# التغذية المعدنية Mineral Nutrition of Plant

صرح ارسطو ان النباتات تحصل على غذائها من الارض مباشرة. اما Van Helmont عام 1640 استنتج ان الماء وليس التربة هي مصدر نمو النبات وذلك من تجربته على نبات الصفصاف. وفي القرن التاسع عشر صنعت الاسمدة. بعدها طورت المحاليل المغذية من قبل Sack وKnop وHoagland.

## مكونات النبات غير العضوية

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

وجد من تحليل انسجة النباتات الطرية والجافة ومن تحليل الرماد ان العناصر المكونة هي C, H, $O_2$, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Mo, Zn, B, Co, Cl, Si, Al وعناصر اخرى.

## العناصر االمعدنية الموجودة في النبات

أولا: 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 المحلول شرط اساس لنمو النبات وان نقصه يسبب اعراض مرضية لاتزول الا باضافة ذلك العنصر
3. يعد العنصر اساسي اذا كان احد مكونات الجزيئات الداخلة 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,$O_2$,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. البعض يستعمل مصطلحات Minor اوTrace اوRare للاشارة للمغذيات الصغرى.

ثانيا: 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 والالمنيوم 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 بتعريض النسيج لدرجة حرارة عالية 600 م وتحويله الى رماد. العناصرمثل Fe,K,Ca تبقى بشكل اكاسيد في الرماد اما العناصر في المركبات العضوية مثل C,H,$O_2$ فتفقد بشكل $CO_2$ وبخار الماء والاوكسجين . ولايمكن تقديرN بدقة لان بعض المركبات العضوية النتروجينية تتطاير بشكل امونيا او غاز النتروجين. فعلى سبيل المثال نجد النسب التالية في رماد نبات الذرة عند تحليل الرماد: النتروجين 1.46% البوتاسيوم 0.92% الكالسيوم 0.23% الكبريت 0.21% الفسفور 0.20% المغنسيوم 0.18% الحديد 0.083% المنجنيز 0.35%.
2. المزرعة المائية Water Culture or Solution Culture

يزرع النبات في محلول مائي يحتوي على المغذيات الكبرى والصغرى يسمى المحلول المغذي Nutrient Solution. يجب ان يحتوي المحلول المغذي على ثلاث عناصر غذائية كبرى بصورة ايونات موجبة مثل Mg,K,Ca وكذلك ثلاث مغذيات كبرى بشكل ايونات سالبة مثل النترات والفوسفات والكبريتات. وعادة تضاف بشكل املاح نترات البوتاسيوم ونترات الكالسيوم وفوسفات البوتاسيوم وكبريتات المغنسيوم كما ان المغذيات الصغرى يجب ان تضاف بتراكيز واطئة.
مراعاة النقاط التالية في المزارع المائية:
1. الاملاح نقية 2. تذاب جيدا بالماء المقطر 3. توضع في اواني زجاجية (بايركس) 4. العنصر المراد دراسته يحذف 5. يعوض العنصر المحذوف بملح اخر للمحافظة على الازموزية فمثلا عند حذف N يجب اضافة KCL بدل من $KNO_3$ 6.تهوية المحلول 7. منع اختراق الضوء 8. المحافظة على الحامضية 9. تغيير المحلول 2-3 مرة خلال الموسم.

من الناحية العملية طُور Hoagland وArnon محلولين غذائية (1) و (2) ويستعملان حديثا للبحث والدراسة:

| محلول (1) | | محلول (2) | |
|---|---|---|---|
| الملح | سم3في لتر من المحلول المغذي | الملح | سم3في لتر من المحلول المغذي |
| M $KH_2PO_4$ | 1 | M $NH_4H_2PO_4$ | 1 |
| M $KNO_3$ | 5 | M $KNO_3$ | 6 |
| M $Ca(NO_3)_2$ | 5 | M $Ca(NO_3)_2$ | 4 |
| M $MgSO_4$ | 2 | M $Mg\ SO_4$ | 2 |

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

| المادة | عدد الغرامات في لتر واحد من الماء |
|---|---|
| حامض البوريك $H_3BO_3$ | 2.86 |
| كلوريد المنغنيز $MnCl_2.4H_2O$ | 1.81 |
| كبريتات الزنك $ZnSO_4.7H_2O$ | 0.22 |
| كبريتات النحاس $CuSO_4.5H_2O$ | 0.08 |
| محلول المولبديك $H_2MoO_4.H_2O$ | 0.02 |

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

3. المزرعة الرملية Sand Culture

يزرع النبات في الرمل النظيف المغسول بحامض الهيدروكلوريك المخفف كي لاتبقى اي اثار للعناصر الغذائية ثم يغسل الرمل بعدها بالماء المقطر ويجب ان يكون الرمل ناعم للمحافظة على الماء وحدوث التهوية وقد استعمل رمل Quartz او مادة Perlite المغسولة.

## 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 مركبا معقدا ذائبا
4. ان تكون معقدا عديم او سالب الشحنة حتى يسهل اختراق 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 تتحد مع الحديد وهي Fe-EDDH (Ethylenediamine di,O-hydroxyphenol Acetic Acid)

## امتصاص العناصر المغذية

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

1. القوة الناشئة عن منحدر الطاقة الكيمياوية حيث تتحرك الايونات من الجهة ذات التركيز العالي الى الجهة ذات التركيز الواطئ.
2. القوة الناشئة عن منحدر الطاقة الكهربائية. الايونات الموجبة تتجه باتجاه الجهه المشحونة بشحنة سالبة بينما الايونات السالبة تتحرك باتجاه الجهه المشحونة بشحنة موجبة. اى 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 ماذا كانت الايونات تنتقل بصورة حرة Passivee او نشطة Active استعمل الفسيولوجيون معادلة Nernst الاتية

$$E_i - E_o = \Delta E = (2.3\ R\ T/ZF)\ Log\ (Cation_o / Cation_i) \quad or\ Log\ (Anion_i / Anion_o)$$

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

$Cation_o$ تركيز الايونات الموجبة خارج الخلية $Cation_i$ داخل الخلية

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

اما اذا كان $Cation_o / Cation_i$ اقل من واحد فان تركيز الايونات السالبة خارج الخلية سيكون اكثر من داخلها.
وبعبارة اخرى تتجمع الايونات الموجبة داخل الخلية اكثر 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
لايحتاج 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 الخارجي. يحدث بعدة وسائل

1. ألانتشار. مرور المواد من وسط اكثر تركيز الى الوسط الاقل تركيز. 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. فمثلا البوتاسيوم يتبادل مع ايونات الهيدروجين والنترات تتبادل مع ايونات الهيدروكسيل. هذه الطريقة يحدث بها الامتصاص اكثر من الانتشار.
3. اتزان دونان Donnan Equlibrium
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 جانبي الغشاء غير متساوي ونتيجة لذلك يكون تركيز الايونات السالبة في الداخل اكثر 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 اكثر.
4. النقل الكتلي. يفترض بعض الباحثين ان الايونات قد تتحرك الى الجذور مع الماء بعملية الجريان الكتلي وان اية زيادة في النتح ستسبب زيادة في معدل الامتصاص.

ثانيا: الامتصاص النشط او الحيوي Active Absorption
هذه العملية المهمة تجري في اغشية الخلايا النباتية وتعد 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 $O_2$ والمواد المثبطة والحرارة)
2. العملية تتخصص في امتصاص بعض الايونات بكمية اكثر من الاخرى
3. تمتاز بتجمع الايونات في الخلية اكثر 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
5. غالبا مايطلق على العملية بنظرية الحامل Carrier Hypothesis أي فرضية المركب الحامل والتي تفترض ان الايونات او الجزيئات المنقولة بمساعدة الطاقة تتحد مع المركب الحامل الذي هو اهم مكونات غشاء الخلية وتكون مركبات معقدة ثم تمرعبر الغشاء الخلوي الى داخل الخلية ومن ثم يتحلل المركب المعقد 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.

$$\text{Carrier} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{Kinase}} \text{Carrier-P} + \text{ADP}$$

$$\text{Carrier-P} + \text{Ion} \rightarrow \text{Carrier-P-Ion}$$

$$\text{Carrier-P-Ion} \xrightarrow{\text{Phosphatase}} \text{Carrier} + \text{Ion} + H_3PO_4$$

$$\text{Ion} + \text{ATP} \rightarrow \text{Ion} + \text{ADP} + H_3PO_4 \quad \text{Overall Reaction}$$

**طبيعة المركب الحامل**

**اقترحت عدة مركبات لتقوم بدور الحامل منها:**

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

**2. مركبات ال Phospholipids**

**وضع Bennet-Clark فرضية لامتصاص المغذيات حيويا بمساعدة ATP واقترح ان مركبات الفوسفوليبيدات في الاغشية االخلوية قد تؤدي دور الحامل في نقل الايونات السالبة والموجبة**

**3.الحامل المعتمد على الطاقة ATP**

**يظن بوجود انزيمات ATPase في الاغشية الخلوية وخاصة غشاء البلازما. هذه الانزيمات تحلل الـ ATP**

$$\text{ATP} \rightarrow AD^- + (O=P(OH)_2)^+$$

**Phosphoryl Cation**

**هذه الطاقة تستعمل في نقل الايونات السالبة والموجبة**

## اهمية العناصرالغذائية

### النيتروجين

**1. يدخل النيتروجين في تركيب جزئي البروتين حيث يدخل اولا في صورة مجموعة امين بتركيب الحامض الامينى, وعليه فهو يدخل في تركيب كل المركبات التي تتكون منها الاحماض الامينية مثل الانزيمات الذي يشكل البروتين الجزء الاساسى في بناؤها.**

**2. يدخل النيتروجين في بناء الاغشية الخلوية حيث تحتوي على جزء بروتيني. 3 يدخل في بناء الاحماض 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 مركبان غاية في الأهمية للنبات الأول هو جزئي الكلوروفيل الهام لعملية التمثيل الضوئي والثاني في تكوين السايتوكرومات اللازمة لأتمام عمليات التأكسد الطرفي في التنفس والتي تقوم بدور مضخة لامتصاص للانيونات من التربة اثناء الامتصاص النشط للاملاح.**

**6.يدخل النيتروجين في بناء المركبات الحاملة للطاقة والمانحة لها مثلATP .**

### الفسفور

**1. يوجد كمكون أساسي للأحماض النووية والتي تحتوي على شق قاعدي هو القواعد النيتروجينية وسكر خماسي وحامض الفوسفوريك. 2. يدخل في تكوين الفوسفوليبيدات والمرافقات الأنزيمية 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 وبالتالى فهو المتحكم في التوازن المائي داخل النبات.**

**2. البوتاسيوم منشط اساسي للأنزيمات المصاحبة لتمثيل الروابط الببتيدية, فعند نقصه يضعف تكوين البروتين مما يؤدي الى ان تتراكم الكربوهيد رات والذي يجب ان تستهلك في بناء البروتين " حيث ان البروتين يتكون من هيكل كربوني يأتي من الكربوهيد رات في صورة الأحماض الكيتونية التي يتم تركيب مجموعات الأمين عليها ".**

3 يعمل كمنشط للعديد من الأنزيمات التي تصاحب تمثيل الكربوهيدرات ونجد ان السيادة القمية تختفي عند نقص البوتاسيوم.
4. يعتبر البوتاسيوم وزير المواصلات داخل النبات فهو المنظم لحركة الذائبات بدأ بالماء الحر الى الكربوهيد رات من الأوراق والى الثمار والأزهار والدرنات لذلك نقصه يؤدي حتما الى نقص المحصول وتساقط الأزهار والثمار لنقص المدد الكربوهيد راتى والهرموني الذي يساعد البوتاسيوم في نقله.

**الكالسيوم**

1. يدخل فى تركيب الصفيحة الوسطية والتي تتركب كيميائيا من بكتات الكالسيوم. 2. هام لتكوين الاغشية الخلوية. 3. اقترح أن الكالسيوم يشترك في تنظيم الكروماتين على المغزل أثناء الأنقسام الميتوزي حيث ينشا الأنقسام الشاذ نتيجة نقص الكالسيوم. 4. له دورا في تنشيط بعض الانزيمات مثل Adenosine triphosphatas وAriginen kinase.

**الكبريت**

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

**المغنسيوم**

1. من مكونات الكلوروفيل. 2. يدخل في تنشيط العديد من الأنزيمات أثناء الأيض الكربوهيدراتى. 3. منشط للأنزيمات التي تصاحب تمثيل الأحماض النووية. 4. يعتقد ان دوره التنظيمي يكون من خلال ارتباطه بكل من ATP والأنزيم ليكون معقد مخلبي ( الأنزيم ، المغنسيوم ، البيروفوسفات ). فى بعض الحالات يحل المنغنيز محل المغنسيوم كمعاون انزيمي. 5. يقوم بدور العامل المساعد في تفاعلات تثبيت ثاني أوكسيد الكربون لكل من انزيمي phospho enol pyruvate carboxylase, Ribulose 1,5 diphospho carboxylase . 6. قد يكون هو عامل الربط لدقائق 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 انسياب الالكترونات في الميتوكوندريا أثناء التنفس الطرفي أو أثناء انتقال الألكترون من النظام الصبغي الأول في عملية التركيب الضوئي. 2. يصاحب الحديد انزيمات تمثيل الكلوروفيل الذي يعتمد في تمثيلة على اما المغنسيوم او الحديد. 3. يوجد الحديد في كل مكونات الفلافوبروتين.

**المنغنيز**

1. من العناصر الصغرى والذي يقوم بدور العامل المساعد للأنزيمات في عمليات التنفس وأيض النيتروجين, فهو على سبيل المثال المساعد co-factor لأنزيم malic dehydrogenase بدورة كربس كذلك decarboxylase oxalasuccinc. 2. يلعب دورا في اختزال النترات حيث يعمل كمعادل أنزيمي لأنزيم nitrite reductase و hydroxylamine reductase. 3. له دور في هدم او أكسدة الأوكسين الطبيعى حيث يعمل كمعاون انزيمى لأنزيم indole-3- acetic acid oxidase. 4. يدخل في أنتقال الألكترون من الماء الى جزيئة الكلوروفيل في تفاعلات الضوء للتمثيل الضوئي.

**البورون**

يلعب دورا في أنتقال الكربوهيدرات داخل النبات حيث يكون مع الكربوهيد رات معقد بوراتي يسهل الأنتقال عبر الأغشية الخلوية. لذلك فنقصه يسبب أعراض مشابهه لأعراض نقص السكر وهو موت القمم النامية والجذور وتساقط الأزهار وهي الأعضاء النشطة أيضيا. لم يثبت ان له دورا آخر غير انتقال السكريات حتى الان.

**الزنك**

1. يلعب الزنك دورا أساسيا في تمثيل التربتوفان وهو منشأ الاوكسين وبالتالى في تمثيل الأوكسين الطبيعي في النبات. 2. له دور منشط للعديد من الأنزيمات مثل carbonic anhydrase الذي يحلل حامض الكربونيك الى ثاني أوكسيد الكربون والماء. 3. له دور مع أنزيمات الأكسدة والأختزال وفى الأنزيمات الناقلة للفوسفات مثل hexose kinase .4. له دور في العمليات المؤدية لأنتاج البروتينات فى عملية الترجمة والنسخ وتكوين الجديد منmRNA.

**النحاس**

1. يعمل النحاس كمكون لأنزيمات phenolases, ascorbic acid oxidase. 2. يعمل كحامل للاكترون في عمليات التمثيل الضوئي. 3. تحتوي البلاستيدات الخضراء على بروتينات بها نحاس تسمى plastocyanin .
4. الدور الأساسى هو عمليات الأكسدة والأختزال التى تقوم بها مجموعة انزيمات phenolases والتي تحرر الفينولات كمادة مقاومة ومهاجمة للكائنات الممرضة وعند الأصابة الحشرية فهي بمثابة الجهاز المناعي لحماية النبات.

**المولبيدنيم**

1. يلعب دورا هاما في تثبيت غاز النيتروجى. 2. يلعب دورا هاما في أختزال النترات لتكوين الامونيا واللازم لتكوين الأحماض الأمينية أثناء تمثيل البروتين.