



المحاضرات النظرية

العملي	النظري	الاسبوع
طرق تحليل التربة والنبات من حيث العناصر الغذائية	تعريف علم تغذية النبات ومحتوى النبات من العناصر	1
طرق تحليل التربة والنبات من حيث العناصر الغذائية	التربة كوسط للعناصر الغذائية	2
كيفية تحضير المحاليل الغذائية	امتصاص العناصر الغذائية والنظريات الخاصة بالامتصاص	3
كيفية تحضير المحاليل الغذائية	تمثيل العناصر وانتقالها داخل النبات	4
تشخيص نقص العناصر وعلاجها	تمثيل العناصر وانتقالها داخل النبات	5
تشخيص نقص العناصر وعلاجها	تمثيل العناصر وانتقالها داخل النبات	6
تشخيص نقص العناصر وعلاجها	الماء وتغذية النبات وعلاقة التغذية بالحاصل	7
اجراء تجارب سنادين لاظهار نقص العناصر الغذائية	الماء وتغذية النبات وعلاقة التغذية بالحاصل	8
اجراء تجارب سنادين لاظهار نقص العناصر الغذائية	الملوحة وتغذية النبات	9
اجراء تجربة هيدروبونكس (استخدام التقنيات الحديثة في زراعة الطماطة والخيار وغيرها للتعرف على انظمة الزراعة بدون تربة)	التغذية وامراض النبات ، التغذية والوراثة	10
اجراء تجربة هيدروبونكس (استخدام التقنيات الحديثة في زراعة الطماطة والخيار وغيرها للتعرف على انظمة الزراعة بدون تربة)	التغذية وامراض النبات ، التغذية والوراثة	11
اجراء تجربة هيدروبونكس (استخدام التقنيات الحديثة في زراعة الطماطة والخيار وغيرها للتعرف على انظمة الزراعة بدون تربة)	اعراض نقص العناصر	12
جولات في الحقول للتعرف على اعراض نقص العناصر	التلوث وتغذية النبات بالنسبة للماء والهواء	13
جولات في الحقول للتعرف على اعراض نقص العناصر	الزراعة بدون تربة (الزراعة المائية)	14
امتحان	امتحان	15



المحاضرات النظرية

تغذية النبات

هو العلم الذي يختص بدراسة كل العمليات التي لها علاقة بكيفية حصول النبات على احتياجاته من العناصر الغذائية المختلفة ، وكيفية امتصاصها و تتبع دخولها من بيئه النبات (محلول التربة والجو) الى داخل السايتوبلازم والفتحة العصارية cell cap (العصير الخلوي) و دراسة الاراء والفرضيات والنظريات المتعلقة بامتصاصها والعوامل التي تؤثر على جاهزيتها في التربة وامتصاصها بوساطة جذور النبات و تشخيص اعراض نقصها او السمية بها وكيفية علاجها وكذلك دراسة السمية بالعناصر النادرة trace elements ، كما يهتم هذا العلم بدراسة الوظائف الفسلجية المختلفة للعناصر الغذائية وتوضيح عملها في حياة النبات.

أهمية تغذية النبات

الكائنات في الطبيعة نوعين ، اما عضوية التغذية Heterotrophic ، وهي التي تقتات على كائنات اخرى وتشتمل على كافة افراد المملكة الحيوانية ، او كائنات ذاتية التغذية Autotrophic ، وهي كائنات تقوم بتصنيع غذائها بنفسها وتشتمل على كافة افراد المملكة النباتية ، من طريق الدراسات التي استمرت لمندة طويلة ، تمكن الباحثون من تحديد اهمية كل من الضوء والهواء والتربة فضلاً عن الماء في تغذية النبات ، فالنباتات الخضراء يمكنها من طريق استثمار الطاقة الضوئية من احتزال CO_2 وبالاشتراك مع العناصر المعدنية الممتصة من الجذور لانتاج مركبات مهمة وذات طاقة عالية مثل الكاربوهيدرات والاحماض الامينية والبروتينات وغيرها.

عموماً يتم امتصاص العناصر المعدنية من طريق الجذور او الاوراق ، في حين ان هناك نباتات معينة لاسيما النباتات المائية قد تحصل على المعادن بامتصاصها من طريق الاوراق ، اذ ان الاجزاء الغاطسة بالماء جميعها تقوم بعملية الامتصاص ومن ثم تقل اهمية الجذور في الامتصاص ، هنالك بعض النباتات المتuelle على ساقان الاشجار الكبيرة تمتص هي الاخرى العناصر من طريق الاوراق ، اذ عند تساقط المطر تغسل بعض الايونات من سطح اوراق النبات المضييف فتسقط على اوراقها وتمتصها.



المحاضرات النظرية

اما المسار الاخر لامتصاص العناصر الغذائية فيكون من طريق التنفف ،اذ ترسل النباتات المتطفلة (الهالوك والحامول) ممتصات خاصة تخترق انسجة المضيف لتصل الى الاوعية الناقلة فتختص ما تحتاجه من العناصر المعدنية.

تكون مصادر العناصر الغذائية في الطبيعة متعددة وتشمل:

1. التجوية weathering

يدخل في تركيب الصخور املاح المعادن وعند تعرضها للتجوية تتكسر هذه الصخور ونتيجة لهطول الامطار تذوب املاح المعادن فتتدين الى ايونات موجبة مثل البوتاسيوم K^+ والمغنيسيوم Mg^{+2} والكالسيوم Ca^{+2} والحديد Fe^{+2} والزنك Zn^{+2} والنحاس Cu^{+2} وايونات سالبة مثل الكلور Cl^- والكبريتات SO_4^{2-} والفوسفات HPO_4^{4-} و PO_4^{3-} ،تنتقل هذه الايونات مع السيلول الى الانهار ثم الى النباتات وربما تدخل في بناء الكائنات الحية الاخرى مثل ملح الطعام.

2. التحلل والتفسخ

ت تكون اجسام الكائنات الحية من مركبات عضوية يدخل في تركيبها العناصر الغذائية وعند موتها وتقسخها وتحللها تحرر المعادن بفعل الكائنات الحية او التفاعلات الكيميائية والفيزيائية الى محيط النبات فيمتصها مرة اخرى.

3. ثبيت النتروجين الجوي

يعد النتروجين احد اهم العناصر لنمو النبات الا انه لا يدخل في تركيب الصخور الارضية لذلك يعتمد تواجده بصورة متعددة NO_2^- و NO_3^- و NH_4^+ في التربة على تحلل وتفسخ المركبات العضوية النتروجينية ،اما المصدر الاخر للنتروجين هو ما يثبت من الجو $(Nitrogen fixation)$ ،اذ تتحول كميات ليست بالقليلة من نتروجين الجو البالغة نسبته 78% ،ونتيجة لعمليات التفريغ الكهربائي والاكسدة تتحول صورة مختزلة (NH_3) ذات بالماء او



المحاضرات النظرية

NO₂ او NO₃ (ذائبة بالماء) تنزل الى التربة فتمتصها النباتات ، او ان هنالك عملية تثبيت نتروجين الجو حيوياً ، اذ ان بعض البكتيريا المتطرفة مثل الرايزوبيا وحرة المعيشة مثل الازوتوباكتر يمكنها اخذ النتروجين الجوي وتحويله الى امونيا يستفيد منها النبات بصورة مباشرة (في حالة الرايزوبيا المكونة للعقد الجذرية) ، او ان تتكاثر هذه الكائنات باعداد كبيرة ثم تموت وتتفسخ وتتحلل فتنطلق ايونات الامونيا لوسط التربة فيمتصها النبات (في حالة الازوتوباكتر).

4. الاسمية الكيميائية

يصنع عدد كبير من الاسمية وقد يحتوي السماد على عنصر واحد مثل نترات الامونيوم NH₄NO₃ او يحتوي على عنصرين مثل سmad نترات الكالسيوم Ca(NO₃)₂ ونترات البوتاسيوم KNO₃ ، او يكون على هيئة سماد كمركب يحوي عدداً من العناصر مثل NPK ، وهنالك الاسمية التي ترش على الاوراق اذ تحوي على اغلب العناصر الكبرى والصغرى وبتراكيز مناسبة وحسب حاجة النبات ، كما توجد اسمدة تحوي مركبات مخلبية تمنع بعض العناصر مثل الحديد من تكوين معقدات مع عناصر اخرى (يصبح غير جاهز) موجودة في التربة ، لذا تساعد المركبات المخلبية في بقاء هذه العناصر جاهزة لامتصاص من قبل الجذور.

محتوى النبات من العناصر المعدنية

عند اخذ اي نسيج نباتي وتجفيفه بالفرن (Oven) سيفقد الماء ويكون المتبقي عبارة عن المادة الجافة والتي تتغير نسبتها في النسيج وحسب نوع النسيج ونوع النبات وغير ذلك الى انه عموماً تصل الى 30% من وزن النسيج الطري ، لو حرقـت هذه المادة الجافة في فرن كهربائي سيفقد حوالي 90% من الوزن الجاف والذي يمثل المركبات العضوية الكاربونية والنتروجينية ويمثل المتبقي 10% الرماد Ash والذـي يحـوي على العناصر المعدنية جميعـها عـدا النـتروجينـ، وبـتدوـيـبـ هـذاـ الرـمـادـ بـطـرـائـقـ وـاجـهـزـةـ مـعـيـنـةـ يـمـكـنـ تـقـدـيرـ وـحـسـابـ كـلـ عـنـصـرـ مـنـ هـذـهـ العـناـصـرـ، يـظـهـرـ الـبـوـتـاسـيـوـمـ وـالـكـالـسـيـوـمـ وـالـصـوـدـيـوـمـ وـالـمـغـنـيـسـيـوـمـ وـالـفـسـفـوـرـ بـتـرـاـكـيـزـ مـرـتـفـعـةـ فـيـ حـينـ يـكـونـ تـرـكـيـزـ الـحـدـيدـ وـالـمـنـغـنـيـزـ وـالـزـنـكـ وـالـسـتـرـوـنـتـيـوـمـ Srـ وـالـرـبـيـديـوـمـ Rbـ وـالـبـارـيـوـمـ مـتوـسـطـ وـالـبـورـونـ



المحاضرات النظرية

والنحاس والسيزيوم والرصاص والنikel يصل تركيزها الى بضعة اجزاء من المليون ،اذ ان تركيز الرصاص والنikel والمولبدين والليثيوم يكون بين 0.1 الى 1 جزء بالمليون والفناديوم والكوبالت والفضة 0.01 الى 0.1 جزء بالمليون ،يتفاوت تركيز هذه العناصر حسب نوع النسيج ،فلو كان النسيج حيواني نرى ان الصوديوم يكون اكثر من البوتاسيوم ،والسؤال الذي يطرح نفسه هل ان النباتات بحاجة الى هذه العناصر جميعها ؟ ام ان هناك عناصر امتصبت من قبل النبات لوجودها في محيط الجذور والنبات ليس بحاجة ماسة لها .

التربة وسط للعناصر المعدنية

تعد التربة المصدر الرئيس لتجهيز النباتات بالعناصر المعدنية ،اذ تقوم بتجهيز العناصر المعدنية جميعها ما عدا الكاربون ،يمكن لبعض العناصر ان تنتقل لمسافات بعيدة لكي تصل الى النبات مثل النتروجين الجوي والكلور والهيدروجين والاوكسجين (الماء) في حين تكون بقية العناصر في التربة قريبة جدا من سطح الجذور لكي يتمكن النبات للاستفادة منها مثل الفسفور ،تعتمد حركة الايونات وسلوكها داخل التربة اساساً على صفات التربة ومن اهم هذه الصفات هي:

1. نسجة التربة Soil texture

لاسيما محتوى التربة من الطين ،اذ تكون حبيبات الطين على نوعين:

- ✓ صفائح المعادن البلورية (شبكيات)
- ✓ الاكاسيد المائية للالمنيوم والحديد.

Plant Nutrition

هو العلم الذي يختص بدراسة كل العمليات التي لها علاقة بكيفية حصول النبات على احتياجاته من العناصر الغذائية المختلفة ،وكيفية امتصاصها وتتبع دخولها من بيئه النبات (محلول التربة والجو) الى داخل السايتوبلازم والفتحة العصارية cell cap (العصير الخلوي) ودراسة الاراء والفرضيات والنظريات المتعلقة بامتصاصها والعوامل التي تؤثر على جاهزيتها في التربة وامتصاصها بواسطة جذور النبات وتشخيص اعراض نقصها او السمية بها وكيفية



المحاضرات النظرية

علاجها وكذلك دراسة السمية بالعناصر النادرة trace elements ، كما يهتم هذا العلم بدراسة الوظائف الفسلجية المختلفة للعناصر الغذائية وتوضيح عملها في حياة النبات.

اهمية تغذية النبات

الكائنات في الطبيعة نوعين ،اما عضوية التغذية Heterotrophic ، وهي التي تقتات على كائنات اخرى وتشتمل على كافة افراد المملكة الحيوانية ، او كائنات ذاتية التغذية Autotrophic ، وهي كائنات تقوم بتصنيع غذائها بنفسها وتشتمل على كافة افراد المملكة النباتية ،من طريق الدراسات التي استمرت لعدة طوبلة ،تمكن الباحثون من تحديد اهمية كل من الضوء والهواء والتربة فضلاً عن الماء في تغذية النبات ،فالنباتات الخضراء يمكنها من طريق استثمار الطاقة الضوئية من اخترال CO_2 وبالاشتراك مع العناصر المعدنية الممتصة من الجذور لانتاج مركبات مهمة وذات طاقة عالية مثل الكاربوهيدرات والاحماض الامينية والبروتينات وغيرها.

عموماً يتم امتصاص العناصر المعدنية من طريق الجذور او الاوراق ،في حين ان هنالك نباتات معينة لاسيما النباتات المائية قد تحصل على المعادن بامتصاصها من طريق الاوراق ،اذ ان الاجزاء الغاطسة بالماء جميعها تقوم بعملية الامتصاص ومن ثم تقل اهمية الجذور في الامتصاص ،هنالك بعض النباتات المتطفلة على ساقان الاشجار الكبيرة تمتص هي الاخرى العناصر من طريق الاوراق ،اذ عند تساقط المطر تغسل بعض الايونات من سطح اوراق النبات المضييف فتسقط على اوراقها وتمتصها.

اما المسار الاخر لامتصاص العناصر الغذائية فيكون من طريق التطفل ،اذ ترسل النباتات المتطفلة (الهالوك والحامول) مصادر خاصة تخترق انسجة المضييف لتصل الى الاوعية الناقلة فتمتص ما تحتاجه من العناصر المعدنية.

تكون مصادر العناصر الغذائية في الطبيعة متعددة وتشمل:

5. التجوية weathering

يدخل في تركيب الصخور املاح المعادن وعند تعرضها للتجوية تتكسر هذه الصخور ونتيجة لهطول الامطار تذوب املاح المعادن فتتدين الى ايونات موجبة مثل البوتاسيوم K^+



المحاضرات النظرية

والمنغنيسيوم Mg^{+2} والكالسيوم Ca^{+2} والحديد Fe^{+2} والزنك Zn^{+2} والنحاس Cu^{+2} وايونات سالبة مثل الكلور Cl^- والكبريتات SO_4^{2-} والفوسفات HPO_4^{2-} و PO_4^{3-} ،تنقل هذه الايونات مع السيلول الى الانهار ثم الى النباتات وربما تدخل في بناء الكائنات الحية الاخرى مثل ملح الطعام.

6. التحلل والتفسخ

ت تكون اجسام الكائنات الحية من مركبات عضوية يدخل في تركيبها العناصر الغذائية وعند موتها وتفسخها وتحللها تحرر المعادن بفعل الكائنات الحية او التفاعلات الكيميائية والفيزيائية الى محيط النبات فيمتصها مرة اخرى.

7. ثبيت النتروجين الجوي

يعد النتروجين احد اهم العناصر لنمو النبات الا انه لا يدخل في تركيب الصخور الارضية لذلك يعتمد تواجده بصورة متعددة NO_2^- و NO_3^- و NH_4^+ في التربة على تحلل وتنفسخ المركبات العضوية النتروجينية ،اما المصدر الاخر للنتروجين هو ما يثبت من الجو (Nitrogen fixation) ،اذ تحول كميات ليست بالقليلة من نتروجين الجو البالغة نسبته 78%، ونتيجة لعمليات التفريغ الكهربائي والاكسدة تتتحول صورة مختزلة (NH_3 ذاتي بالماء) او NO_2 او NO_3 (ذائبة بالماء) تنزل الى التربة فتمتصها النباتات ،او ان هنالك عملية ثبيت نتروجين الجو حيوياً ،اذ ان بعض البكتيريا المتطرفة مثل الرايزوبايا وحرة المعيشة مثل الازوتوباكتر يمكنها اخذ النتروجين الجوي وتحويله الى امونيا يستفيد منها النبات بصورة مباشرة (في حالة الرايزوبايا المكونة للعقد الجذرية) ،او ان تتكاثر هذه الكائنات باعداد كبيرة ثم تموت وتنفسخ وتنطلق ايونات الامونيا لوسط التربة فيمتصها النبات (في حالة الازوتوباكتر).

8. الاسمدة الكيميائية



المحاضرات النظرية

يصنع عدد كبير من الاسمدة وقد يحتوي السماد على عنصر واحد مثل نترات الامونيوم NH_4NO_3 او يحتوي على عنصرين مثل سmad نترات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ونترات البوتاسيوم KNO_3 ، او يكون على هيئة سmad كمركب يحوي عدداً من العناصر مثل NPK ،وهنالك الاسمدة التي ترش على الاوراق اذ تحوي على اغلب العناصر الكبرى والصغرى وبتراكيز مناسبة وحسب حاجة النبات ،كما توجد اسمدة تحوي مركبات مخلبية تمنع بعض العناصر مثل الحديد من تكوين معقدات مع عناصر اخرى (يصبح غير جاهز) موجودة في التربة ،لذا تساعد المركبات المخلبية في بقاء هذه العناصر جاهزة لامتصاص من قبل الجذور.

محتوى النبات من العناصر المعدنية

عند اخذ اي نسيج نباتي وتجفيفه بالفرن (Oven) سيفقد الماء ويكون المتبقى عبارة عن المادة الجافة والتي تتغير نسبتها في النسيج وحسب نوع النسيج ونوع النبات وغير ذلك الى انه عموما تصل الى 30% من وزن النسيج الطري ،لو حرقت هذه المادة الجافة في فرن كهربائي سيفقد حوالي 90% من الوزن الجاف والذي يمثل المركبات العضوية الكاربونية والنتروجينية ويمثل المتبقى 10% الرماد Ash والذ يحوي على العناصر المعدنية جميعها عدا النتروجين وببتذويب هذا الرماد بطرائق واجهزه معينة يمكن تقدير وحساب كل عنصر من هذه العناصر ،يظهر البوتاسيوم والكلاسيوم والصوديوم والمغنيسيوم والفسفور بتراكيز مرتفعة في حين يكون تركيز الحديد والمنغنيز والزنك والسترونتيوم Sr والربيديوم Rb والباريوم متوسط والبورون والنحاس والسيزيوم والرصاص والنيكل يصل تركيزها الى بضعة اجزاء من المليون ،اذ ان تركيز الرصاص والنيكل والمولبدنوم والليثيوم يكون بين 0.1 الى 1 جزء بالمليون والفناديوم والكوبالت والفضة 0.01 الى 0.1 جزء بالمليون ،يتفاوت تركيز هذه العناصر حسب نوع النسيج ،فلو كان النسيج حيواني نرى ان الصوديوم يكون اكثرا من البوتاسيوم ،والسؤال الذي يطرح نفسه هل ان النباتات بحاجة الى هذه العناصر جميعها ؟ ام ان هنالك عناصر امتصست من قبل النبات لوجودها في محيط الجذور والنبات ليس بحاجة ماسة لها.

التربة وسط للعناصر المعدنية



المحاضرات النظرية

تعد التربة المصدر الرئيس لتجهيز النباتات بالعناصر المعدنية ،اذ تقوم بتجهيز العناصر المعدنية جميعها ما عدا الكاربون ،يمكن لبعض العناصر ان تنتقل لمسافات بعيدة لكي تصل الى النبات مثل النتروجين الجوي والكلور والهيدروجين والاوكسجين (الماء) في حين تكون بقية العناصر في التربة قريبة جدا من سطح الجذور لكي يتمكن النبات للاستفادة منها مثل الفسفور ،تعتمد حركة الايونات وسلوكها داخل التربة اساساً على صفات التربة ومن اهم هذه الصفات هي:

2. نسجة التربة Soil texture

لاسيما محتوى التربة من الطين ،اذ تكون حبيبات الطين على نوعين:

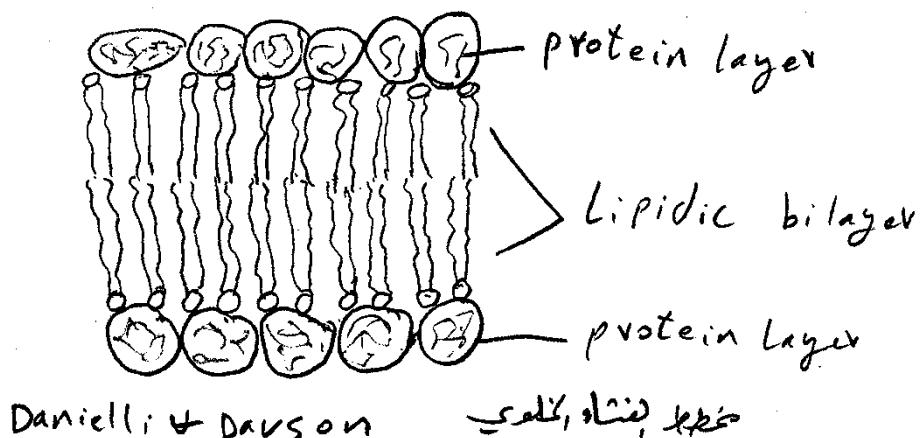
- ✓ صفائح المعادن البلورية (شبكيات)
- ✓ الاكاسيد المائية للالمنيوم والحديد.

فعالية الغشاء و معادلة نرنست

تمتص جذور النباتات معظم العناصر الغذائية الضرورية للنبات بشكل ايونات مثل NH_4^+ ، NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ , H_2PO_4^- , CL^- ... الخ ،ولفهم عملية امتصاص الايونات وانتقالها يستحسن مراجعة تركيب الخلية النباتية والمقطاع الطولي والعرضية لتركيب الجذر والساق والاوراق وملاحظة تركيب الاغشية الخلوية مثل غشاء البلازمما *Plasma lemma* وغشاء الفجوة *Tonoplast* وغيرها للتعرف على الحاجز او العوائق التي تعترض عملية دخول هذه الايونات من البيئة الخارجية حتى تصل الى السايتوبلازم والفجوة العصارية . اذ تتكون الاغشية الحيوية من اجزاء متساوية تقربيا من البروتينات والدهون ذات سمك يقدر ب 10nm اذ اقترح Davson , Danielli تركيب الغشاء والذي يتكون من طبقتين من جزيئات الدهن وبينها تنتظم نهايات hydrophobic tails العائدة للاحماض الدهنية واحدة مقابل الاخرى الحدان الخارجيان لطبقة الدهون تكون مغلفة بطبقة البروتين كما في الشكل الاتي:



المحاضرات النظرية

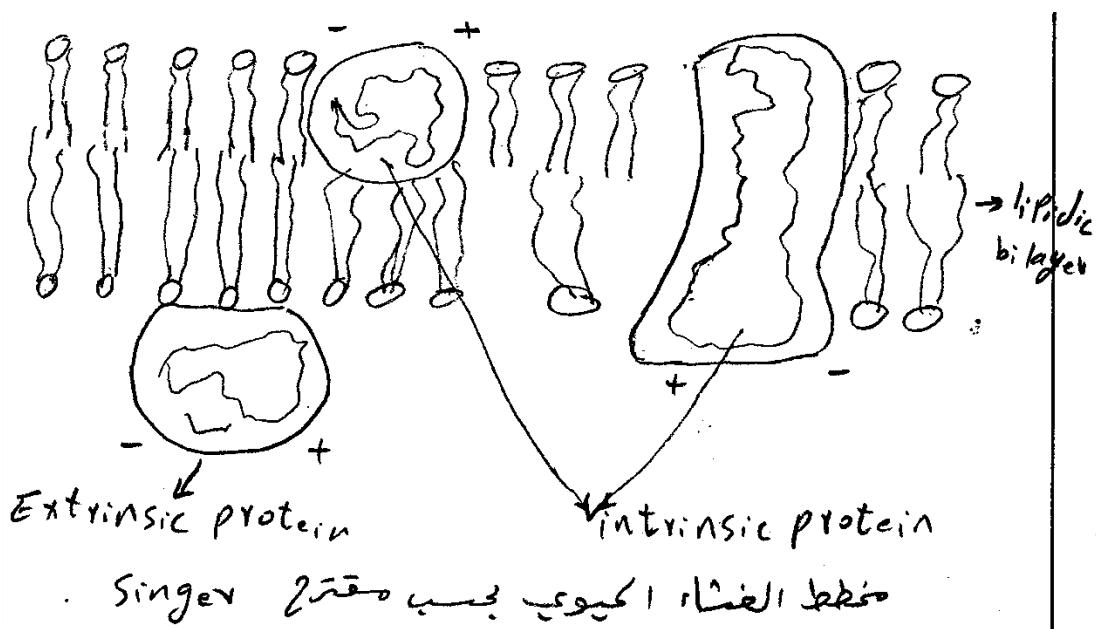


لقد ظهر اعتراض بأن مثل هذا التركيب يمكن أن يعمل حاجزاً وذلك لأن طبقة البروتين تزيد من الصلابة والجزء الدهني يمنع اختراق الجزيئات الكهربائية المائية hydrophilic التي تضم الايونات غير العضوية للغشاء الحيوي . وعليه لابد ان يكون تركيب الغشاء الحيوي اكثر تعقيداً من التركيب الذي وضع مسبقاً.

ثم جاء Singers واقتصر بأن الاغشية الحيوية لا تحتوي على بروتين مغلف للجوانب الخارجية للغشاء (كما موضح في الشكل الاتي) حيث البروتين الكروي globular مندمج في الطبقة الثنائية او المزدوجة للدهن . قسم من هذه البروتينات ربما يتمدد خلال الغشاء وبهذا تكون قنوات بروتينية من جهة الى الجهة اخرى للغشاء ، وهذه القنوات تكون مهمة لمرور جزيئات الصغيرة مثل جزيئات الماء والایونات غير العضوية ، بالإضافة الى البروتين hydrophilic المطمور (المندمج) في طبقة الدهن المزدوجة والمسمى بالبروتين الضمني (المندمج) intrinsic protein هناك البروتين الخارجي extrinsic proteins الذي تكون جزيئاته ممتدة على الجهة الخارجية للغشاء الحيوي بواسطة التداخل الكهربائي بصورة رئيسة كما في الشكل ادناء:



المحاضرات النظرية



يجب ان يبقى في الذهن حقيقة كون الااغشية الحيوية ليست غير نفاذة بصورة كاملة. بل انها ربما تسمح بانتشار الايونات hydrophilic والجزيئات ، ودرجة النفاذية تعتمد على المكونات التي تتركب منها الااغشية فضلا عن ذلك الانزيمات المتواجدة في الااغشية ربما تدخل بصورة مباشرة او غير مباشرة في انتقال الايونات والجزيئات عبر الغشاء.

ما نقدم يتضح لنا ان امتصاص ايونات العناصر المعدنية من محلول التربة حتى الفجوة العصارية لابد ان يخترق اولا الجدار الخلوي ثم غشاء البلازم ثم السايتوبلازم واخيرا غشاء الفجوة خلايا الجذور ومن ثم يجب ان تنتقل بدورها الى خلايا الساق والاوراق لكي تدخل بالعمليات الحيوية الضرورية لحياة النبات.

الايونات الذائبة في المحلول تخضع في حركتها الى قوتين اساسيتين هما فرق الطاقة الكامنة الكيميائية chemical potential gradients وفرق الطاقة الكامنة الكهربائية electrical potential gradients الاولى ناتجة عن فرق التركيز الكيميائي والثانية ناتجة عن الناتج النهائي للشحنات الكهربائية للإيونات سواء موجبة كانت ام سالبة. عندما يضاف الملح الى الماء ينتشر خلال الماء من موقع التركيز العالي الى التركيز الواطئ وتستمر حركة هذه الجزيئات حتى يتساوى التركيز بعض الايونات لها القابلية على الحركة اسرع من ايونات اخرى تحمل شحنة معاكسة وبذلك يحصل فرق في الشحنات . هذا الفرق في الشحنات يسبب فرق في الطاقة الكامنة الكهربائية والتي يطلق عليها جهد الانتشار diffusion potential ويبقى هذا الفرق قائم لحين حصول تقليل في حركة الايونات السريعة واسراع في الايونات البطيئة ووصول



المحاضرات النظرية

الحالة الى ان الملح بأيوناته الموجبة والسلبية يتتحرك بنفس السرعة وتحصل عندنا حالة التوازن .

هذا التوازن قد شرح بواسطة معادلة نيرنست Nernst لفرض ان محلولين بتركيزين مختلفين يفصلهما غشاء وانهما في حالة توازن:

outside	Inside
الطاقة الكامنة الكهربائية = U_0 $U + RTLnci + ZF\varphi i$	الطاقة الكامنة الكهربائية = Ui $U + RTLnci + ZF\varphi i$

عندما تكون نفاذية الايونات متساوية passive Flux equilibrium اي ان الايونات الداخلة تساوي الايونات الخارجة.

$$U_0 = Ui$$

$$RTLnCO + ZF\varphi 0 = RTLnCi + ZF\varphi i$$

اذ ان:

U^* = الطاقة الكامنة الكيميائية القياسية (ثابت) .

i = الشحنة الكهربائية للوسط الداخلي .

φ_0 = الشحنة الكهربائية للوسط الخارجي .

ΔE = فرق الطاقة الكامنة الكهربائية = $\varphi_i - \varphi_0 = \Delta E$ (فرق الجهد الكهربائي)

R = ثابت الغازات ويساوي 1.987

T = درجة الحرارة المطلقة = $(273 + \text{درجة الحرارة المئوية})$.

Z = عدد الشحنات التي يحملها الايون سواءً موجبة او سالبة مع نوع الشحنة = تكافؤ الايونات

F = ثابت فرادي (23000 كالوري | فولت) .

Co = التركيز الخارجي للايونات.

Ci = التركيز الداخلي للايون.

Ln = اللوغارتم الطبيعي = $2.3 \log 10$



المحاضرات النظرية

$$\varphi_i - \varphi_o = E = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{c_o}{c_i}$$

وهذه هي معادلة Nernst وعند التعويض عن R و F و T و تحويل Ln الى Log 10 نحصل على :

$$E = \frac{58}{Zi} \log \frac{c_o}{c_i}$$

عندما يعبر عن التركيزين c_o و c_i بالمليمول/لتر فأن E يعبر عنها بالمليفولت .

لنفرض ان نسيج فيه الانسياب Flux للبوتاسيوم K^+ متوازن وان تركيز البوتاسيوم في المحلول الخارجي $c_o = 1Mm$ وتركيزه في داخل النسيج $c_i = 100 Mm$

بتطبيق المعادلة نحصل على:

$$E = \frac{58}{Zi} \log \frac{c_o}{c_i}$$

$$= \frac{58}{+1} \log \frac{1}{100} = 58(-2) = -116 mv$$

اي ان داخل الخلية فيه شحنة سالبة مقدارها 116 ملي فولت هذا يعني ان البوتاسيوم يمكن ان يتراكم داخل الخلية الى 100 ضعف دون الحاجة الى صرف طاقة حيوية لامتصاصه اي ان الامتصاص هنا هو امتصاص حر او غير حيوي Passive uptake وبتطبيق معادلة Nernst لليونات السالبة مثل CL تكون

$$E = \frac{58}{Zi} \log \frac{c_o}{c_i}$$

لتطبيق نفس المثال لكن بأحلال الكلور محل البوتاسيوم سيكون

$$\Delta E = \frac{58}{Zi} \log \frac{c_o}{c_i}$$

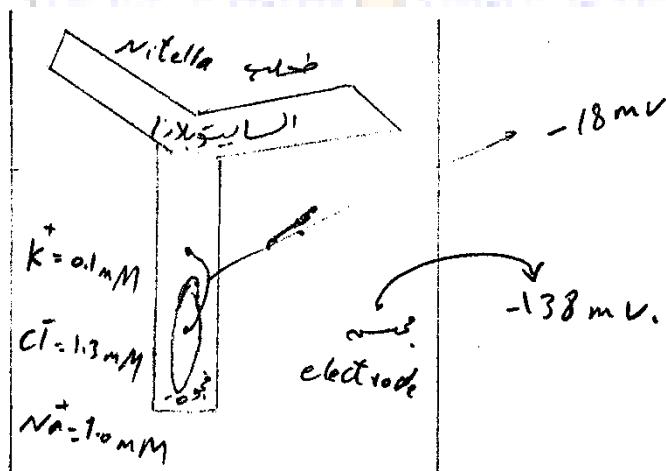
$$\Delta E = \frac{58}{-1} \log \frac{1}{100} = \frac{58}{-1} (-2) = +116$$



المحاضرات النظرية

من ذلك نستنتج ان فرق شحنة كهربائية صغير يمكن ان يوازن فرق كبير في التركيز بين جهتي الغشاء.

يمكن قياس الطاقة الكامنة داخل الخلايا باستخدام Micro electrode ويمكنا معرفة اقل كمية من الطاقة تحتاجها الخلية لكي تحصل حاله التوازن السلبي عبر الغشاء الخلوي . هذه الطاقة تتناسب طرديا بين قيمتها المحسوبة بمعادلة Nernst وبينما هو مقاس فعلا داخل الخلية. قام بعض الباحثين بتجربة على طحالب تنمو في المياه العذبة تسمى Nitella (طحلب نيوتيللا) . ومن مواصفاته ان حجم الخلية الواحدة منه كبيرة قد تصل الى 15 سم تم وضعها في حوض يحتوي على Na^+ بتركيز 1Mm و K^+ 0.1Mm و Cl^- 1.3Mm الى ان يصل حالة التوازن تدريجيا. ثم جاء بجهاز يقيس الجهد الكهربائي يحتوي على مجس micro electrode الاول موضوع في محلول الثاني وضع في سايتوبلازم الخلية اذ كان فرق الجهد بين سايتوبلازم الخلية والمحلول الخارجي 138MV ، وقاسوا فرق الجهد (بعد ادخال المجرس في الفجوة) بين السايتوبلازم والفجوة وكان يساوي 18MV ، اخرجو الخلية وأخذوا اخذوا عصير الفجوة فوجدوا تركيز العناصر هي $\text{Na}^+ = 14$ و $\text{K}^+ = 65$ و $\text{Cl}^- = 119$ وبعد ادخال المجرس في الفجوة فشاهدوا ان تركيز $\text{Na}^+ = 65$ و $\text{K}^+ = 75$ و $\text{Cl}^- = 160$ فأصبحت المعلومات كما في الجدول الاتي:



والجدول الاتي يوضح تركيز الايونات خارج وداخل خلية الطحلب Nitella مع قياس قيمة E_i لتلك الايونات. كما قدر فرق الطاقة الكامنة الكهربائية عبر الغشاء هو -138Mv .



المحاضرات النظرية

نوع الامتصاص	الطاقة الداخلة (الجهد الداخلي) (Ed)	الطاقة الكامنة الكهربائية المحسوبة (mv) Ei	التركيز الداخلي للايونات (mm) CO	التركيز الخارجي للايونات CO (mm)	الايون
حر	-71	-67	14	1.0	الصوديوم Na^+
نشط	+41	-179	119	0.1	اليوديوم K^+
نشط	-237	+99	65	1.3	الكلور Cl^-

يمكن حساب الطاقة الكامنة الكهربائية حسب معادلة نرنست كما يأتي :

$$\Delta E_{\text{Na}^+} = \frac{58}{+1} \log \frac{1}{14} \quad \Delta E = -67 \text{ mV}$$

$$\Delta E_{\text{K}^+} = \frac{58}{+1} \log \frac{0.1}{119} \quad \Delta E = -178 \text{ mV}$$

$$\Delta E_{\text{Cl}^-} = \frac{58}{-1} \log \frac{1.3}{65} \quad \Delta E = +99 \text{ mV}$$

في حالة الصوديوم فإن اقل فرق في الطاقة الكامنة الكهربائية لنقل وزن جزيئي واحد (مول واحد one mole) سيكون [Ed] اذ يسمى بالطاقة الدافعة وهو ما يمثل فرق الطاقة بين المحسوب والفعلي

$$Ed = EM - \Delta E$$

$$Ed = (-138) - (-67) = -71 \text{ mV}$$

وفي حالة اليوديوم

$$Ed = (-138) - (-179) = +41 \text{ mV}$$

وفي حالة الكلور

$$Ed = (-138) - (+99) = -237 \text{ mV}$$

هذا يعني ان الصوديوم له قوة كامنة (دافعة) عالية في المحیط الخارجي في حين اليوديوم والكلور قوتهمما الكامنة (دافعة) عالية في داخل الخلية. اي ان الصوديوم له Ed سالبة في داخل



المحاضرات النظرية

الخلية اكثرا من تلك التي في المحيط وبذلك فأن الصوديوم يدخل بصورة passive الى داخل الخلية لأن ΔE ذات قيمة مخفضة وان فرق التركيز بين طرف الغشاء كبير اما اذا كانت قيمة موجبة للايونات الموجبة فهذا يعني ان حركة هذه الايونات الى داخل الخلية تكون بصورة نشطة لأن قيمة ΔE مرتفعة وان فرق التركيز عالي على جانبي الغشاء اما في حالة الايونات السالبة اذا كانت Ed سالبة فهذا يعني ان الايونات تتحرك بصورة نشطة لأن قيمة ΔE موجبة وان تركيز الايونات داخل الخلية اكثرا من خارجها اما اذا كانت Ed موجبة القيمة فهذا يعني ان الايونات السالبة تتحرك بصورة حرفة passive لأن قيمة ΔE سالبة وان تركيز الايونات خارج الخلية اكثرا من داخلها.

نوع الامتصاص	الجهد الدافع $Ed = EM - DE$	الجهد الكهربائي حسب (ترنس)	التركيز الداخلي (السيتوبلازم)	التركيز الخارجي (الفجوة)	نوع الايون	وشحنته
حر	$Ed = (-18) - (39) = -57$	+39	14	65	Na^+	
حر	$Ed = (-18) - (-12) = -6$	-12	119	75	K^+	
حر	$Ed = (-18) - (-23) = +5$	-23	65	160	Cl^-	

يمكن تلخيص ما ذكر اعلاه بما يأتي:

- 1- اذا كانت شحنة الايون موجبة وقيمة الجهد الدافع Ed موجبة اذن الامتصاص نشط
- 2- اذا كانت شحنة الايون موجبة وفيما الجهد الدافع Ed سالبة اذن الامتصاص حر
- 3- اذا كانت شحنة الايون سالبة وقيمة الجهد الدافع Ed موجبة اذن الامتصاص نشط
- 4- اذا كانت شحنة الايون سالبة وقيمة الجهد الدافع Ed موجبة فالامتصاص حر

لأخذ تراكم الايونات في الفجوة وعلاقتها بالسيتوبلازم

$$\Delta E Na^+ = \frac{58}{+1} \log \frac{65}{14} = +39 mv.$$

$$\Delta E K^+ = \frac{58}{+1} \log \frac{75}{119} = -12 mv.$$



المحاضرات النظرية

$$\Delta E_{CL} = \frac{58}{-2} \log \frac{160}{65} = -23 \text{ mv.}$$

ما تقدم يتبين ان معادلة نرنست تتعامل مع نفاذية ايون واحد عبر الغشاء بل في حقيقة الامر انه تنفذ ايونات عدة من الغشاء في الخلية الحية في آن واحد ولذا فإن هناك نسخة معدلة في معادلة نرنست تدعى معادلة كولدمان والتي تشمل على كل الايونات النافذة (كل الايونات التي ميكانيكيات انتقالها عبر الغشاء وحركتها موجودة). لذلك هذه المعادلة تعطي قيم اكثر دقة لجهد الانتشار عندما تعرف النفاذية ومنحدر الايون (التركيز) ، اذ ان من السهل حساب جهد الانتشار عبر غشاء باليولوجي من معادلة كولدمان . ويطلق على جهد الانتشار المحسوب من طريق معادلة كولدمان بجهد انتشار كولدمان.

يمتلك جهد الغشاء مكون ثانٍ فضلاً عن جهد الانتشار وهي الفولتية الزائدة والتي تجهر من قبل غشاء البلازمما بوساطة $H^+-ATpase$.

الامتصاص الحر او السالب passive uptake

يحدث هذا الامتصاص في الفراغ الحر "Free space" ويسمى ايضا outer space وبهذا الاسم لأن الايونات تتحرك في هذا الجزء من حجم الجذور بحرية تامة من محلول التربة إلى هذا الجزء وبالعكس حيث لا يمثل جدار الخلية اي حاجز او عائق لتحرك الايونات من خلاله . هذا النوع من الامتصاص لا يحتاج إلى طاقة حيوية وמאיؤك ذلك ان هذا النوع من الامتصاص يحصل في النسيج الميت كما يحصل في النسيج الحي . الامتصاص الحر يكون غير انتخابي- non-selective ومتعاكس ولا يحتاج إلى حوامل Carriers ويسمى احيانا بالامتصاص السالب او اللاطقي وهناك عدة انواع من الامتصاص الحر هي :

1- الانتشار Diffusion

جدار الخلية لا يمثل حاجز فعال بين الخلية والظروف الخارجية . عند عمر نسيج نباتي في محلول ملحي ينتشر الملح من التركيز العالي (المحلول الخارجي) إلى داخل النسيج لحين حصول حالة التوازن equilibrium وحجم النسيج الذي تتم فيه العملية يعدل حوالي 7-10% من الحجم الكلي للنسيج . قام العالم الالماني Epstein بتجربة لتوضيح ذلك حيث اخذ 1 غم من جذور الشعير الطيرية ووضعها في محلول K_2SO_4 بتركيز 20 ميكرومول / مل فحصل تبادل بين



المحاضرات النظرية

المحلول والانسجة الموجودة في الجذر اذ انتقلت الايونات من التركيز العالى الى التركيز الواطئ حسب الانتشار الى ان يصل الى حالة التوازن. اخرج الجذور ووضعها على ورق نشاف (لتتشيف المحلول العالق بالجذور) ثم نقلت الجذور الى حجم معلوم من الماء النقي وانتظر الى ان حصلت حالة الاتزان حيث تحررت الكبريتات من داخل النسيج (الفراغات البيئية) الى الماء النقي وحسبت كمية الكبريتات المتحررة فوجد انها تساوي 4.45 مايكرومول . وكمية الكبريتات قليلة جدا في النسيج ذلك لان حجم الماء النقي الى حجم النسيج كبير جدا.

وان هذه كمية وليست تركيز ولكي نحسب حجم الفراغات البيئية في الجذر نقسم وزن الايونات المولالي القابل للتبادل على تركيز الايونات في المحلول الخارجي كما في المعادلة الآتية :

$$\text{حجم الفراغات البيئية في نسيج الجذور} = \frac{\text{وزن المولالي للايونات القابلة للتنافذ}}{\text{تركيز الايونات في المحلول الخارجي}}$$

$$= \frac{4.45 \text{ مايكرومول}}{0.22 \text{ مل}} = 20.0 \text{ مايكرومول/مل}$$

هذا يعني ان 0.22 من وزن الجذور او حجم الفراغات البيئية كانت تحصل فيها عملية التنافذ وكانت لا تصرف فيه طاقة حيوية فالانتشار حر .

2- طريقة التبادل الايوني Ion exchange

خلايا الجذور مشحونة بشحنة سالبة ائية من جذر الكاربوكسيل Coo^- الموجود في البتكتينات والسليلوز المكونة لجدار الخلية وتمتزز عليها ايونات موجبة مثل H^+ و K^+ و Na^+ وتوجد ايونات موجبة سالبة في محلول التربة او قد تكون ممتدة على اسطح غرويات التربة مثل Ca^{2+} و Na^+ و K^+ . حيث تتبادل الايونات الموجبة مثل البوتاسيوم (في محلول التربة) مع الهيدروجين (في الجذور) حيث يخرج الهيدروجين الى محلول التربة وهذه هي الخطوة الاولى لامتصاص الايون . هذا هو الانقال في التبادل الايوني.

3- اتزان دونان Donan equilibrium

توجد ايونات مثبتة اساسا داخل الخلية (خلايا الجذور) وغير قابلة للتنافذ او قد توجد على غشاء الخلية وان اغلب هذه الايونات السالبة (الشحنات السالبة) تعود الى مجاميع الكاربوكسيل Coo^-



المحاضرات النظرية

في جدار الخلية الموجودة في البكتيريا وبعض المركبات الأخرى وهذه الشحنات السالبة ثابتة لا يمكن ان تخرج الى محلول التربة وتدعى Fixed charge وتوجد شحنات موجبة في داخل الخلايا وانية من شحنات الامين الموجبة (NH_2^+) الموجودة في غشاء الخلية وليس لها القابلية على التبادل فهي ثابتة وتحتاج الى من يعادلها. هذه الايونات السالبة تسحب الايونات الموجبة في حين ان الايونات الموجبة في غشاء الخلية ستحت السالبة لكي يصبح توازن وهذا مايسمى بأتزان دونان ، وبمعنى اخر ان اتزان دونان هو انه عندما تكون هناك شحنات سالبة في داخل الخلية مثبعة غير قابلة للتبدال تسبب انجذاب الايونات الموجبة ومن ثم تدخل هذه الايونات ويصبح تركيزها داخل الخلية اكثر من خارج الخلية في حين ان الايونات السالبة تكون على العكس من ذلك والمعادلة التي توضح اتزان دونان هي

تركيز الايونات الموجبة داخل الخلية = تركيز الايونات السالبة خارج الخلية

تركيز الايونات الموجبة خارج الخلية تركيز الايونات السالبة داخل الخلية

ملاحظة

- 1- ان طرف المعادلة اعلاه يجب ان يتساويان
 - 2- الانتقال للايونات هنا يحصل داخل الخلية
- ويمكن ايضاح اتزان دونان كما في المثال الاتي :

A الخطوة

لو فرضنا ان الخلية تحوي على 6 شحنات سالبة متوازنة مع 6 ايونات موجبة (6 بوتاسيوم) .

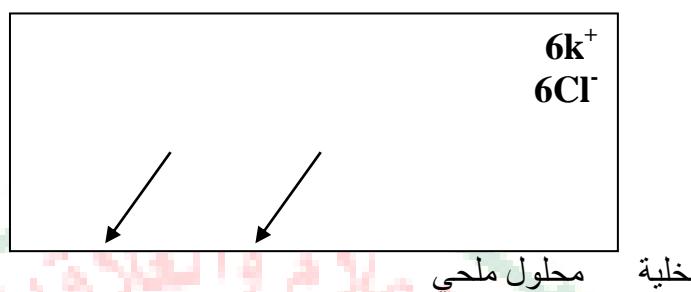


B الخطوة



المحاضرات النظرية

ثم نقلت هذه الخلية ووضعت في محلول ملحي من كلوريد البوتاسيوم يتكون من 6 ايونات K^+ و 6 ايونات Cl^- .



C الخطوة

لفرض انه دخل ايونين من K^+ الى داخل الخلية فأصبحت $8K^+$ فتكون الخلية غير متوازنة الى ان يدخل ايونين سالبة من Cl^- الى داخل الخلية ليحدث اتزان دونان مرة اخرى .



وبتطبيق المعادلة السابقة اعلاه المثال اعلاه فأن

$$2 = \frac{4}{2} = \frac{8}{4}$$

4- الجريان الكتلي Mass – Flow

يعتقد ان الايونات تتحرك بالجريان الكتلي الى سطح الجذور وان عملية النتح التي تحصل في النبات بسبب درجات الحرارة العالية تتسبب زيادة في معدل الامتصاص ولكن هل ان تأثير النتح مباشر ام غير مباشر على امتصاص الايونات [اي ان الماء يحتوي على الاملاح (الايونات) فهل يتم امتصاص الماء فقط ام امتصاص الماء من الايونات] .



المحاضرات النظرية

الجواب لهذا السؤال غير واضح ؟؟ لكن الاعتقاد السائد هو ان زيادة النتح تسبب سحب الايونات مع الماء الذي يدخل الخلايا او ان النتح يسبب حركة الايونات من خلايا الجذور الى الخشب ثم الى الاوراق ومن ثم يحدث انخفاض في تركيزه في خلايا الجذور ويستمر دخول الايونات بالطرق الاخرى.

الامتصاص النشط

الامتصاص النشط هو امتصاص الايونات ضد منحدر التركيز وبكميات تفوق ما يحصل بعملية الانتشار والتوازن الكهروكيمياوي equilibrium electrochemical وهذا يمكن ان يتحقق باستخدام الطاقة. لذلك يمكن ان يعرف الامتصاص النشط بأنه امتصاص الايونات ضد تدرج الطاقة الكامنة الكهروكيمياوية وذلك باستخدام الطاقة المتحررة من العمليات الحيوية.

برزت مشكلة هي صعوبة التمييز بين الامتصاص النشط والامتصاص الحر للايونات وخصوصا في اتزان دونان Donan equilibrium وكما هو معروف انه يعتمد على التدرج في التركيز والطاقة الكهروكيمياوية لكن الشحنات الثابتة في الخلية والتي تأتي من الكاربوهيدرات واحماض امينية قابلية المحافظة عليها هي بأساس تحتاج الى طاقة حيوية لذلك يعتقد البعض ان اتزان دونان ليس امتصاص حر وإنما نشط . الى ان جاء الباحث الامريكي J. levitt ووضع مواصفات خاصة للامتصاص النشط.

1- الامتصاص عادة سريع يفوق ما هو معروف لحركة الايونات عن طريق النفاذية بسب تدرج الطاقة الكهروكيمياوية.

2- الناتج النهائي الذي يحصل فيه التوازن لم يكن عند توازن الطاقة الكهروكيمياوية اي ربما هذه الطاقة تكون غير متوازنة.

3- وجود علاقة طردية بين كمية ما يمتص من الايونات وما يصرف من الطاقة.

4- ميكانيكية الامتصاص تعتمد اساسا على فعالية الخلية.

فضلاً عن ذلك توجد مواصفات عامة الى هذا النوع من الامتصاص هي

1- له القابلية على الانتحاب selectivity وتوزيع الايونات بين السايتوبلازم والفتحة والاجزاء الخلوية الاخرى.

2- الامتصاص غير متعاكس Irreversible

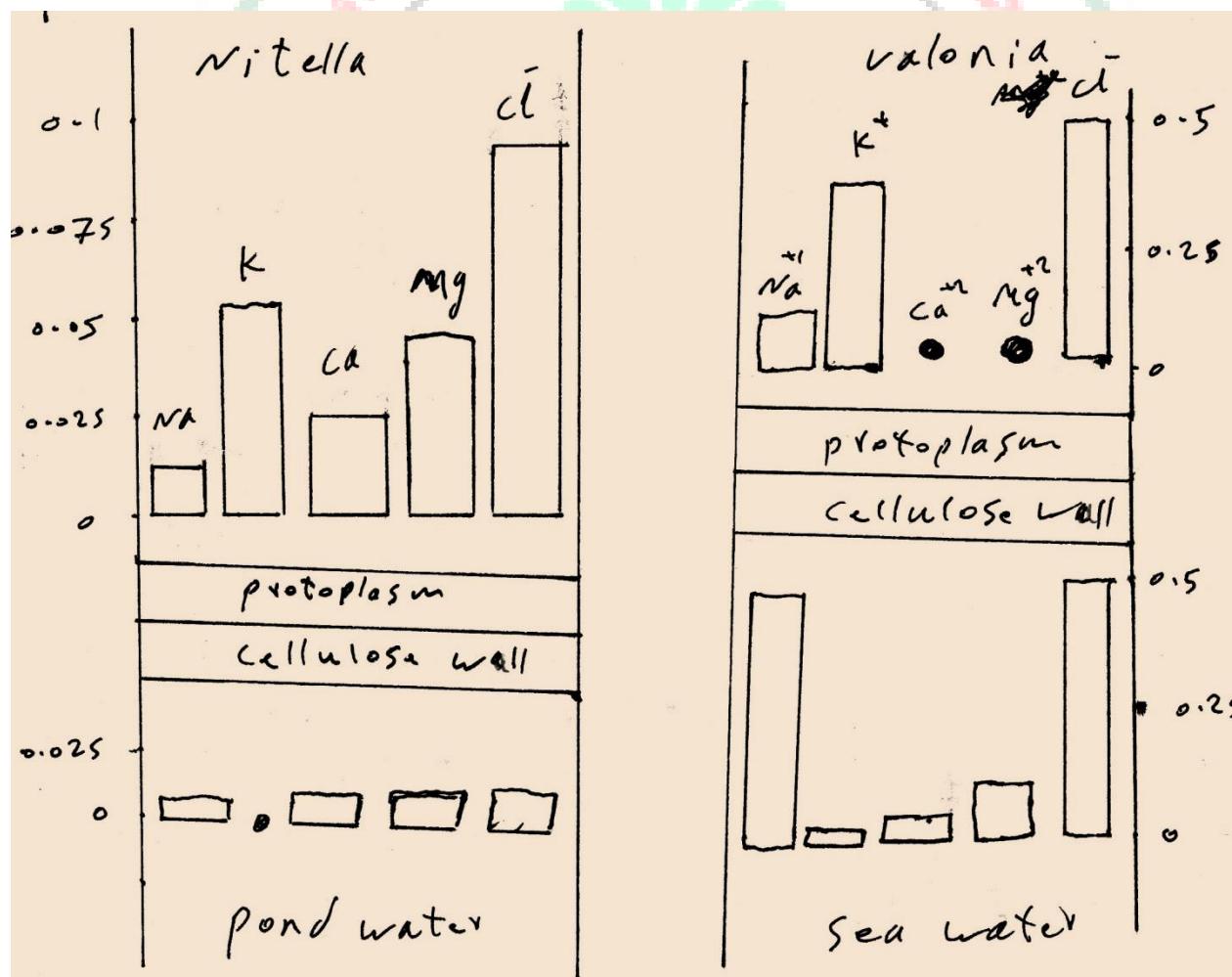
3- يحدث في المناطق الحيوية من الخلية كالاغشية الخلوية من خلال وجود بعض الحوامل التي تقوم بنقل الايونات الى داخل الخلية carrier



المحاضرات النظرية

4- تصرف فيه طاقة حيوية

ولاثبات مواصفات الامتصاص النشط اعلاه قام الباحث Hoagland ومساعدوه بتجربة على طحلبي Nitella الموجودة في الماء العذب pond water والـ valonia الموجودة في مياه البحر sea water وبينت هذه التجربة ان تراكيز الايونات في فجوة خلايا هذين الطحلبين وتراكيزها في وسط النمو لم يكن متساويا فقد وجد ان تركيز Cl^- و K^+ في فجوة الـ Nitella يصل الى عدة مئات ضعف تركيزها في وسط النمو في حين ان تركيز الصوديوم Na في فجوة طلبـ valonia اقل بكثير عن تركيزه في محيط النمو. هذا السلوك للايونات يدل على ان امتصاصها لم يكن عن طريق الانتشار Diffusion اضافة الى ذلك اتضح بأن للطحلبين قابلية على الانتخاب selectivity والتميـز بين الايونات التي يمتصـها وان عملية الامتصاص ذاتها تحتاج الى طاقة حـيـوـية. والشكل الـاتـي يوضح ذلك:





المحاضرات النظرية

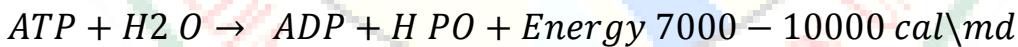
وما يؤيد الامتصاص النشط هو امتصاص الايونات السالبة رغم ان الجدار الخلوي مشحون بالشحنات السالبة ومن العوامل المؤثرة على الامتصاص النشط:

- 1- درجة الحرارة : زيايتها تزيد من الامتصاص مما يدل على انه يعتمد على صرف الطاقة.
- 2- الاوكسجين: يزداد امتصاص الايونات بزيادة النسبة المئوية للجهد الاوكسجيني.
- 3- الكربوهيدرات: يزداد الامتصاص بزيادة محتوى النسيج النباتي من السكريات .
- 4- التنفس : هناك تناوب طردي بين زيادة امتصاص الايونات وكمية CO_2 المتحررة.
- 5- اضافة المواد المثبتة مثل الـ Dimethyl ملحوظ مغذي سبب انخفاض امتصاص البوتاسيوم بمقدار 90% و 60% بمقدار 60% واستهلاك الاوكسجين 60% مما يدل على ارتباط الامتصاص بالنشاط الحيوي.
- 6- الضوء يسبب زيادة امتصاص الايونات وان النباتات المعرضة للضوء امتصت الايونات اسرع من النباتات في الظل ويعتقد ان الـ ATP والـ NADPH مشترك في تحرير الطاقة لغرض الامتصاص.

مصدر الطاقة

يمكن الحصول على الطاقة من حرق نواتج التركيب الضوئي كالسكريات والكاربوهيدرات والاحماض العضوية حيث ان اهم مصدر للطاقة الحيوية هو الطاقة الكيميائية الناتجة من عمليات الفسفرة الضوئية Photo phosphorylation مثل ATP و NADPH_2 وكذلك الـ ATP الناتجة من عملية التنفس وحرق السكريات بعملية الفسفرة التأكسدية Oxidation .

حيث ينتج عن حرق السكروروز 38 ATP.



اما تحلل جزيئه NADPH_2 فينتج عنه 21000 سعرة/مول



ولاجل امتصاص الايونات ضد منحدر التركيز والاحتفاظ بتراكيز عالية داخل سايتوبلازم الخلايا لابد من صرف طاقة حيوية حسب المعادلة الآتية :

$$\Delta G = 2.303 RT \log \frac{c_i}{c_o}$$

حيث ان ΔG = الطاقة الحرية المصروفة (سعرة امول)

R = ثابت الغازات = 1.987



المحاضرات النظرية

$$T = \text{درجة الحرارة المطلقة} = (C^\circ + 273)$$

C_i و C_o = التركيز الداخلي والخارجي للايون (ملي مول)

مثال / لو نفرض ان خلية وضعنها في محلول يحتوي على k بمقدار 1 ملي مول لمدة 3-2 ساعة ثم استخرجت الخلية وقدرنا البوتاسيوم نلاحظ انه يساوي 100000 وهذا الرقم كبير لايمكن ان يكون بالتوازن او الانشمار فكم صرفت الخلية من ATP لدخول هذا التركيز (100000) الى داخل الخلية وعلى فرض الى درجة الحرارة كانت 27م.

$$\Delta G^\circ = 2.303 X 1.987 X (273 + 27) X \log \frac{100000}{1}$$

$$= 2.303 X 1.987 X 300 X 5 = 6840.09 \text{ cal}$$

ولغرض تحويل السعرات الى طاقة ATP يتم تقسيم الرقم على طاقة 7000 $\cong ATP$

$$\Delta G = \frac{6840.09}{7000} \cong 0.9 ATP$$

ما نقدم يلاحظ ان صرف طاقة حيوية بسيطة سبب تراكم ايون البوتاسيوم بما يعادل عشرة الالاف ضعف تركيزه الخارجي.

امتصاص وانتقال العناصر الغذائية

هناك عدة مسارات لامتصاص وانتقال الايونات داخل النبات وهي :

- 1- حركة الايونات من التربة الى سطح الجذور.
- 2- حركة الايونات من سطح الجذر الى مركز الجذر.
- 3- حركة الايونات من مركز الجذر الى النمو الخضري والاوراق.
- 4- حركة الايونات من الاوراق الى اجزاء اخرى من النبات.

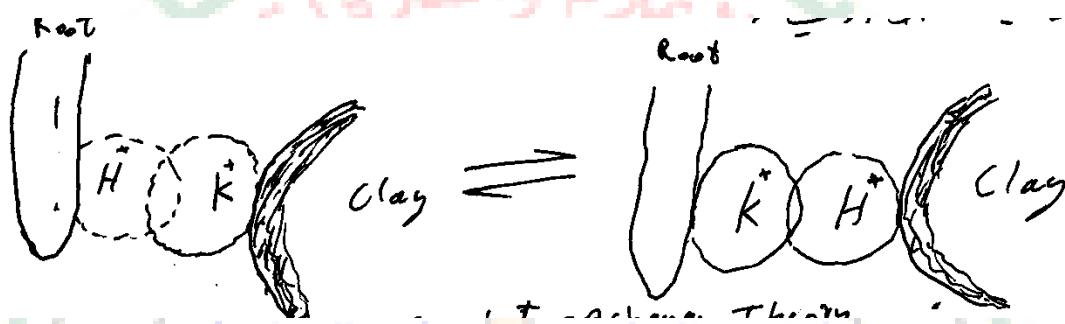
ويمكن توضيح هذه المسارات من خلال وضع عناينيين رئيسيين هما الاول / الامتصاص من التربة ، والثاني / الانتقال داخل انسجة النبات . ويمكن ايجازهما بما يأتي :



المحاضرات النظرية

اولاً - الامتصاص من التربة

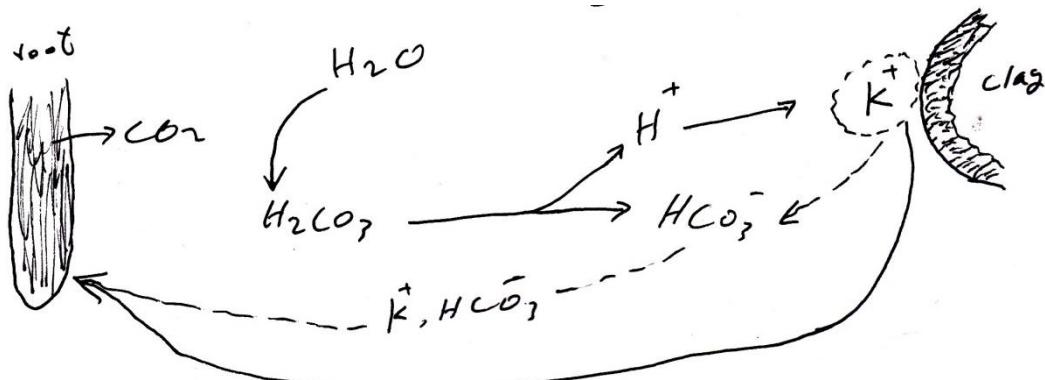
الايونات الذائبة في محلول التربة بصورة عامة تكون بتركيز اقل من تلك الممتازة على اسطح غرويات التربة والمواد العضوية. الايونات السالبة في محلول التربة تمتص من قبل الجذور في حين ان الايونات الموجبة الممتازة على اسطح الغرويات ربما تتبادل مع الهيدروجين الممتاز على اسطح خلايا الجذور لذلك سميت هذه النظرية بنظرية التبادل باللاماسة (التماس) . وطبقاً لهذه النظرية فأن الايونات الموجبة تنتقل من غرويات الطين الى سطح الجذور دون الحاجة الى ان تتحرر الى محلول التربة كما في المخطط الاتي:



توصل احد الباحثين الى ان كمية ما يتمتص من البوتاسيوم بهذه الطريقة لا تزيد عن 5-6% من احتياج النبات. ولكن بعض الباحثين اعترضوا على هذه النظرية وقالوا ان هناك عوامل مؤثرة مثل اختلاف H^+ التربة واختلاف نوع الطين. لذا تم اقتراح نظرية اخرى اشارت الى ان غاز CO_2 المنتج بواسطة تنفس الجذور بأخذ جزئية ماء فيكون حامض الكربونيكي H_2CO_3 فيتحلل هذا الحامض ويحرر ايون الهيدروجين H^+ الذي يحل محل ايون البوتاسيوم الموجب الممتاز على اسطح غرويات الطين الذي ينتقل الى سطح الجذر ويتمتص بالانتشار او ينتقل البوتاسيوم الموجب مع ايون البيكاربونات السالب على شكل زوج من الايونات مختلفة الشحنة الى سطح الجذر وتمتص وهذه النظرية تسمى تبادل حامض الكاربونيكي Carbonic acid exchange theory ويمكن توضيحها بالشكل الاتي :



المحاضرات النظرية



والاعقاد العام ان النظريتين سائطتين في معظم الترب وان سيادة احداهما على الاخرى تعتمد على محتوى التربة من الماء ودرجة حموضة التربة pH ونوعية الايونات المتبادلة.

ثانياً / الانتقال داخل انسجة النبات

الانتقال الايونات داخل النسيج النباتي يتم بطريقتين رئيسيتين هما الـ Free space Symplasim (Apoplasim) والـ

أ- الانتقال في الفراغ الحر (Apoplasim) Free space

يوفر الفراغ الحر الذي يشمل الفراغات البينية بين خلايا القشرة cortex اتصال دائم بين خلايا الجذر والاملاح المذابة في محلول. فنسيج الجذور يحتوي على 10-20% فراغ ينفذ اليه محلول دون وجود حواجز فعلية لانتشاره. فال محلول يمكنه ان ينفذ الى داخل القشرة حتى الطبقة الداخلية بمجرد مروره من خلال جدر الخلايا. هذا يعني انه عند غمر خلية في محلول معين فان غشاء الخلية plasma leummae يكون بتناس مباشر مع هذا محلول وان القشرة مغمورة في نفس محلول. وهذا يسمح بأن تكون مساحة واسعة من اسطح الامتصاص للایونات في منطقة القشرة. وفي هذه الحالة فان خلايا القشرة تزيل كمية كبيرة من الاملاح بفعل فرق التركيز الناتج عن امتصاص وانتقال الماء بعملية النتح. ان انتقال الايونات بالفراغ الحر يتوقف في منطقة الطبقة الداخلية Endodermis التي غالباً ما تكون جدرها متغلفة بتراكم مادة السوبرين بشكل



المحاضرات النظرية

شريط يحيط بالخلية من مناطق تماصها يسمى شريط كاسبر Caspian strip لذلك الانتقال عبر الطبقة الداخلية يجب ان يكون عن طريق الـ Symplasim .

بـ الانتقال بالـ Symplasim

ترتبط الخلايا بجسور تمتد بين سايتوبلازم الخلايا المجاورة عبر جدر الخلايا هذه الجسور سبق وان اسمايناها Plasmodesmata وهذه الجسور تسهل مرور الايونات من اماكن تراكمها في خلايا القشرة Cortex الى الطبقة الداخلية ثم الى الاوعية الناقلة في حين ان نواتج التمثيل الضوئي (السكريات) تسير بالاتجاه المعاكس لتتوفر وسط للتوكسد في عملية التنفس وانتاج الطاقة. ان انتقال الايونات بالـ Symplasm يتم اما عن طريق الانتشار بمساعدة حركة السايتوبلازم الدورانية Cyclosis او يتم عن طريق امتراز هذه الايونات على اسطح مركبات بروتينية لها القابلية ان تنتقل عبر الجسور البلازمية ومن ثم تنتقل الايونات معها . وقد وجد ان تثبيط الدوران السايتوبلازمي تسبب في تثبيط انتقال الايونات. اما القوة الدافعة لانتقال الايونات بالانتشار عرضياً عبر خلايا الجذور فيعتقد انه يعود الى الانخفاض في التركيز للاملاح بين المحيط الخارجي وسايتوبلازم الخلايا. الايونات المنتقلة تتحرر من خلايا الاوعية الناقلة الى خلايا الخشب ، والنظريات المتعلقة بذلك كثيرة ولا يوجد اتفاق حول ميكانيكية هذا الانتقال فبعض الباحثين يؤيدون ان انتقال الايونات الى الخشب يتم عن طريق الضخ النشط والقسم الآخر يؤيد المرور الحر. انتقال الايونات بالـ Symplasim الى خلايا الخشب يتم من خلال خلايا برنيكيا الخشب المحيطة بأوعية الخشب الناقلة ، اذ لوحظ ان هذه الخلايا لها القابلية على تجميع ايونات البوتاسيوم بدرجة كبيرة مقارنة بباقي الخلايا الحية في منطقة الاوعية الناقلة.

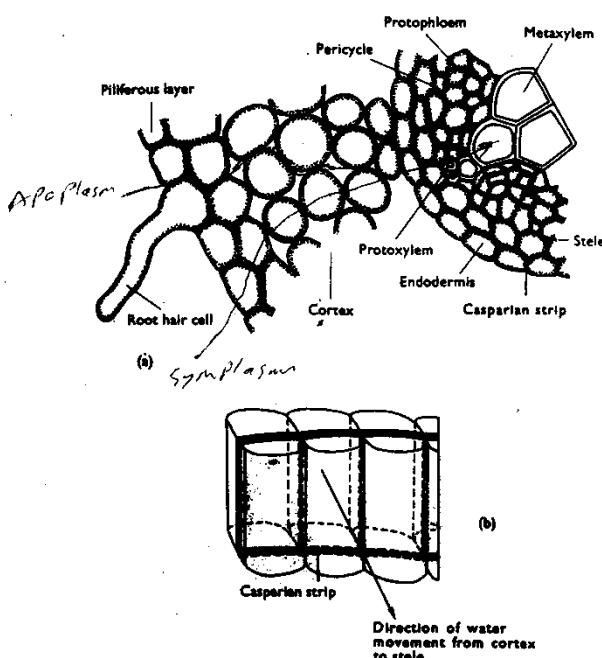
اما الاقتراح الاخر فهو ان الايونات تطرح الى الـ apoplasim في مناطق غير معروفة خلال خلايا الاوعية الناقلة ثم تنتقل بالانتقال الحر مع تيار النتح.

فضلا عن ما تقدم فهناك نظريات حول مرور الايونات عبر الـ Endoderm الى الخشب . واكثر النظريات قبولاً هي البنية على افتراض وجود منحدر متدرج لنقص O_2 وزيادة CO_2 من القشرة الى الاسطوانة الوعائية ، هذه النظرية تسمى نظرية الفرق في الطاقة الحيوية ويمكن توضيحها بأخذ جذر فيه الاوعية الناقلة والبشرة والقشرة ويوضع في محلول مغذي (هذا محلول يحتوي على O_2) وبما ان البشرة والقشرة قريبة من المحلول المغذي أي قريبة من O_2 لذا فأن



المحاضرات النظرية

نشاطها عالي وبالتالي يكون لها القابلية على تراكم الايونات بتركيز عالي لوجود طاقة عالية لديها ، ستنقل الايونات من البشرة والقشرة الى موقع اللحاء وخلايا الطبقة الداخلية والخشب ، وتكون الايونات بتركيز واطئ في داخل الخلايا لأن الماء يدخل الجذر وينقل الايونات في النبات ويصبح التركيز واطئ . كما ان الانتشار العكسي للايونات خلال شريط كاسبر غير المنفذ ربما يكون مستحيلاً ، فيكون هناك منفذ باتجاه واحد للايونات الى فراغ الاوعية الخشبية.



انتقال وتوزيع العناصر المعدنية

بمجرد دخول الايونات الى اوعية الخشب تنتقل الى الاعلى بوساطة النسخ الصاعد الى اجزاء النبات المختلفة . كما تنتقل بعض الايونات خارج الاوراق الى الاجزاء الخازنة في الساق او الجذور او الى الاجزاء النباتية الاخرى في حالة استمرارية النبات بالنمو.

بصورة عامة انتقال العناصر المعدنية يكون بوساطة الخشب نحو الاعلى وبوساطة اللحاء نحو الاسفل اذ ان اعادة التوزيع تحصل في اللحاء ايضاً . كما ان هناك انتقال جانبي للايونات بين اللحاء والخشب . بصورة عامة فان اعادة التوزيع للعناصر المعدنية يحصل كاستجابة الى النشاط الحيوي للجزء النباتي وربما مسيطر عليه ايضاً اذ ان الايونات تتجه نحو الاعضاء ذات الفعالية الحيوية العالية (sinks) مثل القمم النامية والاوراق الحديثة والاجزاء الانتاجية (الثمار) وربما يعود ذلك الى زيادة انتاج الهرمونات في تلك المناطق . بعض الايونات الممتصة من قبل النبات اكثر قابلية للانقال واعادة التوزيع من الاخر .



المحاضرات النظرية

الانتقال في الخشب

الانتقال في الخشب امكن برهنته بعدة طرائق تجريبية منها تجارب التحليق اذ لوحظ انتقال الايونات الى الاعلى لا يتأثر بازالة طبقة من اللحاء. وقد وجد من تجارب النظائر المشعة ان الايونات قد تنتقل من الجذور الى الاجزاء الخضرية بمعدل يصل الى 60 متر / ساعة في الاشجار الكبيرة. اما في حالة النباتات العشبية فان الايونات قد تصل الى طرف التفرعات الخضرية في خلال ساعة فقط. ومن دراسات تحليل عصير الخشب لوحظ وجود كميات كبيرة من الاملاح الذائبة في هذا العصير مما يقدم دليلا اخر على الانتقال بالخشب.

ليس كل الايونات المنتقلة بالخشب هي بصورتها اللاعضوية اذ ان معظم النتروجين ينتقل بصورة اميدات واحماض امينية وبيوريدات Urides . كما لوحظ ان قليل من الكبريت العضوي والفسفور العضوي تنتقل في الخشب . ان دخول هذه الايونات في المركبات العضوية ربما يقدم دليلا على ان هذه الايونات تشتهر في التفاعلات الحيوية اثناء انتقالهم عبر انسجة الجذر.

هناك بعض الايونات الموجبة تكون حركتها في الخشب غير حرة اذ ان مثل هذه الايونات اما ان تترسب بشكل فوسفات في خلايا القشرة او اوعية الخشب كما في حالة فوسفات الحديد مما يسبب ظهور اعراض نقص هذا العنصر. او ان يتميز العنصر على الاسطح الداخلية لاووعية الخشب ولا يتحرك . الا اذا حل محله ايون مماثل له او من نفس عدد شحنته فيتحرر الاخير الى محلول النسغ الصاعد وينتقل.

فضلا عن الانتقال بالنسغ الصاعد في الخشب هناك انتقال جانبي بين الخشب واللحاء عبر الكامبيوم ويعتقد ان خلايا الكامبيوم ربما تقوم بعمل مهم في تنظيم هذا الانتقال ، ويعتقد ان هذا الانتقال الجانبي يتم بصورة النقل النشط Active transport وهو اختياري لايونات معينة اذ ان خلايا الكامبيوم لها القابلية على مراقبة كميات من الايونات ونقلها الى اللحاء وبالعكس. فمثلاً اذا كان تركيز ايون معين منخفض في اللحاء فإنه يضخ من الخشب الى خلايا الكامبيوم ثم ينتقل الى اوعية اللحاء فإذا حصل تساوي في التركيز لذلك الايون بين اللحاء وخلايا الكامبيوم فان ذلك الايون سوف ينتقل بواسطة النسغ الصاعد دون تعويق.



المحاضرات النظرية

الانتقال في اللحاء

اثبتت تحاليل عصارة اللحاء وجود كميات لا بأس بها من بعض العناصر المعدنية وبالصورتين العضوية واللاعضوية.

الايونات المعدنية الموجودة في اللحاء هي تلك الايونات التي في حالة دوران مستمر في النبات او تلك التي خرجت من الاوراق عند دخولها مرحلة الشيخوخة وقبل تساقطها لكي يستفيد منها النبات في اماكن اخرى فعالة. فقد وجد ايضاً ان النتروجين الموجود في اللحاء بصورة عضوية فقط اذ وجد كميات لا بأس بها من الاحماض الامينية.

من خلال دراسات استخدم فيها النظائر المشعة لوحظ ان الايونات التي تنتقل خارج الورقة تكون باتجاهين متعاكسين في اللحاء ووجود انتقال عرضي بين اللحاء والخشب.

الامتصاص عن طريق الاوراق

من المعروف ان معظم النباتات المائية تحصل على العناصر المعدنية عن طريق امتصاصها بوساطة اوراقها المغمورة في الماء. وعلى العموم فان جميع النباتات تمتلك العناصر المعدنية المرشوشة على اوراقها وهذا ما يطبق فعلاً في الزراعة.

التغذية المعدنية عن طريق الاوراق استخدمت بنجاح مع اغلب العناصر المعدنية كالبيوريا (مصدر N) والفسفور والمغنيسيوم والكالسيوم وعناصر صغرى ايضاً على مختلف النباتات.

التغذية المعدنية عن طريق الاوراق هي طريقة مكملة وليس بديلة عن طريق الجذور وذلك لتعويض نقص بعض العناصر خصوصاً عندما يراد الحصول على نتائج سريعة. ومن الجدير بالذكر ان مواد كيميائية اخرى تضاف بالرش على الاوراق فضلاً عن التسميد المعدني وهي المبيدات الحشرية والفطرية او مبيدات الادغال ومنظمات النمو والمضادات الحيوية.

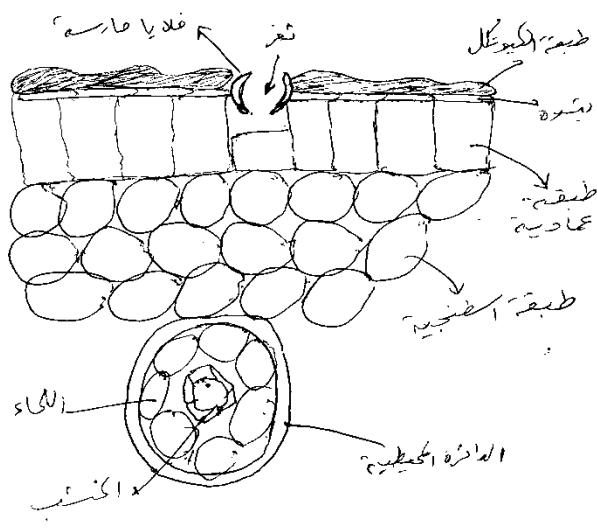
طريق المواد المرشوشة على الاوراق اما من خلال التغور او الكيوتكل او الاثنين معاً. وتستخدم بعض المواد التي تقلل من الشد السطحي للمحلول المرشوشة وتزيد من امتصاصه من خلال التغور. اما دخول الايونات من خلال الكيوتكل فقد لوحظ ان هناك جسور مشابه لـ Plasmodesmata ممتدة من الخلايا نحو السطح تحت طبقة الكيوتكل مباشرة يطلق عليها اسم ectodesmata هذه الجسور هي التي تشجع امتصاص المواد المرشوشة عبر الكيوتكل . كما



المحاضرات النظرية

وَجَدَ أَنَّ الْمُحَالِّيَّاتِ الْمُغَذِّيَّةِ تَنْفَذُ فِي الْأَوْرَاقِ الْحَدِيثَةِ أَسْرَعَ مِنَ الْأَوْرَاقِ الْقَدِيمَةِ وَرَبَّما يَعُودُ ذَلِكُ إِلَى الاختلافِ فِي سُمْكِ الْبَشَرَةِ وَالْكَيْوَتِكَلِّ.

بعض الايونات الممتصة من قبل الاوراق تستخدم من قبل الورقة والقسم الآخر ينتقل الى اجزاء اخرى من النبات في اللحاء.



الماء والتغذية في النبات

للماء أهمية كبيرة إذ ان اساس الحياة يرتبط ارتباطا وثيقا بوجود الماء فهو مصدر لعنصر الهيدروجين والذي يعتبر ضروريا لكل الجزيئات العضوية . و الماء مذيب لكثير من المواد الالاملاح التي تعتبر المصدر الرئيس لاليونات العناصر الغذائية في التربة كما انه مذيب للسكريات و الاليونات العضوية ، وهو الوسط الذي تحدث فيه كل التفاعلات الكيمياوية الحيوية للنبات . و الماء يسمح بانتشار المواد المذابة (diffusion of solutes) وجريانها وانسيابها الكتلي (mass flow) ولهذا فان الماء يعد ضروريا لامتصاص absorption وانتقال المغذيات nutrient products of biochemical reaction of metabolism ونواتج التفاعلات الحيوية transport الى باقى اعضاء النبات الاخرى .



المحاضرات النظرية

فضلا عن ذلك فان للماء فعلا مهما في الفجوات العصارية للنباتات اذ يسبب ضغطا على بروتوبلازم وجدار الخلية والذي يعرف بالضغط الانتفاخي (Ψ_p) وبذلك فإنه يحافظ على صلابة (rigidity) الاوراق و الجذور وغيرها من الاعضاء النباتية .

ان الجهد المائي (Ψ_p) كان له الفضل في فهم الاساس العلمي للعمليات التي يساهم فيها الماء .

ان مصطلح الجهد المائي (Ψ_p) water potential يوضح ما موجود من قوة او طاقة كيمياوية دافعة او كامنة في الماء ويمكن تعريف الجهد المائي بأنه الفرق في الجهد الكيمياوي (chemical potential) الناتج عن الفرق في تركيز المحلول المائي (الماء المحتوى على مواد ذاتية فيه) وبين تركيز الماء النقي الحر تحت درجة حرارة واحدة و لوحدة حجم واحدة .

ان وحدة الجهد المائي هي وحدة الضغط . والضغط يقاس عادة ب bar او ضغط جوي atmosphere (atm) والبار يعادل 10^6 دين 1 سم² والبار يعادل ايضا 0.987 ضغط جوي (atm) .

افتراض ان الجهد المائي للماء النقي الحر يساوي صفراء وهذا يعني ان نشاط حركة جزيئات الماء المقطر النقي الحر اعلى ما يمكن ويقل الجهد المائي للماء كلما زاد تركيز المواد المذابة فيه اي يقل نشاط حركة جزيئاته بزيادة المواد المذابة في الماء .

وقد اثبت الجهد المائي للانسجة النباتية يكون مابين 10- الى 20 - بار في حين ان الجهد الازموزي (الضغط الازموزي) لل محليل المغذي يكون بين 0.5 - الى 1.0 - بار . اما الجهد الازموزي لمحلول التربة غير الملحيه والحاوية على كمية من الماء فهو يماثل تقريبا الجهد الازموزي للمحلول المغذي ويكون من 1- الى 2 - بار.

يتاثر الجهد المائي بعدد من العوامل منها :

1- الضغط الهيدروستاتيكي الخارجي المعرض له الماء .

2- وجود المواد الذائبة في الماء solutes .



المحاضرات النظرية

. القوى المرتبطة بالسطح الصلبة والسائلة Ψ_m . matric forces

4 - التأثيرات الكهربائية الناجمة عن الشحنات الموجبة و السالبة للايونات او الشحنات السالبة والمؤجلة لغرويات التربة و المسماة بالطبقة الكهربائية المزدوجة electrical double layer او الشحنة السالبة لجدار الخلية وغشاء البلازمما .

5- تأثيرات الجاذبية gravity ربما تكون ذات اهمية في بعض الحالات الخاصة .

6- تأثير درجة الحرارة Ψ_t temperature

ولكن غالبا ما تهمل هذه التأثيرات ويؤخذ بنظر الاعتبار ثلاثة مكونات للجهد المائي وهي

$$\Psi_W = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m$$

المعادلة الآتية

الموضحة في

حيث ان

Ψ_W = الجهد المائي water potential

والذي يمثل القوة المحركة لانتقال الماء والناتج عن الفرق في الجهد المائي بين نقطتين والذي يمثل الفرق في التركيز بين المحلولين والذي يشير الى الفرق في القوة او الطاقة الكيميائية الدافعة او الكامنة للماء معبرا عنها بالضغط الجوي او البار .

Ψ_p = ضغط الانتفاخ turgor pressure

والذي يعبر عن القوة المبذولة على الجدار الخلوي وغشاء البلازمما من داخل الخلية الى الخارج بوحدة الضغط الجوي .

Ψ_s = الجهد الاوزموزي osmotic pressure

كان يسمى سابقا بالضغط الاوزموزي osmotic pressure و الناتج عن المواد الذائبة وهو يمثل القوى المحركة لجزيئات الماء من محلول التربة الخارجي الى داخل الخلية (المحلول الداخلي) بوحدة الضغط الجوي



المحاضرات النظرية

$$\text{Matric forces} = \Psi_m$$

وهو ناتج عن تأثير السطوح الصلبة في الطور المائي water phase ويسمى هذا المكون بجهد التشرب matric potential حيث ان الماء يمكن ان يحيط بجزئيات كبيرة مثل البروتينات والسكريات المتعددة بواسطة اواصر الهيدروجين hydrogen bonds وبوحدة الضغط الجوي .

وبهذه الكيفية يمكن ان تتشرب imbibition سطوح الخلايا والاغشية بالماء . علاوة على هذا التأثير الامتصاصي فقد يحمل الماء شعريا capillary بواسطة تأثيرات الشد السطحي surface tension وهذه القوى التي يطلق عليها matric forces . وبما ان هذه القوى تعرقل حركة الماء فانها تؤدي الى خفض الجهد المائي ولهذا فأن قيمة Ψ_m تكون سالبة . في حين ان قيمة ضغط الانفاس تزيد من قيمة الجهد المائي ولذلك فانها ولهذا تحمل اشاره موجبة غالبا .

في اجزاء النبات الحديث العمر تكون نسبة الماء المقيد بواسطة قوى ال matric قليلة جدا ولذلك فانها تهمل غالبا ويكون لها اهمية في التربة او عندما تكون الانسجة النباتية قد استغلت اكثر من 50% من محتواها المائي . ويصبح الجهد المائي مكونا فقط في مكونين وكما يأتي :-

$$\Psi_s + \Psi_p = \Psi_w$$

ان وجود المواد الذائبة في الماء يؤدي الى تقليل تركيز الماء وبعبارة ادق يؤدي الى تقليل نشاط حركة جزيئاته وهذا بدوره يخفض الجهد المائي ومن ثم قله قابلية نفاذ الماء اي انتشاره من محلول الخارجي الى داخل النبات .

ان الجهد الازموزي Ψ_w هو دائما ذو قيمة سالبة اي اقل من صفر و الذي هو قيمة الجهد المائي للماء الحر النقى .

ان كلا من قوى ال (Ψ_m) والمواد الذائبة (Ψ_s) تخفض من الجهد الازموزي (اي تزيد قيمته السالبة)ولهذا السبب فان الجهد المائي لاجزاء النبات (الاوراق ،السيقان،الجذور)



المحاضرات النظرية

تكون سالبة ، غير انه تحت ظروف معينة ربما يكون الضغط الهيدروستاتيكي في الفجوات عاليا فيؤدي هذا الى حصول الجهد المائي على قيمة الصفر في حالة الانتفاخ .

ان الجهد المائي يمثل القوى المحركة لانتقال الماء وان حركة الماء في الخلايا والأنسجة النباتية تحصل من الجهد المائي العالى (الاقل تركيزا اي ذو المحتوى المنخفض من المواد المذابة) الى الجهد المائي الواطي ء (الاكثر تركيزا اي ذو المحتوى العالى من المواد المذابة) .

حركة الماء بين نقطتين تعتمد على الاختلاف بالجهد المائي وعلى مقاومة الجريان او السريان او الانسياب الكتلي mass flow ومثل هذه المقاومات في النبات هي جدران الخلية والاغشية الحيوية والكيوتيك وغيرها .

عندما تقل جاهزية الماء في التربة ويكون الناتج عاليا فتكون النتيجة قلة الماء المتواجد في الخلايا وهذا وتصبح النتيجة سالبة (اي فقدان الماء من قبل النبات اعلى من W_s يعني انخفاض قيمة الجهد المائي

امتصاصه وتصبح قيمة الجهد المائي سالبة بدرجة اعلى مما كانت عليه سابقا) . وعندما يكون فقد الماء عاليا فان النبات يذبل ، ويوقف الانخفاض الشديد في الجهد المائي في هذه الحالة نمو النبات .

ان الطريق السهل و المتعارف عليه لموازنة فقد الماء وتجنب انخفاض الجهد المائي هو الري . اذ لوحظ ان للري تأثير ايجابي في الحاصل ، اذ تبين زيادة امتصاص النتروجين من قبل النبات بزيادة اضاف السماد النتروجيني نتيجة لعملية الري ، وان الامتصاص العالى للنتروجين في المعاملة المروية كانت موازية للزيادة في الحاصل . هذا وتختلف الاحتياجات المائية للنباتات بأختلاف مراحل نموه .

يستعمل معامل النتح في الاغراض التطبيقية اذ يوضح كفاءة النباتات في استغلال الماء الممتص في انتاجية هذه النباتات . ويمكن تعريف معامل النتح بأنه كمية الماء المقاومة باللتراات التي تستهلك لانتاج كيلو غرام واحد من المادة الجافة . ويختلف معامل النتح بأختلاف المحاصيل ويكون معامل النتح اعلى في نباتات C_3 مما هو عليه في نباتات C_4



المحاضرات النظرية

ان معامل النتح عرضه للتغير اذ ان ظروف التربة و العوامل المناخية وتغذية النبات لها دور في ذلك فمثلا عندما يكون التجهيز بالماء من التربة كافيا وزيادة عملية النتح نتيجة لانخفاض الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط و ارتفاع درجات الحرارة و الضوء فأن معامل النتح يكون عاليا .

كما وجد ان النباتات عندما تكون غير مجهزة جيدا بالعناصر الغذائية فأن معامل النتح يكون ايضا مرتفعا وهذا يعني ان قدرة النبات تصبح اقل كفاءة في استهلاك الماء في حالة التغذية غير الجيدة . فقد وجد احد الباحثين في تجربة حقلية على البطاطا ان البوتاسيوم له تأثير ايجابي على استهلاك الماء و الذي يرجع الى لخلايا النباتات وبذلك يقلل من فقدان الماء بعملية النتح حيث يقلل من فتح الثغور. 5.3 تقليل الجهد الازموزي.

التغذية المعدنية ونمو و حاصل النبات

ان التغذية المعدنية الصحيحة و المتوارزنة تسهم اسهاما مهما فضلا عن العوامل البيئية الاخرى والى جانب العوامل الوراثية في مراحل نمو النبات المختلفة .

يمكن تعريف النمو بأنه النشوء او التحول التدريجي الذي يحصل للنبات من بدء دورة حياته و التي تبدأ بالانبات وحتى مرحلة النضج الكامل و الذي يكون مصحوبا بزيادة الوزن الجاف للنبات او بزيادة حجمه او طوله او قطره .

كما يمكن تعريف النمو بأنه زيادة المادة البروتوبلازمية الحية للكائن الحي او زيادة عدد خلاياه يبدأ انبات البذور بعملية التشرب imbibition فتنتفخ البذرة مما يهيء وسط للتنفس . و عند اخذ الاوكسجين ستتأكسد الكاربوهيدرات والدهون واحيانا البروتينات الى ماء وثنائي اوكسيد الكاربون فتحرر طاقة الـ ATP و NADPH₂ وهذه الطاقة ضرورية لعملية النمو .

نمو الكائنات الحية الراقية يكون مصحوبا بتخصص المواد العضوية الحية الى انسجة واعضاء نباتية مختلفة . اول عضو يتكون بعد عملية الانبات هو الجذير الذي يتطور الى الجذر الذي يقوم بأمتصاص الماء والعناصر الغذائية ثم تبدأ الاجزاء الهوائية بالنمو وتبدأ عملية تكوين الكلوروفيل بمساعدة الضوء .



المحاضرات النظرية

يمكن التعبير عن الحاصل بمصطلحين هما الحاصل البايلوجي والحاصل الاقتصادي . فالحاصل البايلوجي يمثل الناتج الكلي من المادة الجافة للنبات بما في ذلك الجذور والسيقان والأوراق والثمار وغيرها ، أما الحاصل الاقتصادي والذي يسمى أحياناً بالحاصل التجاري فهو يشمل أجزاء النبات التي من أجلها يزرع فمثلاً في الطماطة والبازنجان والفلفل (الثمار) وفي الخس واللهاة والكرفس (الأوراق) وفي القرنابيط (القرص الذهري) وهذا .

إن الأنسجة المرستيمية لها فعاليات حيوية والمواد الناتجة من عملية التمثيل الكاربوني والتي تجهز هذه الأنسجة لاستعمال بصورة رئيسية في تكوين البروتينات والاحماس النووية . كما أن التغذية بالنتروجين لها دوراً مهماً في السيطرة على معدل نمو النبات أثناء مرحلة النمو الخضري وتطوره ، إذ أن معدل النمو العالي لا يتحقق إلا بتوفير النتروجين . عند نقص النتروجين فإن دورة حياة النبات تقصر ويحدث نضج مبكر للنبات الأمر الذي يؤدي إلى رداءة نوعية الحاصل وانخفاضه تجارياً.

في المحاصيل الثمرة في العنب مثلاً الأوراق القريبة من العنقود لها دور فعال في مليء الثمار ومن ثم زيادة وزن العنقود فقد وجد أن إضافة النتروجين بعد الإزهار للعنب يطيل من مدة بقاء الأوراق خضراء وزيادة نشاطها والذي ينعكس إيجابياً على عملية مليء الحبات . إن المواد المنتقلة للحبات هي السكريوز والكلوکوز والفركتوز والاحماس العضوية . إن فسلجة أشجار الفاكهة الأخرى كالتفاح والخوخ والمشمش والعرموط والحمضيات تشبه إلى حد كبير فسلجة ثمار العنب وإن عدد وزن الثمار هي التي تمثل الحاصل الاقتصادي .

ووجد في الطماطة أن إضافة دفعة متأخرة من النتروجين والبوتاسيوم لها أهمية كبيرة إذ أن لهما دور فعال في مليء الثمار وعدد الثمار .

أما في المحاصيل الورقية فالحاصل الاقتصادي هو الأجزاء الهوائية الخضرية من النبات لذلك فإن الاهتمام بالتسميد النتروجيني له أهمية كبيرة في هذه المحاصيل . وفي الثيل ينصح بعد كل عملية قص اعطاء دفعة من السماد النتروجيني وكذلك مع المحاصيل الورقية التي يؤخذ منها عدة حشاث .

في المحاصيل الدرنية والجزرية فإن فسلجتها تختلف عن فسلجة المحاصيل الثمرة كونها تكون أجزاء خازنة تنمو تحت سطح التربة . وفي حالة التغذية الغزيرة بالنتروجين في مرحلة النمو



المحاضرات النظرية

الحضري ستنقل من عدد الدرنات بالنبات وتقلل حجم الدرنات وكلاهما يدخلان في كمية الحاصل كما ان نسبة النشا في الدرنات ستختفي ويزداد النمو الخضري . ان معدل تمثيل CO_2 يعتمد على عوامل مناخية ومساحة الورقة التي تحول الطاقة الضوئية الى طاقة حيوية ATP NADPH_2 ليس فقط المعدل العالي من التمثيل الكاربوني ضروري وانما ايضا انتقال هذه المواد الناتجة الى الاجزاء الخازنة وما يساعد في ذلك هو البوتاسيوم . مما تقدم تتضح اهمية اضافة النتروجين في مراحل ما قبل تكوين الدرنات (مرحلة قبل التزهير) لتكوين نمو خضري كبير ، اما عند الازهار فيجب ان يقلل النتروجين اذ ان هذه المرحلة تتصف بانتقال الكاربوهيدرات للاجزاء الخازنة .

ان المواد الناتجة من عملية التمثيل الكاربوني يمكن ان تستهلك في النمو الخضري وفي تكوين المواد المخزونة في عملية التنفس . كما ان اتجاهها الى هذه المستقبلات الثلاثة والمذكورة اعلاه يعتمد على العمر الفسيولوجي للنبات .

في حالة البادرات الحديثة يقدر بأن حوالي 50% من مواد التمثيل الكاربوني تستعمل للنمو . بينما في النباتات الناضجة فإن الجزء الأكبر من المواد المتمثلة يستعمل في عملية الخزن لمليء البذور او الثمار . اذ وجد احد الباحثين ان ثمار الطماطة قد استهلكت ما يقرب 30% من مواد عملية التمثيل الكاربوني في عملية التنفس أما الجزء الباقي فأستعمل في تكوين المركبات العضوية المهمة في تكوين ثمار الطماطة . كما يمكن استعمال التغذية المعدنية في تحسين النوعية او ما تسمى بصفات الجودة ، فالالتغذية المعدنية تؤدي دوراً مهماً في حالة عدم ملائمتها سواء بالزيادة او النقصان والتي يمكن ان تسببه من تشوهدات بسبب نقصها او السمية بها سواء على شكل او مظهر او لون الحاصلات الزراعية .

ويذكر ان العوامل الوراثية والمناخ ومستوى التغذية النباتية ونوعية المغذيات ووقت اضافتها لها دورا هاما في تحديد النوعية . ان محتوى الكاربوهيدرات في الانسجة الخازنة كالثمار والجذور والدرنات يعود الى نشاط عملية التمثيل الكاربوني وكذلك الى معدل انتقال نواتج هذه العملية الى الاجزاء الخازنة .

لقد وجد ان كلا من الفسفور والبوتاسيوم يحفز عملية التمثيل الكاربوني كما انها يحفزان انتقال نواتجهما من الاوراق الى الاجزاء الخازنة . كما وجد ان النحاس يمنع الهدم المبكر للكلوروفيل



المحاضرات النظرية

ومن ثم فهو يزيد من عمر النبات ويرفع من كفاءة النبات في زيادة عملية التمثيل الكاربوني وزيادة نواتجها . كما يحفز انتقال CO_2 ففي المحاصيل الورقية فإن وجود المستوى الملائم من البوتاسيوم يحفز تمثيل الكاربوهيدرات من الاوراق الى درنات البطاطا وهذا يفسر المحتوى العالى من النشا في درنات البطاطا المجهزة بشكل جيد بالبوتاسيوم . هذا التأثير يعتمد ايضا على نوع السماد البوتاسيي فمثلا KCl يعطي محتوى واطىء من النشا مقارنة بسماد K_2SO_4 وهذا ربما يعود الى التأثير السلبي للكلوريد في انتقال الكاربوهيدرات من الاوراق الى الدرنات .

ان ظاهرة الاسوداد black kening في درنات البطاطا المستخدمة في غذاء الانسان تقل باضافة السماد البوتاسيي ، كما وجد ان حساسية درنات البطاطا للضرر نتيجة الحصاد الميكانيكي والنقل تقل باضافة السماد الفوسفاتي . كما وجد ان نقص البورون يؤدي الى ظهور القشور على درنات البطاطا وتمزيق ثمار الطماطة والتفاح والرمان والبرتقال .

وتتجدر الاشارة الى ان نقص التغذية المعdenية او السمية بها او عدم التوازن الغذائي المعدنى يقود الى اجزاء كبيرة في حاصل ونوعية الثمار ، ويؤدي الى حدوث تشوهات في الشكل واللون وكذلك في الطعم لتأثيرها المباشر في تكوين المركبات العضوية المختلفة .

فمثلا نقص المنغنيز يؤدي الى تشقق وتمزق ثمار الخوخ ويؤدي الى تشوه ثمار الموز حيث تكون قليلة العدد وقصيرة ونهايتها عليها نتوءات كثيفة وحضور وظهور ظاهرة marsh spot في بذور البقوليات كالفاوصوليا ، والى تشوه الجزر حيث يخرج من جذر الجزر الواحد عدة جذور وتكون مغطاة بشعيرات جذرية كثيفة تقلل من نوعيتها . كما ان نقص النحاس يؤدي الى طراوة رؤوس البصل وتعرضها للتلفن كما هو الحال ينقص البوتاسيوم . اما نقص الكالسيوم فيؤدي الى تعفن الطرف الذهري في ثمار الطماطة والفلفل والباذنجان . كما ان نقص عناصر الفسفور والبورون والمولبديوم تؤدي الى تلون زهرة القرنابيط بلون ارجواني .

ان الهدف من عملية التسميد او عملية اضافة المغذيات للنبات هو الحصول على اعلى حاصل اقتصادي واحسن نوعية وباقل التكاليف وذلك من طريق زيادة كفاءة عملية التسميد ب اختيار نوع السماد المناسب لنبات معين وفي تربة معينة واصافة هذا السماد في الموعد المناسب وبالكمية الملائمة والطريقة المناسبة المستخدمة لأضافته والذي من شأنه ان يحقق اعلى استقادة (اي افضل استجابة من النبات لهذا السماد) . ولغرض تحديد مواعي اضافة الاسمدة يقوم الفلاحون



المحاضرات النظرية

بتحليل مستوى المغذيات في التربة وانسجة النبات . فيعكس تحليل التربة مستويات العناصر جاهزة بشكل فعال في جذور النباتات لكنه غير قادر على تحديد ظروف الامتصاص وكثافات العناصر الممتصة فعلا من قبل النبات اذ يوفر تحليل النسيج النباتي هذه المعلومات . فيجب ان نفهم العلاقة بين نمو النبات (او الحاصل) ومحطيات عينات الانسجة النباتية للاستغلال الامثل لتحليل النسيج النباتي . فعندما يكون محتوى النسيج النباتي من عنصر ما منخفض سينخفض النمو ايضا وتمثل هذه الحالة بالنقص deficiency zone وترتبط الزيادة في محتوى النسيج من المغذي بالزيادة في النمو او الحاصل مباشرة ، اذ يزداد النمو اكثر كلما زاد تركيز العنصر في النسيج الى حين الوصول الى نقطة يطلق عليها نقطة او منطقة التجهيز المناسب adequate zone وفيها لا يرافق الزيادة في تركيز العنصر في النسيج زيادة في النمو او الحاصل ، وتظهر النقطة الحرجة او التركيز الحرجة critical concentration للمغذي عند نقطة او منطقة الانتقال من منطقة النقص الى منطقة التجهيز المناسب ، ويعرف التركيز الحرجة بأنه اقل تركيز للعنصر في النسيج الذي يرافقه أعلى نمو او حاصل ، وتسبب زيادة في تركيز العنصر ما بعد منطقة التجهيز المناسب انخفاضا في النمو والحاصل بسبب السمية toxic zone

تحدد عناصر النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم انتاجية المحاصيل الزراعية بدرجة كبيرة وهذه العناصر تكون تراكيزها محدودة في الترب الزراعية عادة . لذلك يضيف معظم المزارعين الاسمندة الحاوية على تلك العناصر دوريا وضمن الحدود الدنيا وبما لا يضر نمو النبات وحاصله واذا ظهرت اعراض نقص عنصر معين تتخذ اجراءات عدة قبل ان يختزل النمو او يقل الحاصل ، اذ تم اعتماد وتحليل النسيج لوضع برنامج تسميدي يحقق حاصل جيد من حيث الكمية ويضمن سلامة النوعية لمحاصيل عدة .

الملوحة وتغذية النبات

تعد الملوحة من اهم المشاكل المتزايدة بالعالم ويزيد الري من وطأ هذه المشكلة . ان ترب المناطق الجافة وشبكة الجافة تحتوي على مستويات عالية من الاملاح . واعتمادا على الظروف الخاصة بكل تربة فإن الصوديوم والكلوريد هما في الاغلب الايونين ذوي السمية المحتملة في الترب الملحيه فضلا عن ايونات اخرى قد توجد في هذه الترب ويكون لها غالبا تأثيرات هامة في بيئه هذه المناطق مثل ايونات الكبريتات والبيكاربونات والبورات والليثيوم والمغنيسيوم



المحاضرات النظرية

وغيرها ، ومن ثم فإن وجود هذه الايونات بتركيز عالي في الوسط الجذري يؤثر على حصول النبات على العناصر الغذائية و يؤثر سلبا على نمو المحاصيل .

في تجربة اجراها احد الباحثين على نباتات الفاصوليا ، اذ اضاف لمجموعة من النباتات ملح كلوريد الصوديوم NaCl ومجموعة اخرى تركت من دون اضافة (معاملة القياس) ولاحظ ان جميع اجزاء النبات سواء ذلك التي فوق سطح التربة (الجزء الخضري المتمثل بالمادة الجافة (غم) والمساحة الورقية (سم²) او التي تحتها (الجذور متمثلة بالمادة الجافة (غم) تأثرت سلباً باضافة الملح ويمكن توضيح النتائج في الجدول الاتي :

المعاملة الملوحة (غم)	المعاملة القياس (غم)	الجزء النباتي
0.7	4.4	الجزء الخضري (مادة جافة غم)
118	778	المساحة الورقية الكلية (سم ²)
0.3	1.4	الجذور (مادة جافة غم)

ان وجود الاملاح الذائبة في الوسط الغذائي يمكن ان يؤثر في نمو النبات بطرقين هما :

1- التركيز العالى لبعض الايونات يمكن ان يكون ساما ويسبب الاضطراب الفسيولوجي مثل الصوديوم والبوريت

2- زيادة تركيز الاملاح الذائبة في محلول المغذي تسبب خفض جهد الماء وبهذا فأنها تعيق امتصاص الماء من قبل جذور النبات

ان تأثير الثاني يكون اقل اهمية لان زيادة تركيز الاملاح في محلول المغذي تسبب زيادة امتصاص الاملاح ايضا مما ينتج عنه خفض لجهد الماء في انسجة الجذور ومن ثم يتوجه امتصاص الماء مما يزيد من ضغط انتفاخ الخلايا هذا يعني حصول موازنة مائية موجبة بسبب هذا الامتصاص وتعرف هذه الموازنة بالتنظيم الازموزي.

ان النباتات التي تعاني من تأثير الملوحة تكون متقرمة وذات اوراق صغيرة ذات لون اخضر مزرق وتظهر عليها ايضا اعراض الذبول



المحاضرات النظرية

التأثير السمي للاملاح

التأثير السمي ينتج من التراكيز العالية للاملاح وهذا قد يكون بسبب ان الاملاح بتراكيزها العالية تأثر على عمليات حيوية عدة مثل النشاط الانزيمي وتكوين البروتين ونشاط المايتوكندريا والبلاستيدات الخضراء. اذ وجد ان تصنيع البروتينات ينخفض بزيادة الملوحة ، اذ وجد انها تؤثر سلبا في اشتراك النتروجين غير العضوي في عملية تكوين الاحماض الامينية ومن ثم يقلل تكوين البروتين في النبات .

وكم درس احد الباحثين **التأثير الضار للصوديوم على تركيب البلاستيدات الخضراء** اذ قام بعزل بلاستيدات خضراء من نبات الفاصوليا ووضعت في محلول كلوريد الصوديوم بتركيز 25 مليمتر ولاحظ ان البلاستيدات في محلول الملحي متشوهة وهذا التشوه كان مصحوبا بـ استبدال البوتاسيوم من البلاستيدات بالصوديوم الموجود في محلول ، وقام الباحث بـ استبدال البلاستيدات بأخرى من نبات البنجر فلاحظ ان هذا الاستبدال بين الصوديوم والبوتاسيوم لم يحصل ، وبذلك فإن مقاومة هذا النبات الاخير للملوحة قد تعود الى ثباتية البلاستيدات الخضراء تحت التراكيز العالية من الصوديوم .

مقاومة الملوحة

هناك نباتات تدعى نباتات البيئية الملحية halophytic plants والتي وجدت نامية في المستنقعات المالحة اذ تكيف هذه النباتات لتلك البيئات التي تعد مؤذية للنباتات العادمة ، فهي قادرة على مقاومة المستويات العالية من الاملاح

استخدمت النباتات العادمة (غير الملحية) glycophytic ميكانيكيات عدة لمقاومة

الاملاح فمنها

1- عزل الملح في الفجوات

2- طرد الملح عن طريق غشاء البلازما الى الخارج



المحاضرات النظرية

3- طرد الصوديوم من النبات وتخفيق تراكبزة في الجذر من طريق طرد الصوديوم من مجرى النتح ويودع الصوديوم النهائي المفصول في فجوات خلايا ميزوفيل الورقة .

او يمكن ان تكون طرائق التأقلم هي:-

1- تقوم النباتات بـاستبعاد ايونات الصوديوم والكلور من الامتصاص

2- في بعض النباتات تمتص هذه الاملاح (الايونات) الا انها تفرز عن طريق الغدد الملحية salt glands الموجودة في الاوراق

3- النباتات تمتص الاملاح الا انها تمنع وصولها الى المناطق الحيوية من موقع نمو النباتات .

وتحتفل اصناف النباتات ضمن النوع الواحد وكذلك الانواع ضمن الجنس الواحد في مدى حساسيتها للتراكيز العالية من الاملاح . ففي دراسة اجرتها احد الباحثين على نوعين من الطماطة احدهما مقاوم للملوحة وهو *lycopersicon cheesmanii* اذ ينمو في محلول الغذائي الحاوي على ماء البحر ، والآخر حساس للملوحة وهو *lycopersicon esculentum* والذي لايمكن من العيش في محلول يحتوي على 50% من ماء البحر ، فالنوع مقاوم امتص الصوديوم حتى وصل الى 7% من محتوى الاوراق ، في حين ان النوع الحساس بقي ترکيز الصوديوم فيه منخفض تحت مستوى التأثير السمي في الاوراق ، ولكي يعيش النقص الحاصل في الجهد المائي في الظروف الملحية قام بتجمیع المواد العضوية الذائبة التي تضم الاحماض الامینیة فتساهم السمية ،اما النوع مقاوم فإنه استبدل البوتاسيوم بالصوديوم في الفعالیات الحيوية لذا من الضروري ايجاد اصناف جديدة مقاومة للملوحة بـاستخدام طرائق التربية والتحسين والهندسة الوراثية .