stoner, J. D. (2000) : Nutrients in groundwater of the center conterminous United States 1992-1995 . Environ. Sci. Tech. 34: 1156-1165 .

15- Rovira, A. D.; Bowen, C. D. and Foster, R. C. (1983) : The significance of rhizosphere microflora and Mycorrhizas in plant nutrition . In Inorganic Plant Nutrition (Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 15B) A. Läuchli and R. L. Bieleski, eds., Springer, Berlin, pp.61-93 .

16- Sanders, D.; Brownlee, C. and Harber J. F. (1999) : Communicating with calcium. Plant Cell 11: 691-706 .

17- Sharp, R. E.; Hsiao, T. C. and Silk, W. K. (1990) : Growth of maize primary root at low water potential . 2. Role of growth and deposition of hexose and potassium in osmotic adjustment . Plant Physiol. 93: 1337-1346 .

18- Shelp, B. G. (1993) : Physiology and biochemistry of boron in plants . In Boron and Its Role Crop Production, U. C. Gupta, ed.,CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 53-85 .

19- Smith, S. A.; Read, D. J. and Harley, J. L. (1997) : Mycorrhizal symbiosis . Academic Press, San Diego, CA .

20- Stewart, G. R. and Ahmad, I (1983) : Adaptation to salinity in angiosperm halophytes . In Metals and Micronutrients : Uptake and Utilization by Plants, D. A. Robb and W. S. Pierpoint, eds., Academic Press, New York, pp. 33-50

21- Taylor, A. R. and Blom, A. J. (1998) : Ammonium, nitrate and proton fluxes along the maize root . Plant Cell Environ. 21: 1255-1263 .

22- Weathers, P. J. and Zobel, R. W. (1992) : Aeroponics for the culture of organisms, tissues and cells . Biotech. Adv. 10: 93-115 .

23- Wilcox, H. E. (1991) :Mycorrhizae . In Plant Roots : The Hidden Half, Y. Waisel, A. Eshel, and U. Kafkafi, eds., Marcel Dekker New York, pp. 731-765 .

24- Ziegler, H. (1987) : The evolution of stomata . In Stomatal Function , E. Zeiger, G. Farquhar, and I. Cowan, eds., Stanford University Press, Stanford, CA, pp. 29-57 .