الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989 تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019
Mineral Nutrition and Plant Disease null by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube 2007

http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/eprint_1_17124_1352.doc

https://www.researchgate.net/publication/329625437_fsywlwjya_tghdhyt_alnbat

https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/BEV/M1%20BVPlantes%2019-20%20Physiologie%20et%20biochimie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20Chaker.pdf

المحاضرة الأولى :

مفردات علم تغذية النبات :

1- مقدمة عن علم تغذية النبات .
2- التربة كوسط لنمو النبات وجاهزية العناصر الغذائية .
3- امتصاص العناصر الغذائية (الامتصاص الأيوني ونظرياته) .
4- تمثيل العناصر الغذائية داخل النبات .
5- الماء وتغذية النبات والاوجة الفسيولوجية المائية (الأوجه التطبيقية له) .
6- تغذية النبات وكمية الحاصل (علاقة النبات بالحاصل) .
7- تغذية النبات ومقاومة الأمراض والحشرات .
8- ملوحة التربة وتغذية النبات .
9- التلوث وتغذية النبات .
10- المحاصيل الغذائية ودورها في تغذية النبات .

1- مقدمة عن علم تغذية النبات :

علم تغذية النبات (Edaphology or plant nutrition) :

وهو العلم الذي يهتم بدراسة كيفية حصول النبات على احتياجاته من العناصر الغذائية وكيفية امتصاصها وتتبع دخولها من محلول التربة والجو إلى داخل السايتوبلازم والفجوة العصارية وكذلك دراسة الفرضيات والنظريات المتعلقة بالامتصاص والعوامل التي تؤثر على هذا الامتصاص وكذلك تشخيص أعراض النقص والسمية إضافة إلى دراسة الوظائف الفسلجية المختلفة لهذه العناصر ودورها في نمو النبات .
إن علم تغذية النبات يهتم بدراسة تحسن طرق تصنيع الأسمدة واقتصاديات استعمالها ومواعيد وكميات إضافتها ومن جانب آخر فان هذا العلم يهتم بدراسة مقاومة الأمراض والحشرات عن طريق التغذية المعدنية .إن لهذا العلم علاقة فريدة مع الكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية فهو يحتاج إلى علوم أخرى

مثل علوم التربة والكيمياء الحياتية وفسلجة النبات واقتصاديات التربة والموارد المائية وغيرها من العلوم الأخرى لفهم هذه العلاقة .
النباتات تتغذى على ايونات العناصر المعدنية وان العناصر المعدنية مصدرها التربة وان التربة هي ناتج لعمليات التعرية والتجوية في الصخور المختلفة لذلك تعد الصخور والمحيطات والهواء الجوي المصدر الخام للعناصر الغذائية المعدنية وعند توفر كميات جاهزة من هذه العناصر تنمو النباتات الصغيرة والكبيرة ويتغذى عليها الحيوان والإنسان لذلك هنالك علاقة وثيقة بين تغذية النبات ومصير الكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية .

العنصر الغذائي (صفاته __ شروطه) :

لكي يقال إن هذا العنصر الغذائي ضروري يجب إن تتوفر فيه واحد من هذه الشروط أو جميعها وهذه الشروط هي :

1- يدخل بصورة مباشرة في تركيب مادة النبات أو احد أعضائه .
2- بدون هذا العنصر لايمكن للنبات من إكمال دورة حياته .
3- نقص العنصر الغذائي يؤدي إلى ظهور أعراض نقص خاصة بهذا العنصر .
4- إن مظاهر نقص هذا العنصر لاتزول إلا بإضافة العنصر المفقود .
5- لايمكن إن نعوض العنصر الغذائي عن أي عنصر آخر في جميع وظائفه .
6- له دور مفيد في التفاعلات الحيوية التي تحدث في النبات أو انه يزيل الأثر الضار الناجم عن التفاعلات الحيوية التي يقوم بها **النبات** .

يمكن تقسيم العناصر الغذائية من الناحية الكمية إلى مايلي :

1 – العناصر الكبرى (Macro element) : وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة نسبيا وتتراوح حدودها بالنسبة لنبات المادة الجافة (0.1 % - 6 %) من محتوى المادة الجافة ويعني (1 – 60) ملغم / غم مادة جافة . وتشمل هذه العناصر (S-Mg-C-H-O-N-P-K-Ca) .

2 – العناصر الصغرى (Micro elements) : وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات اقل نسبيا ويقدر محتواها في المادة الجافة (200ppm) (جزء بالمليون) وتشمل عناصر (Fe-Zn-Cu-Mn-B-Mo-Na-Cl) .
يلاحظ إن (Na, CL) بصورة عامة تعتبر من العناصر الصغرى إلا إنها بالنسبة للنباتات الملحية تعتبر من العناصر الكبرى حيث تحتاجها النبات بكميات كبيرة مقارنة بالنباتات الأخرى .

يمكن تقسيم العناصر الغذائية من ناحية وظائفها الفسيولوجي والحيوية إلى المجاميع التالية :

المجموعة الأولى : وتشمل عناصر(C-H-O-N-S) حيث تدخل هذه العناصر في تركيب مادة النبات العضوية وتنشيط الإنزيمات .

المجموعة الثانية : وتشمل عناصر(P-B-Si) فتشارك هذه العناصر في انتقال الطاقة وتكوين مجاميع الاسترات .

المجموعة الثالثة : وتشمل عناصر(CL-Mn-Mg-Ca-Na-k) فإنها ذات أهمية في الجهد الازموزي وتساهم في عملية تكوين الإنزيمات والبروتينات .

المجموعة الرابعة : وتشمل عناصر (Fe-Cu-Zn-Mo) هذه العناصر لها القابلية على تغير أعداد تكافؤها لذلك تعمل هذه العناصر على انتقال الالكترونات أي بمعنى آخر لها دور بعمليات الأكسدة والاختزال .

العناصر المفيـــــــــدة :

هناك مجموعة من العناصر الغذائية تكون مفيدة لنبات معين ولا يكون لها تأثير نافع اومفيد لنبات آخر تسمى بالعناصر المفيدة ومن أمثلتها عنصر الكوبلت (Co) وهو مفيد ومهم للعائلة أو النباتات البقولية ولكن ليس للكوبلت فائدة بالنسبة للنجيليات .
كذلك إن لعنصر السليكون تأثير نافع للرز ولم تثبت له فائدة بالنسبة للنجيليات . مثال آخر لوحظ إن الصوديوم أهمية مفيدة بالنسبة لنباتات البنجر السكري حيث يزيد من نسبة السكر لهذا النبات .

العناصر النـــــــــادرة :

هناك مجموعة من العناصر هي ليست غذائية تتبع جميعها إلى زمرة العناصر النادرة ووجد إن وجودها بكميات منخفضة جدا في التربة أو الهواء يكون لها تأثير مفيد لفعالية بعض النباتات إلا إن ارتفاع مستوى هذه العناصر ولو بصورة منخفضة أو بصورة قليلة يجعل منها عناصر سامة للنبات وكذلك للحيوان الذي يعيش على تلك النباتات من أمثلتها (الكلور- الفلور – البروم – اليود – الزئبق – الرصاص – الزرنيخ ----- الخ) .

ماهية تركيب مادة النبات :

سنتناول تركيب مادة النبات من الناحية التغذوية من خلال دراسة مايلي :

أولا – الماء : يعتبر الماء هو الوسط العام الذي تحدث فيه جميع الأنشطة في الخلايا ومن الناحية الفسيولوجية إن كل الكائنات الحية تعتبر الكائنات الحية تعتبر كائنات مائية وان خلاياها تقوم بفعالية الماء فقط عند وجود الماء وعند عدم توفر الماء تعجز هذه الكائنات عن القيام بدورها أو بفعاليتها . وللتعرف على أهمية الماء يمكن إن نعرف مايلي :

1- **إن هناك علاقة طردية بين الإمداد المائي أو تساقط الأمطار وكثافة الكائنات الحية ومثال ذلك مقارنة إعداد الكائنات الحية في الصحراء ومناطق الغابات .**
2- **تعيش النباتات المائية بصورة دائمية في الماء بينما النباتات على اليابسة فان جذورها تعيش مغمورة بمحلول التربة لتتمكن من امتصاص ايونات العناصر الغذائية .**
3- **يلاحظ إن الأشجار الشاهقة تستطيع الحصول على الماء مهما بلغ ارتفاعها وذلك يعني وجود قوة ميكانيكية يتمكن بها هذا النبات من الحصول على الماء.**
4- **إن عملية إنبات البذورلايمكن إن تتم إلا بوجود الماء وتشرب البذرة به لتتمكن الرويشة أو الجذير من الخروج من الخروج بتكوين النبات الجديد إن البذرة نفسها تحتوي على غذاء يحتاجه هذا النبات الصغير لكي ينمو ولابد من ذوبانه في الماء حتى يتمكن النبات من امتصاصه .**
5- **بسبب ارتفاع نسبة الماء في النباتات الحية فان نسبة عنصري الأوكسجين والهيدروجين تكون مرتفعة اوتفوق نسبة بقية العناصر الأخرى الداخلة في تركيب مادة النبات الحية .**

ثانيا – المادة الجافة :

إن تجفيف مادة النبات الطرية على درجة حرارة 70 درجة مئوية لمدة (24-48) فان المادة المتبقية يطلق عليها بمادة النبات الجافة وتشكل (10-20) % وكمعدل تعتبر (15 %) .
عند الحصول على المادة الجافة فإنها تطحن وتهضم بإضافة حوامض قوية ومن ثم تحول إلى محلول جاهزا للتحليل وتقدر في هذا المحلول العناصر المراد دراستها كان يكون (الفسفور – النتروجين – البوتاسيوم – الكلور) إلى غير ذلك ولكل من هذه العناصر طرق خاصة لتعيينه . وتعزى نتائج الدراسات الكيمياوية في هذه إلى الوزن الجاف وليس الوزن الرطب وذلك بسبب :

إن الوزن الرطب يكون عرضة للتغيير اليومي وكمية الرطوبة المتيسرة في التربة وشدة النتح كذلك إن الوزن الرطب يتغير بتغير نع النبات وعمرة وجزء النبات المأخوذ للتحليل (جذور- سيقان – أوراق – ثمار- بذور) . إن المادة الجافة هذه تكون 15 % من الوزن الرطب وان 90 % من هذه النسبة تمثلها عناصر (C-O-H) والمادة الجافة أو الجزء المعدني الجاف يشكل بحدود 10 %.

المادة الجافة

جزء عضوي 90%	جزء معدني 10%
(C-H-O)	% 1.5

** الجزء المعدني الضئيل الذي يحتوي على العناصر الغذائية وعادة يمتصه النبات من محلول التربة بالرغم من كونه جزءا ضئيلا إلا انه له أهمية كبيرة في :

1- تمكين النباتات الخضراء من القيام بعملية التركيب الضوئي وبناء مادته العضوية.
2- تفعيل الإنزيمات : إن النباتات تحتوي على آلاف الإنزيمات التي تعمل سوية في إن واحد أو على التعاقب طبقا لما تتلقاه من معلومات من الأحماض النووية التي تسيطر على الفعاليات الحيوية وتسيرها وان هذه الإنزيمات تكون غير فعالة في حالة غياب العناصر المعدنية خصوصا الصغرى منه .

الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989
تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019

Mineral Nutrition and Plant Disease null
by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube
2007

المحاضرة الثانية :

العوامل التي تؤثر على محتوى هذا الجزء المعدني :

1- العامل الوراثي :

للعامل الوراثي دور مهم في تحديد محتوى النبات من العناصر المعدنية وبصورة عامة فاءن مادة النباتات الخضراء تحتوي من عنصري النتروجين والبوتاسيوم مايعادل عشرة أضعاف مايحتويه من عنصري الفسفور والمغنيسيوم أما من ناحية نوع النباتات نلاحظ إن محتوى البقوليات من عناصر النتروجين والكالسيوم والفسفور أعلى مما موجود في النجيليات وان الحمضيات تحتوي عادة على كميات عالية من الكالسيوم أما محاصيل البطاطا والبنجر السكري وقصب السكر فتكون عالية المحتوى من البوتاسيوم ويلاحظ إن السبانغ والكرفس ذو محتوى عالي من الحديد أما بالنسبة لنباتات اللهانة والقرنابيط والبصل والثوم فتكون ذو محتوى عالي من الكبريت .

2- جاهزية العنصر الغذائي :
كلما زاد تركيز العناصر الغذائية في النبات يكون انعكاسا لزيادة هذه التراكيز في وسط النمو .

3- اختلاف العضو النباتي :
يختلف محتوى مادة النبات من المغذيات باختلاف الجزء النباتي المدروس (أوراق – جذور – ثمار – بذور ---الخ) بصورة عامة يلاحظ إن محتوى أنسجة النبات من المغنيسيوم يكون عادة متركز في قشر الحبوب أكثر من البذور وهذه العلاقة تكون صحيحة بالنسبة للنتروجين – البوتاسيوم – الفسفور – الكالسيوم) .

4- اختلاف عمر النبات :
يلاحظ أن محتوى النباتات الحديثة السن من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم يكون عالي بينما النباتات المسنة (القديمة) نلاحظ أن محتواها من الكالسيوم والمنغنيز والحديد والبورون يكون عالي .

الجـــــزء العضـــــــوي :

ويمثل الجزء الاكبرمن المادة الجافة ويتكون أساسا من عناصر الكاربون والأوكسجين والهيدروجين ويشكل 90 % منها وقد يدخل في تركيب الجزء العضوي عناصر مثل النتروجين والفسفور والكبريت كذلك بعض العناصر التي تميل إلى تكوين مركبات مخلبية مع المادة العضوية مثل المغنيسيوم في تكوين الكلوروفيل والكوبلت في تكوين فيتامين B12 (مهم في تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية) .
يمكن تقسيم الجزء العضوي إلى مايلي :

أ- مركبات عضوية يدخل النتروجين في تركيبها :
1- الأحماض الامينية التي تدخل في تكوين البروتينات .
2- الكلوروفيل
3- الأمينات والاميدات والقواعد النتروجينية .
4- القلويدات العضوية مثل (النيكوتين والمورفين والكافئين)
5- االانزيمات ، مساعدات ا لانزيمات ، الهرمونات النباتية ، الفيتامينات ، الأحماض النووية) .
ب – مركبات عضوية لايدخل النتروجين في تركيبها :
1- المواد الكاربوهيدراتية ومشتقاتها مثل السليلوز – الهميسليلوز- السكريات الثنائية – النشا .
2- الأحماض العضوية مثل الماليك – اللاكتيك – الستريك .
3- الزيوت والدهون

أوساط النمو النباتية المختلفة :

وسط النمو : هو عبارة عن المكان أو البيئة التي يتواجد فيها النبات ويحصل منها على المواد الغذائية البسيطة والهواء والماء والعناصر الضرورية لنموه .

أولا : التربة كوسط لنمو النبات :

التربة عبارة عن نظام غير متجانس معقد التركيب مقارنة بالأوساط المائية يتكون من ثلاثة أطوار :
ا- الطور الصلب : الذي يمثل الصخور والمعادن والمادة العضوية .
ب- الطور السائل : الذي يمثل محلول التربة ويشمل الماء والأملاح الذائبة فيه .
ج- الطور الغازي : يمثل هواء التربة الذي يحتل المسافات البينية بين شقوق دقائق التربة والخالية من الماء .

ثانيا : محلول التربة : من أهم مصادر المغذيات بالنسبة لجذور النباتات وهو عبارة عن محلول مخفف سرعان ما تسحب جذور النباتات ايونات العناصر الغذائية فإنها تعوض من الجزء الصلب الذي تتحرر منه ايونات العنصر المسحوب أي هناك حالة اتزان بين الطور الصلب ومحلول التربة .
إن ميكانيكية المحافظة على التوازن بين محلول التربة والجزء الصلب تتم من خلال الطرائق التالية
1- ذوبان المعادن .
2- ذوبان الأملاح .
3- معدنة المادة العضوية بواسطة أحياء التربة وعودة عناصرها الأولية إلى محلول التربة .

4- التبادل الأيوني .

الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989 تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019
Mineral Nutrition and Plant Disease null by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube 2007

http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/eprint_1_17124_1352.doc

https://www.researchgate.net/publication/329625437_fsywlwjya_tghdhyt_alnbat

https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/BEV/M1%20BVPlantes%2019-20%20Physiologie%20et%20biochimie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20Chaker.pdf

المحاضرة الثالثة :

العوامل التي توثر على جاهزية العناصر الغذائية في التربة وامتصاصها من قبل النبات :

1- درجة تفاعل التربة (PH) :

يعتبر PH التربة من أهم العوامل المؤثرة على جاهزية العناصر الغذائية في التربة ، فعنصر الفسفور يترسب تحت الظروف الحامضية على هيئة فوسفات الحديد والألمنيوم بهيئة (FePO4 – AlPO4) وهذه الصور قليلة الذوبان وغير جاهزة ولا يستفيد منها النبات .
أما تحت الظروف القاعدية وخاصة الجيرية (الحاوية على CaCo3 بكميات عالية) والتي يرتفع فيها PH إلى أكثر من 7 (أكثر من 8.2) مما يؤدي إلى ترسيب الفسفور بهيئة فوسفات الكالسيوم الثلاثية Ca(po4)2 وهي أيضا صور معقدة التركيب وغير جاهزة للنبات .
في حين نجد إن الفسفور أكثر جاهزية عند PH المعتدل أو المتعادل (بحدود PH=7) .

كما نلاحظ إن النترات تمتص بسهولة في الظروف الحامضية لقلة تواجد ايونات OH- في حين NH4 يمتص بكفاءة أعلى تحت الظروف القاعدية لقلة المنافسة مع ايونات H+ وعند PH بحدود 7 تتساوى الصورتين وهكذا . وبناءا على ذلك نجد انه في الظروف العراقية التي تميل إلى القاعدية يفضل استخدام سماد Di calcium CaHPO4.2H2O (DCP)

phosphate ، كما يفضل إضافة الأسمدة النتروجينية بصورة الامونيوم وليست النترات فاستخدام كبريتات الامونيوم اوسماد اليوريا الذي ينتج عنه عند التحلل ايون الامونيوم .
أما بالنسبة للترب الحامضية فيستحسن إضافة Mono calcium phosphate (MCP) Ca(H2PO4)2.H2O .
كما يفضل الترب العراقية إضافة الأسمدة النتروجينية الحاوية على النتروجين بصورة الامونيوم في حين في الترب الحامضية يفضل إضافة الأسمدة النتروجينية على صورة النترات .
من الناحية التطبيقية المعروف إن الترب العراقية هي ترب تميل إلى القاعدية بسبب احتواءها على نسبة من الكالسيوم لذا عند إضافة الأسمدة يجب إن تضاف الأسمدة النتروجينية الحاوية على الامونيوم هذا من ناحية أو من ناحية أخرى لتقليل صورة النتروجين الموجود بشكل نترات لان النترات من العناصر المتحركة فتغسل بعيدا عن مقد التربة بالإضافة إلى عملية عكس النترجة أي فقدان النتروجين على شكل غازات متطايرة لذا يلاحظ في زراعة الرز نظيف النتروجين على شكل آمونيا .
40-10 % من السماد المضاف يفقد على شكل عاز بعملية عكس النترجة لذا يفضل إضافة الأسمدة النتروجينية بصورة امونيوم وليس بصورة نترات لان النترات تفقد بالغسل ثم تتعرض إلى عملية عكس النترجة .
أما بالنسبة للعناصر الصغرى (Fe-Cu-Mn-Bo-----) فتزداد جاهزيتها بانخفاض درجة الحموضة (PH) وهي بصورة عامة أكثر جاهزية حول نقطة التعادل .
كما إن امتصاص Al من قبل معادن الطين يقل في الظروف الحامضية مما يزيد من تركيزه الى حد السمية للنباتات كما قد تحدث سمية بالمنغيزMn في حين يحصل نقص في الحديد والذي قد يحدث كذلك في الترب ذات المحتوى العالي من الكلس مسببا اصفرارا وشحوبا للنبات .
كما ان محتوى الخلايا من الـ K قد يعمل على انخفاض PH اقل من 4 بسبب ضعف خلايا الأغشية النباتية وخروج الـ K حيث إن :

Rate of K-obsorption = K-influx_ K-eflux

محصلة امتصاص البوتاسيوم = البوتاسيوم الداخل _ البوتاسيوم الخارج

2-المادة العضويـــــــــــــة : Organic matter

إن للمادة العضوية تأثيرا مباشرا على درجة تفاعل التربة فالأحماض العضوية عند تحللها تؤدي إلى خفض PH ، إضافة إلى إنها مصدر جيد للعديد من العناصر الغذائية مثل (S,P,N) .
كما إن للمادة العضوية تميل إلى تكوين مركبات مخلبية (Chelate compound) مع كاتيونات العناصر بما له الأثر الكبير على خفض هذه العناصر خاصة العناصر الغذائية الصغرى .
إن المركبات المخلبية : عبارة عن مركبات عضوية تمسك العنصر وتمسكه بأكثر من جهة وتمنع انفراده إلى محلول التربة ومن أمثلة ذلك المركبات المخلبية للعديد المخلبي (Fe-EDTA) .
كما إن للمادة العضوية مشاركة مع (Ca++ في تكوين البناء الحبيبي للتربة الذي يحسن خواص التربة الفيزياوية والبيولوجية والذي ينعكس إيجابا على خواص الترب الرملية والطينية) .

ان ميل المادة العضوية لتكوين مركبات مخلبية مع كل من الـ Al-Ca من فرصة تكوين مركبات معقدة مع الفوسفات مما يزيد من جاهزيتها في التربة .

1- كاربونات الكالسيوم CaCo3 :

تؤثر كاربونات الكالسيوم مباشرة على PH التربة كما إنها مصدر مهم للـ Ca الذي يشارك المادة العضوية في عمليات بناء التربة .
وله تأثيرات سلبية عديدة في التربة الكلسية منها إن وفرة كاربونات الكالسيوم تؤدي الى ترسيب الفسفور بصيغة Ca3(Po4)2 غير الجاهزة .
أضف لذلك فان الكالسيوم يميل إلى الاتحاد مع المواد المخلبية مما يؤدي خروج الحديد حرا إلى المحلول والذي سرعان ما يتحول إلى هيدروكسيد ألحديديك Fe(OH)3 غير الصالح لتغذية النبات والذي يسمى بالشحوب اليخضوري الكلسي والناتج من نقص عنصري الحديد والفسفور وخاصة الحديد .

4- نوع التربـــــــــــة :

يتحكم نوع التربة الى حد كبير بمحتواها من العناصر الغذائية وبجاهزية هذه العناصر .
وذلك بسبب تركيب هذه التربة ونسجتها فالتربة الناعمة ذات المحتوى العالي من الطين تعاني في الغالب من الظروف اللاهوائية (الغدقة) وتسود فيها ظاهرة الاختزال مما يؤدي الى تواجد الحديد بصورة Fe+2 والـ Mn+2 المختزل (الصورة الثنائية) وهي الصورة الجاهزة والقابلة للامتصاص بواسطة جذور النبات لذلك فقد تصل الى حد السمية .
كما ان فقد النتروجين يزداد بعملية (Denitrification) كما يحدث في حقول الرز .
أما في الظروف الهوائية فيكون العكس حيث الحديد في الصورة الثلاثية والمنغنيز بالصورة الرباعية أو سداسية التكافؤ وهما صور غير جاهزة في حين تتحول صور النتروجين الى الامونيا الى النترات بعملية Nitrification بواسطة بكتريا نتروسوموناز Nitrosomonas والـ النتروباكتر Nitrobacter .
ومن الصفات الأخرى المتأثرة بنوع التربة هو محتواها من الماء حيث إن الترب الطينية ذات محتوى عالي من الماء وان سعتها الأيونية التبادلية (CEC) أعلى من الترب الرملية أي ان الترب الرملية ذات محتوى اقل من الـ Ca++, Mg++, K+ , Na+ .

5-أحياء التربـــــــــة :

إن لأحياء التربة دورا هاما في توفير وجاهزية العناصر الغذائية من خلال الـ Nitrification والـ Denitrification كما ان المايكورايزا لها دور في زيادة العقد البكتيرية في النباتات البقولية وفي زيادة امتصاص العناصر الغذائية بسبب تكوين الهايفات وكذلك دورها في تهدم وانحلال المادة العضوية بعملية المعدنة وتحرير العناصر الغذائية الجاهزة للامتصاص الى محلول التربة .
كما ان هناك بكتريا الكبريت المسؤولة عن أكسدة الكبريت المعدني الى صورة الكبريتات التي تمتص من قبل جذور النبات على هذه الصورة .

6-الاكاسيد نصف السداسية :

وهي عبارة عن اكاسيد الالمنيوم والحديد (AL2O3, FeO3) إن زيادتها في التربة تؤدي الى تقليل جاهزية عنصر الفسفور بسبب تكوين فوسفات الالمنيوم والحديد غير الجاهزة للنبات .

7-النبـــــــات :
حيث ان النباتات التي لها قدرة اكبر على التغلغل التعمق تكون لها قدرة اكبر على امتصاص العناصر الغذائية وكذلك فان هناك محاصيل مجهدة للتربة مثل القطن والذرة والبنجر بينما المحاصيل البقولية تكون مفيدة للتربة لما تخلفه من مادة عضوية غنية بعنصر النتروجين ، كما نلاحظ ان مخلفات النجيليات عند إضافتها الى التربة تؤدي الى استنزاف النتروجين من التربة .
كما نلاحظ ان النباتات البقولية ذات قدرة اعلى على إفراز ايونات الهيدروجين والتي تستطيع ان تهاجم صور العناصر الغذائية المعقدة التركيب وإذابتها وجعلها بصورة جاهزة للامتصاص كما في حال صور الفوسفات المرسبة .

8- عوامـــــل أخرى :
نخص بالذكر منها مايلي :
أ- تجوية مادة الأصل :
حيث ان التجوية بكل انواعها الكيمياوية والفيزياوية والبايولوجية تؤدي الى تفتيت الحبيبات وانفراد العناصر الغذائية الى محلول التربة ثم الى النبات .
ب- التعرية : حيث انها بجميع أنواعها تؤدي الى تنخر وانجراف وتقلل من خصوبة التربة ومن جاهزية العناصر .
ت- درجة الحرارة

9- عوامـــل أخرى : وهذه لاتؤثر في الجاهزية قدر تاثيرها بعملية الامتصاص :

التنافس والتضاد والتداخل ، درجة الحرارة ، الرطوبة النسبية ، الضوء ، التكافؤ .

الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989
تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019

Mineral Nutrition and Plant Disease null
by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube
2007

http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/eprint_1_17124_1352.doc

https://www.researchgate.net/publication/329625437_fsywlwjya_tghdhyt_alnbat

https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/BEV/M1%20BVPlantes%2019-20%20Physiologie%20et%20biochimie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20Chaker.pdf

-الانتشار Diffusion :

ويقصد به تحرك الأيونات خلال المحلول الأرضى وبين مواقع التبادل على أسطح الغرويات الأرضية . ويكون اتجاه الحركة من المنطقة ذات التركيز المرتفع للأيون إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض لنفس الأيون محكوماً بطاقته الحركية وليست حركة الماء . فعند امتصاص الأيون بواسطة النبات يقل تركيزه فى منطقة الجذور ،وعلى هذا يحدث تدرج فى التركيز لهذا الأيون بالمحلول الأرضى، وهذا التدريج يتبعه تحرك الأيون فى اتجاه الجذور من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض وبمعنى آخر انتقال مع تدرج التركيز . وهناك عدة عوامل تؤثر على معدل الانتشار فى الأرض منها:

1-محتوى الأرض من الرطوبة : وهنا العلاقة طردية حيث يزداد معدل الانتشار فى نفس الأرض مع زيادةمحتواها من الرطوبة.

-2قوام الأرض : عند نفس الجهد من الماء فى الأرض يزداد معدل الانتشار فى الأرض الطينية عنه فى الأراضى الرملية وذلك لاحتواء الأرض الطينية على مستوى أعلى من الرطوبة عند نفس جهد الماء وأيضا لوجود غشاء متصل للماء حول حبيبات التربة.

-3المسامية : يزداد الانتشار بزيادة نسبة المسام حيث إن الانتشار يتم خلال المسام المملوءة بالماء.

-4مستوى العناصر فى الأرض : يزداد معدل الانتشار كلما ارتفع محتوى الأرض من العناصر، حيث إن المستوى المرتفع من العناصر فى المحلول الأرضى يسمح بتدرج أكبر فى التركيز.

ثانياً: امتصاص الأيونات بواسطة جذور النبات Ions Uptake by plant Roots

من المعروف بأن معظم الماء والعناصر المغذية المعدنية والتى يحصل عليهاالنبات من التربة تمتص بواسطة الشعيرات الجذرية والتى تكون مناطق الامتصاص الكبرى فى النباتات ، ويرجع ذلك لأن جدر خلايا بشرتها خالية من المواد الشمعية والكيتينية والتى تعوق عملية الامتصاص . وعلى الرغم من صغر المساحة التى تشغلها منطقة الامتصاص فى الجذر إلا أن وجود الشعيرات الجذرية بهذه المنطقة يضاعف إلى حد كبير سطح الامتصاص ، أيضا نتيجة تغلل الشعيرات الجذرية بين حبيبات التربة تعرض سطح الامتصاص لأكبر حجم ممكن من الوسط الخارجى . ويوضح شكل (3-2) كيفية وصول الأيونات من التربة سواء الذائبة فى المحلول الأرضى أو المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية المعدنية منها أو العضوية إلى سطح الشعيرات الجذرية وانتقالها داخل الشعيره فى اتجاه خلايا الجذر.

ونظراً لأهمية الجذر فى عملية الامتصاص فيكون من الضرورى الإشارة إلى تركيب جذر النبات والخلية النباتية كى يتسنى لنا تفهم النظريات التى تحاول تفسير عمليات الامتصاص.

الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989
تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019

Mineral Nutrition and Plant Disease null
by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube
2007

http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/eprint_1_17124_1352.doc

https://www.researchgate.net/publication/329625437_fsywlwjya_tghdhyt_alnbat
https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/BEV/M1%20BVPlantes%2019-20%20Physiologie%20et%20biochimie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20Chaker.pdf

البروتوبلاست Protoplast

وهو عبارة عن كل المكونات الحية بالخلية ، وفيه تحدث جميع العمليات والأنشطة الحيوية والفسيولوجية : مثل عمليات البناء ،التمثيل ،التكاثر والنمو. ويقوم بتبطين الجدار الخلوى من الداخل وبذلك يغلفه غشاء حى سيتوبلازمى ذو نفاذية اختيارية . Differentially permeable membrane وينقسم البروتوبلاست إلى قسمين:

1-البروتوبلازمProtoplasm

عبارة عن سائل لزج عديم اللون به عدة حبيبات دقيقة معلقة غير قابلة للذوبان فى الماء ومنها بروتينات ، كربوهيدرات ، مواد دهنية بجانب العناصر الغذائية غير العضوية مثل : البوتاسيوم، الفوسفور ، الكالسيوم ، الماغنسيوم ، الكبريت والحديد...، وعند موت الخلية يفقد هذا السائل خاصيته السائلة ، وينقسم البروتوبلازم إلى قسمين:

-السيتوبلازمCytoplasm

وهو سائل شفاف عديم اللون يملأ معظم فراغ الخلية المرستيمية ويحيط بالفجوة العصارية للخلايا البالغة ، ويمتاز السيتوبلازم بأنه يجمع بين صفتى السيولة والمرونة ، حيث يكون فى الخلايا النشطة فسيولوجياً فى حالة شديدة من السيولة والانسياب حول الأسطح الداخلية لجدر الخلايا والتى عن طريقها يتم نقل المواد الغذائية المختلفة والعمل على توصيل وربط الخلايا ببعضها البعض . و يوجد منغمس فى السيتوبلازم البلاستيدات بأنواعها ، الميتوكاندريا ، الليبوسومات ، الشبكة الإندوبلازمية ، الريبوسومات ، السفيروسومات وجهاز جولجى . ومن أهم مكونات السيتوبلازم الأغشية السيوبلازمية Cytoplasmic membrane وهى عبارة عن غشاء بلازمى خارجى يحيط بالسيتوبلازم ويسمى Plasmalemma وغشاء آخر داخلى يحيط بالفجوة العصارية

ويسمى . Tonoplast وتمتاز هذه الأغشية بالحيوية وقدرتها على تحديد واختيار نوع وكمية المواد الذائبة التى تمر من وإلى الخلية ، وذلك لكونها أغشية حية شبه منفذة.

وتتكون الأغشية السيتوبلازمية أساساً من طبقتين من البروتين بينهما طبقة من الدهون (الليبيدات) فلقد اقترح Overtonسنة 1911 أن هذه الأغشية تحتوى على مواد شبيهة بالدهون Fat-like substance، حيث لاحظ وجود علاقة طردية بين نفاذية الأغشية السيتوبلازمية ودرجة نفاذية المواد الغير قطبية non-polar groups ، حيث إنه من المعروف أن المواد غير القطبية تذوب فى الدهون ومذيباتها بسهولة . ولقد افترض Nathansohn أن الغشاء البلازمى ذو تركيب خليط من الدهون والبروتين ، وتشير الدلائل على أنه تتواجد طبقتان من البروتين على الأسطح الخارجية والداخلية للغشاء البلازمى تعمل كغلاف لطبقتين دهنيتين من نوع الفوسفوليبيد . وتتميز طبقة البروتين بأنها تحمل شحنة كهربائية سالبة حيث إنها تتكون من اتحاد لجزيئات أحماض أمينية مختلفة ، فى حين أن طبقات الدهون الداخلية وحدة تركيبها جزيئات من الأحماض الدهنية المختلفة . ووجد أن الأحماض الدهنية لها طرفان أحدهما محب للماء Hydrophilic قطبية من الكولين والجلسرين وطرف كاره للماء Hydrophobicغيرقطبى ويتكون من أحماض دهنية طويلة السلسلة مشبعة أوغير مشبعة ، وتتقابل نهاية الأحماض الدهنية الكارهة للماء داخل الغشاء فتمنع مرور اى مركبات قطبية من ماء وذائبات وأيونات غير عضوية ، فى حين تُغطى الحواف الخارجية لطبقات الدهون بالبروتين . ويوجد تصور آخر مضمونه بأن طبقة الدهن المزدوجة لا تُغطى بطبقتى بروتين ، بينما يوجد البروتين فى تكتلات ظاهرة وبارزه على السطح الخارجى ، أوقد تكون منغمسة فى طبقة الدهن المزدوجة مكوناً بروتين داخلى وهنا تعمل طبقة البروتين كقناة تسمح بمرور الماء والذائبات.

ومن السابق نجد أن الغشاء البلازمى يعمل كحاجز يمنع انتقال الذائبات والأيونات ، على الرغم من مرور بعض الجزيئات من خلاله بسهولة ، ومن المؤكد بأن مثل هذه المركبات ذات خصائص معينة . أيضاً يكون من المؤكد وجود وسيلةٍ ما يتم بها اختراق الأيون لهذا الجدار ، وهذا ما سوف نتعرض له لاحقاً . و يمكن إيجاز أهمية الأغشية السيتوبلازمية فى:

-1تعمل على تنظيم تبادل المواد الذائبة بين الخلية والوسط المحيط بها.

-2تنظيم حركة الذائبات داخل وبين الخلايا.

-3عزل بعض التفاعلات الكيميائية عن بعضها داخل الخلي.

-4حمل بعض الإنزيمات المهمة للخلية.

-5الاحتفاظ بالمواد الذائبة الضرورية للخلية وأساساً داخل الفجوة العصارية.

-6ربط واتصال الخلايا ببعضها.

-النواةNucleus

وهى الجزء الثانى من مكونات البروتوبلازم وهى عبارة عن جسم بروتوبلازمى كروى أوبيضاوى كثيف لامع يوجد منغمساً فى السيتوبلازم . وبصفة عامة تحتوى الخلية على نواة واحدة عدا بعض الحالات القليلة توجد أكثر من نواة فى الخلية الواحدة . وتحاط النواة بغشاء نووى يشبه فى تركيبه الأغشية البلازمية ، ويمتاز هذا الغشاء بوجود ثقوب به تسمح بمرور المواد البروتينية والأحماض النووية (RNA) وغيرها من النواة إلى السيتوبلازم بالخلية . وتحتوى النواة بداخلها على السائل النووى Nuclear sap ، أو Nucleoplasm ، أيضاً تحتوى على الأحماض النووية RNA و DNAوبعض الإنزيمات الهامة بجانب الشبكة النووية ، وتعتبر المادة الوراثية والتى يتكون منها الكروموسومات نتيجة تكاثفها عند انقسام الخلية.

-2المحتويات الخاملةErgastic substances

وهو القسم الثانى من البروتوبلاست وتشمل جميع المكونات غير النشطة حيوياً ، وتحوى جزءاً سائلاً والمتواجد فى الفجوة العصارية Vacuole ، ويعرف باسم العصير الخلوى Cell sap وهو عبارة عن محلول حامضى

التاثير ذو رقم pH يتراوح بين 5.5 - 6.5. فى حين أن هذا الرقم لباقى مكونات الخلية يكون فى مدى من 6.8 - 7 اى متعادل تقريباً. ومن أهم مكونات العصير الخلوى الغازات - السكريات - الأملاح المعدنية - القلويدات - أحماض عضوية - بروتينات ذائبة . وعموماً تقوم الفجوة العصارية بدور هام فى تنظيم امتصاص الخلية للماء كما أنها تساعد على انتفاخها لتأخذ الشكل الخاص بها ، هذا بجانب قيامها بعملية الإخراج للخلية . هذا ومن المكونات الخاملة فى الخلية الزيوت وبعض المحتويات الصلبة البلورية وغير البلورية

الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989

تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019

http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/eprint_1_17124_1352.doc

https://www.researchgate.net/publication/329625437_fsywlwjya_tghdhyt_alnbat

https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/BEV/M1%20BVPlantes%2019-20%20Physiologie%20et%20biochimie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20Chaker.pdf

Mineral Nutrition and Plant Disease null

by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube

2007

نظرية لونداجاردLundegardh Theory

وتعرف أيضاً بنظرية التنفس الأنيونى Anion respiration أو نظرية مضخة السيتوكروم Cytochrome pump، وتفترض هذه النظرية أن عملية الامتصاص تخضع للأسس الآتية:

-1هناك انفصال تام بين كل من عمليتى امتصاص الأنيونات والكاتيونات.

-2امتصاص الكاتيونات عملية طبيعية بحتة وتتم على خطوتين: الأولى فيها يتحرك من خارج الخلية إلى داخل السيتوبلازم، وهنا تعتبر على أنها عملية تبادل أيونى بين الكاتيون والأيدروجين المتأين من بعض المركبات العضوية فى البروتوبلازم. والثانية يتم فيها انتقال الكاتيون من سيتوبلازم الخلية إلى داخل الفجوة العصارية ويطلق على هذه الخطوة عملية التجمع أو التراكمAccumulation ، كذلك عملية امتصاص الكاتيون عملية عكسية بمعنى أن الكاتيون يمكن أن يتحرك بحرية خلال السيتوبلازم فى اتجاه الداخل أو الخارج نحو جدار الخلية .

-3امتصاص الأنيونات عملية كيميائية بحتة تتم عن طريق جزيئات حاملة من السيتوكروم ، كما أنها عملية غير عكسية ، وتتم عملية امتصاص الأنيونات ضد تدرج التركيز وكذلك ضد تشابه الشحنة.

-4يكون التنفس الأنيونى مسئولاً عن كمية الطاقة اللازمة لعملية امتصاص الأنيونات ضد تدرج التركيز وضد تشابه الشحنة. وقد تمكن لونداجارد من تثبيط هذا النوع من التنفس بإضافة أول أكسيد الكربون أو السيانيد، حيث تعمل هذه المواد على إيقاف عمل إنزيم Cytochrome oxidase، وكان ذلك أحد الأدلة التى اعتمد عليها فى إثبات أن نظام السيتوكروم هو المسئول عن عملية امتصاص الأنيونات وقيامها بعمل المادة الحاملة لها.

وتعتمد ميكانيكية امتصاص الأنيونات بواسطة مضخة السيتوكروم على عملية التنفس التى تعتبر مصدر الإمداد بالإلكترونات الناتجة من تحول الأيدروجين عند السطح الداخلى إلى بروتونات الأيدروجين +H ، والإلكترونات -eومصدر الأيدروجين هنا هو الأحماض العضوية بفعل إنزيمات الديهيدروجينيز . ينتقل الإلكترون المتكون إلى وحدة السيتوكروم ويختزل الحديديك +Fe3 ، إلى حديدوز +Fe2 ، ثم ينتقل من وحدة إلى أخرى فى تتابع مستمر حتى يصل إلى غشاء السيتوبلازم الخارجى البلازمالما plasmalemma وعندها يفقد حديد السيتوكروم الإلكترون المُكتسب ويتحول إلى حديديك الذى يكون مستعد لاستقبال إلكترون آخر من الداخل ، أو أنيون من الخارج ويأخذ الصورة حديد - أنيون (-Fe - A) ، وينتقل هذا الأنيون إلى داخل الخلية فى تتابع مماثل حتى الوصول إلى الفجوة العصارية وعندها يتم تبادل الأنيون مع إلكترون جديد (شكل 3-7) . ويلاحظ أن الإلكترونات التى فقدت من حبيبة السيتوكروم الأخيرة والمتبادلة مع الأنيونات تتجه إلى الأكسجين الداخل للخلية للتنفس وتحوله إلى أنيونات -O2 أكسيجين . وأخير يتحد مع الأيدروجين الناتج من دورة كربس ويتكون جزىء الماء كما يتضح من المعادلة:

ونتيجة لامتصاص الأنيونات السالبة بهذة الكيفية وتراكمها داخل الخلية يترتب عليها أن يتكون فرق جهد سالب على الجانب الداخلى للخلية يعمل على جذب الكاتيونات الموجبة الشحنة ضد تدرج التركيز . وتعتبر هذه النظرية من أوائل النظريات التى أعطت أهمية لدور الطاقة فى عملية الامتصاص.

-الاعتراضات على نظرية لونداجارد:

يوجد عدة اعتراضات لهذه النظرية ذكرها صادق وآخرون سنة 1997 عن الباحث Sutcliffe سنة 1962 وتتمثل فى:

-1فى حالة وجود حامل واحد للأنيونات فيكون من المتوقع وجود تنافس بين الأنيونات على هذا الحامل، وهذا لم يثبت إلا بين -Br ، -Clدون -NO3 ، -H2PO4، كذلك لم يحدث تنافس بين الهاليدات (-F , -Cl , -Br) والكبريتات =SO4 مما يؤكد وجود أكثر من حامل.

-2فى بعض الحالات يكون امتصاص الملح مرتبط مع الأسكوربيك أوكسيديز بدلاً من السيتوكروم أوكسيديز، حيث ثبت أن السيتوكروم أوكسيديز غير موجود أصلاً فى الغشاء.

-3وجد أن بعض الكاتيونات مثل +Na و +K لها القدرة على أن تحفز التنفس، وبالتالى فإن ظاهرة التنفس الملحى ليست مقصورة على الأنيونات فقط ، ولكن قد تكون مرتبطة بالكاتيونات أيضاً.

-4وجد أن مركب DNP وهو مثبط للأكسدة الفوسفورية قد شجع التنفس إلى أقصاه ، ولكن قلل امتصاصKcl ، وهنا يجب أن تتوقف عملية الامتصاص فى حالة صحة افتراض لوندا جارد.

-5وجد أن تحت الظروف المناسبة أكثر من أربعة إلكترونات يمكن أن تنتقل إلى خارج الخلية لكل جزىء O2 يُستهلك ، وهذا عكس افتراض لونداجارد والذى يحدد أن أقصى عدد للأنيونات يمكن انتقاله مع استهلاك جزىء O2هو أربعة فقط. وبالتالى فإن مبدأ انتقال الأيون معتمداً على الارتباط المباشر مع الالكترون ومضخة الاختزال يعتبر غير صحيح.

-6عجزت هذه النظرية فى تفسير الاختيارية لامتصاص الأيونات ، ووضح ذلك مع كثير من النباتات.

ومن هنا نجد أن أهم ما أضافته نظرية لونداجارد هو لفت الانتباه إلى دور الطاقة فى عملية الامتصاص الحيوى.

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 (شكل3-8)، وتتحرك هذه الأيونات إلى داخل الجذر بوسيلتين:

الأولى:

تحرك الأيون من سيتوبلازم إلى سيتوبلازم الخلية المجاورة جهة الداخل عن طريق الخيوط البلازمودزمية التى تربط سيتوبلازم الخلايا مع بعضها البعض حتى يصل إلى الأوعية الخشبية

كيفية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائى

كما سبق القول بإن العنصر الغذائى الواحد يوجد فى أكثر من صورة فى النظام الأرضى ، وأن النبات يمتص العنصر الغذائى فى صورته الأيونية ، وهذه الصورة تكون ذائبة فى المحلول الأرضى . إلا أن مقادير هذه الصورة قد تكون قليلة جداً وقد لا تفى بحاجة النبات ، بينما الجزء الأكبر منه على صورة غير ذائبة مرتبط بالطور الصلب من الأرض ، وذلك إما داخله فى تركيب المعادن الأرضية ، أو مدمصاً على أسطح الغرويات الأرضية المعدنية منها والعضوية ، أو داخله فى تركيب المادة العضوية.

بامتصاص العناصر الغذائية من المحلول يقل تركيز تلك العناصر فى المحلول الأرضى وخاصة فى المناطق المحيطة بالجذر. ويتبع ذلك أن تنطلق كمية من العناصر الموجودة داخل الجزء الصلب أو المتبادلة على أسطحه إلى المحلول الأرضى ليرتفع تركيزها مرة أخرى . وتتم عملية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائى بالخطوات التالية:

-1انتقال العنصر الغذائى خلال المحلول الأرضى إلى جذر النبات.

-2امتصاص العنصر(الأيون) بواسطة الجذر.

-3انتقال العنصر داخل النبات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية.

أولاً: انتقال العنصر الغذائى خلال المحلول الأرضى إلى جذر النبات:

أهمية انتقال العناصر المغذية فى التربة لجعلها فى صورة صالحة للنبات تم تأكيدها لأول مرة بواسطة Barber سنة 1962. وكانت فكرته تتركز فى ثلاث طرق أساسية : الاعتراض الجذرى ، التدفق الكتلى والإنتشار .

(1)الإعتراض الجذرى : وفيه يتم إحلال الجذر محل حجم معين من التربة ويتوقف هذا الحجم على حجم الجذر

)امتصاص العنصر يتم بدون انتقاله فى المحلول الأرضى. (

(2)التدفق الكتلى : وفيه يحدث انتقال للمحلول الأرضى حسب المحتوى الرطوبى بالأرض (أى يصل العنصر إلى الجذر بالانتقال. (

(3)الانتشار : وفيه ينتقل العنصر خلال المحلول الأرضى وذلك حسب تدرج التركيز=العنصر الميسر (المقدر بواسطة اختبارات التربة. (

وأمكن توضيح وحساب مساهمة كل طريقة من هذه الطرق فى الكمية الممتصة من عناصر الكالسيوم، الماغنسيوم، البوتاسيوم والفوسفور بواسطة نبات الذرة والمنزرع فى أرض طمييية سلتية خصبة والبيانات فى جدول (3-1) ، ويلاحظ من هذا الجدول أن فى هذه الأرض، يساهم التدفق الكتلى بالجزء الأساسى من كمية الكالسيوم والماغنسيوم الممتصة، فى حين تتوقف الكمية الممتصة من البوتاسيوم والفوسفور على الانتشار ، بالإضافة إلى ذلك يلاحظ أن كمية الكالسيوم والماغنسيوم التى تصل إلى جذر النبات عن طريق التدفق الكتلى تفوق الكمية الممتصة ، وهذا يعنى أنه قد يحدث تراكم لهذه الأيونات على السطح الخارجى للجذر.

**على أساس أن حجم الجذر يمثل 1% من حجم التربة .

**حسب الكمية المقدرة باختبارات التربة .

الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989

تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019

http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/eprint_1_17124_1352.doc

https://www.researchgate.net/publication/329625437_fsywlwjya_tghdhyt_alnbat

https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/BEV/M1%20BVPlantes%2019-20%20Physiologie%20et%20biochimie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20Chaker.pdf

Mineral Nutrition and Plant Disease null

by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube

2007

-الاعتراض الجذرى والتبادل بالتماس Root interception and contact exchange

هناك عدة نقاط مهمة يجب معرفتها لكى يتضح لنا كيفية حصول النبات على ما يلزمه من العناصر المغذية بهذه الطريقة . فكما هو معروف أنه مع نمو النبات تنمو الجذور أيضاً وتتفرع الشعيرات الجذرية ،ومع نموها تصل إلى أماكن من التربة لم يتطرق إليها الجذر من قبل بما فيها من عناصر غذائية ذائبة أو متبادلة ، أى يحدث إمداد جديد للنبات بالعناصر الغذائية (والماء) وهذه العملية تعرف باسم الاعتراض الجذرى Root interceptionوفيها يصل العنصر إلى الجذر عن طريق التلامس المباشر خلال المحلول الأرضى أو عن طريق تلامس الجذر مع الأيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية ، وهذه العملية الأخيرة تعرف باسم نظرية التبادل بالتماس . Contact exchange theory

وتفترض هذه النظرية انتقال العناصر الغذائية من على أسطح التبادل (غرويات الأرض) إلى سطح جذر النبات مباشرةً بدون المرور بالمحلول الأرضى ،حيث تعتمد هذه النظرية على أن الأيونات المدمصة على أسطح الغرويات الأرضية أو على جذر النبات يكون لها حجم معين وحيز يحدث فيه تذبذب هذه الأيونات ، وعند تداخل مناطق التذبذب هذه بعضها مع البعض يحدث تبادل فى مواقع الأيونات المدمصة على سطحى الغروى والجذر . والكميه المتبادلة تكون متكافئة وفى الغالب يكون التبادل بين أيونات الأيدروجين (+H) الذى تفرزه الجذور والأيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية . وهناك بعض الاعتراضات على هذه النظرية حيث إن حجم القمة النامية فى الجذر والمسئولة عن هذه العملية صغيرة جداً . وعموماً تكون كمية العناصر المغذية التى يحصل عليها النبات بهذه الطريقة تكون صغيره بالنسبة للكمية الكلية التى يحتاجها النبات ، وذلك لأن كمية المغذيات التى يمكن أن تتلامس مباشرةً مع الجذر هى الكمية الموجودة فى حجم من الأرض مساو لحجم الجذر .فإذا افترضنا أن الجذر يشغل 1% من حجم الأرض، والمسافات البينية تشغل 50% من حجم الأرض فإن الجذر يشغل 2% من المسافات البينية . وعلى ذلك يمكن حساب الكمية الميسرة للجذر بهذه الطريقة، وفى هذه الحالة سوف تكون أقل من 2% من الكمية الميسرة للعنصر فى الأرض . وبصفة عامة تتوقف مساهمة هذه الطريق فى إمداد النبات بالعناصر المعدنية على : تركيز العناصر فى منطقة حجم

الجذر ، حجم الجذر ونسبته من حجم الطبقة السطحية للأرض وهو يمثل حوالى1 % وأخيرا الحجم الذى تشغله المسافات البينية من الحجم الكلى للتربة وهو يمثل عادة 50% . ولذلك تلعب طريقتا التدفق الكتلى والانتشار دور كبير فى حركة وانتقال العناصر من مسافات ليست قصيرة إلى جذر النبات.

2-التدفق الكتلىFlow Mass:

عند امتصاص النبات للماء فى منطقة الجذور ، تقل كمية الرطوبة فى هذه المنطقة وعلى هذا ينتقل الماء من الأماكن ذات الرطوبة المرتفعة ببطء إلى سطح الجذور . وبالتالى تنتقل المغذيات النباتية الذائبة والمحمولة بهذا الماء إلى الجذور عن طريق التدفق الكتلى. على ذلك تتوقف كمية المغذيات النباتية التى يحصل عليها النبات بهذه الطريقة على الاستهلاك المائى للنبات Water consumption of the plant وتركيز العناصر فى الماء. وفى منطقة الجذور ، تركيز العناصر قد يزداد أو يقل أو يظل ثابت ويتوقف ذلك على التوازن بين معدل الإمداد للجذور بواسطة التدفق الكتلى ومعدل الامتصاص بواسطة النبات.

وكمثال ، فإن تركيز الكالسيوم فى الأرض يتراوح بين 8 إلى 450 جزء فى المليون ، بينما تركيزه فى نبات الذرة هو 2200 جزء فى المليون ، وعلى ذلك عند التركيز المنخفض فى المحلول الأرضى من هذا العنصر لابد أن يمتص كمية ماء أكثر من وزنه بمقدار 275 مرة لكى يحصل على هذه الكمية من الكالسيوم وهذا لا يتأتى إلا عن طريق التدفق الكتلى . وبعبارة أُخرى إذا كان معدل النتح لنبات الذرة هو 275 وتركيز الكالسيوم فى المحلول الأرضى هو 8 جزء فى المليون، فعند هذا التركيز تكون كمية الكالسيوم التى يمتصها نبات الذرة كافية لاحتياجاته . وفى الواقع أن معامل النتح transpiration coefficient للنبات يتراوح بين 300 - 600 لتر ماء / كجم مادة جافة، وعلى ذلك نجد أن كمية أكبر من احتياجات النبات لعنصر الكالسيوم تنتقل إلى الجذر عن طريق التدفق الكتلى.

عن Barber سنة 1962.

بالنسبة للفوسفور فإن الأمر يختلف تماماً عن الكالسيوم (جدول 3-2) ، حيث يكون تركيز الفوسفور الذائب فى التربة منخفض بصفة عامة ، كما هو واضح من الجدول السابق وعند التركيز المنخفض 0.03 جزء فى المليون نجد أن لكى يحصل النبات على احتياجاته من هذا العنصر ويصل تركيز الفوسفور به 2000 جزء فى المليون، لابد أن يكون معدل النتح هو 66666 وهذا غير منطقى . وعلى ذلك لابد وأن هناك

طرقاً أُخرى ينتقل بها العنصر إلى جذر النبات ومن أهم هذه الطرق هى الانتشار.

الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989

تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019

Mineral Nutrition and Plant Disease null

by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube

2007

الامتصاص البسيط Passive Uptake

وفيه ينتقل الأيون أو الجزىء من المحلول الأرضى ذو التركيز المرتفع منها إلى الجدار الخلوى حيث تركيزها المنخفض نسبياً بدون أى عائق وبطريقة عكسية حتى يصل إلى حالة الاتزان ،أى عن طريق الانتشار أو والتدفق الكتلى . وقد أطلق العلماء على الجزء من الخلية.

)أو النسيج النباتى) والتى تتحرك فيه الأيونات بواسطة الانتشار اسم الفراغ الحر Free space والذى يشغل مساحة محسوسة من نسج الجذر حوالى 10% من حجم الجذور الحديثة، و 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 بطريقتين هما:

-الانتشارDiffusio :

فمثلاً عند وضع الخلية أو نسيج نباتى فى محلول ملحى ، فنجد أن الأيونات تنتقل من المحلول حيث التركيز المرتفع إلى الفراغ الحر حيث التركيز المنخفض وذلك عن طريق الانتشار وتستمر هذه العملية حتى يتساوى التركيز داخل وخارج الفراغ الحر فيتوقف الانتشار.

-الادمصاصAdsorption :

نظراً لوجود شحنات سالبة على الجدار الخلوى للجذر نتيجة لوجود مجموعات الكربوكسيل (-R-COO) فمن الممكن أن تدمص الكاتيونات عليها عن طريق قوى الجذب الإلكتروستاتيكية مما يساعد فى انتقال الكاتيونات من المحلول وتراكمها فى داخل الفراغ الحر ، بينما يحدث تنافر للأنيونات ، ويلاحظ أن هذه العملية لا تحتاج إلى أى عمليات حيوية.

-اتزان دونانDonnanEquilibirium

وفيه يحدث حالة من الاتزان على جانبى غشاء ما بدون تساوى تركيز الأيون الواحد . ويحدث ذلك عندما يسمح غشاء يفصل بين محلولين لأيون واحد من زوج من الأيونات بالمرور خلاله ولا يسمح بمرور الأيون الآخر، وهنا يتم الاتزان بفرض أن الأيونات الداخلة فى النظام أحادية التكافؤ إذا كان حاصل ضرب التركيز الجزيئى Molar Concentrationللكاتيونات والأنيونات على جانب من الغشاء يتساوى مع حاصل ضرب تلك الأيونات على الجانب الآخر من الغشاء. وقد وجد أن هذا الاتزان لا يحدث غالباً كما شرحه Donnan فى خلايا النباتات الحية . حيث وجد بعد ذلك أن جذور النباتات الراقية لها القدرة على أن تمتص الأيونات ضد تدرج التركيز بالرغم من أن اتزان دونان لا يحدث فى كثير منها، مما يدل على أن البروتوبلازم له قدرة اختيارية على امتصاص العناصر . مما سبق يمكن إيجاز خصائص الامتصاص البسيط فيما يلى:

-1لا يحتاج إلى طاقة أى لا يعتمد على النشاط الحيوى للخلية (حيث إن عملية الانتشار والادمصاص يمكن أن تتم فى أنسجة النبات الحية أو الميتة ، أيضاً يمكن تتم فى المواد المُخلقة صناعياً سواء بسواء . (

-2الامتصاص يتم بطريقة عكسية.

-3الامتصاص هنا ليس اختيارى.

-4الانتشار البسيط عملية بطيئة جداً ولا تفسر كيفية امتصاص النباتات للأيونات والعناصرالغذائية ضد تدرج التركيز ، كما أنها لا تتميز بالسرعة اللازمة لحياة النبات ونموه.

وعلى ذلك يمكن القول بإن الانتشار البسيط واتزان دونان يعجزان عن تفسير الطريقة التى يمتص بها النبات العناصر الغذائية ويجمعها ضد تدرج التركيز.

ثانياً : نظرية التحول الكيميائى

وتفترض هذه النظرية أن الأيونات الممتصة قد تدخل فى تفاعل كيميائى بمجرد دخولها الخلية ، أى يحدث لها تحول إلى صورة أخرى ، وعلى ذلك يستمر دخولها إلى الخلية رغم انخفاض تركيزها خارج الخلية .
وتفسرنظرية التحول الكيميائى كيفية انتقال جزيئات السكر من أماكن تخليقها فى الأوراق إلى أماكن تخزينها فى الدرنات أو الثمارعلى صورة نشا ، وبذلك يظل تركيز السكر منخفضاً فى أعضاء التخزين مما يشجع على استمرار انتقاله إليها . ومع ذلك فهذه النظرية تعجز عن تفسير استمرار تجمع النترات والبوتاسيوم فى الفجوة العصارية بدون تحول كيميائى إلى أن بلغ تركيزها داخل الفجوة عشرات الأضعاف من تركيزها خارج الخلية.

ثالثاً : نظرية الامتصاص التبادلى (نظرية ثانى أكسيد الكربون(CO2

بنى أساس هذه النظرية على الملاحظة التى مؤداها أن كمية الأيونات التى يمتصها النبات تتناسب طردياً مع كمية CO_2الناتجة من التنفس ، وهنا يكمن الاعتقاد بوجود علاقة بين امتصاص النبات لأيونات العناصر ، وحمض الكربونيك Carbonic acid (H_2CO_3) ، وتعتمد هذه النظرية على اعتبار سطوح جذور النبات سطوح فعالة ونشطة لها خاصية التبادل الأيونى . وسبق ذكر أن الأغشية السيتوبلازمية وهى أحد مكونات البروتوبلازم تحمل شحنات كهربائية غالباً تكون سالبة وعلى ذلك يكون من المتوقع وجود طبقة كهربائية مزدوجة على هذا السطح ، الداخلية منها سالبة بينما الخارجية تكون موجبة وتتكون من الكاتيونات المتبادلة . أى أن للجذور سعة تبادلية كاتيونية والتى تختلف حسب نوع النبات وعمرة ودرجة تركيز أيون الأيدروجين...إلخ ، وفى العادة تكون الجذور الغليظة ذات سعة تبادلية كاتيونية عالية بالمقارنة بالجذور الرفيعة ، وسبق الإشارة لها قبل ذلك .

نظرية غاز ثانى أكسيد الكربونCO_2 ، وفيها يحدث ذوبان لغاز ثانى أكسيد الكربون المتكون من عملية التنفس

فى المحلول الأرضى يتكون حامض الكربونيك وبتأين الحامض ينتج أيون الأيدروجين والذى يتبادل مع البوتاسيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية ، وينطلق البوتاسيوم فى المحلول الأرضى أو يتفاعل مع أيون البيكربونات ، ويعود إلى سطح الجذر ويتبادل مع أيدروجين سطح الجذر ، وبالتالى يكون من السهل امتصاصه من قبل النبات.

ويجب ملاحظة أن الكاتيونات المتبادلة على أسطح الجذور لا يمكنها أن تنفرد ثانياً إلى الخارج إلا بتبادلها مع كاتيونات أخرى متواجدة فى منطقة الريزوسفير . أماعملية تبادل الأنيونات فهى ضئيلة جداً بالمقارنة بعملية تبادل الكاتيونات السائدة على جذور النبات.

الخصوبة وتغذية النبات/ القرواني، محيي الدين1979تغذية النبات/ الريس، عبد الهادي جواد1988تغذية النبات التطبيقي/ الصحاف، فاضل حسين1989

تغذية النبات النظري والعملي(مظفر أحمد داود الموصلي وآخرون)2019

http://www.uobabylon.edu.iq/eprints/eprint_1_17124_1352.doc

https://www.researchgate.net/publication/329625437_fsywlwjya_tghdhyt_alnbat

https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/BEV/M1%20BVPlantes%2019-20%20Physiologie%20et%20biochimie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20Chaker.pdf

Mineral Nutrition and Plant Disease null

by Lawrence E. Datnoff (Author, Editor), Wade H. Elmer (Editor), Don M. Hube

2007

: نظريات الامتصاص النشطActive Uptake

من النتائج المبوبة فى جدول (3-4) يتضح جلياً انتقال الأيونات ضد تدرج التركيز ، وعلى سبيل المثال نجد أن تركيز البوتاسيوم فى الفجوة العصارية لجذور نباتات الذرة يزيد حوالى 80 مرة عنه فى المحلول المغذى . وعلى العكس نجد أن تركيز الصوديوم فى العصير الخلوى لجذر نفس النبات يظل منخفضاً بالمقارنة بالتركيز فى المحلول الخارجى، وهذا يؤكد بأن هناك مفاضلة فى امتصاص العناصر . ولا يمكن أن يحدث ذلك تلقائياً بل يحتاج إلى طاقة وطبيعى أن يكون مصدر هذه الطاقة النشاط الحيوى بالخلية وعلى ذلك أُطلق على هذا الامتصاص اسم الامتصاص النشط أو الامتصاص الحيوى. وهناك بعض الشواهد التى تؤكد أن هذا الامتصاص يحتاج إلى طاقه منها:

-1يزداد معدل امتصاص الأيونات بارتفاع درجة الحرارة (حتى حدود معينة) وذلك لأن الحرارة تُزيد من النشاط الحيوى للخلية.

-2يزداد معدل الامتصاص مع زيادة ضغط الأكسيجين فى وسط نمو الجذور ، أى ان الامتصاص مرتبط بعملية التنفس . وقد لوحظ أن عملية الامتصاص تقل بإضافة مثبطات لعملية التنفس.

-3يزداد معدل الامتصاص مع زيادة محتوى الجذر من الكربوهيدرات حيث تعمل هذه المركبات كمصدر للطاقة .

وتحاول نظريات الامتصاص النشط (الحيوى) تفسير ماعجزت عنه النظريات السابقة من إمكانية امتصاص النبات للعناصر وتراكمها فى الفجوة العصارية ضد تدرج التركيز وكذلك كيفية امتصاص النبات للأنيونات السالبة الشحنة واختراقها لسطح الجذر ذات الشحنة السالبة ، ومن هذه النظريات:

-1نظرية الناقل (المواد الحاملةCarrier Theory))

بجانب نتائج تجارب هوجلاند السابق ذكرها على الطحالب ، نجد أن النباتات تعتمد فى حياتها على تفضيل نوع معين من الأيونات على حساب أنواع أخرى إذا ما وجد الجميع معا فى وسط نمو الجذور كما يتضح ذلك مع نباتات الذرة (جدول 3-2) . ويعنى هذا أن النظام الناقل للأيونات إلى داخل الكائن الحى يمكنه التميز بين أنواع الأيونات الموجودة خارج هذا الكائن حتى ولو كانت هذه الأيونات على درجة كبيرة من التشابه ، أى أن هذا الانتقال اختيارى وفى نفس الوقت حيوى . وهنا يكون من المؤكد وجود مادة أو مواد معينة داخل جسم النبات لها القابلية لحمل أيون معين دون آخر، حيث يُحمل الأيون عليه مكونا معقد الحامل والأيون ، ويتحرك هذا المعقد من الخارج إلى الداخل فقط ويتحرر الأيون فى داخل الفجوة العصارية ويستعيد الحامل نشاطه وقدرته على نقل أيون معين آخر... وهكذا . وتختلف الآراء حول طبيعة المواد الحاملة فيرى البعض بأنها عبارة عن مادة السيتوكروم كما اقترح لونداجارد ، أو مواد عضوية مشابهة للمواد التى اكتشفت فى البكتريا ، فى حين قرر أوسترهاوات بأنها كحوليات عضوية فى حين يرى البعض الآخر أنها أحماض عضوية أو البروتوبلازم نفسه قد يعمل حاملاً للأيونات ، إلا أنه وجد أن الخاصية الاختيارية فى كثير من الأحيان تكون غير كاملة وخاصة مع الأيونات المتماثلة فى الشحنة والتكافؤ . وكما سبق ذكر أن خاصية عدم نفاذية بعض الأغشية للمواد المحبة للماء (الأيونات) إلى احتواء هذه الأغشية على جزيئات الليبيدات . ومن هنا يكون من المحتمل أن تكون المواد الحاملة هى جزيئات من الليبيدات التى يسمح لها هذا الغشاء بالمرور خلاله وتعزز بعض البحوث هذا الرأى وترفضه بحوث أخرى.

ومن ناحية التخصص يرى فريق من الباحثين أن هناك أنواعاً مختلفة من المواد الحاملة يختص كل منها بأيون معين أو مجموعة من الأيونات المتشابهة أى أن هذه المواد تكون متخصصة ، فى حين يرى فريق آخر بأن هناك نوعاً واحداً من المواد الحاملة يمكنها حمل جميع الأيونات ، ولكنها تفضل أنواع معينة على أنواع أخرى إذا وجدت فى متناول هذه المواد الحاملة . وهكذا فإن طبيعة تلك المواد 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.

ويمكن القول بوجه عام إن هناك اتفاق بين معظم الباحثين فى هذا المجال على أن المواد الحاملة غير ثابتة التركيب حيث يتغير تركيبها الكيميائى أثناء حملها للأيونات المختلفة ، نتيجة تكوين مواد وسطية ناتجة من عمليات التحولات الغذائية ، وقد تعمل كمعقدات مخلبية.Chelating complexes

ويمكن تفسير طريقة النقل (الامتصاص) النشط للأيونات خلال الأغشية كما يوضحها شكل (3-6) بما يلى:

-1يتم تخليق مواد بالغشاء تعرف بالمواد الحاملة. Carriers

-2ترتبط المواد الحاملة مع الأيون عند السطح الخارجى للغشاء وتكون معقد بين الأيون والحامل.

-3انتقال معقد الأيون والحامل داخل الغشاء الخلوى.

-4عند السطح الداخلى للغشاء ينفرد الأيون عن الحامل ويتجه إلى داخل العصير الخلوى حيث يتم تراكمه.

-5تتحرك المادة الحاملة مرة أخرى تجاه السطح الخارجى لحمل أيون جديد وهكذا.

وتحتاج المواد الحاملة إلى طاقة لكى تقوم بعملها ويكون مصدر الطاقة هومركب Adenosine (ATP)) (triphosphateالذى يقوم بتزويد الحامل بعنصر الفوسفور فيحوله إلى حامل نشط) Active carrier نتيجة تفاعل إنزيم فوسفات كينيز الموجود على السطح الداخلى للغشاء مع ATPحيث يتحول إلى + ADPفوسفات غير عضوية) ، وبالتالى يتمكن هذا الحامل من الحركة خلال الغشاء والارتباط مع الأيون . وعند الجدار الداخلى للغشاء يصبح الحامل غير نشط بفقده للفوسفور، وفى هذه الحالة لا يستطيع المرور خلال الغشاء أو حمل الأيون.

انتقال الأيونات خلال الجدار الخلوى للخلية بواسطة الحامل

فى نموذج A يلاحظ توسط المواد الحاملة للأيونات للجدار ، وفى نموذج B يلاحظ مدى مساهمة مركبات الطاقة فى عملية انتقال الأيون.

وعلى ذلك نجد أن الأيون غير حر فى تحركه خلال الغشاء بمفرده. ولكنه يتحرك بعد أن يصبح جزءاً من مكونات مواد معينة (الحامل) ، ثم يصبح أيون حر مره أخرى عند انفصاله عن الحامل عند السطح الداخلى للغشاء . ولا يمكن للأيون الرجوع مره أخرى إلى حيث كان ، نظراً لقلة نفاذية الغشاء ، وكذلك لأن الحامل فقد نشاطه وأصبح خاملاً وفقد الارتباط بالأيون.

ومن الجدير بالذكر بأن على كل مادة حاملة مواقع ربط Binding sites متخصصة لكل نوع من الأيونات ، مما يساعد على الامتصاص الاختيارى Selective transport للأيونات