

## علاقة الخلية النباتية بالماء

أولاً : الانتشار ( Diffusion ) :

هو حركة جزيئات أو أيونات مادة ما من المنطقة ذات التركيز المرتفع إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض بفضل طاقتها الحركية، تستمر الحركة حتى تصبح التراكيز واحدة وتحصل حالة توازن ديناميكي بين الطرفين.

### 1- انتشار الغازات (Gas diffusion):

إذا فتحنا زجاجة تحتوي غاز النشادر أو الإيتير أو أي نوع من الزيوت الطيارة في غرفة ما، نجد بعد قليل أن رائحة الغاز انتشرت في كل أنحاء الغرفة، يحصل توزيع جزيئات الغاز بفضل خاصية الانتشار. عندما يتساوى تركيز جزيئات الغاز داخل الزجاجة وخارجها يحصل ما يسمى بالتوازن الحركي (Equilibrium dynamic)، ويحصل الانتشار ما دام اختلاف تركيز المادة بين مكانين قائماً.

### 2- انتشار المواد المنحلة (Diffusion of dissolved substances):

إذا وضعنا بلورة من كبريتات النحاس في وعاء فإنها ستجري في المحلول وينتشر لونها تدريجياً بالتساوي في كل المحلول، وتنتشر الجزيئات من منطقة التركيز العالي إلى منطقة التركيز المنخفض حتى يصبح التركيز واحداً. في نفس الوقت، ينتشر الماء نحو المنطقة التي توجد بها البلورة حيث يكون ضغط انتشار الماء أقل. لذلك فإنه في محلول غير ممزوج جيداً، تنتشر جزيئات الماء من المنطقة الأقل تركيزاً إلى المنطقة الأكثر تركيزاً، حيث تملك جزيئات الماء طاقة حرة كبيرة في المنطقة الأولى وطاقة حرة منخفضة في المنطقة الأخيرة.

### العوامل المؤثرة على الانتشار:

يمكن أن ينظر إلى الانتشار بصيغة فرق الطاقة الحرة، لذلك فالانتشار الصافي للغازات أو المواد كالماء مثلاً يكون من المنطقة ذات الطاقة الحرة العليا إلى المنطقة ذات الطاقة الحرة الدنيا.

### 1- درجة الحرارة: تزداد سرعة الانتشار مع ارتفاع درجة الحرارة، حيث تزداد فعالية الجزيئات ونشاطها وكذلك

طاقتها الحرة مباشرة مع ارتفاع درجة الحرارة، وتتحرك جزيئات المواد باتجاه الحرارة الأكثر انخفاضاً.

### 2- حجم الدقائق المنتشرة: يعتمد معدل الانتشار على حجم الدقائق المنتشرة أو الجزيئات. فالجزيئات الكبيرة

تملك معدل انتشار بطيء، فمثلاً تنتشر الأيونات المعدنية بسرعة أكبر من انتشار جزيئات السكر أو الشوارد الكارهة للماء بسرعة أكبر من الجزيئات المحبة للماء وذلك بسبب تجمع جزيئات الماء حول دقائق هذه الأخيرة مما يزيد حجم الدقائق.

### 3- ممال التركيز أو تدرج تركيز المحلول: يصبح معدل الانتشار أعلى كلما كان الفرق في الطاقة الحرة بين

المنطقتين كبيراً، وتحدد المسافة بين المنطقتين معدل الانتشار أيضاً حيث ينخفض معدل الانتشار مع زيادة المسافة وبالعكس، يزداد مع قصر المسافة.

4- القوى الخارجية: يكون هذا العامل صحيحاً خاصة على حركة الماء، فلنفترض أننا نمارس ضغطاً عالياً على الماء، فإنه سيتحرك فجأة أو سيدخل خلال الجدار الخلوي بسرعة أكبر، ويمكن أن تزداد فعالية الماء أو نشاطه وكذلك طاقته المعرضة للضغط أيضاً.

5- وجود جزيئات أخرى: ينخفض معدل الانتشار عند إضافة مواد أخرى إلى الوسط، ويعزى هذا الانخفاض إلى التصادم بين جزيئات المادة المضافة والمواد الموجودة أصلاً في الوسط، إنما يبقى اتجاه الانتشار بدون تأثر.

3- انتشار السوائل:

### 1-3 الأسموزية أو الحلول (Osmosis):

الأسموزية أو الحلول هي انتشار المذيب النقي بين حجرتين يفصل بينهما غشاء نصف نفوذ، للتعرف على هذه الخاصية، يجهز مقياس الأسموزية (Osmometer)، الذي يتضمن:

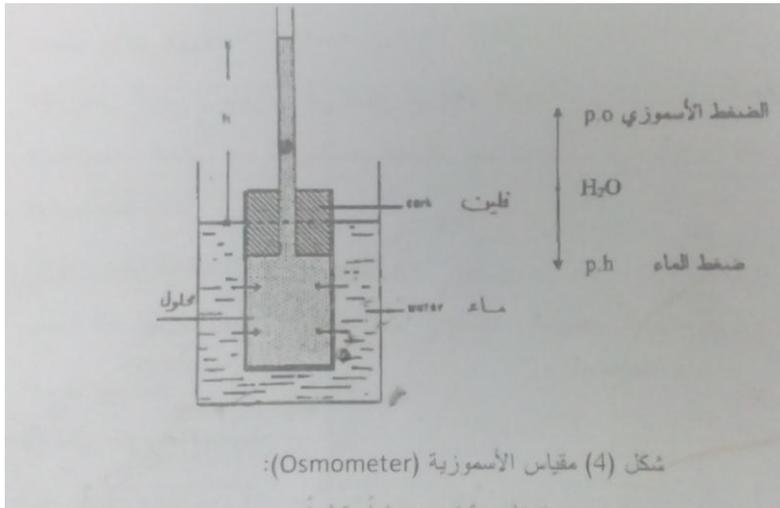
(a) حجرة خارجية تحتوي ماءً مقطراً.

(b) حجرة داخلية تتفصل عن الحجرة الخارجية بغشاء نصف نفوذ وتحتوي محلولاً سكرياً غير نفوذ (لا يستطيع السكر الخروج من خلال هذا الغشاء).

ترتبط الحجرة الداخلية بأنبوب شعري دوره تضخيم حركة الماء بين الحجرتين، في البدء، يكون مستوى الماء في الحجرتين واحداً، وبعد فترة من الزمن، نلاحظ ارتفاع الماء في الأنبوب الشعري ويكون ارتفاعه في البدء سريعاً ثم يتباطأ تدريجياً حتى يصل إلى مرحلة الاستقرار ويتوقف تماماً (يبقى مستواه ثابتاً).

إذاً وجود المادة المنحلة (سكروز) يحدث عدم توازن يقود إلى دخول الماء من الحجرة (a) إلى الحجرة (b) وبالتالي إلى ضغط زائد للسائل في الأنبوب الشعري، وكلما كان ارتفاع عمود الماء (h) كبيراً كلما كان الضغط الأسموزي عالياً، عند وضع التوازن، تخضع جزيئة الماء لفعل قوتين:

الأولى تعبر عن الضغط الذي يطوره عمود الماء (ضغط مائي) والثانية مساوية لها وتقيس الضغط الأسموزي (الحلوي).



لذلك نطلق تعبير الضغط الأسموزي أو الجهد الحلوي  $\pi$  لمحلول ما: على الجذب الذي يطبقه هذا المحلول على جزيئات مذيب نقي عندما يفصل بينهما غشاء نصف نفوذ، إذاً تترجم الأسموزية قوى الجذب التي تطورها الأملاح (أيونات، جزيئات) بالنسبة لمذيب نقي، وفي الواقع، فإن الحلول ما هو إلا حالة خاصة من حالات الانتشار.

## 3 - 2 - قانون الضغط الأسموزي:

يعبر عن الضغط الأسموزي (الحلوي) بالضغط الجوي (ض.ج Atmosphere) أو بالبار (Bar) حيث (1atm.=1.01Bar)، وذلك بتحويل (h) في الشكل السابق إلى ضغط جوي، يتناسب الضغط الأسموزي طرداً مع تركيز المحلول.

$$\pi = iCRT$$

i = ثابت فانت هوف للمحلول يصف تأين المحاليل، وفي المواد غير المتأينة يساوي الواحد  
C = التركيز المولي (مول/ لتر)

R = ثابت الغازات التامة (0.082)

T = درجة الحرارة بالكلفن (C+273)

## 3 - 3 - الجهد الأسموزي: Osmotic Potential

يعبر الجهد الأسموزي عن انخفاض الطاقة الحرة للماء في محلول الخلية مقارنة مع الماء النقي، فمن المعروف أن الماء المقطر يمتلك الطاقة الأعلى وتساوي (صفر). عندما تتحل أية جزيئة في الماء، تصبح جزيئات الماء ذات طاقة حركية أقل، ويصبح جهد الماء سالباً، وينتقل الماء من المنطقة الأقل سلبية إلى المنطقة الأكثر سلبية. لذلك يعبر الجهد الأسموزي عن كمية الجزيئات المنحلة في الماء وعن انخفاض جهد الماء (يكون أكثر سلبية) بسبب انحلال هذه الجزيئات، وكلما كان عدد الجزيئات المنحلة كبيراً كان الجهد الأسموزي عالياً وجهد الماء منخفضاً.

## 3 - 4 - اختلاف قيم الضغط الأسموزي:

يختلف الضغط الأسموزي باختلاف الأنواع النباتية والظروف البيئية ويتراوح بشكل وسطي بين 3 و 30 ض.ج.

## a ( تأثير الوسط المحيط :

توجد علاقة وثيقة بين الضغط الأسموزي والتوزيع الجغرافي للنبات، ففي المناطق الجافة والمالحة، تكون الأنواع النباتية ذات ضغط أسموزي عالي وهذه القدرة على رفع الضغط الأسموزي الداخلي لهذه النباتات تسمح بالحفاظ على حياتها، وبالعكس، فإن نباتات الماء العذب والمناطق الرطبة تكون ذات ضغط أسموزي منخفض، أما النباتات البحرية (أشنيات) فيكون ضغطها الأسموزي أعلى بقليل من الضغط الأسموزي لماء البحر.

## b ( تأثير النوع النباتي والعضو النباتي :

يكون الضغط الأسموزي للنباتات الخشبية (أشجار، شجيرات) أعلى منه في النباتات العشبية، كذلك فالأعضاء التي يتم فيها تصنيع المواد العضوية (الأوراق) أو تخزين المواد الغذائية (جذور الشوندر السكري، درنات البطاطا، قصب السكر...) يكون ضغطها الأسموزي أعلى من الأنسجة الأخرى، كذلك يكون الضغط الأسموزي للأنسجة الفتية أكبر في الأنسجة البعيدة عن مصدر الماء (أوراق) من تلك القريبة من مصدر الماء (جذور).

## 3 - 5 - العوامل المؤثرة على الضغط الأسموزي:

## 1- على مستوى النبات:

**(a) الضوء:** تزيد أشعة الشمس من الضغط الأسموزي عند النباتات التي تتعرض لها، نتيجة لزيادة معدل التمثيل الضوئي وبالتالي زيادة نسبة السكريات المتراكمة، ويكون الضغط الأسموزي منخفضاً عند الصباح ويرتفع مع شدة التمثيل الضوئي.

**(b) الحرارة:** تؤثر الحرارة بشكل غير مباشر على الضغط الأسموزي، فيؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تنشيط التمثيل الضوئي شأنه شأن باقي العمليات الاستقلابية التي تنتشط بارتفاع درجة الحرارة وبالتالي يزداد تراكم المواد الكربوهيدراتية مما يرفع الضغط الأسموزي.

**(c) الرطوبة:** ينخفض الضغط الأسموزي بارتفاع الرطوبة، وانخفاض معدل النتح ويرتفع بانخفاض الرطوبة وازدياد معدل النتح، لذلك نجد أن نباتات المناطق الجافة تتمتع بضغط أسموزي أعلى من تلك التي تنمو في المناطق الرطبة.

## 2- على مستوى المحاليل:

**(a) التركيز:** ينتج عن زيادة تركيز المحاليل زيادة ضغطها الأسموزي، إذا كان الملح غير الكتروليتي، وجزيئاته غير متميّه، يكون ضغطه الأسموزي متناسباً مع التركيز المولالي أي إلى نسبة جزيئات المادة المذابة / جزيئات المذيب.

**(b) تأين جزيئات الملح المذاب:** يتناسب الضغط الأسموزي مع عدد جزيئات الملح المذاب وليس مع نوعها، مقارنة بعدد جزيئات المذيب في المحلول. فإذا كان لدينا نفس عدد الأيونات أو الجزيئات أو الدقائق الغروية في وزن واحد من الماء فسينتج لدينا نفس الضغط الأسموزي. وإذا كانت الجزيئات قابلة للتشرد فسوف يتناسب الضغط الأسموزي مع عدد الشوارد الناتجة، ويكون المحلول الذي يحوي جزيئة قابلة للتشرد مثل  $\text{NaCl}$  ذو ضغط أسموزي يعادل ضعف الضغط الأسموزي لمحلول يحوي على جزيئه غير قابلة للتشرد مثل السكروز.

**(c) تميه جزيئات المادة المذابة:** من المعروف أن الغرويات المحبة للماء تربط جزيئات الماء معها بقوة، كذلك فإن جزيئات الماء ترتبط مع أنواع كثيرة من الأيونات أو الجزيئات، يدعى هذا بماء التميّه ( Water of hydration). تختلف الأيونات أو الجزيئات مع عدد جزيئات الماء المرتبطة معها، لذلك لا تعود جزيئات الماء المرتبطة فعالة في المحلول وإن محلولاً يحوي دقائق أملاح متميّه يكون أكثر تركيزاً مما تدل عليه مولاليتها ( Molality)، ويكون ضغطه الأسموزي أعلى من الضغط المفترض عند درجة حرارة (0) م.

**(d) الحرارة:** يزداد الضغط الأسموزي مع ارتفاع درجة الحرارة، ففي محلول مثالي، يتناسب الضغط الأسموزي مع الحرارة المطلقة، لكن من أجل محلول سكروز، فإن هذه العلاقة ليست دقيقة، لكنها قريبة من الواقع.

## النفاذية الخلوية للماء والعناصر المعدنية Cell permeability to water and dissolved substances

يمكننا أن نفهم تحت هذا العنوان الطريقة التي تنظم التبادلات بين الوسط الخارجي الذي يعيش فيه النبات والوسط الداخلي، وهذا يعني المجموعات المختلفة للمواد التي تشارك في تغذية الخلية (ماء، غاز، جزيئات عضوية

ومعدنية...)، وينطبق أيضاً على التبادلات بين الخلايا المختلفة في العضو الواحد (مرور جزيئات الغلوسيدات من مكان تصنعها إلى مكان استعمالها أو تجميعها).

### 1- تركيب الغشاء البلازمي (Structure of plasma lemma):

وهو الغشاء الذي يحيط بالسيتوبلازم ويلصق الجدار الخلوي تماماً من الداخل، يبدو الغشاء البلازمي تحت المجهر الالكتروني مكوناً من 3 طبقات:

- طبقتين عاتمتين غنيتين بالترسبات المعدنية وتتوافق مع الأقطاب المحبة للماء.

- طبقة فاتحة اللون وتتوافق من المنطقة الكارهة للماء، وتزيد سماكتها عن سماكة الطبقتين العاتمتين.

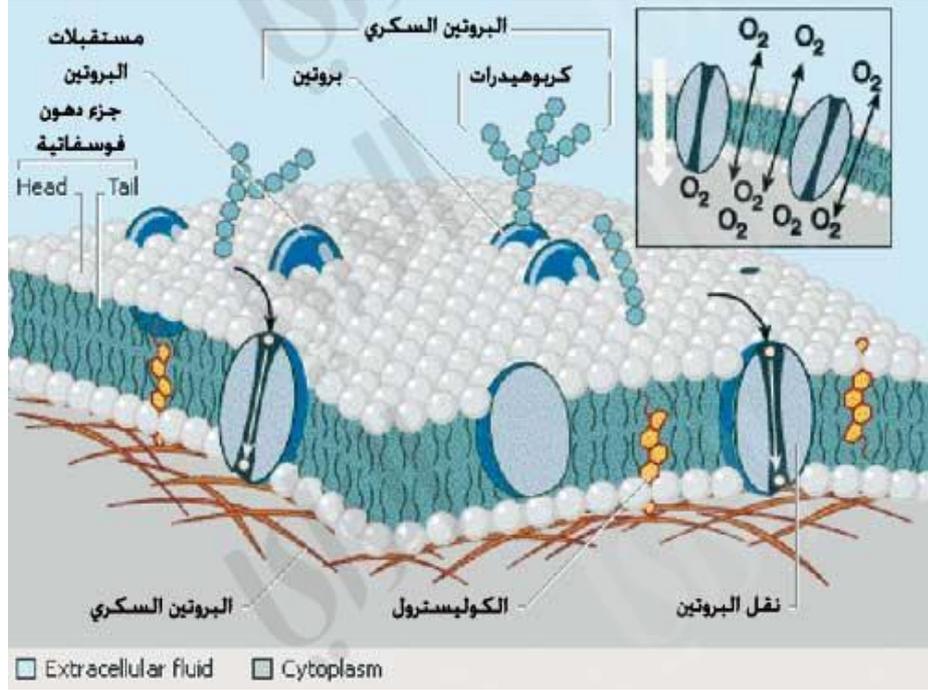
تدل التحاليل الكيميائية لمختلف مكونات الغشاء البلازمي أنه يتكون من 50 - 60 % من وزنه الجاف بروتينات و 30 - 40 % من وزنه الجاف لبيدات بالإضافة إلى كميات قليلة من الغلوسيدات.

تسود في قسم اللبيدات مركبات الفوسفوليبيدات وتكون اللبيدات بشكل عام Amphiphiles أي أن جزيئاتها تملك قطبا محبا للماء Hydrophile وقطبا كارهها للماء Hydrophobe. تتوضع اللبيدات في طبقتين، تكون الأجزاء الكارهة للماء منها متوضعة وجها لوجه بينما تكون أقطابها المحبة للماء في تماس مع الوسط الخارجي.

أما البروتينات فتأخذ حسب قابليتها للذوبان أوضاعاً مختلفة، فالقابل للانحلال بالماء منها يقع على أطراف الطبقة اللبيدية، ويرتبط بشكل ضعيف باللبيدات بواسطة تفاعلات محبة للماء إلى الرؤوس القطبية لها، تدعى هذه البروتينات بالبروتينات المحيطية أو الخارجية، أما البروتينات الأخرى، فتكون منغمسة بعمق أكثر في الطبقة اللبيدية وترتبط بقوة اللبيدات وتخرق طبقة اللبيدات من جهة أخرى بحيث تظهر على وجهي الغشاء البلازمي، تدعى هذه البروتينات بالداخلية أو المندمجة وتكون بشكل عام Amphiphiles حيث تكون الأجزاء الكارهة للماء منها مغروزة في اللبيدات أما المحبة للماء منها فتكون ناتئة في الوسط الخارجي للخلية أو الوسط الهياولي بلازمي، وتمثل البروتينات المندمجة 50 - 70 % من بروتينات الغشاء الخلوي، وبشكل عام، فإن خصائصها البيولوجية لا تظهر إلا عندما ترتبط باللبيدات.

أما فيما يتعلق بالغلوسيدات الموجودة بكميات قليلة فهي عبارة عن polysaccharides، وتكون مرتبطة إما باللبيدات أو بالبروتينات وتوجد بشكل رئيسي على الوجه الخارجي للغشاء الخلوي.

أن البروتينات المندمجة تكون مبعثرة أو متجمعة في الطبقة اللبيدية، في الحالة الأخيرة، ونجد أن تجمعات البروتينات تخرق الطبقة اللبيدية المزدوجة من جهة لأخرى، ويمكنها أن تشكل ثقباً محبة للماء تسمح بمرور الماء والأيونات المعدنية عبر الغشاء البلازمي.



إن بناء الغشاء الخلوي ليس ثابتاً، أي أنه في حالة عدم استقراره مستمرة، فالليبيدات والبروتينات تملك حرية كبيرة في الحركة، وتكون حركة الليبيدات على مستوى الطبقة المزدوجة التي تنتمي إليها كبيرة بمقدار ارتفاع درجة حرارة الوسط ويقدر ما تكون سلاسل الأحماض الدهنية أقل إشباعاً وأكثر قصراً، ومع ذلك فالسلاسل الكارهة للماء تبقى متوازية مع بعضها ومتعامدة مع الغشاء الخلوي، كذلك فالبروتينات تتحرك على مستوى الغشاء الخلوي، وبالأخذ بعين الاعتبار حجمها الكبير، يكون انتشارها أكثر بطئاً من الليبيدات الصغيرة. لذلك يمكن القول إن الغشاء الخلوي عبارة عن تركيب مرن يتغير باستمرار ويتجدد باستمرار ليس أثناء الانقسام الخلوي بل في كل لحظة.

## 2- نفاذية الخلية النباتية للماء : Permeability to water

تتصرف الأغشية الخلوية في الخلايا الخضرية كأغشية نصف نفوذة فتترك جزيئات الماء تنتشر بسهولة وفي معظم الحالات يمكن تفسير التبادلات ضمن مفهوم الأسموزية. يكون الممال الأسموزي غير كاف لتفسير مرور الماء خاصة في حالة الجذر على مستوى الأندوديرم، ويمكن القول إنه يوجد طرح فعال على هذا المستوى. كما يجب التذكير بأن دخول الماء إلى الخلية يكون محدداً بقوى تتعارض مع انتفاخ الخلية غير المحدود (مثل ضغط الامتلاء أو الضغط الجداري).

أخيراً يمكن لبعض الهرمونات النباتية ( phytohormones ) أن تتدخل بصورة مباشرة أو غير مباشرة لتنظيم الميزان المائي في النبات مثل ( الجبرلين Gibberelline، حمض الأبسيسيك Abscissique acide، السيتوكينين Cytokinines ..) على مستوى الثغور أو الجذور.

## 2 - 1 - مفهوم جهد الماء : Water potential

رأينا فيما سبق أن حركة الماء تكون من منطقة طاقته الحرة العليا إلى منطقة طاقته الحرة الدنيا، أي أن الماء ينتقل حسب تدرج الطاقة، وبذلك يخسر طاقته عند انتقاله، وتستمر حركة الماء ما دام فقده للطاقة ممكناً.

**الطاقة الحرة Free energy:** وهي الطاقة الجاهزة للقيام بعمل ما (دون رفع درجة الحرارة أو تغييرها).  
**الجهد الكيميائي Chemical potential:** الجهد الكيميائي لمادة ما هو الطاقة الحرة لجزيئة واحدة من المادة، ويقاس الجهد الكيميائي الطاقة التي بواسطتها تستطيع الماء أن تنتقل أو تتفاعل.

### جهد الماء Water potential:

يقيس الطاقة الجاهزة فيه للانتقال أو التفاعل، ويتوقف انتقال الماء على جهده حيث كون حركته من منطقة جهده العالي إلى منطقة جهده المنخفض ويرمز للجهد بالرمز  $\Psi$  ويقاس بالضغط الجوي أو بالبار.

نفترض أن جهد الماء بين منطقتين  $a$  و  $b$  هو  $\Psi a$  و  $\Psi b$  فإن الفرق في جهد الماء  $\Delta\Psi = \Psi a - \Psi b$  فإذا كان جهد الماء في المنطقة  $a$  أكبر من جهده في المنطقة  $b$  يكون  $\Delta\Psi$  موجباً وينتقل الماء من  $a$  إلى  $b$ ، وإذا كان  $\Delta\Psi$  سالباً ينتقل الماء من  $b$  إلى  $a$ .

يكون جهد الماء النقي عادة مساوياً للصفر، وانحلال أي جزيئة فيه تُخفض قيمة جهده لذلك يكون جهد الماء في المحلول أقل من الصفر.

ينشأ الضغط الأسموزي (الحلوي) من وجود مواد منحلة في الماء، تُخفض جهد الماء بقدر تركيزها فيه، ويتأثر جهد الماء بعدد الدقائق المنحلة فيه وليس بحجم هذه الدقائق أو كتلتها أو شحنها، كما يتأثر جهد الماء بالضغط المسلط على الجملة. فمثلاً إذا تعرض ماء موجود في اسطوانة محكمة إلى ضغط مقداره 4 بار بواسطة مكبس، فإن جهده أي طاقته الحرة سوف تزداد بمقدار 4 بار، وإذا عرض محلول له ضغط أسموزي يساوي - 4 بار إلى ضغط مقداره 4 بار يكون جهده كجهد الماء النقي أي مساوياً للصفر رغم وجود المادة المنحلة فيه.

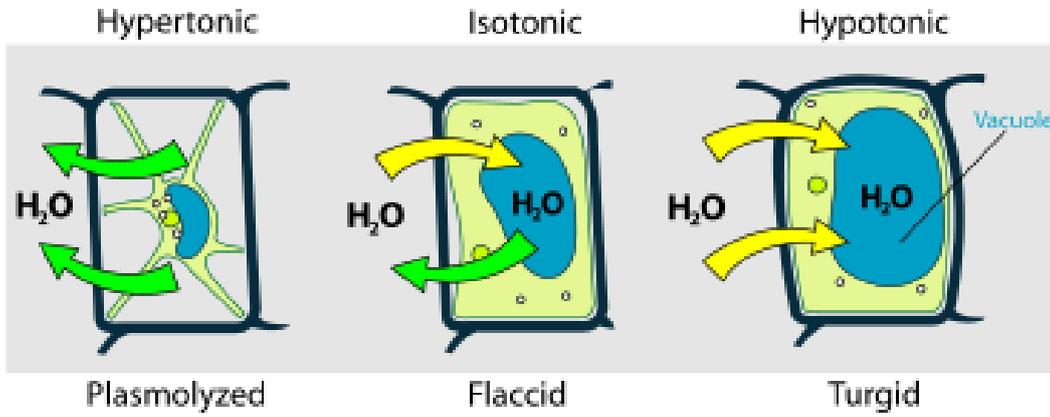


## 2 - 2 - مفهوم الامتلاء أو البلزمة Turgescence and plasmolysis :

إذا أخذنا خلايا ذات فجوة ملونة الأنثوسيانين ووضعناها في الماء النقي، نجد أن الخلايا تمتلئ ويزداد حجمها وتتضغط السيتوبلازم باتجاه الجدار الخلوي ويقال إن الخلية ممتلئة (Turgescence) وذلك لأن ضغطها الأسموزي أعلى من الضغط الأسموزي للوسط الخارجي.

إذا نقلنا الخلية إلى محلول سكرورز أو محلول ملحي، نرى أولاً تقلصاً بطيئاً للسيتوبلازم مع بقاء مناطق اتصال بين الجدار الخلوي والسيتوبلازم لأن الضغط الأسموزي للوسط الخارجي أعلى من الضغط الأسموزي للوسط الداخلي للخلية (تشير مناطق الاتصال بين الجدار الخلوي والسيتوبلازم إلى وجود البلازمودزم (plasmodesms). من جهة أخرى تبدو الفجوة ملونة بشكل أكبر، يعبر هذان الفعلان عن حركة الماء نحو الوسط الخارجي للخلية ويقال إن الخلية في وضع بلزمة (Plasmolysis).

إذا أعادنا وضع الخلية في الماء النقي مرة أخرى، فإنها تعود إلى وضعها الأصلي وتزول ظاهرة البلزمة ( أي شفاء البلزمة Deplasmolysis ). إذا فالوضعان قابلان للعكس ويمثلان تأقلم الخلية مع الضغط الأسموزي للوسط الخارجي. هذا التنظيم ليس ممكناً إلا بفضل نصف نفاذية الأغشية السيتوبلازمية ولنفاذية الجدار البكتوسيللوزي، لذلك تعمل الخلية كجهاز (Osmometer).



### 2 - 3 - مفهوم الامتصاص Suction :

إذا وضعنا خلية نباتية في وضع بلزمة في وسط مائي وتابعا تطور امتصاصها تبعا لتغير الحجم أو تبعا للزمن من اللحظة التي تمتص فيها الخلية الماء فإنها تتحول نحو الامتلاء Turgescence وبالطبع ينخفض ضغطها الأسموزي ( $\pi$ )، وابتداء من لحظة ما، يظهر الجدار الخلوي ضغطا يعارض تدريجيا زيادة حجم الخلية، أي أنه يعارض دخول الماء إلى الخلية.

### 2 - 4 - ضغط الامتلاء Turgid pressure :

من المعروف أن الجدار البكتوسيللوزي المحيط بالخلية النباتية يتمتع بمطاطية محدودة، لذلك عند وضع الخلية النباتية في وسط ضغطه الأسموزي أقل من ضغطها، يدخل الماء إلى الخلية بالخاصية الأسموزية فتنتفخ الفجوة وتدفع السيتوبلازم والغشاء البلازمي باتجاه الجدار الخلوي، وبما أن مرونة الجدار الخلوي محدودة، فإنه يتمدد إلى أقصى درجة له ويتولد عنه ضغط يسمى الضغط الجداري Membrane pressure، تسمى الخلية في هذه

الحالة خلية ممتلئة ( Turgescent )، ويتولد فيها ضغط يسمى ضغط الامتلاء  $turgid\ pressure$  (t) وهو مساو في القيمة المطلقة للضغط الجداري ومعاكس له في الاتجاه مما يمنع انفجار الخلية نتيجة امتلائها

2 - 5 - فوائد الحلول في حياة النبات:

- 1- يساعد الضغط الأسموزي على مقاومة الظروف البيئية المعاكسة كالجفاف، الملوحة، البرودة....
- 2- يؤثر الضغط الأسموزي على حركة الثغور حيث يؤدي ارتفاعه في الخلايا الحارسة إلى فتح الثغور وبالتالي حصول عملية النتح.
- 3- يساعد على انتقال الماء عبر الخلايا وتوزعه في جميع أنحاء النبات وهذا ماسنجده عند دراسة امتصاص الماء من قبل النبات.
- 4- يولد امتلاء الخلايا الناتج عن الضغط الأسموزي قوة تساعد على تمدد الخلايا واستطالتها.

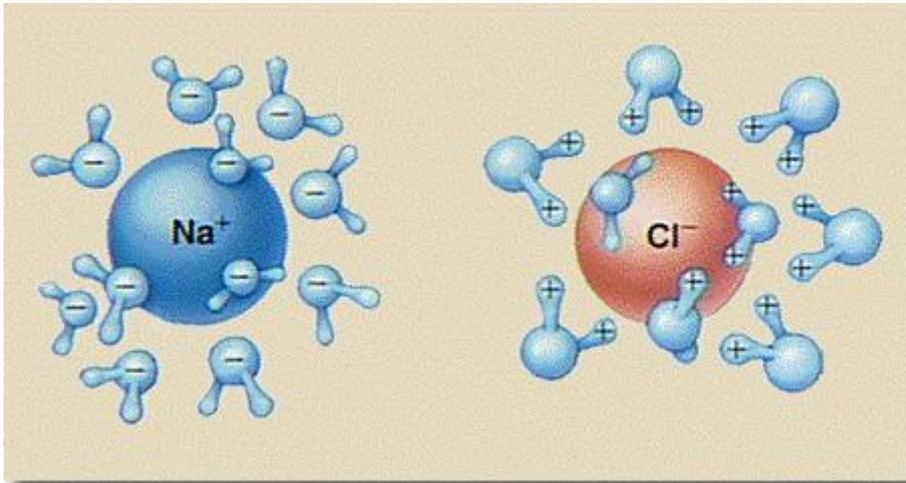
### 3- نفاذية الخلية النباتية للمواد المنحلة ( Permeability to solubstances ) :

من الصعب تماما مناقشة كل جوانب النفاذية الخلوية التي تمثل حقلاً واسعاً من فيزيولوجيا الخلية، لكننا سنحاول أولاً تقديم الصفات العامة الأكثر أهمية ثم الإشارة إلى العوامل المختلفة الخارجية منها والداخلية التي يمكن أن تتدخل في دخول الأملاح المنحلة.

### 3 - 1 - أهمية درجة تمييه الأيونات ( Importnnee of ions hydration ) :

تتواجد الأيونات المعدنية في المحلول المائي خاصة الكاتيونات محاطة بغلاف من جزيئات الماء المرتبطة بالأيونات بقوة كهربائية ساكنة، وتزداد درجة التمييه مع شحنة الأيون لذلك فهي أكبر بالنسبة للكالسيوم<sup>++</sup> Ca منها للبيوتاسيوم  $k^+$  اللذان يملكان نفس الوزن الجزيئي تقريبا.

عدا عن ذلك، يحيط الأيون نفسه بغلاف من الماء ويبقى الحقل الكهربائي عاليا بما فيه الكفاية على مسافة أكبر من الغلاف الأول وبذلك يستطيع أن يؤثر على توجه جزيئات الماء لتشكيل غلاف آخر، هذان الغلافان يزيدان حجم الأيون وبالنتيجة يخفضان من سرعة انتقاله. يتناسب حجم غلاف التمييه عكساً مع قطر الأيون.



3 - 2 - الصفات العامة للنفاذية الخلوية **General Characters** :

**a** ) الامتصاص الإضافي للأيونات : تعيش الخلية في وسط يختلف تركيزه مع الزمن، والمثال الأكبر وضوحا هو حال الأشنيات البحرية التي تواجه تغيرات هامة في الملوحة سواء كان ذلك عند تمديد مياه البحر بواسطة مياه الأمطار ( في الشتاء ) أو عند مصب الأنهار أو عند زيادة تركيزه بسبب التبخر في فصل الصيف. كذلك الحال بالنسبة لجذور النباتات، حيث إن محلول التربة ليس دائما بنفس التركيز بعد الأمطار الغزيرة (يكون ممددا) أو بعد فترة من الجفاف (يكون مركزا).

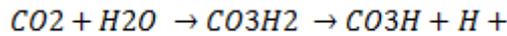
**b** ) تراكم العناصر والاصطفائية **Accumulation and selectivity** :

وهما خاصتان من خصائص الخلايا مرتبطتان، مثال عن Hydrodictyon africanum من فصيلة (Chlorophyceae)، يمكننا أن نلاحظ هنا بمقارنة تركيز بعض العناصر المعدنية داخل الخلايا وخارجها، أن الخلية النباتية أكثر نفاذية لليوتاسيوم k مقارنة بغيره من الأيونات، كما أن الخلية تراكم الصوديوم Na ولكن لا يبدو أن هناك صرف طاقة من أجل ذلك، مما يترك مجالا للافتراض أن حركة الأيونات هذه والتي تعود إلى مثل هذا التراكم يجب أن تسبب عدم توازن في الشحنات.

أما صفة الاصطفائية فيمكن فهمها من الأمثلة التالية :

من المعروف أن بعض الأيونات المعدنية تُمتص بشكل أكبر من الآخر أو أنها تمتص بسرعة أكبر، في الواقع، يمكن أن تتم بإضافة المركبات الأمونياكية (NH<sub>4</sub>Cl) أو النتراتية (NO<sub>3</sub>Na) في الحالة الأولى نجد أن ال NH<sub>4</sub><sup>+</sup> أي الكاتيون هو الذي يمتص بسرعة أكبر من الكلور Cl<sup>-</sup>، في نفس الوقت نلاحظ انخفاض PH الوسط الخارجي، أما الحالة الثانية فنجد أن الأنيون NO<sub>3</sub><sup>-</sup> هو الذي يمتص بسرعة أكبر من ال Na<sup>+</sup>، في هذه الظروف نلاحظ ارتفاع PH الوسط الخارجي.

يفترض لتفسير هذه الظاهرة أنه في نفس الوقت الذي يدخل فيه NH<sub>4</sub><sup>+</sup> هناك خروج للـ H<sup>+</sup> الآتي من الاستقلاب التنفسي :



مما يخفض ال PH وفي حالة الامتصاص التفضيلي لـ NO<sub>3</sub> يوجد طرح لـ CO<sub>3</sub>H أو لـ OH مما يرفع ال PH. خلاصة القول بالنسبة للاصطفائية أو سرعة دخول الأيونات هي أنه لا تدخل كل العناصر بنفس السرعة إلى الخلية ويمكن ترتيبها حسب دخولها بالنسبة للأيونات بصورة عامة كما يلي:

يكون الترتيب بالنسبة للأيونات: NO<sub>3</sub> > Cl > SO<sub>4</sub> > HPO<sub>4</sub>.

وبالنسبة للكاتيونات: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > k<sup>+</sup> > Mg<sup>++</sup> > Ca<sup>++</sup> > Na<sup>+</sup>.

وبالأخذ بعين الاعتبار الشحنات السالبة الموجودة على مستوى الغشاء الخلوي، يمكن القول إن الكاتيونات تدخل بسهولة أكبر من الأنيونات.

فيما يتعلق بالجزيئات العضوية: تدخل الجزيئات العضوية بسهولة أكبر كلما كان حجمها أقل، فمثلا تدخل جزيئة الجلوكوز (  $p.M = 180$  ) بسهولة أكبر من جزيئة السكروز (  $p.M = 342$  )، لكن المانيتول يعبر الغشاء الخلوي بصعوبة أكبر رغم أن حجمه يقارب حجم الجلوكوز (  $p.M = 182$  )، كذلك ترتبط القدرة على الدخول بشدة الانحلال في الليبيدات.

### 3 - آلية امتصاص الأيونات المعدنية ( Mechanisms of ion absorption ) :

هناك عدة طرق يعتقد بأن الأيونات تسلكها أثناء دخولها إلى الجذور ويمكن جمع هذه الطرق في مجموعتين رئيسيتين مختلفتين بطبيعتهما تساهمان معا بشكل متكامل ومتواقف في امتصاص الأملاح أي بعبور الحواجز الخلوية، هاتان المجموعتان هما:

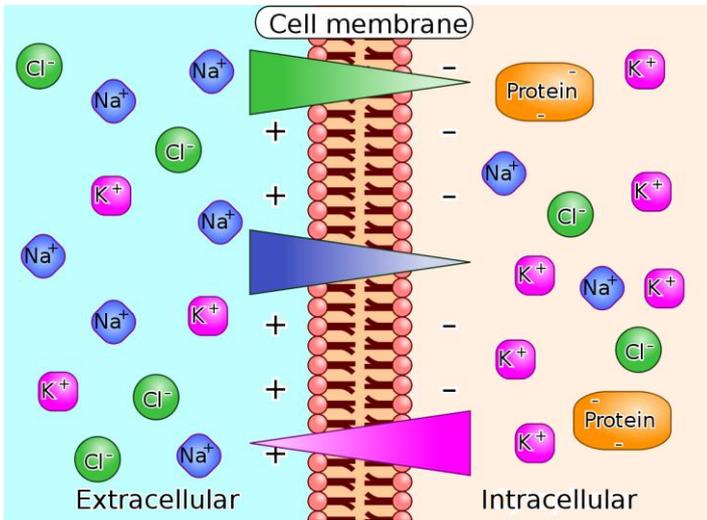
1- آليات فيزيائية تدخل في إطار الامتصاص السلبي Passive absorption.

2- آليات تعتمد على الاستقلاب الخلوي وتدخل في إطار الامتصاص الفعال Active absorption

#### 1- الامتصاص السلبي : Passive absorption

أ - الانتشار Diffusion: وهو أبسط طرق النقل، تتناسب سرعة الامتصاص مع تركيز الوسط لكن الانتشار لا يفسر التراكم ولا الاصطفائية ولا الحساسية للمتطلبات الخلوية.

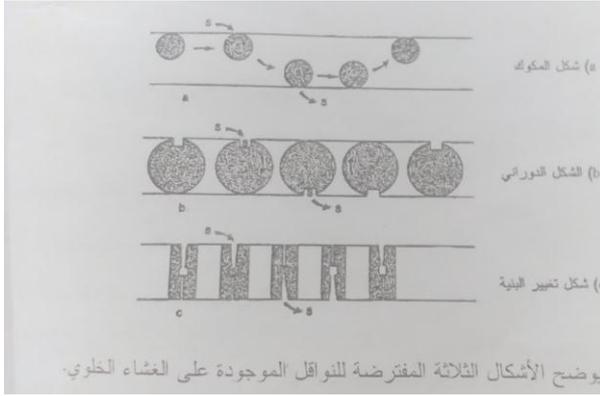
ب - الامتصاص الذي يتم من خلال الادمصاص وتبادل الشوارد :



يمكننا إضافة طريقة تبادل الشوارد المدمصة التي تحدث بين سطح الجذور والأغشية الخلوية وبين غضار التربة إلى الطريقة السابقة حيث تكون الجذور غنية بالأقطاب السالبة، تتدخل هذه الأقطاب السالبة لصالح الكاتيونات على في بداية الامتصاص، لكن يمكن اعتبار هذا التبادل حالة خاصة من الانتشار، إذ يمكن أن يحدث بين الجذور وغضار التربة بدون أن تنتشر الأيونات في المحلول ( تبادل  $H^+ / K^+$  ).

#### 2- الامتصاص الفعال : Active absorption

هو الامتصاص الذي يعتمد في نقل الأيونات من الوسط الخارجي إلى الوسط الداخلي على الطاقة الاستقلابية، حيث يكون حساساً لدرجة الحرارة يزداد بزيادتها، كما أنه بطيء في غياب الأكسجين، ويتأثر بمثبطات الاستقلاب التنفسي.

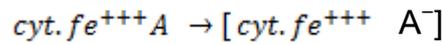
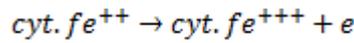


### a- نظرية النواقل Transporters hypothesis:

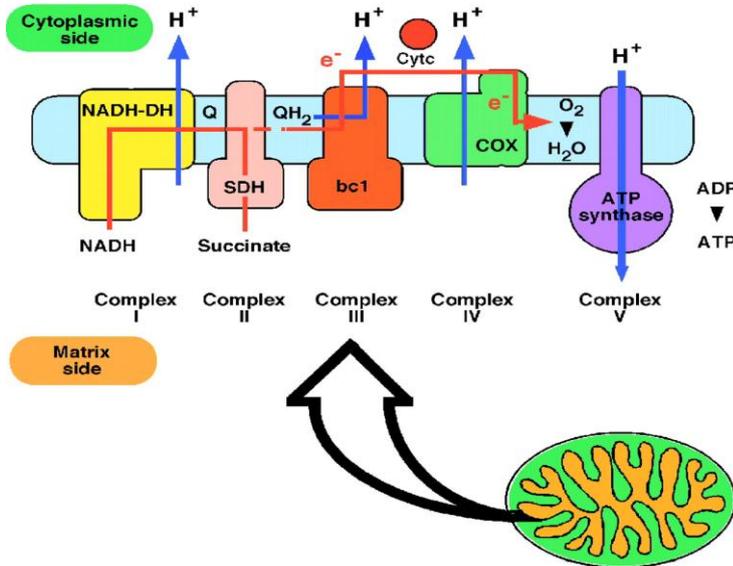
تفترض وجود مركبات وسيطة قادرة على جعل الأيونات تعبر حاجز النفاذية، وفق شكل المكوك، الشكل الدوراني، وشكل تغيير البنية.

### b - نظرية السيتوكرومات Cytochrome hypothesis أو نظرية Lundegardh:

يقترح Lundegardh أن السيتوكرومات المرتبطة بنقل الإلكترونات تشارك عند عودتها في نقل الأيونات حسب الشكل التالي:



وهو معقد مؤقت



وتعتبر السيتوكرومات من الأنزيمات الناقلة للإلكترونات، وتعمل في نهاية عملية التنفس، حيث تتشكل شاردة  $\text{Fe}^{3+}$ ، فنقوم عند ذلك بجذب شحنة سالبة قد تكون أنيون  $A^-$ .

### C - نظرية النقل المرتبطة بالفوسفوليبيدات (أو نظرية Bennef - clark , 1956):

تعتمد هذه النظرية على احتمال أن تكون الليبيدات الفوسفورية Phospholipides مطبقة في عملية نقل الأيونات عبر الغشاء، حيث يتكون الليسيثين Lecithin (وهو ليبيد فوسفوري)، يلتقط الأيونات من السطح الخارجي ويطلقها بالتحلل المائي إلى الفراغ الداخلي.

## 3 - 4 - العوامل المؤثرة في امتصاص العناصر المعدنية:

يتأثر امتصاص العناصر بعوامل عديدة، حيث يمكن أن يتغير هذا الامتصاص تبعاً للتقدم في السن أو أن يكون خاصاً بنسيج معين أو عضو معين. ويمكن تجميع العوامل المؤثرة على الامتصاص في مجموعتين رئيسيتين هما:

**A) العوامل الداخلية Internal factors :****1- نوعية النسيج أو العضو النباتي :**

تختلف نفاذية الأنسجة النباتية للأيونات المعدنية حسب نوع النسيج النباتي.

**2- عمر النسيج النباتي :** تتغير قدرة الامتصاص تبعاً للتقدم في السن، وتتميز الأنسجة الورقية من جهة بسرعة امتصاص بطيئة نسبياً ومن جهة أخرى بقوة احتفاظ عالية (طرح قليل) مما يسمح لها بتأمين حاجاتها الخاصة أولاً. تتغير هذه السرعة فيما بعد، حيث تتطور لتصبح مثالية ثم تعود لتصبح أكثر بطناً قبل الشيخوخة، في نفس الوقت تضعف فيه قدرتها على الاحتفاظ. وبصورة عامة تفقد الخلية خصائصها نصف النفوذة وكذلك اصطفاؤها مع الاقتراب من الشيخوخة مما يفسر على الأقل وبشكل جزئي سبب ترك الجزيئات العضوية والعناصر المعدنية الورقة وتخرج بواسطة اللحاء نحو أماكن التخزين.

**B) العوامل الخارجية Externals factors :**

كثيرة هي العوامل الخارجية التي تؤثر على النفاذية الخلوية، حيث تختلف حركية الامتصاص حسب التغيرات اليومية أو الفصلية أو السنوية وأهم هذه العوامل:

**1- الحرارة:** يعتمد امتصاص العناصر الغذائية كما هو حال كل العمليات الاستقلابية التي تقوم بها الخلايا على درجة الحرارة، حيث يكون الامتصاص المثالي بين (20 - 25 م). تختلف هذه المنطقة المثالية حسب النوع النباتي، بعد درجة 25 م ينخفض الامتصاص ويمكن أن ينعدم على درجة 30 م.

**2- الأوكسجين :** يؤثر الأوكسجين على الامتصاص الخلوي كما هو الحال في تأثير درجة الحرارة من خلال اعتماد الخلايا في تنفسها عليه، لذلك نلاحظ وجود علاقة بين الامتصاص الخلوي وضغط الأوكسجين.

**3- الضوء :** يكون تأثير الضوء أكثر تعقيداً، وتجدر الإشارة إلى أن هذا التأثير لا يعني إلا الأعضاء الخضرية حيث يكون للضوء تأثير غير مباشر على الامتصاص حتى يتضح بالتزود بالطاقة الناتجة عن الفسفرة الضوئية وكذلك تنشيط التمثيل الضوئي مما يزيد الحاجة إلى العناصر المغذية. في نفس الوقت، يمكن ملاحظة تأثيرات غير مباشرة (تغير تركيب الأغشية الخلوية مما يؤدي إلى تغيرات الخصائص الفيزيوكيميائية).

**4- تأثير pH :** يعتبر pH التربة عاملاً هاماً يدخل في التوزيع الجغرافي للنبات، ويمكن لـ pH أن يؤثر على ذوبان الأملاح، يكون الامتصاص الخلوي ككل الفعاليات الاستقلابية حساساً لـ pH، حيث ينظم pH الوسط

الفعالية الخلوية للشعيرات الجذرية، وفي الخلاصة يمكن القول أنه في معظم الحالات تساعد الـ pH المنخفضة قليلا على امتصاص أفضل بالنسبة للعناصر المعدنية أي بين pH 5 إلى 6.

### 5- تأثير الوسط الأيوني :

#### (a) الأيون المرافق (تفاعلات التساند) Accompaniment ion :

من المعروف أن الأيونات تضاف عادة على شكل ملح مما يستدعي وجود أنيونات وكاتيونات يمكن أن تنتج طبيعتها الكيماوية وبالنتيجة يتغير دخول العناصر المدروس إلى الخلية، فوجود البوتاسيوم كعنصر مرافق للكلور يزيد من امتصاص الكلور أكثر من وجود الكالسيوم.

وقد وجد أنه في حالة الشوندر السكري، يصبح امتصاص البوتاسيوم أكثر سهولة حسب الترتيب التالي:



#### (b) تفاعلات التضاد والتنافس الأيوني : Ionic interaction antagonism and competition

يمكن لبعض الأيونات أن تخفض دخول أيونات أخرى إلى الخلية إذا وجدت معا في الوسط، وهذا ما يسمى بالتضاد Antagonism.

يكون التضاد تنافسيا Competitive عندما يتنافس أيونان يمتلكان خصائص كيماوية متشابهة على نفس مواقع التثبيت في الأنزيمات الناقلة الموجودة على الغشاء البلازمي، فمثلا نرى أن التوافق بين الـ  $\text{Mg}^{2+}$  ومواقع الارتباط على الغشاء البلازمي قليلة نسبيا، لذلك تتنافس كاتيونات أخرى مثل الـ  $\text{Mn}^{2+}$  أو الـ  $\text{Ca}^{2+}$  بشكل خاص وفعال مع الـ  $\text{Mg}^{2+}$  وبذلك ينخفض امتصاصه بشدة، لذلك تفسر هذه المنافسة حالة نقص المغنيزيوم التي تحدث للنباتات المزروعة في أراضي كلسية أو عند إضافة كميات كبيرة من الأسمدة البوتاسية أو الكلسية.

كذلك لوحظت المنافسة بين الأيونات أيضا على مواقع الارتباط في الأغشية الخلوية للجذور، مثل المنافسة بين الـ  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{SO}_4^{--}$ ، بين الـ  $\text{SO}_4^{--}$  و  $\text{SeO}_4^{--}$ ، أيضا بين الـ  $\text{Cl}^-$  والـ  $\text{NO}_3^-$  حيث يخفض دخول الـ  $\text{NO}_3^-$  كثيرا بواسطة الكلور الموجود في الوسط، لذلك تستعمل خاصية منافسة الكلور للنترات في الزراعات المكثفة لخفض محتوى النترات في بعض النباتات كالسبانخ التي تميل لتكديس النترات بكميات كبيرة، كما تستعمل المنافسة بين الأيونات لخفض محتوى الكلور في النباتات بزيادة تركيز الـ  $\text{NO}_3^+$ .

{ نهاية الجلسة }