

التغذية المعدنية

Mineral Nutrition of Plant

صرح ارسطون ان النباتات تحصل على غذائها من الارض مباشرة. اما Van Helmont عام 1640 استنتاج ان الماء وليس التربة هي مصدر نمو النبات وذلك من تجربته على نبات الصفصفاف. وفي القرن التاسع عشر صنعت الاسمدة. بعدها طورت المحاليل المعدنية من قبل Hoagland و Sack و Knop.

مكونات النبات غير العضوية

اما المادة الجافة ف تكون 10-20% من الوزن الطري. مركبات الكربون والاوكسجين تكون 90-80% من المادة الجافة. المواد المعدنية التي تظهر عند الحرق بشكل رماد تكون 5-15% من المادة الجافة. نسبة الرماد في الانسجة المرستيمية الفعالة وكذلك في الاوراق عالية قد تصل 15% من الوزن الجاف. اما ساقان وجذور النباتات التجيلية فيصل فيها الرماد 4-5% من الوزن الجاف وفي البذور يكون الرماد 3%.

وجد من تحليل انسجة النباتات الطيرية والجافة ومن تحليل الرماد ان العناصر المكونة هي C, H, O₂, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Mo, Zn, B, Co, Cl, Si, Al وعناصر اخرى.

العناصر المعدنية الموجودة في النبات

أولاً: العناصر الضرورية لنمو النبات Essential Elements for Plant Growth هناك ثلاث اسس مهمة تحدد العناصر الضرورية للنبات هي:

1. يتوقف النمو الطبيعي والتكاثر او كلاهما بغياب ذلك العنصر
2. وجود العنصر في محلول شرط اساس لنمو النبات وان نقصه يسبب اعراض مرضية لا تزول الا باضافة ذلك العنصر
3. يعد العنصر اساسي اذا كان احد مكونات الجزيئات الدالة في العمليات الفسيولوجية المهمة للبناء

تقسيم العناصر حسب الكميات التي يحتاجها النبات:

1. المغذيات الكبرى Macroelements وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكمية 100ppm او اكثر لغرض حدوث النمو الطبيعي وتشمل C,H,O₂,N,P,K,S,Ca,Mg
2. المغذيات الصغرى Microelements وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكمية قليلة جدا 100-1 ppm وتشمل Fe, Mn, Cl, B, Zn, Cu, Mo, Co او Trace Rare للإشارة للمغذيات الصغرى.

ثانياً: العناصر غير الضرورية Non-Essential Elements

وهي العناصر التي توجد في بعض النباتات ولكن لم يثبت ضرورتها للنبات لحد الان فقد يكون لها تأثير منشط لبعض العمليات الحيوية كالصوديوم والسيلكون واليود والالمانيوم والسلينيوم والفلور والفناديوم. النبات قد يحتاج بعضها بكمية ضئيلة جدا يحصل عليها من الشوائب الموجودة في بيئة الجذور.

طرق دراسة تغذية النبات

1. تحليل الرماد Ash Analysis. تستخدم لمعرفة نوعية وكمية العناصر الغذائية في انسجة النبات وذلك بتعرض النسيج لدرجة حرارة عالية 600 م وتحويله الى رماد. العناصر مثل Fe,K,Ca تبقى بشكل اكسيد في الرماد اما العناصر في المركبات العضوية مثل CO₂,C,H,O₂ فتفقد بشكل CO₂ وبخار الماء والاوكسجين . ولا يمكن تقدير N بدقة لان بعض المركبات العضوية التتروجينية تتطاير بشكل امونيا او غاز التتروجين. فعلى سبيل المثال نجد النسب التالية في رماد نبات الذرة عند تحليل الرماد: التتروجين 1.46% البوتاسيوم 0.92% الكالسيوم 0.23% الكبريت 0.21% الفسفور 0.20% المغنيسيوم 0.18% الحديد 0.35% المنجنيز 0.083%

2. المزرعة المائية Water Culture or Solution Culture

يزرع النبات في محلول مائي يحتوي على المغذيات الكبرى والصغرى يسمى محلول المغذي Nutrient Solution. يجب ان يحتوي محلول المغذي على ثلاث عناصر غذائية كبرى بصورة ايونات موجبة مثل Mg,K,Ca وكذلك ثلاث مغذيات كبرى ايونات سالبة مثل النترات والفوسفات والكبريتات. وعادة تضاف بشكل املأح نترات البوتاسيوم ونترات الكالسيوم وفوسفات البوتاسيوم وكبريتات المغنيسيوم كما ان المغذيات الصغرى يجب ان تضاف بتراكيز واطنة.

مراقبة النقاط التالية في المزارع المائية:

1. الاملاح ندية 2. تذاب جيدا بالماء المقطر 3. توضع في اوعية زجاجية (بایركس) 4. العنصر المراد دراسته يحذف 5. يوضع العنصر المحذوف بملح اخر للمحافظة على الازموزية فمثلا عند حذف N يجب اضافة KNO₃ بدل من KCL 6. تهوية محلول 7. منع اختراق الضوء 8. المحافظة على الحامضية 9. تغيير محلول 2-3 مرات خلال الموسم.

من الناحية العملية طور Arnong Hoagland محلولين غذائيين (1) و (2) ويستعملان حديثا للبحث والدراسة:

محلول (2)

سم³ في لتر من محلول المغذي	
1	M NH ₄ H ₂ PO ₄
6	M KNO ₃
4	M Ca(NO ₃) ₂
2	M Mg SO ₄

محلول (1)

سم³ في لتر من محلول المغذي	الملح	سم³ في لتر من محلول المغذي	الملح
1	M KH ₂ PO ₄	1	M KNO ₃
5	M Ca(NO ₃) ₂	5	M MgSO ₄
2			

ويضاف لكل من محلولين الغذانيين المحاليل المكملة الحاوية على العناصر الغذائية الصغرى بحالة محلول A ومحلول B (محلول A يجهز البورون والمنغنيز والزنك والنحاس والمولبديوم ويضاف بنسبة 1 سم³ من هذا محلول الخليط لكل لتر من محلول المغذي رقم (1) او رقم (2)

المادة	عدد الغرامات في لتر واحد من الماء
حامض البوريك H ₃ BO ₃	2.86
كلوريدي المنغنيز MnCl ₂ .4H ₂ O	1.81
كبريتات الزنك ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0.22
كبريتات النحاس CuSO ₄ .5H ₂ O	0.08
محلول المولبديك H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	0.02

محلول (B) يضاف الحديد بشكل ترترات الحديد 0.5% وبمعدل 1 سم³ لكل لتر واحد من محلول المغذي او أي مركب اخر عضوي يحتوي على الحديد.

3. المزرعة الرملية Sand Culture

يزرع النباتات في الرمل النظيف المغسول بحامض الهيدروكلوريك المخفف كي لا تبقى اي اثار للعناصر الغذائية ثم يغسل الرمل بعدها بالماء المقطر و يجب ان يكون الرمل ناعم للمحافظة على الماء و حدوث التهوية وقد استعمل رمل Quartz او مادة Perlite المحسنة.

المواد المخلبية Chelating Agents

تضاف العناصر المغذية الموجبة الشحنة الى المحاليل الغذائية بشكل مركب معقد مع مادة عضوية تسمى Chelates او Ligand مؤلفة بذلك ايونا معقدا بحالة ثابتة وبذلك تمنع ترسب العنصر المغذي الصغير وعلى سبيل المثال وجد ان المادة المسماة Ethylenediaminetetra Acetic Acid (EDTA) تتميز بانها مادة مخلبية مع الزنك.

خصائص المواد المخلبية

1. يجب ان تقاوم فعل الاحياء المجهرية الدقيقة
2. يجب ان تكون مركبا معقدا مع ايون العنصر المغذي الصغير وليس مع ايون العنصر المغذي الكبير
3. ان تكون المادة المخلبية مع ايون العنصر المغذي الصغير مرکبا معقدا ذانيا
4. ان تكون معقدا عديم او سالب الشحنة حتى يسهل اختراف جدران الخلايا (السالبة الشحنة) او طبقة الكيوتكل في الاوراق خصوصا عند رش المغذيات على الاوراق. حيث ان ايونات المغذيات الصغرى الموجبة الشحنة سوف تترسب في جدران الخلايا او طبقة الكيوتكل ولا تنفذ الى داخل الخلايا اذا ما استعملت بدون المادة المخلبية على الاوراق.

وقد وجد ان مادة EDTA لها الفة قوية مع الكالسيوم لذا استبدلت بمادة عضوية اخرى تتحدد مع الحديد وهي Fe-EDDH (Ethylenediamine di,O-hydroxyphenol Acetic Acid)

امتصاص العناصر المغذية

تحدث اكثريه امتصاص العناصر المغذية خلال مدة النمو الفعالة للنبات. امتصاص الاملاح يتعرض لقوتين هما:

1. القوة الناشئة عن منحدر الطاقة الكيميائية حيث تتحرك الايونات من الجهة ذات التركيز العالي الى الجهة ذات التركيز الواطئ.
2. القوة الناشئة عن منحدر الطاقة الكهربائية. الايونات الموجبة تتجه باتجاه الجهة المشحونة بشحنة سالبة بينما الايونات السالبة تتحرك باتجاه الجهة المشحونة بشحنة موجبة. اي الحركة تعتمد على فرق الطاقة الكهربائية. الخلايا تكون مشحونة بشحنة سالبة مقارنة بالوسط الخارجي لذا فان حركة الايونات عبر الغشاء البلازمي وغشاء الفجوة تعتمد على فرق الشحنات الكهربائية وفرق التركيز بين داخل وخارج الخلية وتتوقف الحركة عند حصول التوازن.

للدلالة ماذ كانت الايونات تنتقل بصورة حرفة او نشطة Active او استعمل الفسيولوجيون معادلة Nernst الآتية

$$E_i - E_o = \Delta E = (2.3 R T / ZF) \log (Cation_o / Cation_i) \text{ or } \log (Anion_i / Anion_o)$$

E_i الشحنة الكهربائية للوسط الداخلي او السايتوبلازم E_o الشحنة الكهربائية للوسط الخارجي او محلول المغذي R معامل الغاز T الحرارة المطلقة Z حاصل الشحنة على الايون F ثابت فرداي

Cation_i تركيز الايونات الموجبة خارج الخلية Cation_o داخل الخلية

اذا كان $Anion_i / Anion_o$ اقل من واحد اي في حالة التوازن بين داخل وخارج الخلية يكون تركيز الايونات الموجبة داخل الخلية اكبر من الخارج

اما اذا كان $Cation_i / Cation_o$ اقل من واحد فان تركيز الايونات السالبة خارج الخلية سيكون اكبر من داخلها. وبعبارة اخرى تتجمع الايونات الموجبة داخل الخلية اكبر من خارجها دون الحاجة الى صرف طاقة حيوية لدخول الايونات الموجبة الى داخل الخلية (امتصاص حر).

أهم طرق الامتصاص

اولا: الامتصاص الحر او السالب او الفيزيائي Passive Absorption لا يحتاج الى طاقة وان الايونات تصل في النهاية الى حالة توازن ديناميكي بين داخل وخارج الخلية. الامتصاص غير متخصص جدا بالنسبة للايونات وان تبادل الايونات يحدث فيما يسمى بالفراغ الحر او الخارج. يحدث بعده وسائل

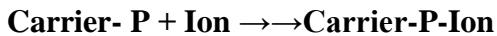
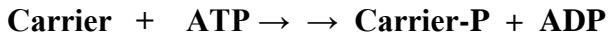
1. الانتشار. مرور الماء من وسط اقل تركيز الى الوسط الاقل. الانتشار عن طريق الفراغ الحر (أي جدران الخلايا والمسافات البينية بين الخلايا علما ان حجم الفراغ الحر يقارب 7-10% من حجم النسيج).
2. تبادل الايونات Ion Exchange الايونات الموجبة او السالبة في محلول التربة قد تمر الى داخل الخلايا او الفراغ الحر وتحل محل ايونات اخرى موجبة او سالبة ملتصقة على سطح الاغشية الخلوية او جدران الخلايا. فمثلاً البوتاسيوم يتبادل مع ايونات الهيدروجين والنترات تبادل مع ايونات الهيدروكسيل. هذه الطريقة يحدث بها الامتصاص اكبر من الانتشار.
3. اتزان دونان Donnan Equilibrium اذا كانت ايونات سالبة قد ثبتت في الخلية وعند انتشار اعداد متكافئة من ايونات سالبة او موجبة الى داخل الخلية لذا يكون توزيع الايونات على جنبي الغشاء غير متساوي ونتيجة لذلك يكون تركيز الايونات السالبة في الداخل اكبر من الخارج ولاجل ان يتم التوازن الكهربائي يجب ان تمر ايونات موجبة اضافية عبر الغشاء الخلوي لمعادلة الايونات السالبة وبذلك يكون تركيز الايونات الموجبة في الداخل اكبر.
4. النقل الكتلي. يفترض بعض الباحثين ان الايونات قد تتحرك الى الجذور مع الماء بعملية الجريان الكتلي وان اية زيادة في النتح تتسبب زيادة في معدل الامتصاص.

ثانيا: الامتصاص النشط او الحيوى Active Absorption

هذه العملية المهمة تجري في اغشية الخلايا النباتية وتعبر الفجوة المحل المهم الذي تتجمع فيه الايونات المختلفة السالبة والموجبة وبكميات متكافئة كهربائيا. ومن اهم خصائص الامتصاص النشط:

1. العملية تتطلب طاقة حيوية لدفع الايونات الى داخل الخلية (تعتمد الطاقة على توفر O₂ والمواد المثبتة والحرارة)
2. العملية تتخصص في امتصاص بعض الايونات بكمية اكبر من الاخرى
3. تميز بتجمع الايونات في الخلية اكبر مما في الخارج أي عدم الوصول في النهاية الى حالة التوازن الديناميكي بين داخل وخارج الخلية
4. تحدث في الجزء الداخلي من الخلية Inner Space كالاغشية والسايتوبلازم او الفجوة غالبا ما يطلق على العملية بنظرية الحامل Carrier Hypothesis أي فرضية المركب الحامل والتي تفترض ان الايونات او الجزيئات المنقوله بمساعدة الطاقة تتحدد مع المركب الحامل الذي هو اهم مكونات غشاء الخلية وتكون مركبات معقدة ثم تمر عبر الغشاء الخلوي الى داخل الخلية ومن ثم يتحلل المركب المعقّد ليترك الايونات او الجزيئات داخل الخلية. بعد ذلك يجب اعادة المركب الحامل الى هيئته الاولى الى خارج الغشاء وتزويده بالطاقة الحيوية ليكون جاهزا للدورة مرة اخرى.

Kinase



Phosphatase



Overall Reaction

طبيعة المركب الحامل

اقترحت عدة مركبات تقوم بدور الحامل منها:

1. هو مركب بروتيني ذو صبغة يحتوي على مجموعة Prophyrin والتي يوجد في وسطها حديد. يشتراك Cytochrome في عدة عمليات حيوية كالتركيب الضوئي والتنفس والامتصاص النشط. اوضح Burstrom عام 1933 كيفية تعلق السايتوكروم في النقل النشط للايونات السالبة بالفرضية المسممة مضخة السايتوكروم Cytochrome Pump وصرح بوجود علاقة بين امتصاص الايونات السالبة وعملية التنفس حيثلاحظ ان معدل التنفس وكذلك الامتصاص يزداد عند نقل النبات من الماء العذب الى محلول ملحي ودعيت هذه الظاهرة بالتنفس الملحي Salt Respiration وافتراض ان حامل الايونات السالبة هو السايتوكروم وان امتصاص الايونات السالبة لايعتمد على امتصاص الايونات الموجبة.

2. مركبات الـ Phospholipids وضع Bennet-Clark فرضية لامتصاص المغذيات حيويا بمساعدة ATP واقتراح ان مركبات الفوسفوليبيات في الاغشية الخلوية قد تؤدي دور الحامل في نقل الايونات السالبة والموجبة

3. الحامل المعتمد على الطاقة ATP يظن بوجود انزيمات ATPase في الاغشية الخلوية وخاصة غشاء البلازمما. هذه الانزيمات تحمل الـ ATP $\rightarrow \text{AD}^- + (\text{O}=\text{P}(\text{OH})_2)^+$ Phosphoryl Cation هذه الطاقة تستعمل في نقل الايونات السالبة والموجبة

أهمية العناصر الغذائية

النيتروجين

1. يدخل النيتروجين في تركيب جزء البروتين حيث يدخل اولا في صورة مجموعة امين بتركيب الحامض الاميني، وعليه فهو يدخل في تركيب كل المركبات التي تتكون منها الاحماس الامينية مثل الانزيمات الذي يشكل البروتين الجزء الاساسي في بناؤها.

2. يدخل النيتروجين في بناء الاغشية الخلوية حيث تحتوي على جزء بروتيني. 3. يدخل في بناء الاحماس النووية لوجود القواعد النيتروجينية في تركيبها مثل قواعد البريميدين والبيورين. 4. يدخل في بناء المرافقات الانزيمية لانه يدخل في بناء الفيتامينات وهي الشق النشط في المرافق الانزيمي. 5. يدخل النيتروجين في Prophyrins والتي تكون مركبا غاية في الأهمية للنباتات الاول هو جزء الكلورو فيل الهام لعملية التثليل الضوئي والثاني في تكوين السايتوكرومات اللازمة لأنتمام عمليات التأكسد الطرفي في التنفس والتي تقوم بدور مضخة لامتصاص للايونات من التربة اثناء الامتصاص النشط للاملاح. 6. يدخل النيتروجين في بناء المركبات الحاملة للطاقة والمانحة لها مثل ATP.

الفسفور

1. يوجد كمكون اساسي للأحماس النووية والتي تحتوي على شق قاعدي هو القواعد النيتروجينية وسكر خماسي وحامض الفوسفوريك. 2. يدخل في تكوين الفوسفوليبيات والمرافقات الانزيمية مثل NAD ، NADP . 3. يدخل في بناء المركبات الغنية بالطاقة مثل ATP.

البوتاسيوم

لا يدخل البوتاسيوم في تركيب اي مركب من مركبات الخلية النباتية او من المركبات العضوية بالنبات الا ان له دور هام جدا في فسيولوجيا النبات منها:

1. للبوتاسيوم دور في فتح وغلق الثغور وبالتالي فهو المتحكم في التوازن المائي داخل النبات. 2. البوتاسيوم منشط اساسي للأنزيمات المصاحبة لتمثيل الروابط البيبتيدية، فعند نقصه يضعف تكوين البروتين مما يؤدي الى ان تترافق الكربوهيدرات والذي يجب ان تستهلك في بناء البروتين " حيث ان البروتين يتكون من هيكل كربوني يأتي من الكربوهيدرات.

رات في صورة الأحماض الكيتونية التي يتم ترطيب مجموعات الأمين عليها".
3 يعمل كمنشط للعديد من الأنزيمات التي تصاحب تمثيل الكربوهيدرات ونجد ان السيادة القيمية تختفي عند نقص البوتاسيوم.
4. يعتبر البوتاسيوم وزير المواصلات داخل النبات فهو المنظم لحركة الذانبات بدأ بالماء الحر الى الكربوهيدرات من الأوراق والى التumar والأزهار والدرنات لذلك نقصه يؤدي حتما الى نقص المحصول وتساقط الأزهار والتumar لنقص المدد الكربوهيدراتي والهرموني الذي يساعد البوتاسيوم في نقله.

الكالسيوم

1. يدخل في تركيب الصفيحة الوسطية والتي تترك كيميائيا من بكتيرات الكالسيوم. 2. هام لتكوين الأغشية الخلوية. 3. اقترح أن الكالسيوم يشتراك في تنظيم الكروماتين على المغزل أثناء الأقسام الميتوzioni حيث ينشأ الأقسام الشاذ نتيجة نقص الكالسيوم. 4. له دورا في تنشيط بعض الأنزيمات مثل Ariginen kinase Adenosine triphosphatas.

الكبريت

1. يدخل في تركيب البروتين في صورة الأحماض الأمينية الحاملة للكبريت مثل السستين و السستين والميثيونين. 2. يقوم بالربط بين البروتينات عن طريق رابطة ثنائية الكبريت. 3. يدخل الكبريت في بعض الفيتامينات مثل البيوتين والثiamin والمرافق الأنزيمى A. 4. يمثل الكبريت المركز النشط لكثير من الأنزيمات التي يكون احدى مراكزها مجموعة السلفاهيدريل. 5. له دور في التمثيل الضوئي وأيضاً النتروجين.

المغنيسيوم

1. من مكونات الكلوروفيل. 2. يدخل في تنشيط العديد من الأنزيمات أثناء الأيض الكربوهيدراتي. 3. منشط للأنزيمات التي تصاحب تمثيل الأحماض النووي. 4. يعتقد ان دوره التنظيمي يكون من خلال ارتباطه بكل من ATP والأنزيم ليكون معقد مخلبي (الأنزيم ، المغنيسيوم ، البيروفوسفات). في بعض الحالات يحل المغنيسيوم محل المغنيسيوم كمعاون انزيمي. 5. يقوم بدور العامل المساعد في تفاعلات ثبيت ثاني أوكسيد الكربون لكل من انزيم phospho enol pyruvate carboxylase, Ribulose 1,5 diphospho carboxylase . 6. قد يكون هو عامل الرابط لدفائق الريبوسومات عند تكوينها للبروتينات أثناء عملية الترجمة.

الحديد

1. يدخل الحديد الى النبات في صورة حديديك الا أن الصورة النشطة هي الحديدوز حيث يدخل في تركيب السيتوكرومات، تلك المركبات التي تساهم في انسياپ الالكترونات في الميتوكوندريا أثناء التنفس الطرفي أو أثناء انتقال الالكترون من النظام الصبغي الأول في عملية التركيب الضوئي. 2. يصاحب الحديد انزيمات تمثيل الكلوروفيل الذي يعتمد في تمثيله على اما المغنيسيوم او الحديد. 3. يوجد الحديد في كل مكونات الفلافوبروتين.

المغنيسيوم

1. من العناصر الصغرى والذي يقوم بدور العامل المساعد للأنزيمات في عمليات التنفس وأيضاً النتروجين، فهو على سبيل المثال المساعد لانزيم co-factor malic dehydrogenase بدوره كربس كذلك decarboxylase oxalasuccine يلعب دورا في اختزال النترات حيث يعمل كمعادل انزيمي لانزيم hydroxylamine reductase و nitrite reductase له دور في هدم او أكسدة الأوكسجين الطبيعي حيث يعمل كمعاون انزيمي لانزيم indole-3- acetic acid oxidase . 4. يدخل في انتقال الالكترون من الماء الى جزيئة الكلوروفيل في تفاعلات الضوء للتمثيل الضوئي.

البورون

يلعب دورا في انتقال الكربوهيدرات داخل النبات حيث يكون مع الكربوهيدرات معقد بوراتي يسهل الانتقال عبر الأغشية الخلوية، لذلك فقصه يسبب اعراض مشابهه لأعراض نقص السكر وهو موت القمم النامية والجذور وتساقط الأزهار وهي الأعضاء النشطة أيضاً. لم يثبت ان له دورا آخر غير انتقال السكريات حتى الان.

الزنك

1. يلعب الزنك دورا أساسيا في تمثيل التربوفان وهو منشأ الأوكسجين وبالتالي في تمثيل الأوكسجين الطبيعي في النبات. 2. له دور منشط للعديد من الأنزيمات مثل carbonic anhydrase الذي يحل حامض الكربونيك الى ثاني أوكسيد الكربون والماء .. له دور مع أنزيمات الأكسدة والاختزال وفي الأختزال وفي الأنزيمات الناقلة للفوسفات مثل hexose kinase . 4. له دور في العمليات المؤدية لأنتج البروتينات في عملية الترجمة والنسخ وتكون الجديد من mRNA.

النحاس

1. يعمل النحاس كمكون لانزيمات phenolases, ascorbic acid oxidase . 2. يعمل كحامٍ للاكترون في عمليات التمثيل الضوئي. 3. تحتوي البلاستيدات الخضراء على بروتينات بها نحاس تسمى plastocyanin .

4. الدور الأساسي هو عمليات الأكسدة والاختزال التي تقوم بها مجموعة انزيمات phenolases والتي تحرر الفينولات كمادة مقاومة ومحاجمة للكائنات الممرضة وعند الأصابة الحشرية فهي بمثابة الجهاز المناعي لحماية النبات.

المولبدينيم

1. يلعب دورا هاما في ثبيت غاز النتروجي. 2. يلعب دورا هاما في اختزال النترات لتكوين الامونيا واللازم لتكوين الأحماض الأمينية أثناء تمثيل البروتين.