الفصل الثالث

امتصاص وانتقال الأملاح المعدنية

لقد افترض الباحثون الأوائل أن الأملاح المعدنية تحمل إلى داخل النبات سلبياً مع امتصاص الماء وأن انتقال الأملاح الى أجزاء النبات المختلفة يعتمد على تيار النتح. ويعيب هذا الفرض أنه لا يستطيع تفسير الفرق الواضح في تركيز العناصر بين أنسجة النبات ووسط النمو. وقد تم استدراك هذا النقص بافتراض أن التركيز الاسموزى للعنصر داخل النبات يظل باستمرار منخفضاً عن تركيزه فى الوسط ؛ ويمكن أن يتم ذلك من خلال استهلاك العناصر الممتصه فى عمليات الأيض. والنظرية الاسموزية بذلك تكون كافية لتفسير الامتصاص ولكنها لا تستطيع تفسير الانتقال السريع للأملاح داخل النبات بمجرد امتصاصها، وهنا يأتى دور تيار النتح حيث يساعد فقط فى توزيع الأملاح على أعضاء النبات المختلفة.

هكذا كانت تبنى النظريات الأولى لتفسير امتصاص وانتقال العناصر داخل النبات على أسس فيزيقية وأهمل دور الطاقة الأيضية أو حيوية النبات. إلا أنه فى بداية القرن العشرين قدم العالم الألمانى فيفر Pfeffer نظريته التى اقترحت دوراً ملموساً لحيوية الخلايا؛ إذ افترضت أن العنصر المغذى يمكنه أن يتحد بصورة مؤقتة مع البلازما مما يمكنه من الانتقال داخلياً والانفراد فى صورة حرة مرةً أخرى داخل الخلية. وهذه النظرية تتفق بدرجة كبيرة مع نظرية الحوامل الأيونية ion carriers فى امتصاص الأملاح السائدة حاليا. وقد أوضحت التجارب أن امتصاص الملح يعتمد فى معظمه على الطاقة الأيضية أى أنه ذو طبيعة نشطة active، ولكن دور الامتصاص السلبى لم يختف تماماً وإن تقلص كثيراً عن ذى قبل.

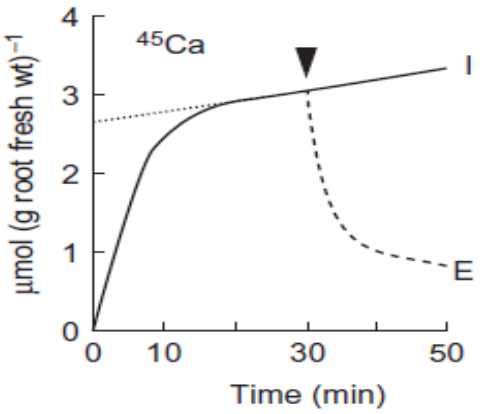
أولاً الامتصاص السلبى passive absorption:

الفضاء الخارجى أو الحر outer or free space

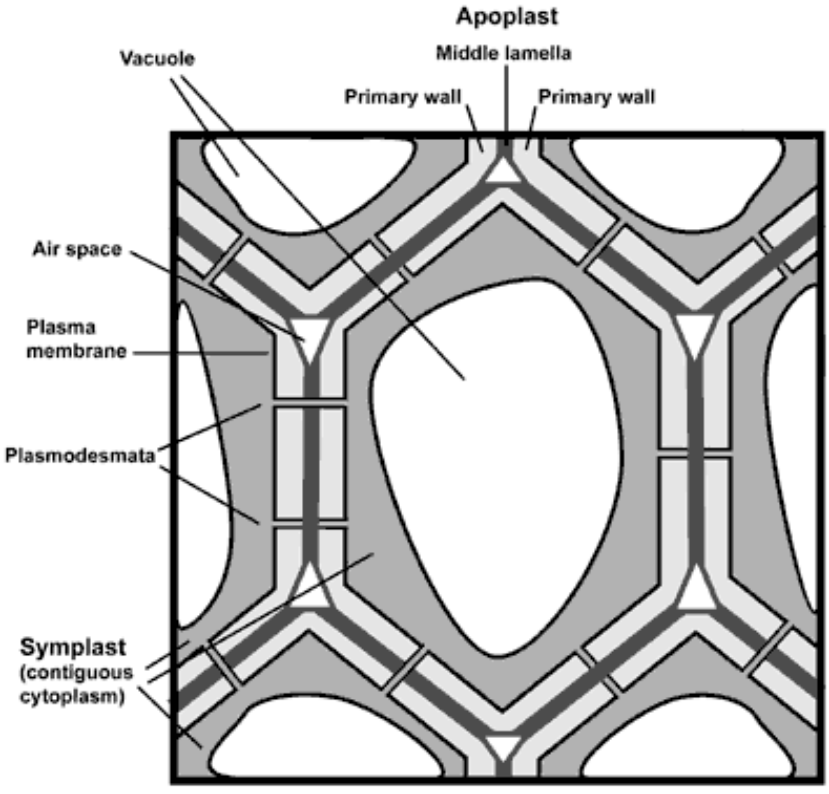
يتم إمتصاص الأيونات جزئياً بصورة سلبية أى أن الطاقة الأيضية للخلية الحية لاتشارك فى هذا الامتصاص؛ حيث يمكن للأيونات أن تتحرك بحرية إلى داخل وخارج النسيج بالانتشار. فقد وجد العلماء أنه عندما تنقل خلية أو نسيج نباتي من وسط ملحى منخفض التركيز أو ماء مقطر إلى وسط عالي التركيز نسبياً يحدث إمتصاص سريع للأيونات فى البداية ثم يتباطأ الامتصاص فيما بعد (شكل 11). وقد وجد أن الامتصاص السريع فى الفترة الابتدائية لا يتأثر بدرجة الحرارة أو المثبطات الأيضية أي أن الطاقة الأيضية ليس لها دور في هذا الإمتصاص إلا أن المرحلة التالية البطيئة من الامتصاص تكون تحت التحكم الأيضى. و لو أعيد النسيج السابق إلى وسط ذى تركيز ملحى منخفض فإن بعض الأيونات التي امتصت سوف تنتشر خارجةً إلى الوسط. بمعنى آخر فإن جزءاً من الخلية أو النسيج المغموس في المحلول يكون مفتوحاً أمام الانتشار الحر free diffusion للأيونات؛ أي أن الأيونات تتحرك بحرية داخل و خارج النسيج .

وجزء النسيج المفتوح للانتشار الحر سوف يصل إلى حالة من الاتزان مع الوسط الخارجى بحيث يكون تركيز الأيونات فى هذا الجزء مساوياً لتركيزها فى الوسط الخارجى. وجزء الخلية أو النسيج الذى يسمح بالانتشار الحر للأيونات يطلق عليه الفضاء الخارجى أوالحر free space. والمفهوم الحالى للفضاء الحر أنه الجزء من النسيج الذى يقع

خارج الأغشية البلازمية للخلايا ويشمل الجدر الخلوية والمسافات بين الخلايا ويقدر بنسبة 5-10% من حجم النسيج النباتى.



شكل 11. امتصاص الأيونات (I)من محلول ملحى، لاحظ المرحلة السريعة فى البداية والغير متأثرة بالمثبطات الأيضية ثم المرحلة البطيئة لاحقاً. لاحظ أيضا خروج جزء من الأيونات الممتصة عند نقل النسيج إلى ماء مقطر أو محلول ملحى منخفض (E).



من قياسات حجم الفضاء الخارجى اتضح أنه يزداد بزيادة تركيز المحلول الخارجى. ولما كان من المفترض أن هذا الجزء من حجم النسيج ينبغى أن يكون ثابتاً مهما تغير تركيز الوسط فإن الفرض المقبول لتفسير تلك الزيادة هو أن الأيونات تتراكم داخل النسيج بتركيزات أعلى من تركيزها فى الوسط، أى أعلى مما يسمح به الإنتشار الحر free diffusion وهى الآلية السائدة فى دخول الأيونات إلى النسيج. إن ذلك يعنى إمكانية تراكم الأيونات فى الفضاء الحر سلبياً بدون مساهمة الطاقة

الأيضية للخلية. ونظرا لتغير حجم الفضاء الخارجى تبعاً لظروف القياس (تركيز الأيونات فى الوسط مثلا) فإن التعبير المقبول عن هذه المساحة من النسيج النباتى هو الفضاء الحر الظاهرى apparent free space.

والسؤال الآن هو: كيف يمكن أن تتراكم الأيونات ضد منحدر التركيز بدون اشتراك الطاقة الأيضية؟. توجد فى الوقت الراهن ثلاث آليات لتفسير ذلك التراكم السلبى هى التبادل الأيونى، وتأثير واتزان دونان والتدفق الكتلى للأيونات.

1 - التبادل الأيونى ion exchange:

مثلما يحدث فى التربة بين دقائق الطين ومحلول التربة فإنه يمكن أن تتبادل الأيونات المدمصه على أسطح الجدر الخلوية أو غشاء الخلية مع أيونات المحلول الخارجى. معنى هذا أن التبادل الأيونى يمكن أن يسمح بامتصاص للأيونات من الوسط الخارجى بدرجة أكبر مما يسمح به الانتشار الحر. فمثلا يمكن أن يتبادل أيون H^+ المدمص على جدار الخلية مع أيون K^+ فى المحلول أو يتبادل أيون OH^- على سطح الخلية مع أيون NO_3^- فى المحلول.

2 - تأثير واتزان دونان Donnan effect :

تستند هذه النظرية إلى تأثير الأيونات المثبتة أو غير المنتشرة والموجودة داخل الخلية. فاذا كان على الجانب الداخلى لغشاء الخلية بعض من الأيونات السالبة الشحنة والتى لايسمح لها الغشاء بالنفاذ، ولو أن هذا الغشاء يسمح بحرية مرور الكاتيونات والأنيونات خلاله من المحلول الخارجى، فإن أعداداً متساوية من الكاتيونات والأنيونات سوف تنفذ عبر هذا الغشاء من المحلول الخارجى حتى يحدث إتزان.

ولكن هذا الاتزان لابد أن يكون كهربياً أيضا ، ومعنى ذلك دخول كاتيونات إضافية لتوازن الشحنات السالبة المثبتة على الجانب الداخلى للغشاء، وبالتالى فان تركيز الكاتيونات سوف يصبح أكبر بالداخل (شكل 12). وهكذا فان الوصول إلى اتزان دونان يمكن أن يؤدى إلى تراكم الأيونات ضد منحدر التركيز دون الحاجة الى الطاقة الأيضية.

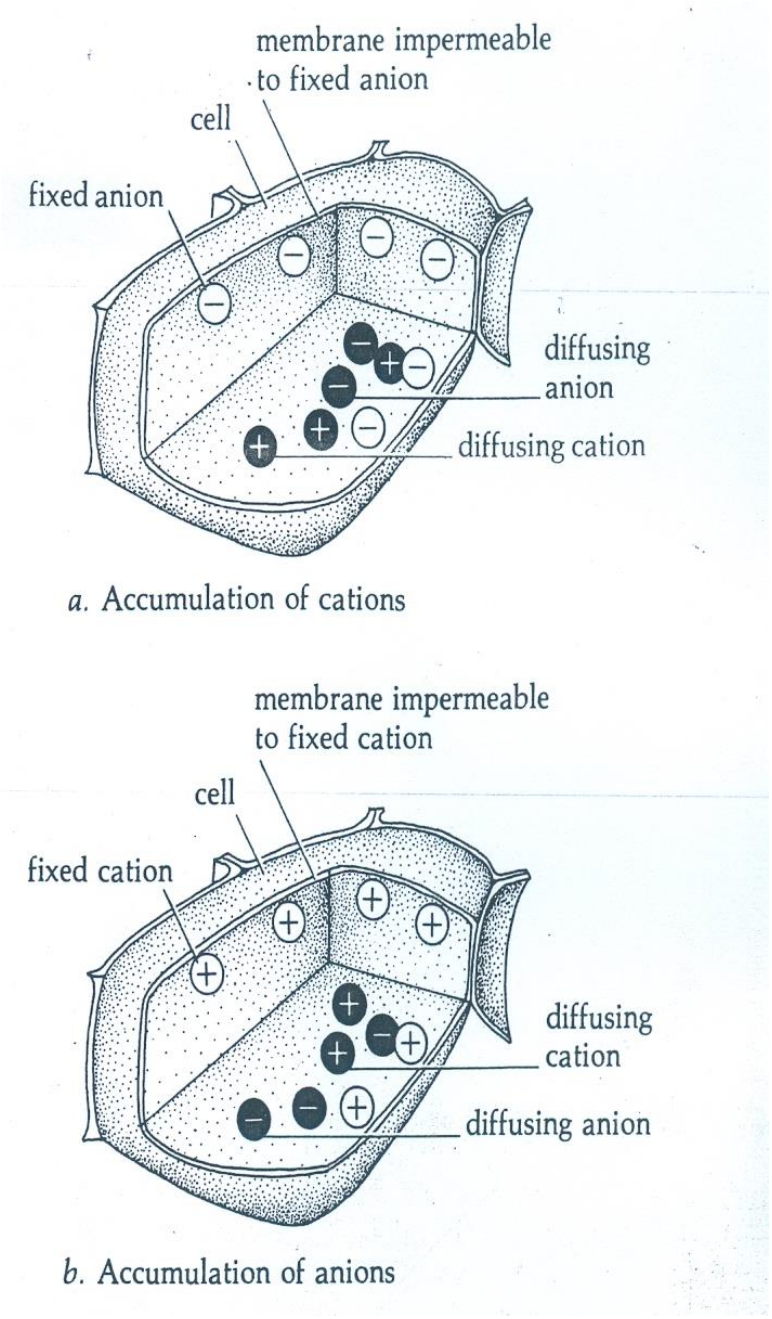
3- التدفق الكتلى للأيونات mass flow of ions

يرى بعض الباحثين أن الأيونات يمكن ان تتحرك خلال الجذر مصاحبةً لحركة تدفق الماء. وطبقاً لهذه النظرية فإن زيادة تيار النتح يجب أن تسبب زيادة فى امتصاص الأيونات. وفى المقابل يرى باحثون آخرون أن النتح يؤثر تأثيراً غير مباشر على امتصاص الأيونات عن طريق إزالة الأيونات المتراكمة فى أوعية الخشب مما يسبب تخفيفاً للعصارة وهذا التخفيف يسبب زيادة فى نشاط امتصاص الأيونات.

من هذا يتضح أن جزءاً من الأملاح الممتصة بواسطة النبات يتم أخذه عن طريق الامتصاص السلبى بالانتشار الحر للأيونات فى الفضاء الخارجى لأنسجة الجذر، كما يمكن أن يحدث تراكم سلبى للأيونات فى أنسجة الجذر تحت تاثير التبادل الأيونى و توازن دونان والتدفق الكتلى للأيونات بمساعدة الشد النتحى، و جميع هذه العمليات تحدث فى غياب الطاقة الأيضية.

ثانياً: النقل النشط active absorption :

لقد أوضح التحليل المباشر للعصارة الفجوية لخلايا النباتات المغموسة فى محلول معروف التركيز تراكم كل من الأنيونات والكاتيونات فى النبات ضد منحدر التركيز وأن هذا التراكم يبلغ حداً لا يمكن لآليات التراكم السلبى المعروفة مثل التبادل الأيونى ونظرية اتزان دونان أن تفى به (شكل 13). وبما أن تراكم الأيونات يثبط عندما يثبط النشاط الأيضى فى النبات لذلك فيمكن القول بأنه يلزم لحدوث هذا التراكم فى النبات الحصول على الطاقة الأيضية.

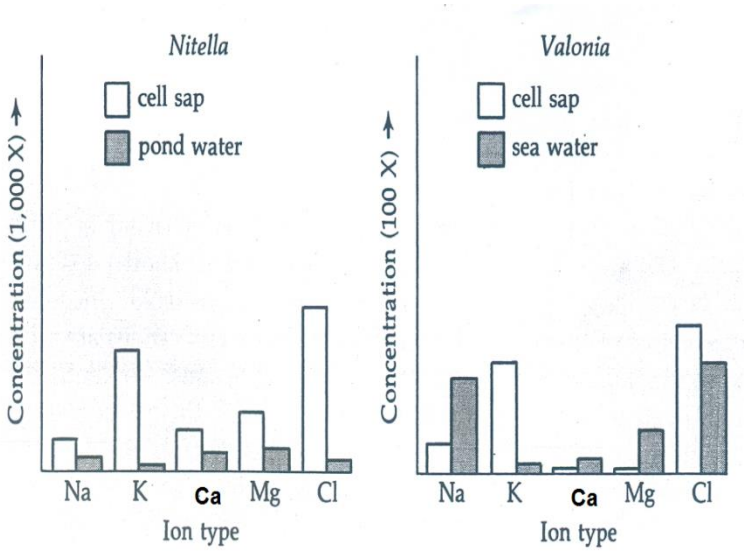


شكل 12. تراكم الكاتيونات (أ) والأنيونات (ب) من خلال تأثير الشحنات الثابتة داخل الخلايا (تأثير دونان).

والنقل النشط هو نقل الأيونات عبر غشاء الخلية - والذى يتمتع بالنفاذية الاختيارية - باستغلال الطاقة الأيضية ؛ حيث يتم ذلك بمصاحبة وسيط (الحامل الأيونى) وهوعبارة عن مركب موجود فى الغشاء نفسه.

مبدأ الحامل الأيونى the carrier concept:

يرتكز مبدأ الحامل الأيونى على افتراض وجود حاجز يفصل الفضاء الخارجى عن الفضاء الداخلى للنسيج النباتى . هذا الحاجز والذى يتميز بكونه غير منفذ للأيونات الحرة يُنظر إليه حالياً على أنه هو الغشاء البلازمى. وعلى هذا الحاجز توجد جزيئات حاملة للأيونات (بروتينات متكاملة integral proteins) يمكنها أن تتحد مع الأيونات الموجودة فى الفضاء الخارجى حيث يتكون مركب وسطى مؤقت يسهل تحركه عبر الحاجز ثم يتفكك هذا المركب المؤقت عند عبوره الغشاء مطلقا الأيونات فى الفضاء الداخلى.



شكل 13. تركيز الأيونات فى طحلب نيتيلا وطحلب فالونيا مقارنة بتركيزها فى ماء البركة أو ماء البحر.

ونظراً لأن الحامل الأيونى يعمل فقط فى إتجاه واحد من الخارج إلى الداخل فإن الأيونات المنطلقة فى الفضاء الداخلي لا يمكنها العودة مرة أخرى إلى الفضاء الخارجى و من ثم تتراكم داخل الخلية. ولكى يمكن الربط بين تراكم الأيونات والطاقة الأيضية فقد تم افتراض أن الحامل الأيونى يجب أن ينشط اولا بواسطة الانزيم المناسب (kinase) الذى ينجز فسفرة الحامل أى تنشيطه مستخدماً ATP ، ومن ثم يمكن للحامل النشط أن يكون معقدا مع الأيون عند سطح الحاجز الخارجى. وعندما يتفكك هذا المعقد عند سطح الحاجز الداخلى فإن الحامل يفقد مجموعة الفوسفات ويصبح غير نشط حيث يحتاج إلى التنشيط من جديد. وهذ التفاعل الأخير ينشطه إنزيم نازع لمجموعة الفوسفات phosphatase. ويمكن تمثيل ذلك بالخطوات التالية :

1- Carrier $\xrightarrow[\text{Kinase}]{\text{ATP ADP}}$ Carrier* carrier activation

2- Carrier* + $[Ion]_o$ $\longrightarrow$ Carrier- Ion Complex binding

3- Carrier-Ion complex $\xrightarrow{\text{Phosphatase}}$ Carrier + $[Ion]_i$ ion release

وحتى الان لم يمكن عزل الحامل الأيونى والتعرف على هويته ؛ غير أنه من المرجح أن الحامل الأيونى هو أحد مكونات الغشاء ، إما أن يكون دهون فوسفورية أو بروتين. رغم ذلك فهناك أدلة تجريبية تدل على وجود الحامل الأيونى؛ من هذه الأدلة: تبادل النظائر وتأثير التشبع والتخصص/التنافس.