المسار القطري لحركة الآيونات في الجذر

يمكن تقسيم الجذر الى 3 مناطق رئيسة هي:

1- المنطقة الخارجية التي تتكون من بشرة الجذر (epidermis) وخلايا القشرة (Cortex).
2- القشرة الداخلية (endodermis) التي تحوي طبقة السوبرين في حزمة كاسبر (suberized casparian band).
3-المنطقة الداخلية التي تتكون من الانسجة الوعائية (العناصر الوعائية وخلايا برنكيما الخشب وغيرها)

مخطط يوضح المسار القطري للآيونات:

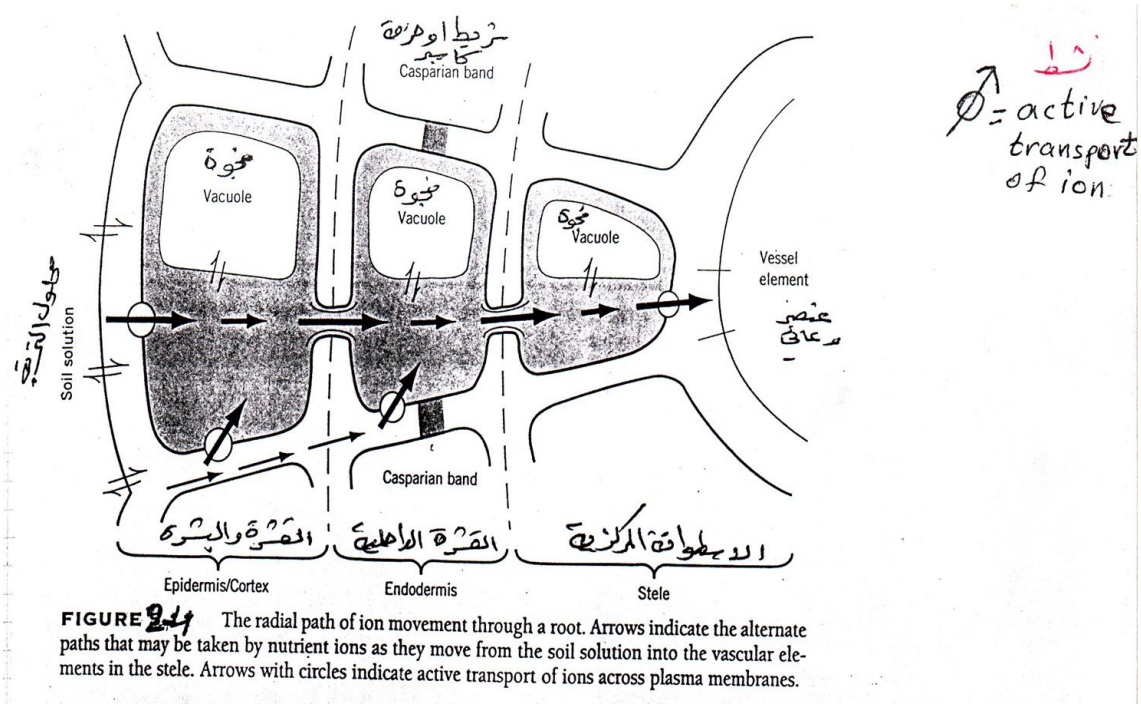

FIGURE 2.4 The radial path of ion movement through a root. Arrows indicate the alternate paths that may be taken by nutrient ions as they move from the soil solution into the vascular elements in the stele. Arrows with circles indicate active transport of ions across plasma membranes.

- تبدأ الآيونات بالانتشار في الفراغ الحر (جدران الخلايا والمسافات البينية) او ما يعرف بالـ Apoplast الى ان تصل حزمة كاسبر في القشرة الداخلية التي تمنع الانتشار الحر، عندئذ ستنفذ الى داخل الخلايا (نقل فعّال) من خلال حامل او قناة متخصصة (عبر الغشاء) ويمكن حدوث مثل هذا النقل الى داخل خلايا البشرة او القشرة.
- ثم تنتقل الآيونات من خلية الى آخرى عن طريق الروابط البلازمية (Plasmodesmata) او ما يعرف بالـ Symplast حتى تصل الى خلايا الخشب البرنكيمية ثم تنقل الى الاوعية الخشبية نقلاً فعّالاً (Active) .
- وتجدر الاشارة الى ان امتصاص الآيونات ليس منتظم على طول الجذر ومعظم الامتصاص يتم في طرف الجذر وتختلف منطقة الامتصاص باختلاف الآيونات ونوع النبات، ففي جذور الذرة اعلى امتصاص للـ Ca يتم في الـ 3 سم الطرفية من الجذر، بينما يمتص الـ K بشكل متكأفيء في الـ 15 سم الطرفية من الجذر.

العوامل المؤثرة في الامتصاص:

1- **درجة الحرارة:** يزداد الامتصاص (السلبي والفعّال) بارتفاع درجة الحرارة (ضمن الحدود الفسلجية)، الحرارة الواطئة تخفض الفعاليات الحيوية .

2- **pH التربة:** يؤثر في (جاهزية) ميسورية الآيونات للامتصاص، الـ pH الواطيء (حامضي) يقلل امتصاص الآيونات الموجبة لان H^+ تنافسها، اما الـ pH العالي (قاعدي) يعني ان OH^- ينافس الآيونات السالبة فيقل امتصاصها ويزيد امتصاص الآيونات الموجبة.

3- **التهوية (الاوكسجين):** قلة الاوكسجين تؤدي الى انخفاض الفعاليات الايضية فتقل الطاقة المتاحة للامتصاص النشط للآيونات.

4- **الضوء:** يؤثر في:-

- فتح وغلق الثغور حيث ان فتحها يزيد انسياب العصير الخشبي في الانسياب النتحي (Transpiration Stream) وذلك يؤثر بشكل غير مباشر في الامتصاص.
- تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيمائية في عملية التركيب الضوئي فتسهل الامتصاص النشط.
- الاوكسجين الناتج في عملية التركيب الضوئي يحسن ظروف الامتصاص النشط.

5- التداخل بين المغذيات (Nutrients interactions):

امتصاص احد الآيونات قد يتأثر بوجود آيون آخر (التنافس والتضاد).

التنافس (Competition):

- يكون على الموقع الفعّال، (موقع ارتباط الآيون بالحامل او الناقل)، يشترط التشابه بالخواص الكيميائية،
- درجة التنافس تتوقف على التركيز وعلى عدد المواقع الفعّالة.

$(Rb^+ - K^+)$، $(Br^- - Cl^-)$، $(Sr^{2+} - Ca^{2+})$، $(SeO_4^{2-} - SO_4^{2-})$

التضاد (Antagonism):

- وجود آيون يقلل او يمنع امتصاص آيون آخر.
- لا تحتاج الى تراكيز عالية (مجرد وجود الآيون).
- لا يشترط تشابه بالخواص الكيميائية. $(K^+ - Ca^{2+})$

K^+ يميل الى تخفيض لزوجة السايتوبلازم ويزيد نفاذية الاغشية.

Ca^{2+} له تأثيرات معاكسة (ينظم النفاذية).

- زيادة امتصاص آيون قد يؤثر بشدة في امتصاص آيون آخر.

زيادة P يؤدي الى نقص Zn^{2+}, K^+. وزيادة K^+ يؤدي الى نقص Ca^{2+}, Mg^{2+}

- تستعمل محاليل املاح مختلفة (ليس ملح واحد) في معالجة نقص عنصر غذائي واحد، وان التوازن الغذائي (وليس التركيز المطلق) هو المهم.
- ان ظهور اعراض نقص عنصر ما لا يعني عدم ميسوريته في التربة بل قد يكون نتيجة وجود عناصر منافسة او بتراكيز عالية او مغذيات مضادة.

6- **مرحلة النمو (Growth):** سرعة الامتصاص تختلف باختلاف عمر النبات، بتقدم العمر تكون نسبة كبيرة من الجذور مغطاة بطبقة السوبرين وغير قادرة على الامتصاص، وتزداد احتياجات النبات من العناصر خلال مرحلة النمو الخضري وما يرافقها من ارتفاع مستوى الفعاليات الايضية فيزداد الامتصاص.وقد تتراكم المغذيات في انسجة النبات لحين الحاجة ثم تنتقل الى اماكن استعمالها خلال مرحلة النمو التكاثري (التزهير وتكوين الثمار والبذور).

انتقال الآيونات الى الاعلى

- كما هو الحال بالنسبة لانتقال الماء، فأن الآيونات تدخل الفراغ الحر لجدران خلايا القشرة (Apoplast) ثم الى الـ Plasmodesmata (Symplast) ومنها الى الاسطوانة المركزية Stele ثم تنتقل الى الاعلى بنفس طريق الماء الى ان تصل الى عروق الاوراق Leaves Veins.
- اكثر الدلائل تشير الى انتقالها مع المذيب (الماء)، لكن سرعتها قد تتأثر بالامتزاز على جدران خلايا الاوعية الخشبية (خاصة للـ Ca^{2+},Mg^{2+})،
- زيادة النتح يزيد من الانتقال.

انتقال الآيونات دورانياً Ion circulation

- من تجارب النظائر المشعة: المغذيات تتحرك بالانسياب النتحي الى الاوراق، والكميات الزائدة تعود الى الاسفل في اللحاء، كما يمكن ان تتحرك جانبياً ثم تنقل الى الاعلى.
- الآيونات المتحركة بالحاء: تظهر اعراض النقص في الاوراق السفلى (القديمة) لانها تنقل من الاوراق السفلى الى الاوراق الفتية النشطة ايضياً.
- الآيونات غير المتحركة بالحاء: تظهر اعراض النقص في الاوراق العليا والمناطق المرستيمية.

جدول يبين حركة العناصر الغذائية في اللحاء

سريعة الحركة في اللحاء	متوسطة الحركة في اللحاء	غير متحركة في اللحاء
K	Mn	Li
Rb	Zn	Ca
Na	Co	Sr
P	Mo	Ba
S	Fe	B
Cl		

التغذية الورقية foliar nutrition

تستعمل في معالجة النقص للعناصر Mn, Cu, Zn, Fe في اشجار الفاكهة، يمكن استعمالها لعناصر آخرى.

هو اعطاء الغذاء عن طريق الاوراق وتستخدم في حالات:

1- استجابة سريعة ومساحات كبيرة.
2- عندما تكون الجذور متضررة.
3- عند تثبيت الايونات في التربة.

الاوراق الصغيرة والفتية تمتص اسرع واكفا من الكبيرة.

طرائق دراسة التغذية النباتية:

1- تحليل النبات: كمية ونوعية

- **Dry Ashing**: في درجة حرارة 600 مْ يتحول الى رماد. تحويل العناصر الى اكاسيد العضوية – تتحول الى غازات CO_2 بخار O_2.
- **Wet Ashing**: حامض البيركلوريك والهيدروكلوريك.

2- المزارع المائية Solution Culture, Hydroponic:

- تستخدم على نطاق تجاري،
- تستخدم في دراسة تغذية النبات وغيرها من بحوث الفسلجة البناتية،
- تستخدم في البيوت الزجاجية او غرف النمو (Growth Chamber) التي يمكن التحكم بالظروف البيئية (درجة حرارة، شدة الضوء، الفترة الضوئية).
- وهكذا دراسات يجب ان تنظم انواع من المحاليل الغذائية ومنها محلول هوكلاند الغذائي المحور (Modified Hoagland Solution).
- المحاليل الغذائية - ضرورة توفير التهوية (بدونها يستنفذ O_2 ويثبط التنفس من الجذر وينخفض امتصاص المغذيات)، والتي يطلق عليها (anoxia).
- تبديل المحلول، (استخدام املاح نقدية).
- الحاوية يجب ان تكون غامقة اللون (لمنع الضوء) لمنع نمو الطحالب التي تنافس النباتات على المغذيات، المحافظة على الجهد الازموزي للمحلول (تعويض المحذوف).
- **الايجابيات (الفوائد):** - التحكم بنوعية وكمية المغذيات و سهولة دراسة الجذور.
- **السلبيات:** كلفتها عالية، ضرورة توفير التهوية والظلام وتبديل المحلول.

شكل يوضح المزارع المائية

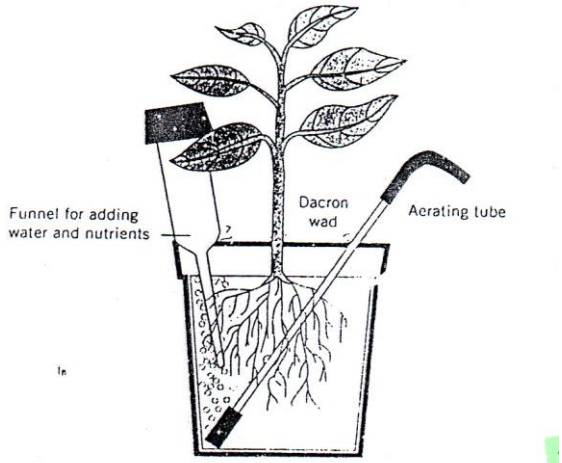

FIGURE 4.1 Diagram of a typical setup for nutrient solution culture. (From Epstein, 1972. Reprinted by permission.)

الوظيفة او الاهمية الفسلجية للمغذيات الاساسية

النتروجين:

- مكونات الاحماض الامينية والبروتينات والنيوكليوتيدات (القواعد النتروجينية) و NAD وNADP
- مكونات الكلوروفيل وبعض الهرمونات كالاوكسين والسايتوكاينين.

الفسفور:

- مكونات ATP والاحماض النووية وفي تفاعلات الفسفرة Phosphorylation كفسفرة السكر و البروتين (phospholipids) مثل (Licithin).
- مكونات NADP والنيوكليوتيدات و عامل منشط لبعض الانزيمات.
- في تركيب غشاء الخلية و يؤدي دور مهم في التركيب الضوئي والتنفس.

البوتاسيوم:

- لا يدخل في تركيب اي جزيئة من مكونات النبات ومع ذلك يحتاجة النبات بكميات كبيرة.
- منشط للعديد من الانزيمات (خاصة انزيمات التركيب الضوئي والتنفس). اكثر من 40 انزيم.
- مهم في التنظيم الازموزي للخلايا و في فتح وغلق الثغور.

المغنيسيوم:

- تركيب الكلوروفيل ومنشط لانزيمات عديدة.

الكالسيوم:
- انقسام الخلايا و تكوين جدار الخلية والصفيحة الوسطى اثناء الانقسام (Ca-pectate) بناء النواة والمايتوكوندريا،
- تنظيم نفاذية الاغشية و عامل منشط لبعض الانزيمات،
- Second messenger في تنظيم الفعاليات الايضية (فسفرة البروتينات)

الكبريت:
- مكونات الاحماض الامينية methionine, cystine, cysteine وفي البروتينات الحاوية عليها،
- عامل منشط لبعض الانزيمات،
- مهم في نقل الالكترون بعملية التركيب الضوئي مثل (ferredoxin).
- مكونات الفيتامينات coenzyme-A, biotin, thiamine،
- مركبات isothiocyanates, thiocyanates (زيت الخردل) وهي المسؤولة عن الطعم الحاد لنباتات العائلة الصليبية.

الحديد:
- جزء من انزيميات الاكسدة والاختزال (ومن المركبات السايتوكروم و ferredoxin) الضرورية في التركيب الضوئي والتنفس وتثبيت النتروجين.
- ضروري في بناء الكلوروفيل.

البورون:
- له دور في بناء جدران الخلايا وفي انقسام الخلايا واتساعها،
- نمو واستطالة انبوب اللقاح.
- ضروري في ايض ونقل الكاربوهيدرات،

النحاس:
- عامل مرافق cofactor لعدد من الانزيمات التأكسدية مثل (حوامل الالكترون) مثل plastocyanin و cytochrom oxidase،
- يدخل في phenolase (يؤكسد المواد الفينولية) والذي يسبب اسمرار (Browning) السطح المقطوع في البطاطا والتفاح.

الزنك:
- منشط لانزيمات عديدة و ضروري في ايض Indole Acetic acid،
- ضروري في بناء الحامض الاميني التربتوفان وهومنشأ الاوكسين.

المنغنيز:
- دور في تحرير الاوكسجين في التركيب الضوئي،
- البناء الحيوي للبروتينات و تنشيط بعض الانزيمات.

الموليبدنوم:
- ايض النتروجين، dinitrogenase (تثبيت النتروجين الجوي) و nitrate reductase (اختزال النترات الى نتريت في الجذور والاوراق).

الكلورين:
- دور في تحرير الاوكسجين في التركيب الضوئي،
- المحافظة على التوازن الازموزي في الفجوات و مهم في انقسام الخلايا.

النيكل:
- انبات بذور وتكوين بذور حيوية، مكونات urease (تحلل اليوريا) و Hydrogenase (تثبيت النتروجين الجوي).