كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : تغذية ونمو

المحاضرة : الخامسة/نظري/د.ريم

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

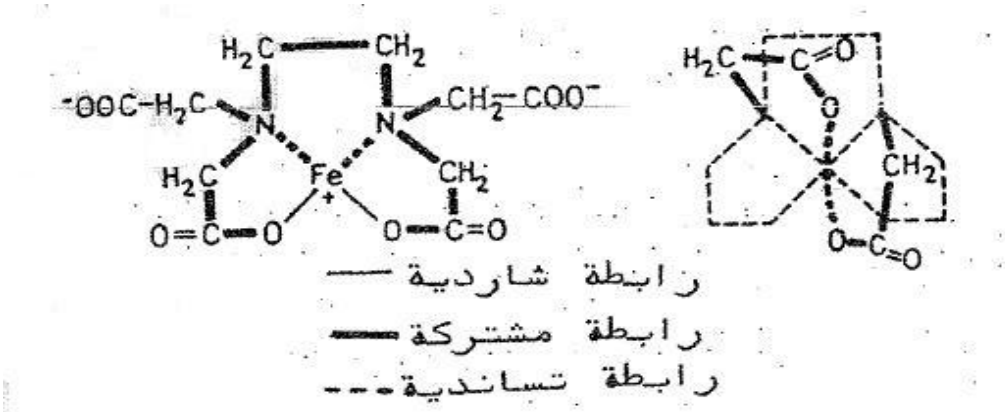
التغذية النباتية

آليات الامتصاص ونظرياته.

يعد محلول التربة المصدر الأساسي الذي يستمد منه النبات الماء وجميع عناصره المعدنية الضرورية. ويمتاز محلول التربة بكونه ممدد جداً وضغطه الحلولي لا يتجاوز 0.1 إلى 0.2 ض. ج وتتباين مكونات محلول التربة باختلاف الأراضي وتكون صعبة التحديد حيث لا يمكن استخلاصها من دون أن تكون ملوثة بدقائق التربة أو غروياتها.

تتوزع الشوارد في محلول التربة بشكل عشوائي وقد يلاحظ Ca^{++} و Mg^{+2} و Na^{+} و $SO4^{-2}$ والكربونات $HCO3^{-}$ والنترات $NO3^{-}$ ويتراوح تركيز هذه الشوارد ما بين 0.1–1 ميلي مكافئ. وتساهم عمليات التبادل الشاري التي تجري بين المحلول ودقائق التربة في تعويض الشوارد التي تنتزعها النباتات من المحلول.

يحتوي محلول التربة على معقدات عضوية معدنية تعرف باسم المتمخلبات وتوجد بشكل معلقات مثل ممخلبات الحديد الثلاثي. وتساهم المتمخلبات في تسهيل لعملية الامتصاص، حيث يصعب على بعض النباتات أن تمتص بعض أنواع الشوارد من أملاحها مباشرة.

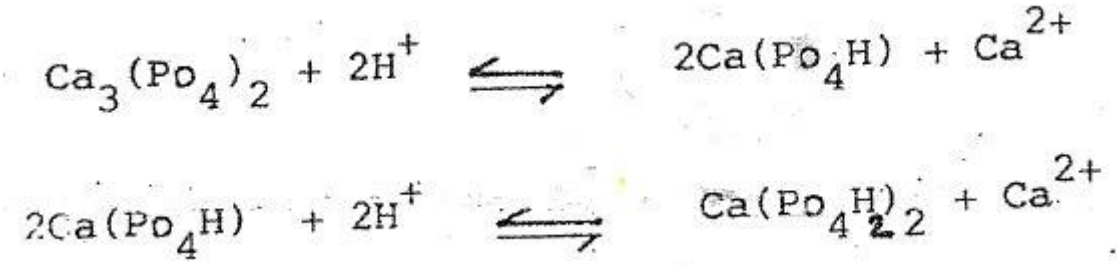


الشكل 1: متمخلبات الحديد الثلاثي (اسيتات الحديد الثلاثي)

إن حجم دقائق التربة أيضا يساهم في سهولة عمليات التبادل وتهوية الجذور. وتكون هذه الدقائق قابلة للانحلال جزئياً بماء المطر الغني بغاز ثنائي أوكسيد الكربون والذي يتمتع بحموضة ضعيفة وينحل بشكل أكبر بفضل الجذور النباتية التي تطلق H^{+}.

من أمثلة **دقائق التربة**: الدقائق الكلسية النشطة متناهية الصغر وذات المسامية العالية والتي تسمح للجذور بالنفاذية عبرها وتنحل في التربة على شكل ثنائي فحمات الكالسيوم وفق التفاعل التالي:

دقائق الفوسفات ثلاثية الكالسيوم وتنحل هذه الدقائق أيضاً بفعل شوارد الهيدروجين المنطلقة من الجذور وفق مايلي:



كما ان غرويات التربة بشكليها الغضاري والدبالي كما مر معنا سابقا تمتلك القدرة على ادمصاص الشوارد الموجبة بشكل عكوسي وتتبادل هذه الشوارد مع البروتونات أو شوارد أخرى على الشكل الآتي:

العوامل المؤثرة على امتصاص الأملاح:

1- **الحرارة والضوء**: يزداد امتصاص أغلب الشوارد بازدياد درجة الحرارة في الحدود الفيزيولوجية أي بدءاً من بضع درجات وحتى 35-40م، وبعد ذلك فإن الامتصاص أما أن يزداد أو يتناقص وذلك بحسب تركيز الوسط,

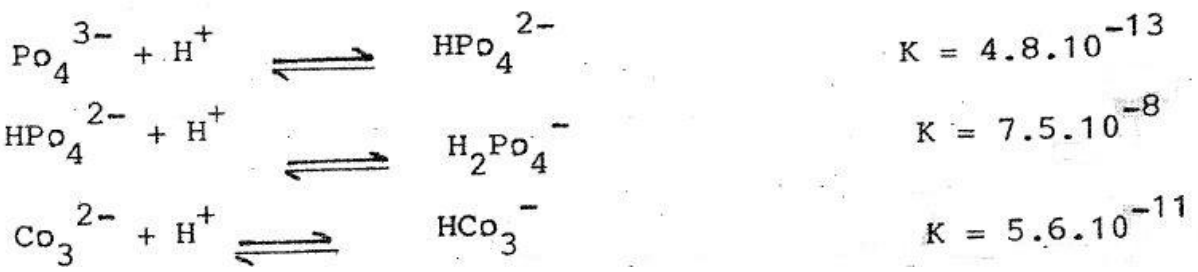
يزيد الضوء من شدة الامتصاص وذلك بشكل غير مباشر، حيث أن الضوء يزيد من التعرق وتيار الماء وبالتالي يزيد من نسبة السكر وذلك في النباتات الراقية. أما في الطحالب فإن للضوء تأثير مباشر على بنية السيتوبلاسما وبالتالي الخلية وعملية الامتصاص.

2- **أهمية PH:** تتراوح قيم PH محلول التربة بين 5 و8 في الأراضي الكلسية وتكون الحموضة مقاربة للرقم 3 أي ترب حمضية في الأراضي الدبالية، وأما الأراضي الملحية فتكون قيمة مرتفعة 9.5.

إن أفضل درجات الحموضة للترب الزراعية هي بين 5إلى 8 وتختلف العتبة المثلى لكل منها حسب النوع النباتي؛ ويمكن أن نفهم تأثير درجة الحموضة من خلال فهم دورها في تشكيل الشوارد أو تأثرها بها، حيث تعمل درجات الحموضة القاعدية على تشكيل مائيات فحم غير منحلة مثل ماءات الحديد في PH=6 على النحو التالي:

وتعالج مثل هذه الظاهرة بالمتمخلبات العضوية التي تقلل من عدد المائيات الغير منحلة.

أما في حالة PH الحامضية تنحل فوسفات وكربونات الكالسيوم عن طريق تحقيق التوازن الشاردي:



حيث K ثابت التشرد ويحسب من العلاقة: $K = (H^+)(A^-)/(AH)$

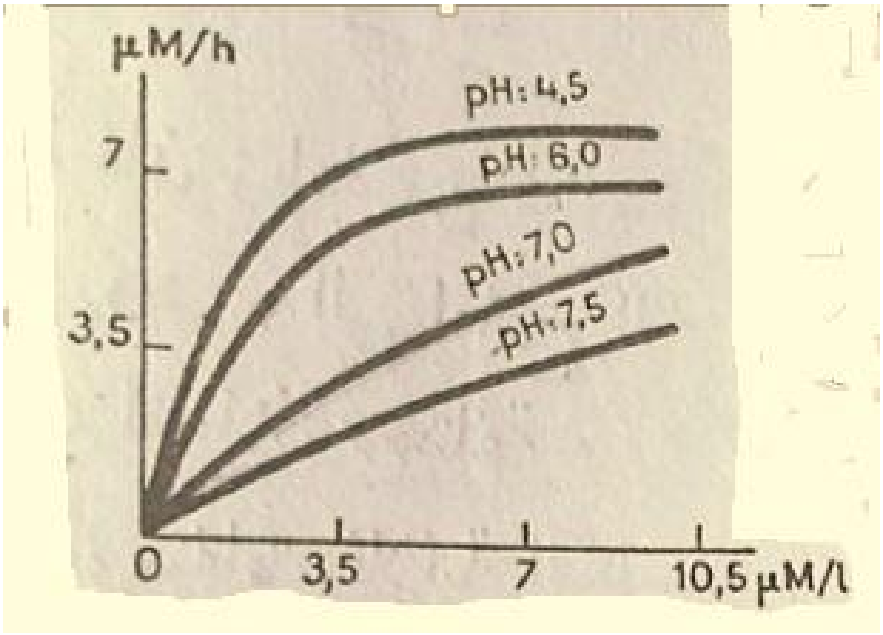
زيادة H^+ تؤثر على التوازن السابق في كل معادلة، ولأملاح العناصر المعدنية درجات انحلال مختلفة، وبالتالي يتأثر امتصاص العنصر حسب انحلاله بالماء. مثلاً في حالة أملاح فوسفات الكالسيوم: تزداد H^+ في الوسط وبالتالي تكون قيمة PH منخفضة وتكون الأملاح الموجودة هي أملاح فوسفات أحادية الكالسيوم $(PO4H2)2Ca$ التي تذوب بنسبة 16 غرام/ل، بينما عندما ترتفع قيم PH تكون الأملاح الموجودة هي فوسفات ثنائية PO4HCa ذات الانحلالية 0.2غرام/ل أو فوسفات ثلاثية الكالسيوم $(PO4)2Ca_3$ ذات الانحلالية 0.02غرام/ل.

تنشط PH الفضلى الجمل الانزيمية وتتعلق درجة النتنشيط بطبيعة الجملة الأنزيمية ونوعية التفاعلات التي تتوسطها.

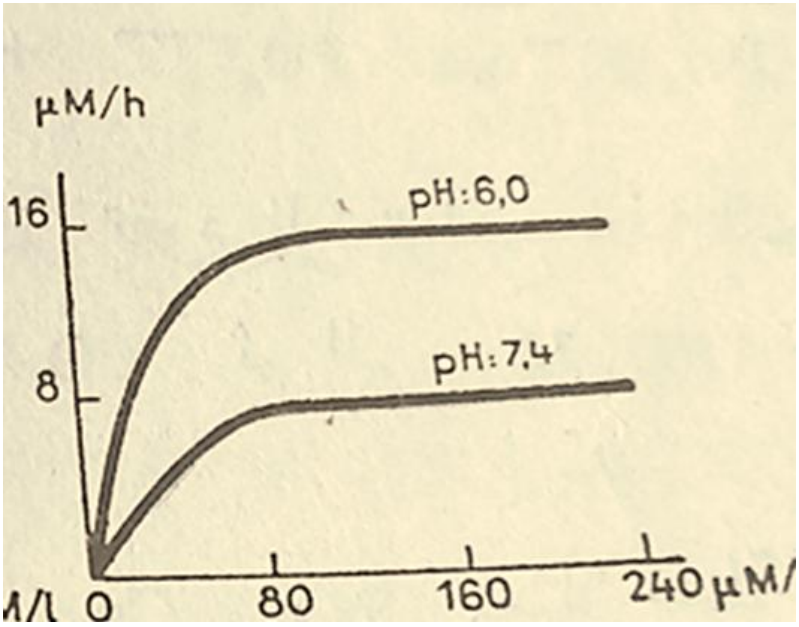
يمكن للجذور أن تساهم في تخفيض درجات PH من خلال طرح الشوارد H^+ في الوسط كما يمكن حل الأسمدة الفوسفورية بمعالجتها بحمض الكبريت.

كما أن لـ PH دور هام في تحديد فلورا التربة (الاحياء الدقيقة في التربة) حيث لا يمكن للجراثيم ان تعيش في PH=6؛ وبهذا تؤثر PH سلباً في عمليات النترجة في مثل هذه الحالة، وتساهم التربة الحامضية في تشكيل المعقد الدبالي (معقد غضاري – دبالي) حيث يكون سيء التشكل في PH=4. كما أن هذه القيمة من PH يمكن أن تخرب الغلف الخلوية مما يؤدي لخروج المواد من النبات.

ومن الدرجة 9 حتى الدرجة 4 فإن انخفاض PH أي زيادة تركيز H^+ يؤدي إلى نقصان نفوذية الشوارد الموجبة (الكاتيونات) كما لو أن هناك تنافسا بينها وبين H^+، وزيادة PH تؤدي إلى نقصان امتصاص الشوارد السالبة.



الشكل 2: أثر PH على امتصاص شوارد الفوسفات

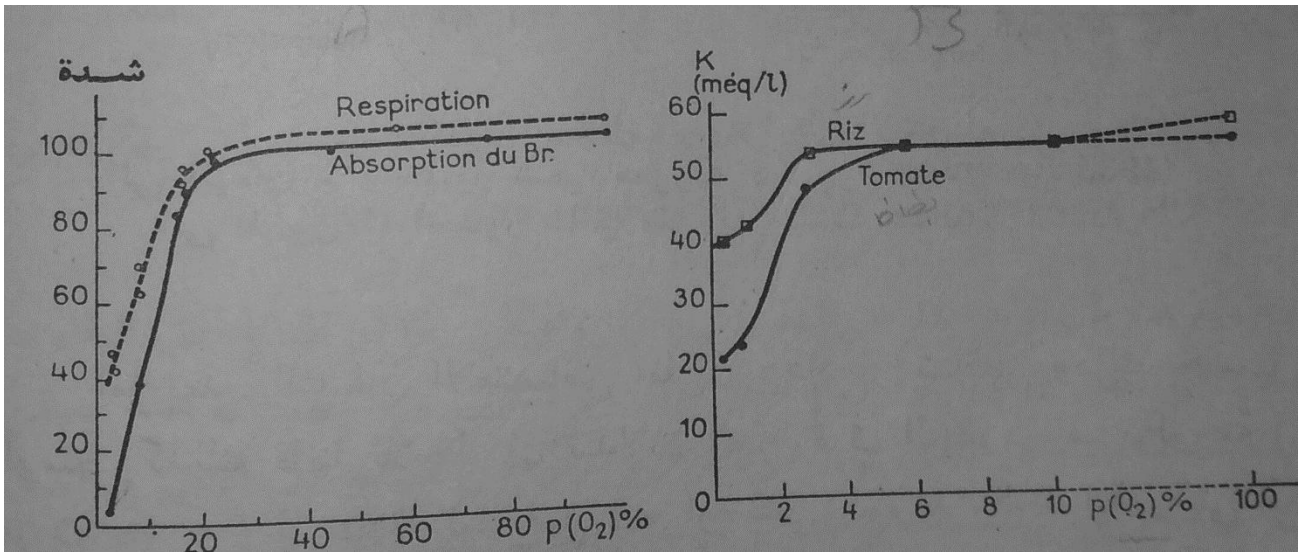


الشكل 3: أثر PH على امتصاص شوارد الآزوت

3- ضغط الاوكسجين:

يتناقص الامتصاص كثيرا عندما تكون نسبة الاوكسجين قليلة ويتعلق ذلك بنوع النبات، حيث يتناقص بالنسبة لدرنات البطاطا إذا قل ضغط الأوكسجين عن 20٪ بينما لا نلاحظ ذلك بالنسبة للجذور (الجذور تتحمل النقص حتى 5٪ إلى 3٪، أما بالنسبة لجذور الرز المتكيفة مع نقص الأوكسجين فإن امتصاصية الجذور تتناقص بنسبة 20٪ إلى 30٪ من القيمة الأساسية للامتصاص عندما ينقطع الأوكسجين نهائياً (الشكل 4).

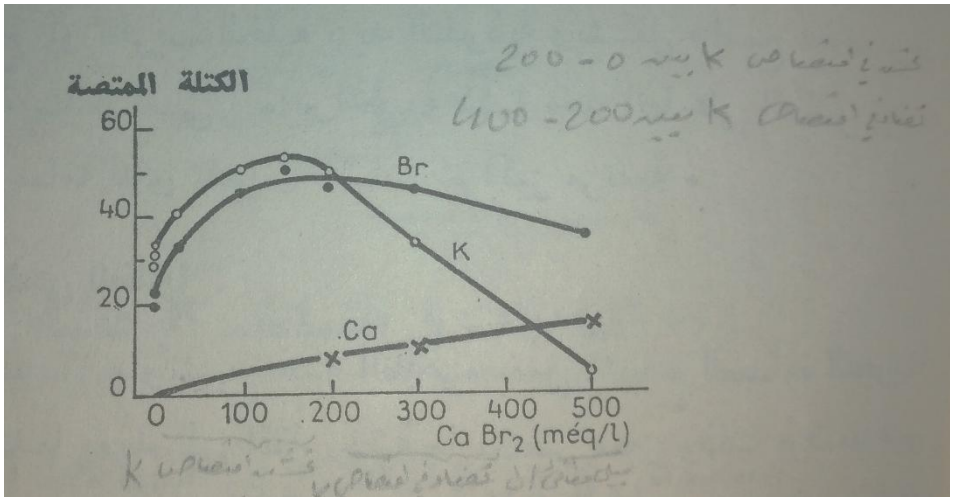
لذلك من الضروري التهوية الجيدة للأعضاء النباتية المغمورة في التربة أو الماء حتى لا تتعرض الجذور للاختناق.



الشكل 4: تأثير نقص الاوكسجين على الامتصاص عند أقراص درنات البطاطا والجذور المعزولة لنبات الرز ونبات البندورة.

4- نسبة الشوارد المختلفة وردود الفعل الشاردية والتضاد التنافسي:

غالبا ما يتأثر امتصاص شاردة معدنية ما بالشوارد الأخرى في الوسط المغذي والتي إما أن تزيد أو تنقص من امتصاص شاردة أخرى، نقول عن عنصرين أنهما متنافسان عندما ينقص العنصر الأول نفوذ الثاني، ويتم ذلك كما لو أن بينهما تنافساً على الدخول إلى الخلية. مثلا في تجربة أجريت على بذور الشعير لوحظ تحسن في امتصاص البوتاسيوم بتأثير وجود الكالسيوم وذلك في التراكيز التي تزيد عن 200 ميلي مكافئ (الشكل5). كما لوحظ أيضاً النباتات الملحية زيادة في امتصاص البوتاسيوم بوجود الصوديوم.



الشكل 5: تأثير التراكيز المختلفة من الكالسيوم على امتصاص البوتاسيوم والبروم من قبل جذور الشعير.

5- مكونات الوسط الأخرى:

وجود السكاكر القابلة للاستقلاب يزيد الامتصاص (نباتات في الظلام، فطر، جذور معزولة...الخ)، مثبطات التنفس مثل KCN تنقص الامتصاص، DNP الذي يحول دون عملية الفسفرة التأكسدية ينقص الامتصاص.

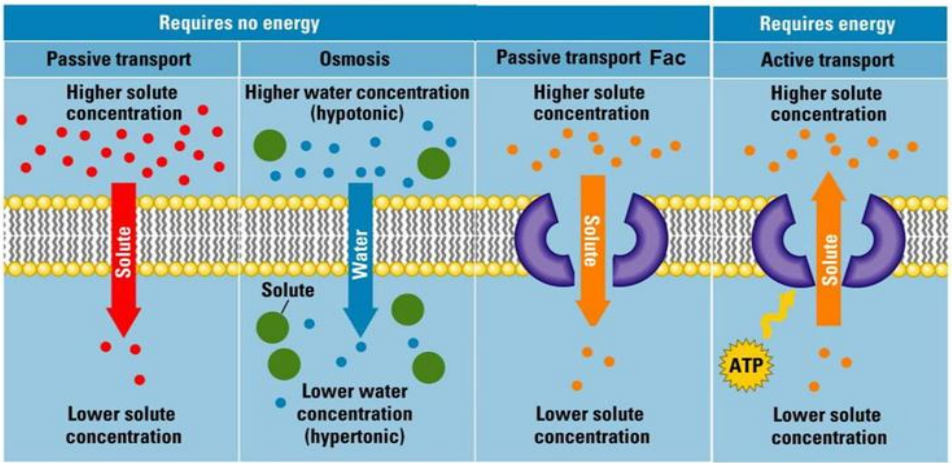
التبدلات الناتجة عن الحالة الفيزيولوجية للخلية، نعلم أن الطبقة السيتوبلاسمية ليست نصف نفوذه إلا في حال كون الخلية حية. إضافة إلى ذلك إن الاصطفاء والارتكام (مراكمة الأملاح في الخلية ويعتمد على تركيز العصارة الخلوية والوسط الخارجي حيث تستطيع الخلية الحية أن تدخل الأملاح إلى عصارتها وتراكمها عندما تكون في الحالة الجنينية ويحدث العكس للخلية الميتة) يفترضان أن الخلية تكون حية. أما الخلية الميتة فتدخل إليها الأملاح والماء وتخرج منها بحادثة الانتشار، وكل ما يؤدي إلى جرح الخلية أو تخريبها يزيد النفوذية.

يؤثر التركيب الملحي للخلايا على الامتصاص كذلك، مثلا عندما نعمد إلى إفقار خلية ما بعنصر معين ومن ثم نضعها في وسط غني بهذا العنصر فإنها تمتصه بنسبة كبيرة أكثر من امتصاصها لهذا العنصر عندما تكون غنية به.

يؤثر التوازن الملحي أيضاً على عملية الامتصاص أي العلاقة بين الكاتيونات (الشوارد الموجبة) المعدنية والأنيونات (الشوارد السالبة) المعدنية والعضوية فعندما يختل توزعها على جانبي الخلية فإن النبات يتدخل ليعدل الخلل بعملية الامتصاص. مثلا إن تغذية نبات التبغ بأملاح الأمونيوم بدلاً من أملاح النترات تؤدي إلى نقصان نسبة الشوارد الموجبة في الخلية وخاصة الكالسيوم، كما تتناقص نسبة الأنيونات العضوية بسبب تدفق شاردة الفوسفات لتحقيق التوازن الحمضي– القلوي. أخيراً إن زيادة السكر وسرعة النمو تؤثر في الامتصاص وتؤدي إلى تبدلات هامة في قيمه.

الآليات المقترحة لتفسير انتقال الشوارد عبر الأغشية وتجمعها في الخلايا:

امتصاص العناصر المعدنية عن طريق الجذور: يتم ذلك وفقا لممال التركيز من التراكيز المرتفعة إلى التراكيز المنخفضة بما يسمى الامتصاص السلبي Passive Transport أو عكس ممال التركيز بما يسمى بالانتقال الفعال أو النشط Active transport.



الشكل 6: أنماط النقل عبر الغشاء الخلوي.

ويفسر الامتصاص عموما بالاعتماد على نظريات مختلفة:

- **نظرية الانتشار DIFFUSION THEORY.**
- **نظرية تغير التراكيز IRON EXCHANGE THEORY.**
- **نظرية التبادل الحركي للايونات Contact Exchange theaory:**
- **DONNANS EXCHANGE فرضية دونان وتثبيت الفروق الشاردية على جانبي الغشاء.**

نظرية الانتشار DIFFUSION THEORY:

بالرغم من أن الانتشار ليس عاملاً مهماً في امتصاص الشوارد بين الخلايا، لكنه يحدث بين بعض مناطق الخلايا والوسط المحيط، وتسمى هذه المناطق بالفراغ الحر وه يتمثل الجدار الخلوي والسيتوبلاسما غير المتمايزة، ونميز هذا النوع من الامتصاص عن الامتصاص النشط الذي يحدث في الغشاء الفجوي (غشاء الفجوة النباتية).

عندما يكون التركيز في الوسط خارج الخلية مرتفعا تنتقل الشوارد بالانتشار من الخارج إلى داخل الخلية، وإن أحد أهم الطرق التي تساهم في انتقال الشوارد في هذه الحالة هو الفراغات بين الخلايا .

لفهم آلية انتشار الشوارد في الفراغ الحر للخلايا وكيفية تحديد هذا الفراغ الحر نضع نسيج نباتي في الماء ينتشر قسم من شوارده إلى الماء حتى تصل إلى حالة التوازن لكل نوع من الشوارد ما عدا الشوارد التي تتجمع في الفجوات والعضيات تبقى كما هي، ومن ثم ننقله إلى محلول أملاح ونلاحظ انتقال الشوارد من المحلول ودخولها بسرعة كبيره إلى الفراغ الحر ولا تتجمع في العصارة الفجوية وذلك بفرض ثبطنا عملية التنفس وبالتالي أوقفنا النقل النشط بإيقاف مصدر الطاقة.

و تتغلب الشوارد على صعوبة الانتقال عبر الأغشية الخلوية من خلال القنوات البروتينية الموجودة في الغشاء السيتوبلاسمي .

نظرية تغير التراكيز IRON EXCHANGE THEORY:

الايونات الموجودة على الجدار الخلوي لخلايا الوبرة الماصه لها شحنة سالبة، تتبادل مع الشحنات الموجبة المدمصة على سطح دقائق الغضار في التربة، حيث تتواجد شوارد الهدروجين على الغشاء الخلوي لخلية الوبرة الماصه وتتبادل مع شوارد الصوديوم والبوتاسيوم الموجودة على جزيئات الغضار في التربة وبنفس الطريقة يتم تبادل شوارد الهيدروكسيل مع الشوارد السالبة في التربة.

نظرية التبادل الحركي للايونات Contact Exchange theaory: الايونات ليست ثابتة على السطوح بل تتحرك في مجال صغير في مكان تلاصقها على التربة أو الغشاء الخلوي وهذا يسهل تبادلها.

نظرية التبادل الكربوني Carbon Exchange Theaory: يتم تبادل الأوكسجين وثنائي أوكسيد الكربون بين الوبرة والوسط الخارجي بعملية الانتشار، وترتبط CO_2 الخارجة مع الماء في التربة وتشكل H_2CO_3 الذي يتشرد بسرعة ويتحول إلى شاردة البيكربونات HCO_3^- وشاردة الهيدروجين H^+، وتتبادل شوارد الهدروجين مع الشوارد الموجبة المدمصة على سطح الغضار ومن ثم ترتبط HCO_3^- مع تلك الشوارد الموجبة في التربة وتشكل أملاح البيكربونات التي تدخل إلى داخل خلية الوبرة الماصة عبر قنوات بروتينية.

نظرية دونان Donnan Equilibrium: بعض الشوارد الكبيرة الحجم لا تستطيع عبور الغشاء الخلوي بسبب النفوذية الاصطفائية التي يتمتع بها هذا الغشاء وبالتالي تتجمع في الداخل.

لاحظ العالم دونان أن الشوارد تتجمع على أسس فيزيائي ولذلك سميت النظرية باسمه؛ حيث وجدت شوارد سالبة لا تقبل الانتشار عبر الغشاء وتبقى في الداخل وبالتالي ستخلق تدرجا في الجهد عبر الغشاء وعند التوازن الكهروكيميائي ليس من الضروري أن يتساوى تركيز مثل هذه الشوارد على جانبي الغشاء. اعتمادا على ما سبق نجد أنه عندما توجد شاردة قابلة للانتشار على جانب واحد من الغشاء فإنها تسبب توزع الشوارد الأخرى القابلة للانتشار توزعا غير متساو على جانبي الغشاء وتكون الشوارد الموجبة القابلة للانتشار أكثر تركيزا على الجانب الذي يحوي الشاردة السالبة غير القابلة للانتشار وبالعكس فإن تركيز الشوارد السالبة القابلة للانتشار أكثر على الجانب الآخر.

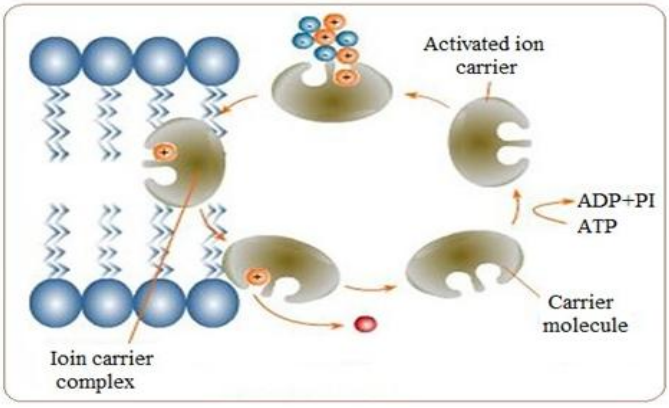
يفسر توازن دونان تجمع الشوارد في وقت ما إذا كانت من إشارة واحدة .

نظريات تفسر النقل الفعال للشوارد ACTIVE TRANSPORT

تحتوي الفجوات ومختلف العضيات المحاطة بغشاء على تركيز شوارد أعلى بكثير من الوسط المحيط وبالرغم من ذلك تتحرك بعض أنواع الشوارد إلى داخل الفجوات والعضيات أي عكس منحدر التركيز وتنتقل من التركيز المنخفض إلى التركيز المرتفع، وتحتاج لطاقة أثناء حدوث تأتي هذه الطاقة من عملية التنفس وأحياناً من عملية التركيب الضوئي، وتمر هذه الشوارد عبر قنوات بروتينية تعمل باستهلاك طاقة.

يفسر انتقال الشوارد وفقاً لذلك بعدة نظريات:

- **نظرية الحوامل Carrier Concept:** تعتمد فكرة الحامل على التقاط بعض جزيئات الغشاء لشوارد على السطح الخارجي وإطلاقها في الداخل.



الشكل 7: آلية عمل جزيئة الحامل في الغشاء الخلوي.

لكل شاردة حامل معين خاص بها أو مركز ارتباط يلائمها (الشكل7)، وهذا يفسر تعارض انتقال بعض الشوارد معاً حيث تتنافس على مكان واحد على الحامل. بينما لا تتنافس بعض الشوارد على هذا النوع من الانتقال لأن لكل منها مركز ارتباط خاص بها مثل الشوارد $SO4^{-2}$ و $NO3^{-1}$ و $PO4^{-3}$، وكذلك إن للشوارد السالبة حامل موجب بينما للشوارد الموجبة حامل سالب. وتتطلب عملية الارتباط بالمركز والانفصال عنه صرف طاقة تأتي من ATP.

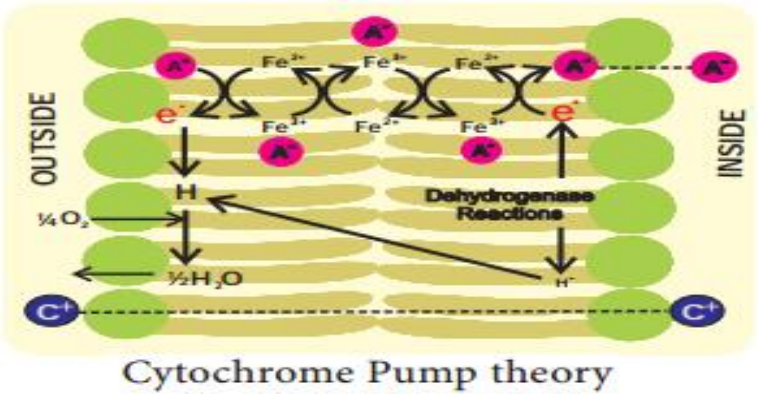
وتوجد ثلاثة أنماط للحوامل تساهم في تفسير النقل الفعال وهي النواقل بروتينية و سيتوكرومات و نوقل فوسفوليبيدية تسمى LECITHIN التي تشكل معقد نقل الأيونات.

برزت عدة نظريات لتفسير طبيعة جزيئة الحامل:

1- النظرية الأولى افترضت أن الحوامل هي أنزيمات وقد اقترح العالم لوندغاند آلية لتفسير انتقال الشوارد بجملة من السيتوكرومات وهي مبنية على أربع فرضيات:

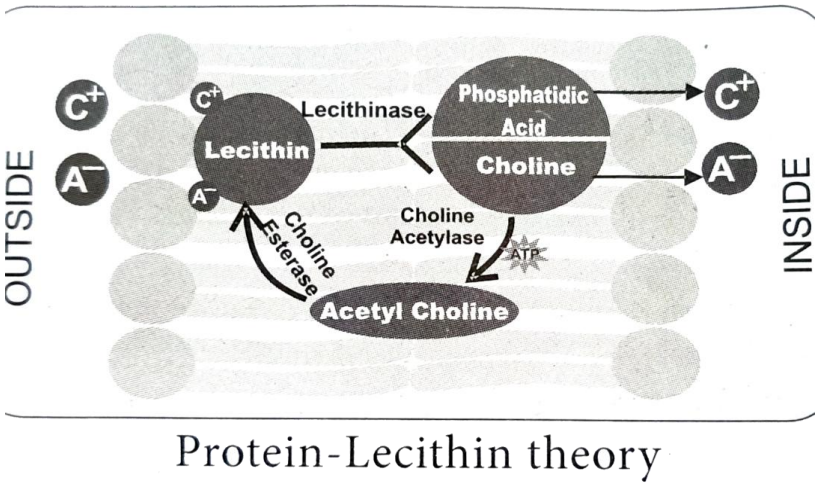
- امتصاص الشوارد السالبة مستقل عن امتصاص الشوارد الموجبة.
- امتصاص الشوارد الموجبة يتم على خطوتين: (امتصاص الشاردة من المحلول الخارجي- إفراز الشاردة من الهيولي إلى الفجوات).
- يتم امتصاص الشوارد السالبة بعكس تدرج التركيز وعكس شحنة الخلية وعكس جهد الامتصاص ويعتمد على جزء من التنفس يسمى تنفس الشوارد السالبة.
- تنفس الشوارد السالبة يختلف عن باقي التنفس الذي يسمى التنفس العام.

السيتوكرومات تمتص الشوارد السالبة لأن مركزها الفعال هو شاردة Fe التي تغير رقم تشاردها من 2 على 3 وبالعكس وتطلق الكترونات. افترض لوغلاند وجود جسور من السيتوكرومات مرتبطة بشكل عرضي عبر السيتوبلاسم من حده الخارجي وهو الغشاء البلاسمي إلى حده الداخلي وهو الغشاء الفجوي. حيث تعمل الشاردة Fe^{+++} الموجودة على السيتوكروم على الحد الخارجي على جذب شاردة سالبة وتخسرها في الداخل وتلتقط الكترون متحولة إلى شاردة Fe^{++}، وهكذا تنتقل موجات الالكترونات من الداخل إلى الخارج وتنتقل الشوارد السالبة عكسها. (الشكل8).



الشكل 8: دور السيتوكرومات في انتقال الشوارد من محيط الخلية إلى الفجوة.

2- النظرية الثانية- نظرية بينك- كلارك: تفترض هذه النظرية وجود تحولات دائرية للكولين واستيل كولين والليستين lecithin وحمض الفوسفاتيديك والتي تشكل جملة حاملة للشوارد الموجبة والسالبة وفيه تمتص الليستين الشوارد وتنقلها كمعقد من خلال الغشاء ومن ثم تتميه. وتتحرر الليستين عندما تتميه ويحتاج تركيب الليستين من جديد استهلاك ATP. تفسر هذه النظرية معظم عملية النقل الفعال للشوارد حيث أن الحامل من الليبيدات الفوسفورية أي من مكونات الغشاء (الشكل9).



الشكل 9: نظرية بينك – كلارك وانتقال الشوارد عبر المعقدات المختلفة.

أما شوارد الصوديوم فقد تم تفسير انتقالها وفقا لجملة حاملة تعرف بمضخة الصوديوم التي تعمل على ضخ شوارد الصوديوم للخارج مقابل شوارد البوتاسيوم للداخل، وهذا يفسر التركيز المنخفض لـ Na^+ في الداخل. إن المحافظة على

مستويات منخفضة نسبياً من شوارد الصوديوم في البروتوبلاست هام جداً من ناحية تضاد الشوارد واتزانها وخاصة في النباتات البحرية حيث يمكن الوصول إلى مستوى ملائم من Na^+ في بروتوبلاسم الخلية بضخ الصوديوم إلى داخل الفجوات.

يمكن للشوارد العضوية السالبة مثل الحموض الأمينية وكذلك السكريات أن تنتقل بواسطة النقل النشط بحوامل خاصة، والسكريات قد تنتقل على شكل معقدات سكريات –بور أو سكريات- فوسفورية. ويفسر كذلك تجمع الأصبغة النتوسيانية في الفجوات بالنقل النشط للجزيئات العضوية.

جميع النواقل السابقة تعمل باستهلاك الطاقة من جزيئة ATP، ويتم عمل النوع الأخير LECITHIN (الشكل 16) وفقا لمايلي:

1- ترتبط النواقل الفوسفوليبيدية LECITHIN مع الشاردة وتشكل معها معقد خلوي (ناقل – شاردة).
2- يتحرك المعقد عبر الغشاء من الخارج على الداخل.
3- يغير المعقد شكله وتنفصل الشاردة عن الناقل وتتحرر داخل الخلية وتحتاج العملية إلى طاقة تأتي من جزيئة ATP.
4- يعود الناقل من جديد إلى سطح الغشاء الهيولي للوبرة الماصة ليرتبط بشاردة جديد وتتكرر العملية.

- **نظرية الجريان أو التدفق**: افترضها العالم MUNCH وتسمى فرضية تدفق الكتل، يسمح تدفق الكتل بانتقال المواد مع نسغ النبات الجاري بسرعة أكبر من سرعة انتشار الماء أو المواد الذائبة، وهناك أيضا تدفق الماء والمواد المنحلة عبر الفراغ الحر ولكن شريط كاسبار في الجذر يمنع جريانها في الفراغ الحر ويجبرها على المرور عبر هيولى هذه الطبقة.
- **نظرية Electrochange Gradient التدرج الكيميائي الكهربائي:**

يساهم في هذا النمط من النقل انشطار الماء في الداخل إلى شوارد OH^- وشوارد H^+ وكذلك مضخة الـ ATP التي تحول الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) إلى ثنائي فوسفات (ADP) وتضخ بروتوناً H^+ إلى الخارج. وهكذا تتجمع شوارد OH^- في الداخل وشوارد H^+ في الخارج.

نتيجة لذلك تتبادل شوارد الهيدروكسيل مع الشوارد السالبة بحيث تخرج الهيدروكسيل خارج الخلية ويدخل بدلا منها أنماط من الشوارد السالبة، بينما تدخل الشوارد الموجبة بدلاً من البروتونات عبر مضخة ال ATP وفي كل مرة يتم استهلاك طاقة. ويستمر ذلك حتى تعود حالة التوازن من جديد على جانبي الغشاء وهكذا.

مكتبة

مكتبة A TO Z

فرع 1
تجمع الكليات(كلية العلوم)

فرع 2
الكورنيش الشرقي جانب MTN

طباعة محاضرات ـ قرطاسية

Mob:0931 497 960