كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : تغذية ونمو

المحاضرة : الثالثة/نظري/د.ريم

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

التغذية النباتية

العناصر المعدنية الكبرى والصغرى

تستطيع النباتات أن تركب مادتها العضوية بدءاً من عناصر معدنية بسيطة، وهي تختزن بعض العناصر المعدنية كذلك في مادتها الحية إلى جانب الماء والمادة العضوية.

إن التركيب الكيميائي للنبات على الرغم من تبدلاته فإنه يتصف بوجود نسبة عالية من الماء 60-90% من الوزن الغض (الطري) وقد تزيد عن ذلك أحياناً. أما المادة الجافة في النبات فهي تتكون من 95% مادة عضوية و5% عناصر معدنية.

بالتالي فإن العناصر المعدنية توجد في النباتات بنسب ضئيلة على الرغم من أهميتها الكبيرة لوظائف النبات كما سنرى لاحقاً. تحوي النباتات من حيث التركيب المعدني ما يقارب الثلاثين عنصراً، تتوزع بالشكل الآتي:

العناصر الثلاثة التي تميز المركبات العضوية وهي C, O, H وتمثل 95% من وزن المادة الجافة.

العناصر الكبرى Macroelementes أو ما يسمى عناصر الوفرة أي العناصر الأساسية Essential elements : وتوجد في النبات بنسب جيدة أي ما يعادل 10^{-3} إلى 10^{-2} غرام لكل 1 غرام من المادة الجافة. ومن أهم هذه العناصر: N, P, K, Ca, Mg, S. ويضاف إليها في بعض الأحيان الصوديوم والسيليسيوم.

العناصر الصغرى Microelementes أو عناصرة الندرة Trace elementes: وتوجد في النبات بنسب تصل إلى 10^{-8} إلى 10^{-6} لكل 1 غ من المادة الجافة ونذكر من أهمها: Fe, Mn, Mo, Ni, Cu, B, Zn, Cl.

- **الدلائل التي تؤكد أن العناصر أساسية للنبات:**

هناك دلائل تشير إلى أن هذا العنصر أساسي للنبات ويجب أن تأخذ جميعها بعين الاعتبار، وهي:

1. لا يستطيع النبات إتمام دورة حياته في حال نقص العنصر أو غيابه.
2. يجب أن يشفى النبات من اعراض النقص إذا تم إمداده بالعنصر المطلوب.
3. لا يمكن استبدال العنصر بعنصر آخر يحل محله في النبات.
4. يجب ان يدخل العنصر في تركيب عدة نباتات على الأقل.
5. يجب أن يكون للعنصر دوراً مهما في تغذية النبات بحيث لا يقتصر دوره على إبطال سمية عنصر آخر أو التأثير على حموضة الوسط.

- **العوامل المؤثرة على تبدلات التركيب الكيميائي للنسيج النباتي:**

1. تبدي النسج النباتية بعض التبدلات في تركيبها المعدني وذلك بحسب:
2. **نوع النبات:** تبدي الأنواع النباتية ألفة لعنصر معدني ما أكثر من بقية العناصر، مثلاً نباتات الشمندر والبطاطا غنية بالبوتاسيوم بينما نباتات الفصيلة الصليبية غنية بالكبريت. كما توجد فروق بين نباتات النوع الواحد أحيانا بالنسبة للألفة لمعدن ما، مثلاً نباتات قمح الربيع تتميز عن قمح الشتاء بتركيبها المعدني وكذلك الشمندر السكري يختلف بتركيبه المعدني عن الشمندر الأحمر
3. **عمر النبات ومرحلة النمو:** تكون البذور والنباتات الفتية غنية بالعناصر المعدنية وخاصة النادرة ويعود ذلك لمخزون البذور ولعملية الامتصاص الشديد التي تحدث في المراحل الأولى من النمو، وينقص تركيز العناصر المعدنية بازدياد عمر النبات، وتكون التبدلات المتعلقة بعمر النبات نوعية حيث يكون K وفيراً في النباتات الفتية بينما يزداد تركيز الكالسيوم والمغنيزيوم بازدياد عمر النبات.
4. **طبيعة العضو أو النسيج:** مثلاً تكون الدرنات النباتية غنية بعنصر البوتاسيوم بينما يكثر الفوسفور في الأنسجة الميريستيمية ولايوجد الكالسيوم في هذه الأنسجة إلا بكميات قليلة.

- **طرق تحديد العناصر المعدنية في النبات:**

يتطلب تحديد التركيب المعدني للنسج النباتية القيام بتحليل هذه النسج بطرق مختلفة تمكننا من التعرف على التركيب المعدني الإجمالي للنبات وتحديد الفروق بين في التركيب المعدني بين الأعضاء النباتية المختلفة وفقا للتبدلات التي تتعرض لها هذه الأعضاء أثناء مراحل النمو المختلفة.

من الطرق التحليلية التي تعتمد لذلك نذكر:

1. **الترميد أو المعدنة بالطرق الجافة:** حيث تجفف النسج النباتية في الدرجة من 60 إلى 100م لمدة 48 ساعة ليتبخر منها الماء، وتبقى المادة الجافة التي تحوي بالقسم الأكبر منها على مواد عضوية. تحرق المادة الجافة على الدرجة 600م فتحترق المواد العضوية وينتشر CO_2 ويتبقى الرماد؛ الذي يحوي العناصر المعدنية. ولا يقدم الرماد صورة تامة عن العناصر المعدنية، ذلك لأن بعضها يتصعد أو يتبخر أثناء الحرق مثل الآزوت والكبريت والكلور.

مثلاً: يتفكك P_2O_5 في الدرجة 347م، وهنا تأتي أهمية استخدام الأفران التي تسمح بتحديد درجة الحرارة بشكل دقيق.

تختلف كمية الرماد في النسج النباتية وتتراوح من جزء من الواحد إلى 15% من الوزن الجاف، حيث تحتوي الثمار والنسج الخشبية على أقل نسب قد تصل إلى 1%، بينما تصل في الأوراق إلى 10- 15% وهي الأعلى نسبا بالنسبة لبقية أعضاء النبات.

2. **المعدنة بالطرق الرطبة**: تعد هذه العملية الأكثر انتشارا وتعتمد على معاملة النباتات بمزيج من الحموض القوية مما يمكننا من الحصول على محلول من الأملاح، وتتم هذه العملية في درجات حرارة منخفضة 100م مثلا وذلك مقارنة بالترميد بالطرق الجافة،واحتمال فقدان بعض المركبات ضئيل بهذه الطريقة.

من أهم الحموض المستخدمة للمعدنة بالطرق الرطبة:

مزيج السلفو نتريك: يتكون من 30حجم من حمض الكبريت الكثيف H2SO4 و100 حجم من حمض الآزوت HNO3.

مزيج نترو- بيروكلوريك: يحتوي 40حجم من حمض البيروليك CLO4H و100 حجم من حمض النزوت HNO3.

يجب الحذر عند استخدام المزيج الثاني، لانه بالرغم من سرعة استخدامه حيث لا تتطلب العملية اكثر من 10 -20 دقيقة إلا أنه يحدث تفاعلات خطرة بوجود الاجسام المرجعة، لذلك يجب العمل بكمية محددة من المزيج مع التأكد من عدم بقاء مواد عضوية في نهاية التجربة. كما ان تبخير البيروكلوريت الزائد يطلق شاردة -CLO4 وهذه الأخيرة تعيق عمليات المعايرة.

تستخدم المحاليل الملحية والأكاسيد التي يتم الحصول عليها بإحدى الطريقتين في عمليات التحليل باستخدام القياسات اللونية وقياسات الطيف....وغيرها.

3. التشخيص الورقي:

تعتمد هذه الطريقة تحليل بعض الأوراق النباتية عوضا عن النبات بأكمله، وذلك للتغلب على العوائق التي تعترض عمليات تحليل النسج النباتية وذلك عندما نرغب بمتابعة نمو وتطور النباتات وخاصة النادرة منها أو التي تتطلب مدة زمنية طويلة لتنمو وتثمر، وهنا ينصح باستخدام الورقيتين الأوليتين في أسفل الساق عند بعض الأنواع مثل البطاطا، أو الورقتين اللتين تتوضعان في قاعدة الساق المثمر مثل الكرمة.

- **الدور الفيزيولوجي لبعض عناصر الوفرة:**

1. **دور الآزوت:** الآزوت هو أكثر العناصر وفرة بعد الكربون والهيدروجين والأوكسجين وتشكل المواد الحاوية على الآزوت من 5-30% من الوزن الجاف للنسج النباتية. يدخل الآزوت في تركيب الحموض الأمينية

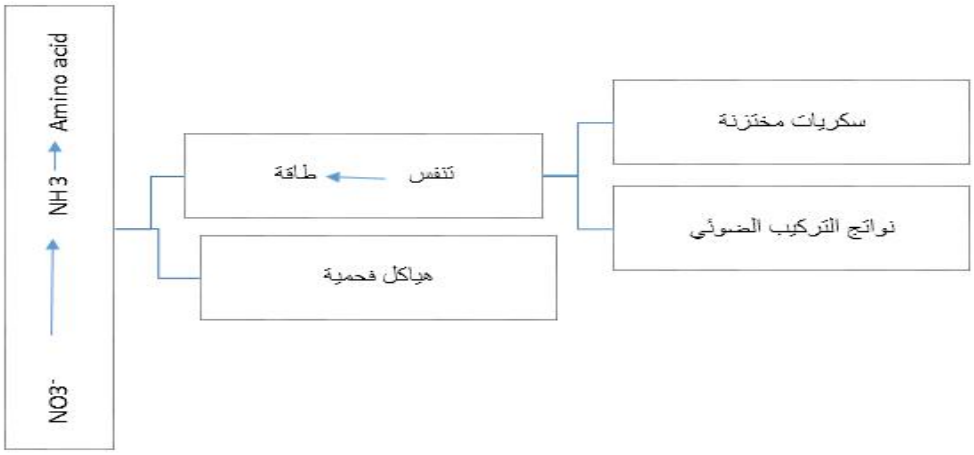
والبروتينات والحموض النووية والكلوروفيل وفي كثير من الهرمونات النباتية والفيتامينات والكوأنزيمات.

يأتي الآزوت الجاهز للنبات من أربعة مصادر وهي النترات والأمونيا وآزوت المركبات العضوية والآزوت الجوي.

بالرغم من أن معظم النباتات تستطيع استعمال آزوت النترات فهناك أنواع عديدة تستطيع تمثيل الأمونيا وبعض أشكال الآزوت العضوية، أما استخدام الآزوت الجزيئي فيقتصر على مجموعة صغيرة مثل بعض أنواع البكتيريا والطحالب الزرقاء المخضرة cyanobateria **وبعض أنواع النباتات الراقية.** أما آزوت المواد العضوية فيصبح جاهزا للامتصاص بفعل الكائنات المفككة.

آزوت الأمونيا والنترات:

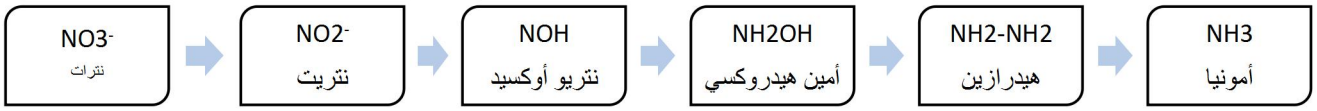
تمتص جذور النباتات الراقية الآزوت من التربة بشكل نترات $NO3^-$ وبعد ذلك ترجعه على أمونيا ومن ثم يدخل في تركيب المواد العضوية، ويتطلب هذا الإرجاع طاقة تاتي من التنفس وهكذا نجد العلاقة الوثيقة بين استقلاب السكريات وإرجاع النترات كما يوضح المخطط الآتي في الشكل 1:



الشكل 1: العلاقة بين استقلاب السكريات وإرجاع الآزوت في النبات.

من خلال دراسة المخطط السابق نجد أن السكريات التي تنخفض نتيجة استقلابها في الظلام واستخدام نواتجها لإرجاع النترات، يمكن أن تعوض من خلال عملية التركيب الضوئي التي تجري في الضوء.

يمكن للآزوت أن يتواجد في حالات أكسدة تتراوح بين -3 و-5 وهذا ما يفسر قدرة بعض البكتيريا والنباتات على إرجاعه في أشكال مختلفة كما في المخطط التالي (الشكل2):



الشكل 2: مراحل إرجاع شاردة النترات إلى أمونيا.

إن الأنزيم الذي يقوم بإرجاع النترات إلى نتريت هو نترات ريدوكتاز وهو يتوضع في السيتوبلاسما وهذا الأنزيم يحوي عنصر الموليبيديوم في تركيبه. والأنزيم الذي يرجع النتريت إلى نترات هو نتريت ريدوكتاز وهو يتوضع في الصانعات الخضراء. ويلعب المنغنيز دوراً هاماً في تحويل المركبات الآزوتية الناتجة على بروتين.

تقوم بكتيريا التعفن Putrifying bacteria على تحويل الآزوت الجوي إلى نشادر، وتعمل بكتيريا النتروزوموناس Nitrosomonas والنتروكوكس Nitrococcus على تحويل آزوت المركبات العضوية إلى نتريت. والنتروباكتر Nitrobacter يتابع العملية إلى مرحلة النترات. وتوجد هذه الباكتيريا المنترجة في التربة.

أما البكتيريا النازعة للآزوت Denitrifying تحرر الآزوت إلى الجو. وتحتاج إعادة تثبيته إلى بكتيريا خاصة تكون متعايشة مع بعض أنواع النباتات (بقوليات). ومن أمثلة البكتيريا المثبتة للآزوت الجوي:

البكتيريا المتعايشة مع جذور النباتات البقولية Rhizobium .

البكتيريا الهوائية التي تعيش حرة في التربة Azotobater.

الكبتيريا للاهوائية في التربة Closteridium.

بعض الطحالب الزرقاء المخضرة Anabena.

يتم تثبيت الآزوت الجوي في النبات بمساعدة العقد الجذرية الذي يمثل تعايش بين البكتيريا والمضيف (النبات)، وتنتج العقد الجذرية من دخول البكتيريا المتعايشة عبر خلية الوبرة الماصة ومن ثم تكاثرها في خلايا الوبرة ومن ثم خلايا القشرة وخلايا المحيط الدائر في نسيج الجذر، والنتيجة هو تشكل كتل ثؤلولية تسمى العقد الجذرية.

تقوم البكتيريا الكلوستيرديوم المتعايشة ضمن العقد الآزوتية من تثبيت الآزوت الجوي بوساطة معقد أنزيمي من أنزيم النتروجيناز ومركب الفرودوكسين الذي يحوي عنصري المولبيديوم والحديد كما يوضح الرسم التخطيطي (الشكل3).

وقد أثبتت التجارب التي أجريت على مستخلصات بكتيريا الكلوستيريديوم أنها قادرة على تثبيت الآزوت الجوي بفضل احتوائها على جملة أنزيم النتروجيناز ومركب الفرودوكسين، واللذين يقومان بنقل الالكترونات من مادة قابلة للأكسدة إلى معقد انزيم آزوت ويلخص إرجاع الآزوت بمايلي:

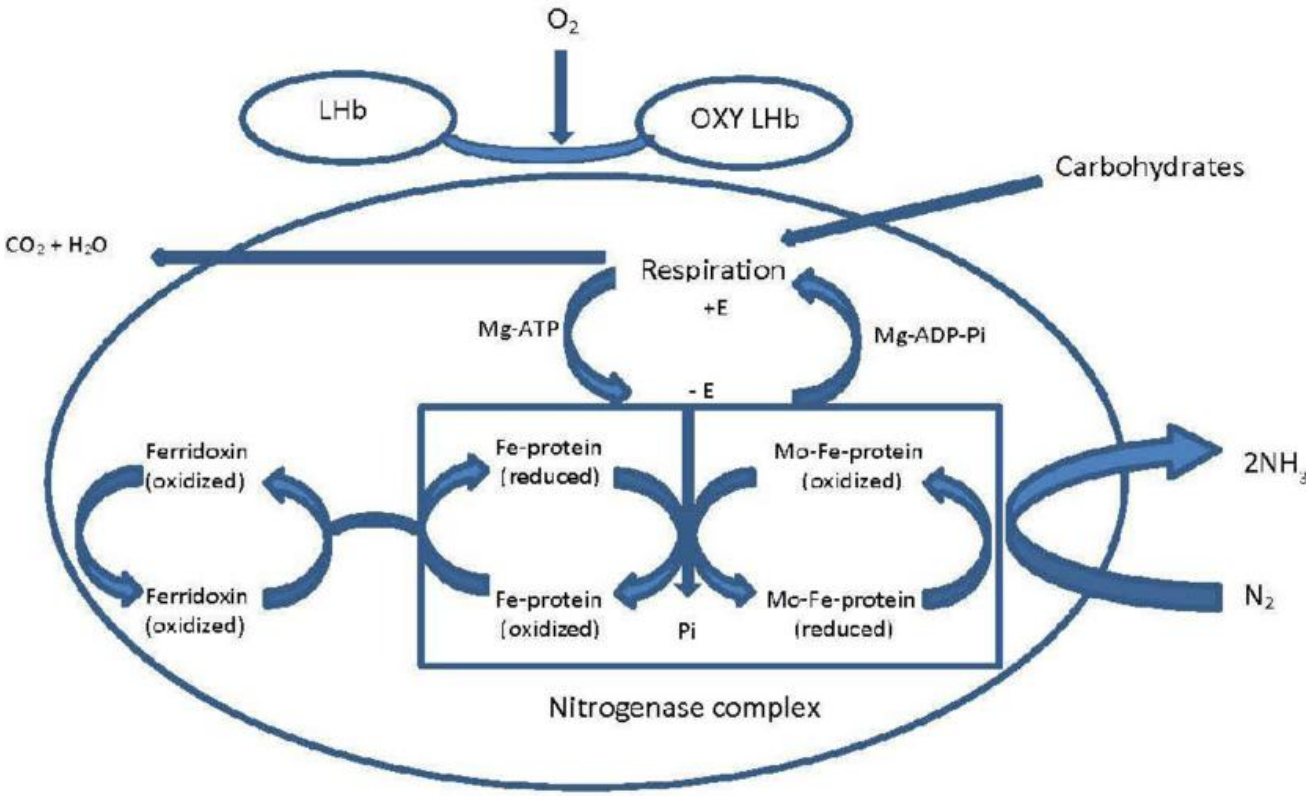
تمر الالكترونات والهيدروجين عبر الفرودوكسين أو غيره من العوامل المرجعة في سلسلة نقل الكتروني و حلقة كريبس في البكتيريا.

تأتي الطاقة اللازمة منATP الناتجة عن الفسفرة التأكسدية.

تستخدم ATP في نقل الالكترونات من معقد بروتين-حديد عن طريق Mo-Fe في جملة النتروجيناز.

يقدم النبات السكريات التي تؤكسدها البكتيريا ضمن حلقة كريبس وتحولها إلى حموض كيتونية وهذه الأخيرة تدخل بالتفاعل مع NH3 وتشكل حموض أمينية، تنتقل إلى النبات.

يتوسط النتروجيناز نقل الالكترونات من الفرودوكسين إلى معقد حديد موليبيديوم- بروتين ليتم إرجاع الآزوت.



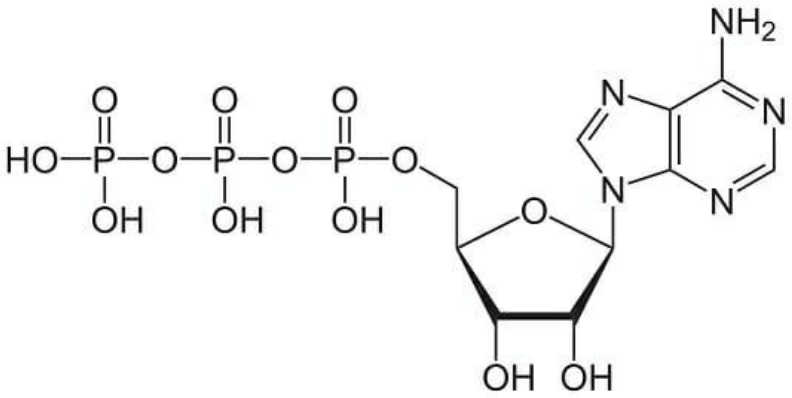
الشكل 3: دور البكتيريا المتعايشة في تثبيت الآزوت الجوي.

يؤدي حرمان النبات من الآزوت إلى عدم تركيب البروتينات النووية وتوقف النشاط الأنزيمي وخلل في تركيب البريميدينات والبيورينات (التي تدخل في تركيب الـ DNA, RNA)، وبالتالي يتوقف النشاط الميريستيمي ويؤدي ذلك على بقاء النبات بحالة قزامة.

أما في النباتات الكهلة فإن غياب الآزوت يؤدي إلى تحلل البروتينات الموجودة في الأقسام المعمرة وبالتالي تحرك قسم من الأحماض الأمينية الناتجة نحو الأجزاء الفتية. كما يظهر أثر تخرب البروتينات على الصانعات الخضراء التي تتخرب ويتباطئ نتيجة لذلك التركيب الضوئي.

تؤدي زيادة الآزوت إلى زيادة طول الأعضاء النباتية بشكل مبالغ فيه، ولا تكفي السكاكر المتوفرة في الوسط إلى بناء الغلف الهيكلية بالشكل المناسب.

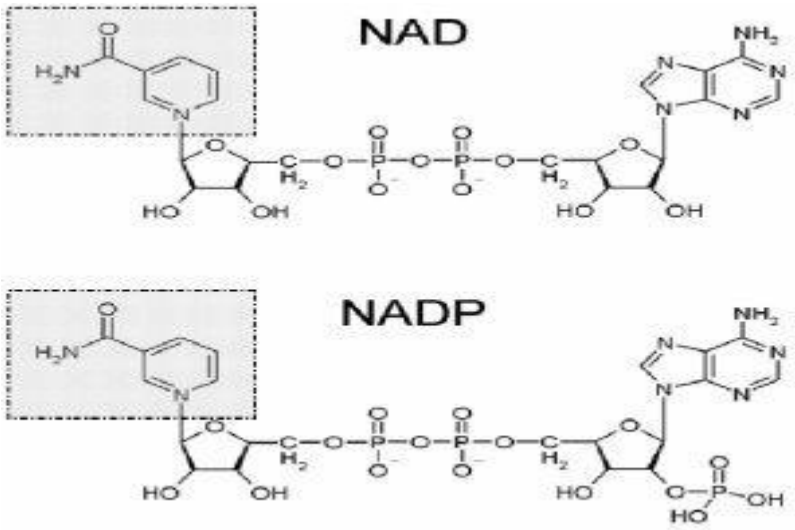
دور الفوسفور: يدخل الفوسفور في عدة أدوار في التفاعلات الاستقلابية، فهو يدخل في تركيب النكليوتيدات والبروتينات النووية، **ويدخل في تركيب ATP** على شكل جذور فوسفاتية غير مستقرة ويلعب بذلك دورا بارزاً في نقل الطاقة عبر الخلية.



الشكل 4: بنية ATP الفراغية.

ويوجد أيضاً في مركب نيكوتين أميد أدنين ثنائي النكليوتيد NAD ويسمى أيضاً كوأنزيم-I. يتحد الـ NAD مع الفوسفات ويتحول إلى نيكوتين اميد ثنائي نلكيوتيد مفسفر NADP ويسمى أيضاً كوأنزيم –II.

إن وجوده في هذه المركبات يبين الأهمية الكبيرة لعنصر الفوسفور في عمليتي التركيب الضوئي والتنفس الخلوي، حيث تلعب المركبات ATP, NAD, NADP الدور الرئيسي في تفاعلات الأكسدة والإرجاع التي تجري في الميتاكوندريا والصانعات الخضراء بوجود انزيم الديهدروجيناز.



الشكل 5: **صيغة NAD و NADP**

ويوجد P في الليبدات المعقدة في الخلية كالفوسفو أمينو ليبيد التي توجد بكثرة في البذور، والفوسفور الذي يتحرر من ATP يتثبت على الغليكوز ويحوله من شكل لآخر ويساهم في فسفرته (غليكوز-1 فوسفات) ويوجد الفوسفور بكثرة في النسج الميريستيمية، وهذا ما يجعله فعالا في التنفس والتركيب الضوئي معاً.

يؤدي نقص عنصر الفوسفور في النبات إلى توقف التركيب البروتيني والسكري وتبقى النباتات قزمة وتهرم الأوراق بسرعة كما تبقى الثمار حامضية ورخوة.

دور البوتاسيوم: يلعب البوتاسيوم دوراً هاماً في الانقسام الخلوي، إذ يوجد بكثرة في النسج الميريستيمية وخاصة الأوراق والبراعم الحديثة النمو وقمم الجذور ، بينما تكون نسبته منخفضة في الجذوروالنسج الجافة، وتتناسب سرعة الانقسام الخلوي مع زيادة تركيزه طرداً.

يوجد K^+ في السيتوبلاسما والفجوات وهو قليل التواجد في النواة والصانعات والأغشية، وله دور هام في عمليات التركيب العضوي (تحول الحموض الأمينية إلى عديدات ببتيد ، وتحول السكريات البسيطة

إلى سكريات متعددة)، ويرتبط مع البيروفات كيناز الضروري للتنفس واستقلاب السكريات ويضطرب معدل استقلاب السكريات في حال نقصه، وبالتالي يؤثر على التركيب الضوئي والتنفس؟؟؟؟.....

ينشط البوتاسيوم بعض أنزيمات الكيناز وبالتالي يساهم في تشكيل واستخدام الفوسفات الغنية بالطاقة ويحسن التركيب الضوئي. والبوتاسيوم عامل مضاد للذبول لأنه يسهل انتفاخ الغرويات ويساهم في الحفاظ على بنية الخلية.

يؤدي نقصه إلى اصفرار مبقع يتبعه مساحات محترقة على قمم وحواف الأوراق، وتظهر أعراضه في البداية على الأوراق القديمة...؟ حيث يعد من العناصر النقالة في النبات فعندما ينقص في الأجزاء الفتية ينتقل من الأجزاء القديمة إلى الحديثة. وقد يسبب عند بعض النباتات انحناء الأوراق للاعلى مثل الفاصولياء والبطاطا، وتصبح النباتات قزمة والمسافات العقدية فيها قصيرة جداً. ويؤدي حرمان النبات منه إلى تشوه في اختزان المدخرات (الدرنات).

دور الكالسيوم: يتجمع الكالسيوم في الصفيحة المتوسطة للجدر الخلوية على شكل بكتات الكالسيوم وبالتالي يساهم في دعمها. ويوجد في كثير من النباتات على شكل حماضات الكالسيوم أو بشكل فحمات الكالسيوم وله أشكال بلورية مختلفة، او يتحد مع الحموض العضوية ليكون املاحاً وقد يتحد مع البروتينات.

توجد Ca^{++} في عصارة النباتات وهو ضروري لاستمرار نمو القمم النباتية، وفي غياب الكالسيوم يضطرب الانقسام الخلوي ويتباطأ وقد يتوقف. وذلك لأن نقص الكالسيوم يمكن أن يؤثر على تشكيل مغزل الانقسام ويؤثر على تركيب الصبغيات وعلى ثباتها. وللكالسيوم دور في استقلاب الآزوت. وينشط عدداً من الأنزيمات ومنها فوسفو ليباز وأنزيم آرجينين كيناز وأنزيم أدينيل سيكلاز.

يقلل الكالسيوم من نفوذية الغشاء الخلوي ويحد من امتصاص العديد من الشوارد ومنها الحديد، ويحد من امتصاص الماء ويزيد التعرق وبالتالي فهو يعد عاملا للذبول.

دور المغنيزيوم:

يوجد المغنيزيوم في التربة بشكل أملاح سيليكات المغنيزيوم وهو غير جاهز للبنات وأما الأملاح الجاهزة للنبات فهي الماغنيزيت $MgCO_3$ و الألوفين $(MgFe)_2SiO_4$ والدولوميت $MgCO_3.CaCO_3$.

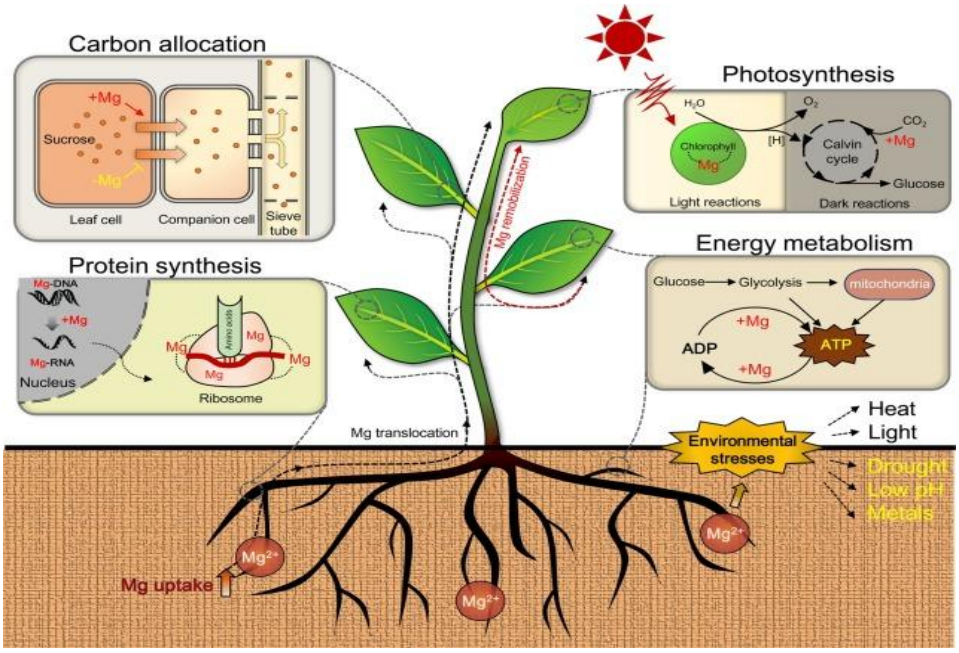
يلعب المغزيوم أدوراً عدة في النبات (الشكل7) من أهمها:

تثبيت الريبوزومات من خلال ربط الوحدتين الصغيرة والكبيرة معاً وبالتالي له دور غير مباشر في عملية تركيب البروتين.

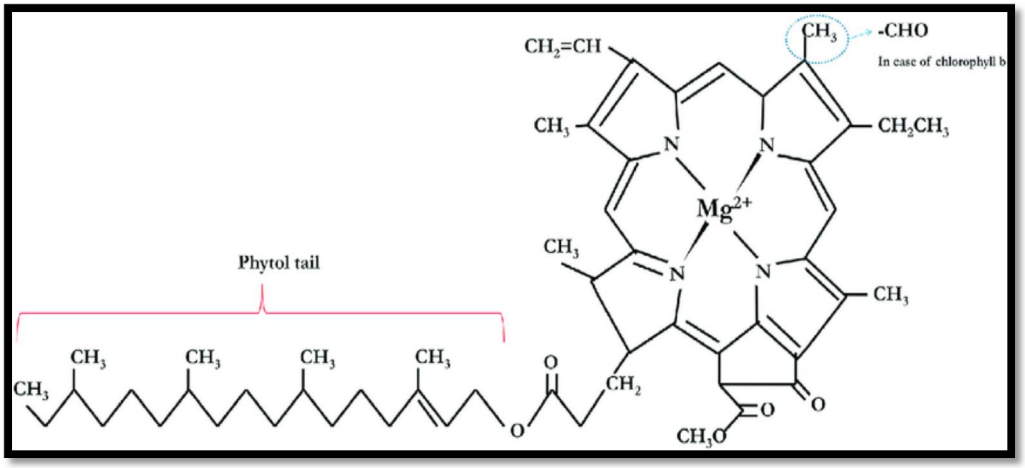
ربط الانزيم ومادة التفاعل كما هو الحال في نقل الفوسفات من ATP وبالتالي له دور في استقلاب الطاقة.

يلعب دوراً هاماً في التفاعلات الأنزيمية وخاصة التي تتوسطها الكيناز، فهو ينشط العديدمن الأنزيمات التي تستقلب السكريات مثل: بيروفات كيناز، غليكوكيناز ..الخ.

يدخل في البنية الجزيئية لليخضور بنوعيه Cloropyll a , b (الشكل 7) أي له دور هام في التركيب الضوئي.



الشكل6: دور Mg في النبات.



الشكل 7: بنية جزيئة اليخضور بنوعيها (Cloropylla and Clorophyll b).

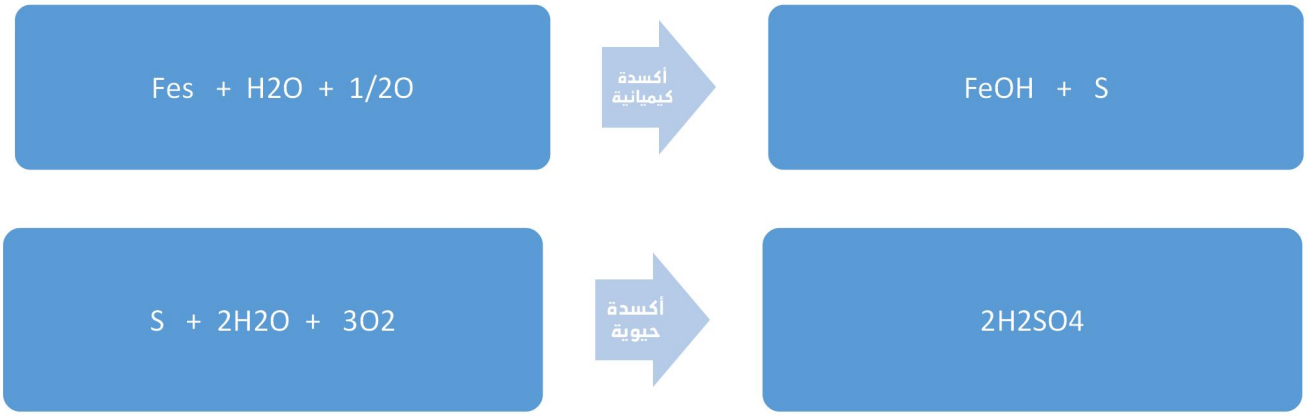
يوجد القسم الأكبر من المغنيزيوم في الأوراق الخضراء، كما تكون البذور غنية به، وتظهر أعراض نقصه في اصفرار الأوراق أو تلونها بالأرجواني عند بعض الأنواع النباتية، وهو ينتقل في النبات من الأعضاء المسنة إلى الأعضاء الحديثة.

دور الكبريت: يدخل الكبريت في تركيب بعض الحموض الأمينية مثل السيستين وميتونين وتحتوي البروتينات النباتية منه 0.3- 2.4 %. كما يشكل بعض الفيتامينات في النبات مثل الثيامين والبيوتين، ويوجد في بعض الزيوت الطيارة مثل زيت الخردل ويوجد في البصل والثوم ويعطيها الرائحة المميزة.

يدخل في تركيب الثمار والبذور لأنه يرجع بعد دخوله النبات إلى الجذر -SH ويدخل في تركيب المواد العضوية، كما يتحول في النبات إلى كبريتات وينتقل على هذا الشكل ويدخل أيضا في تركيب المواد العضوية ضمن الأجزاء النباتية (ثمار، بذور).

ينتج عن نقصه تجمع الحموض الأمينية والبروتينات في النبات وينخفض معدل استقلابها ويظهر النبات شاحبا في معظم أجزاءه.

ويوجد في التربة بشكل رئيسي في المواد العضوية كما قد يوجد في بعض المركبات المعدنية مثل البيريت والكوبالتيت والجبس. ويمكن ان يوجد بشكل $SO4^{--}$ ويتأكسد بفعل بعض الأحياء الدقيقة وفقا لمايلي:



يقوم بالأكسدة الحيوية Sulfur bacteria، وتتم كذلك اكسدة البيريت FeS2 ويتشكل حمض الكبريت، كما يصل الكبريت إلى التربة ومن ثم النبات من الجو حيث يوجد على شكل غاز SO2 المنطلق من المصانع والذي يشكل المطر الحامضي.

الدور الفيزيولوجي لبعض عناصر الندرة Trace elements:

1- **دور الحديد**: يعد من العناصر الضرورية جداً لعمليات الأكسدة والإرجاع الخلوية؛ حيث يدخل في تركيب العديد من الانزيمات (الكاتالاز والبيروكسيداز والسيتوكروم اوكسيداز) وجميعها تستخدم الخاصية التكافؤية للحديد لنقل الالكترونات (تحول الحديد من التكافؤ الثنائي إلى الثلاثي وبالعكس).

الشكل الفيزيولوجي الفعال للحديد في النبات هو الحديد الثنائي Fe^{++} وهو أقل العناصر انتقالا في النبات. وفي حال نقصه في النبات تصاب النباتات بالشحوب الحديدي، وفيه تظهر الأوراق أقرب للأبيض من الأصفر، وذلك ان الحديد يساهم في تركيب البنى البروتينية للصانعات عندما يدخل في بناء الأنزيمات التي تتوسط ذلك. كما أن الأجزاء النباتية التي تتأثر بنقص الحديد هي الأوراق الفتية وليست المعمرة.

2- **دور النحاس:** يدخل النحاس في تركيب العديد من الأنزيمات وذلك لقدرته على تغيير تكافؤه بين الأحادي والثنائي. ويدخل في تركيب مساعدات الأنزيمات وخاصة الأوكسيداز الفينولية المتعددة التي تؤدي إلى اسمرار النسج النباتية المتضررة، وكذلك في تركيب أنزيم اللاكاز المؤكسدة لمركب lacaol وثنائيات الفينول لتشكل مركب اللاك الأسود (المركبات الفينولية تسبب اسمرار النسج النباتية المعطوبة).

يسبب نقصه موت القمم النامية في بعض الأنواع النباتية مثل الحمضيات أو اصفرار الأوراق الحديثة النمو عند النجيليات (قمح...)

3- **دور الموليبدينوم**: يوجد في التربة بثلاثة أشكال الأول منحل كشوارد في التربة $MoO4^-$ أو $HMoO4^-$ والثاني مدمص على دقائق التربة بشكل قابل للتبادل والثالث يدخل في مكونات معادن التربة والمواد العضوية.

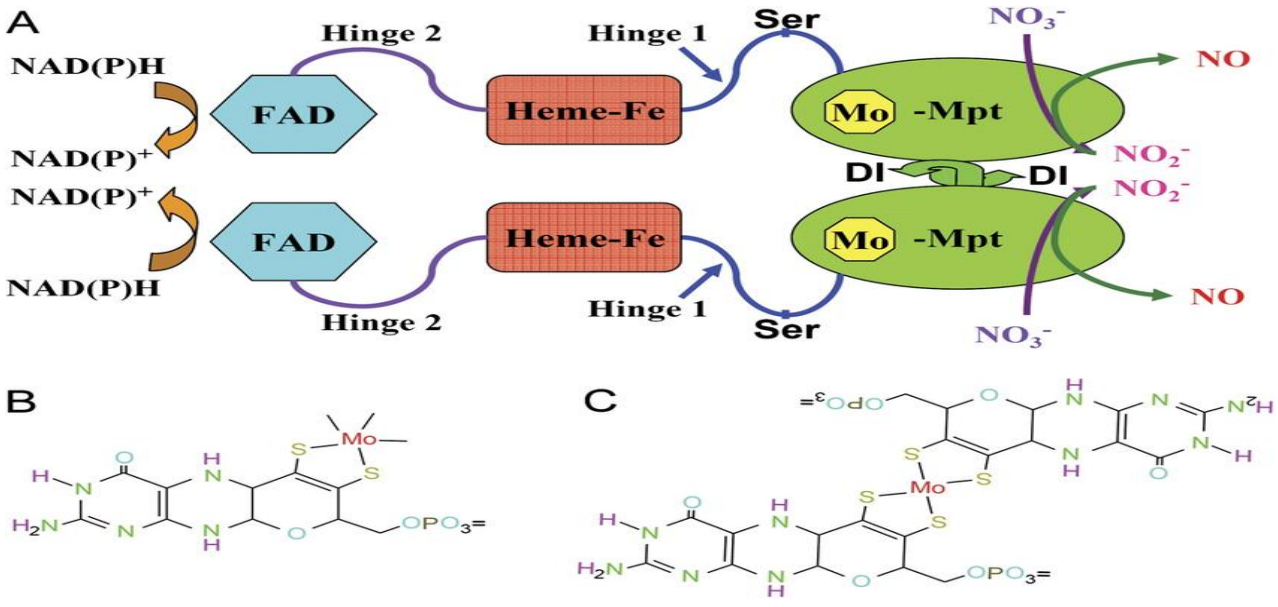
وهو قابل للانحلال بالماء وتزداد قدرة النبات على امتصاصه كلما زادت قيمة PH التربة. وأما أكاسيده الثلاثية أو الخماسية أو السداسية لا يمكن للنبات الاستفادة منها.

يعد Mo من العناصر السامة للنبات إذا وجد بتراكيز مرتفعة، ومن أدواره في النبات إرجاع النترات لأنه يدخل بتركيب أنزيم Nitrate reductase ويلعب دور حامل للالكترونات من NADH2 إلى NO3:

$$MO^{+5} = MO^{+6} + e^-$$

تتجمع شوارد النترات $NO3^-$ في النباتات المحرومة من الموليبدينوم وعند إضافة $NO2^-$ أو شوارد الأمونيوم $NH3^+$ يزول أثر تجمع شاردة النترات في النبات.

يعود الدور الأهم لأنزيم الريدوكتاز في إغناء النباتات بالآزوت كما يشير المخطط في الشكل8 :



الشكل 8: آلية عمل أنزيم الريدوكتاز نترات ودورها في إرجاع النترات. (الريدوكتاز : عبارة عن موليبيد وفلافو بروتين).

4- **دور المنغنيز:** يوجد في التربة جيدة التهوية بشكل شاردة ثنائية منحلة او مدمصة على الغرويات والشكلين جاهزين للنبات، أو يكون في التربة قليلة التهوية بشكل شاردة ثلاثية أو رباعية غير جاهزة للنبات. أملاحه سامة إذا كانت تراكيزه مرتفعة.

يحتاجه النبات بكميات محدودة يدخل في عمليات نزع الهيدروجين في حلقة كريبس في مستوى حمض الليمون والأنزيمات التي يدخل في تركيبها: نتريت ريدوكتاز، ببتيداز، دي كاربوكسيلاز، ديهيدروجيناز كما ينشط المنغنيز الأوكسيداز الذي يحطم AIA، نقصه يسبب إصابة النبات بأمراض جرثومية نتيجة نقص مقاومته، ويظهر على شكل تبقع في الأوراق.

5- **دور التوتياء:** هو عنصر شديد السمية إلا إذا وجد بكميات قليلة جداً وهو ضروري للنبات حيث يساهم في تشكيل هرمون IAA (حمض الاندول الخلي) ضروري لتشكيل الأوكسين ويدخل في تركيب أنزيمات الديهدروجيناز ويتوسط مع الـNAD التفاعل:

$$H2O+CO2 \quad = \quad H2CO3$$

ويسبب نقصه تشوهاً في قمم الجذور ولا تتكون البذور، ويتراجع النمو وتكون الأشجار قصيرة والمجموع الجذري متراجع والثمار مشوهه.

6- **دور البور:** هو عنصر غير نقال في النبات ويحتاجه النبات بتركيز اقل من جزء بالمليون. له دور هام في هجرة واستقلاب السكاكر حيث يشكل مع السكريات معقدات تتحرك عبر الأغشية بسهولة. يشكل حمض الفينيل بوريك الذي يبدل النفوذية الاصطفائية للأغشية ويساهم في هجرة وامتصاص الكالسيوم. نقصه يؤثر على الميريستيم والبراعم الفتية والبرانشيم الادخاري، من أهم عوارض نقصه عند الشوندر التفسخ الذي يصيب الثمار بسبب إصابتها بأحد أنواع الفطور الزقية نتيجة حرمانها من عنصر البور.

7- **دور الكلور والكوبالت:** يؤثر الكلور في مستوى نزع الالكترونات من قبل اليخضور أثناء انشطار الماء في التركيب الضوئي. يؤثر نقصه على نمو الجذور والأوراق.

أما الكوبالت فهو مكون أساسي في الفيتامين B12 وهو ضروري لنمو بعض البقوليات.