عــلاقة الــعناصر الــمغذية بــعملية الــبناء الــضوئى
Mineral nutrients – photosynthesis interactions

لوحظ وجود علاقة وثيقة بين نقص بعض العناصر المغذية وحدوث تغيرات تركيبية فى الكلوروبلاست وكذلك حدوث تغير فى الشكل الظاهرى للكلوروبلاست. بالإضافة إلى حدوث نقص عــدد حبيبــات الجرانــا داخــل الكلوروبلاست. كما لوحظ تضخم فى حبيبات النشا المتواجدة فى الكلوروبلاست وهدم فى الصفائح المتواجدة داخل الكلوروبلاست وخاصة فى حالة نقص عنصرى الحديد أو المنجنيز.

لاحظ العديد من العلماء وجود علاقة وثيقة بين نقص عناصر النحاس ، البــورون ، الزنــك ، البوتاســيوم والفوسفور وبين النقص الواضح فى كفاءة تفاعل الظلام (إختزال CO_2). وكذلك وجود علاقة وثيقــة جــداً بين نقص عناصر المنجنيز ، الموليبدنيم ، الكبريت ، الماغنسيوم ، النيتروجين والكالسيوم وحــدوث نقــص شديد فى كفاءة تفاعل الضوء (تفاعل هيل).

أولاً: تأثير Macro nutrients (العناصر الكبرى)

١. النيتروجين (Nitrogen)

- **يعتبر النيتروجين المكون الرئيسى لمكونات جهاز البناء الضــوئى مثــل البــروتين ، الكلوروفيــل وصفائح الجرانا.**
- **النقص فى محتوى النيتروجين يؤدى إلى نقص حاد فى محتوى الأوراق مــن الكلوروفيــل وكــذلك نقص حاد فى مكونات صفائح الكلوروبلاست وبالتالى حدوث نقص حاد فى كفــاءة عمليــة البنــاء الضوئى.**
- **النيتروجين ينظم كميات مركبات التنفس الضوئى (دورة الجليكولات) من خلال تكــوين الجليســين والسيرين.**

ــ تراكم أيونات الأمونيوم NH_4 يؤدى إلى:

- **هدم الكلوروبلاست.**
- **هدم الكلوروفيل.**

- **نقص كفاءة البناء الضوئى.**
- **تثبيط إنتقال الجلوكوز المخلق من عملية البناء الضوئى.**

٢ـ الفوسفور (Phosphorus)

- **تخليق النشا وتثبيت CO_2 وتحولات الكربوهيدرات وإنتقال السكريات يتم أساساً بواسطة الفوسفات فى صورة ATP.**
- **كما يدخل الفوسفور فى تركيب الفوسفوليبيدات المكون الرئيسى للأغشية البلازمية للخلية وعضياتها والشبك الإندوبلازمى.**
- **نقص الفوسفور يؤدى إلى زيادة نسبة Starch/Sucrose ratio وهذا مرتبط بالتغير فى النشاط الكلى للإنزيمات المؤثرة فى تحولات كل من النشا والسكروز.**
- **نقص الفوسفور يؤدى إلى نقص حاد فى كفاءة عملية البناء الضوئى.**
- **نقص الفوسفور يؤدى إلى نقص إنتقال الطاقة من الكلوروبلاست إلى أجزاء النبات الأخرى.**
- **نقص الفوسفور يؤدى إلى تثبيط تفاعلات دورة حمض الستريك (كربس) مما يؤدى إلى تراكم حمض البيروفيك Pyrovic acid بالإضافة إلى حدوث نقص واضح فى تخليق البروتين والأحماض النووية.**
- **لوحظ حدوث تنشيط لجميع العمليات الحيوية مما ينعكس على زيادة النمو وبالتالى المحصول فى حالة زيادة المحتوى من الفوسفور بالإضافة إلى زيادة المحتوى من النيتروجين وهذه الزيادة فى النشاط أكبر كثيراً من حدوث الزيادة فى أى من الفوسفور أو النيتروجين منفرداً.**
- **زيادة عنصر Mg يؤدى إلى زيادة فى إمتصاص عنصر الفوسفور.**
- **تعريض النبات لظروف الإجهاد Stress مثل الملوحة والتعطيش يؤدى إلى نقص شديد فى المحتوى من الفوسفور.**

٣.

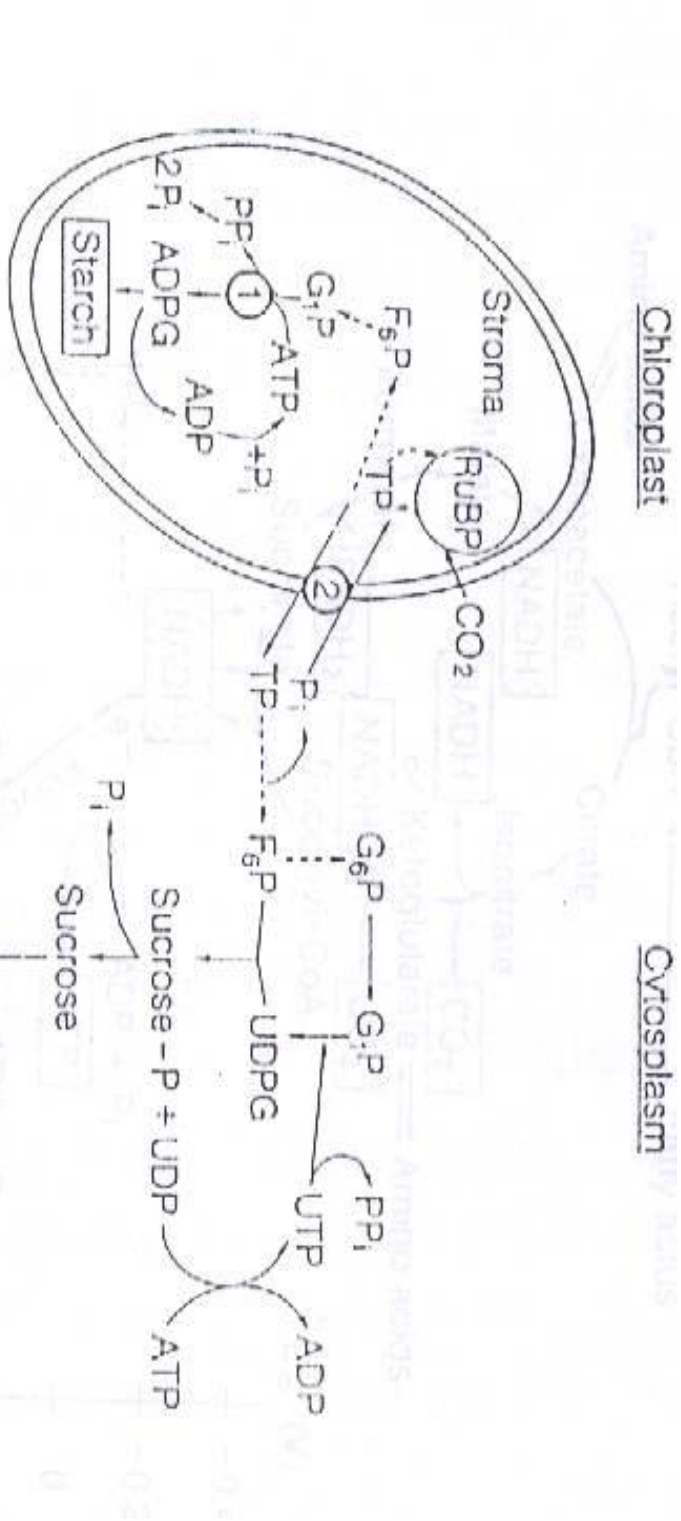


Fig. ٣ Involvement and regulatory role of phosphate in starch synthesis and carbohydrate transport in a leaf cell. (1) ADP-glucose pyrophosphorylase; regulates the rate of starch synthesis; inhibited by P_i and stimulated by PGA. (2) Phosphate translocator; regulates the release of photosynthates from chloroplasts; enhanced by P_i. TP, Triosephosphate (glyceraldehyde-3-phosphate, GAP; dihydroxyacetone phosphate; DHAP); F_6P, fructose 6-phosphate; G_6P, glucose 6-phosphate.

البوتاسيوم (Potassium)

- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص حاد فى كفاءة عملية البناء الضوئى وزيادة التنفس.**

- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص فى إنفتاح الثغور وبالتالى نقص دخول CO_2 إلى أنسجة الأوراق.**
- **زيادة المحتوى من البوتاسيوم يؤدى إلى تنشيط تثبيت CO_2 .**
- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص واضح فى عدد صفائح الجرانا فى الكلوروبلاست.**
- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص واضح فى المساحة الورقية وهذا النقص يرجع لزيادة المساحات الميتة من الأوراق Necrosis والتى تكونت بسبب تراكم المركبات النيتروجينية السامة.**
- **نقص البوتاسيوم يؤدى إلى نقص واضح فى إنتقال نواتج عملية البناء الضوئى وحدوث زيادة فى تراكم السكروز والهكسوزات ويرتبط ذلك بنقص الأوراق من الماء مع زيادة واضحة فى الضغط الأسموزى مع نقص شديد فى النشاط الإنزيمى.**
- **زيادة المحتوى من البوتاسيوم K يؤدى إلى نقص إمتصاص البورون B ، الحديد Fe ، الموليبدنيم Mo بينما يؤدى إلى زيادة إمتصاص كل من Cu ، Mn ، Zn .**
- **فى ظروف الإجهاد الملحى فإن الصوديوم Na يحل محل البوتاسيوم K .**

٤. الكالسيوم (Calcium)

- **من المعروف أن الكالسيوم يؤدى العديد من الوظائف والأدوار وخاصة المتعلقة بالنشاط الإنزيمى أو بتركيب الأغشية الخلوية وكذلك خاصية النفاذية الإختيارية بالإضافة إلى النشاط الهرمونى وإنتقال الكاتيونات إلى داخل الخلية والتساقط.**
- **نقص Ca فى الأوراق يؤدى إلى نقص واضح فى نشاط البناء الضوئى ونقص واضح فى حجم الكلوروبلاست.**
- **الفسفرة الضوئية فى الكلوروبلاست ترتبط بالنشاط الإنزيمى ATPase والذى سيتم تنشيطه بواسطة Ca وبالتالى فإن نقص Ca يؤدى إلى نقص مركبات الطاقة فى الكلوروبلاست.**

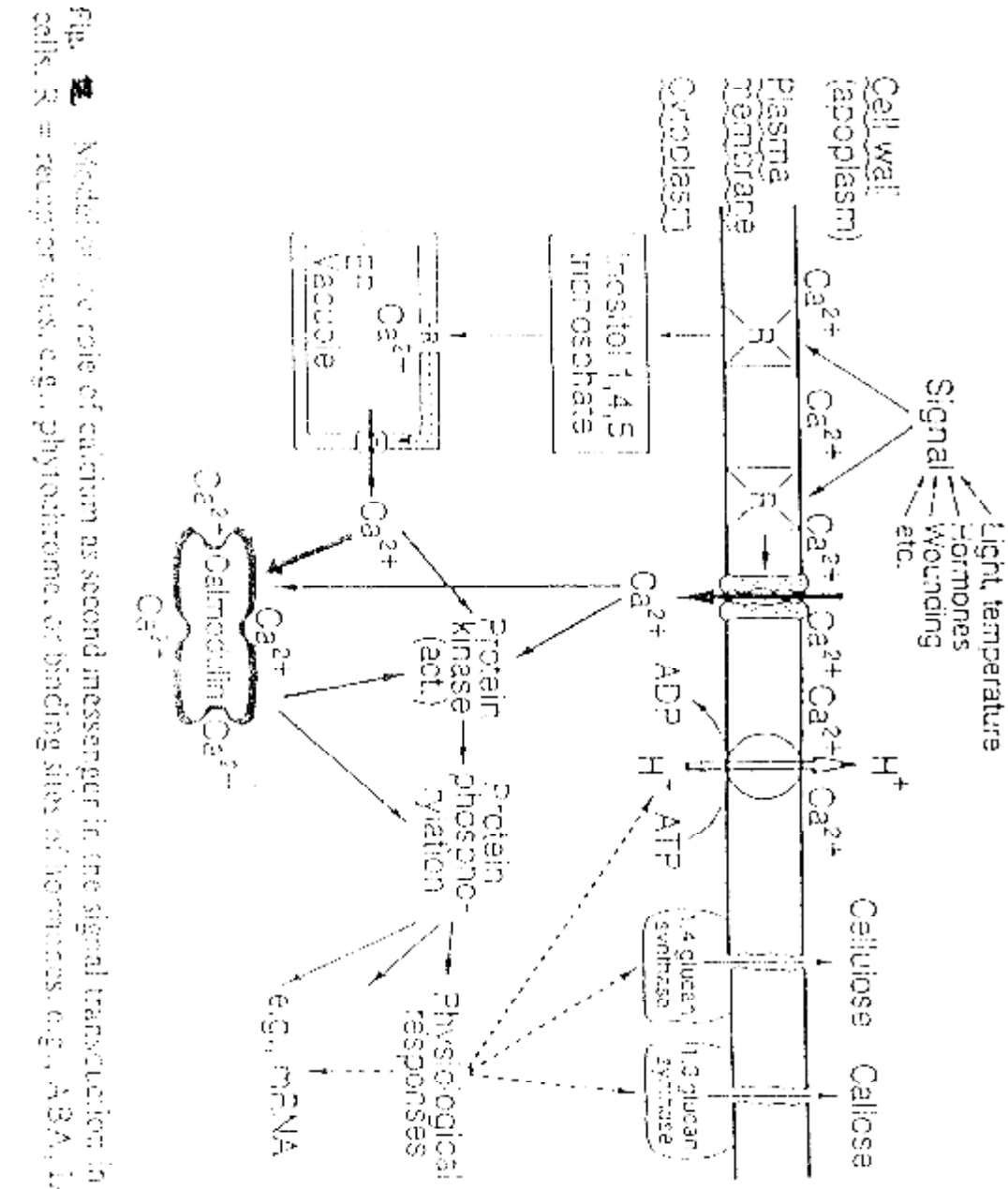


fig. 14 Model of the role of calcium as second messenger in the signal transduction in plant cells. R = receptor sites, e.g., phytochrome, or binding sites of hormones, e.g., ABA, IAA.

- **الثبات فى الأغشية البلازمية يرجع لتواجد عنصر Ca وذلك من خلال إدخال مجموعات الفوســفات والكربوكسيلات لمركبات الفوسفوليبيدات.**
- **يلعب Ca دوراً هاماً فى تركيب الميتوكوندريا وكذلك وظائفها.**
- **يلعب Ca دوراً هاماً فى التوازن بين الكاتيونات والأنيونات داخل الفجوات كما يلعب دوراً هاماً فــى إستطالة ووظائف الخلايا.**
- **الكالسيوم يتداخل مع العديد من العناصر مثل N ، K ، B .**

٥. الماغنسيوم (Magnesium)

- **الماغنسيوم هو المكون الرئيسى لتركيب جزيء الكلوروفيل وبالتالى فإن نقص Mg يؤدى إلى نقص واضح فى عملية البناء الضوئى.**
- **الماغنسيوم يؤدى إلى تنشيط (عامل مساعد) العديد من الإنزيمات وخاصة المتعلقة والمتداخلة فى عملية نقل الفوسفات وأيض ATP.**
- **الماغنسيوم له دور واضح فى نشاط إنزيم RUBP carboxylase المتواجد فى ستروما الكلوروبلاست وكذلك إنزيم Fructose 1,6 biphosphatase المتواجد فى الكلوروبلاست والذى ينظم العلاقة بين تخليق النشا ونقل Triose-phosphate (export) وكذلك للماغنسيوم دور واضح فى تنشيط إنزيمات Enolase & Dehydrogenases .**
- **الماغنسيوم ينشط كذلك RUBP carboxylase .**
- **نقص الماغنسيوم يؤدى إلى تراكم النشا فى الأوراق بينما يحدث نقص واضح فى النشا فى أنسجة التخزين.**
- **يرى بعض العلماء أن Mg له دور مثبط لإنطلاق O_2 من الكلوروبلاست خلال تفاعل الضوء.**

٦. الكبريت (Sulfur)

- **الكبريت المكون الرئيسى للأحماض الأمينية السيستين و الميثونين كما يدخل فى تركيب الليبيدات الكبريتية والتى تتداخل بشكل واضح فى تركيب الأغشية البيولوجية.**
- **كما يدخل الكبريت فى تركيب الثيامين , CoA , Lipoic acid , Biotin والتى لها علاقة بنقل CO_2 .**
- **نقص الكبريت يقلل نشاط عملية البناء الضوئى إلى أقل حد ممكن . بالإضافة إلى نقص واضح فى محتوى الكلوروفيلات كما يؤدى أيضاً إلى نقص واضح فى إنتشار ودخول CO_2 من خلال الثغور.**

- **نقص الكبريت يؤدى إلى إفساد وتقليل تخليق بعض المركبات الكبريتية مثل Ferredoxin , Thiamine pyrophosphate , Biotin (Vitamin B1).**
- **نقص الكبريت يؤدى إلى نقص تخليق البروتين وهذا التثبيط يسبب تراكم Soluble-N , Nitrate وهذا يؤدى إلى إصفرار أوراق النباتات.**

*** نقص الكبريت والزنك يؤدى إلى نقص نشاط:**

- **Malate dehydrogenase**
- **Glucose 6-P-dehydrogenase**
- **نقص المحتوى من البروتين والنشا فى البذور.**
- **زيادة السكريات الذائبة فى الفول السودانى.**
- **تراكم النشا.**

ثانياً: تأثير Micro nutrients (العناصر الصغرى)

١. النحاس (Copper)

§ **أكثر من نصف المحتوى من النحاس يتواجد فى الكلوروبلاست مرتبطاً بالبلاستوسيانين Plastocyanine وهو أحد مركبات PSII فى تفاعل الضوء.**

§ **النحاس ضرورى لتخليق كل من RNA & DNA ولذلك ينخفض المحتوى من هذه الأحماض النووية بشدة فى حالة نقص النحاس فى الأنسجة.**

§ **كل من النحاس والزنك يتواجد فى إنزيم Superoxide dismutase (SOD) ويتواجد هذا الإنزيم فى الكائنات الهوائية.**

§ **كل من النحاس والحديد مهم جداً Cytochrome oxidase system .**

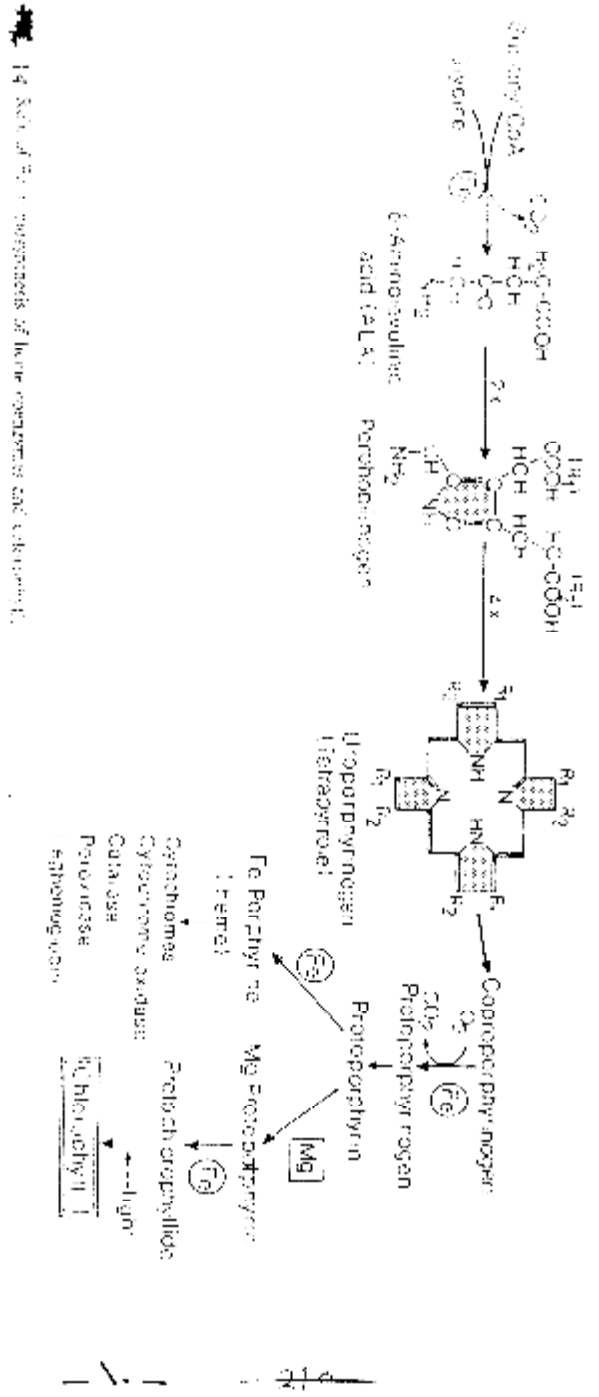
§ **النحاس ضرورى ومهم لكل من Ascorbic oxidase , Amine oxidase , Lactase , Phenolase .**

§ **هدم الدهون (الأحماض الأمينية) يتم هدمها بإنزيمات النحاس.**

- **نقص النحاس يؤدى إلى نقص واضح فى نشاط عملية البناء الضوئى ونقص واضح فى تفاعل الضوء Hill reaction و إختلال واضح فى عمل Phenolase وكذلك Lactase فى أكسدة الفينولات التى تعتبر المصدر الرئيسى لتخليق اللجنين legnin biosynthesis .**
- **نقص النحاس يؤدى إلى نقص تخليق البروتين مما يسبب تراكم للأحماض الأمينية الذائبة.**
- **نقص النحاس يؤدى إلى نقص إنطلاق O_2 من خلال PSII وواضح أن تثبيط PSII أكثر من التثبيط فى PSI.**
- **النحاس يؤثر على إمتصاص الفوسفور وكذلك انتقاله حيث لوحظ أن المحتوى المرتفع من النحاس يؤدى إلى إرتفاع المحتوى من الفوسفور بينما المحتوى المنخفض من النحاس يؤدى إلى إرتفاع المحتوى من الفوسفور.**

٢ ـ الحديد (Iron)

- **يتواجد معظم البروتين المحتوى على الحديد فى الكلوروبلاست والحديد ضرورى لتخليق الكلوروفيل وذلك من خلال دخول الحديد وضرورته فى تخليق α-amino levulinic acid والذى يعتبر المصدر لتخليق الكلوروفيل كما هو موضح فى الشكل التالى.**
- **من الإنزيمات المحتوى على الحديد Peroxidase catalase ، Cytochrome oxidase ، Cytochromes.**
- **معظم مركبات الفسفرة الضوئية الدائرية وغير الدائرية تحتوى على الحديد ومن أهمها (Cytochromes & Ferredoxin).**
- **نقص الحديد يسبب إصفرار الأوراق وذلك لنقص المحتوى من الكلوروفيل . كذلك يسبب نقص المحتوى من البروتين والذى ينعكس سلباً على تخليق الكلوروفيل.**
- **إمتصاص الحديد يتنافس مع العديد من الكاتيونات مثل Mn , Zn , Cu , Ca , Mg , K.**



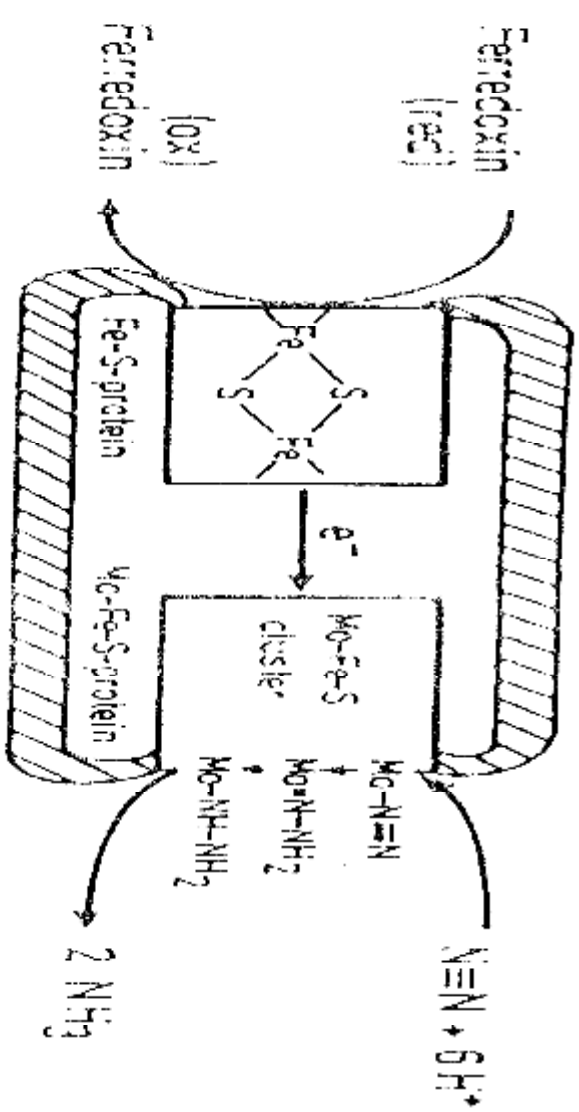


Fig. 9.11 Model of the stepwise N_2 reduction by the Mo-containing nitrogenase.

Fig. 4 Possible relationship between physiological functions of Fe and visual symptoms of Fe deficiency.

٣. المنجنيز (Manganese):

- المنجنيز مهم جداً لإنطلاق O_2 من التحلل الضوئى للماء من خلال PSII فى تفاعل الضوء (Hill reaction) ويعتبر Mn مانح الإلكترون للكلوروفيل فى هذا النظام.
- يتداخل المنجنيز فى نظام الأكسدة الإختزالية فى سلسلة نقل الإلكترون فى عملية البناء الضوئى.
- Mn ينشط إنزيمات Dehydrogenases & Decarboxylases الخاصة بدورة (TCA) كربس وكذلك IAA-oxidase .
- إمتصاص Mn بواسطة النباتات يؤدى إلى نقص شديد فى العناصر المتاح إمتصاصها مثل Fe , Cu , Zn .
- مكونات الأغشية البلازمية مثل Polyunsaturated fatty acids , Glycolipids يحدث لها نقص بشدة فى المحتوى من المنجنيز Mn كما يحدث أيضاً تغيير فى المحتوى من مركبات Lipids .

٤. الكلوريد (Chloride)

- من المعلومات الموثقة أن للكلوريد وظيفة حيوية فى مرحلة إنطلاق O_2 من خلال النظام PSII فى تفاعل الضوء فى عملية البناء الضوئى كما أن له علاقة وثيقة فى إمداد الكلوروفيل (P680) بالإلكترونات التى فقدتها الصبغة من خلال عملية نقل الإلكترونات فى (Electron transport) PSII

٥. الزنك (Zinc)

- من المعروف أن الزنك يشبه تماماً المنجنيز والمغنسيوم فى تشجيع عملية الربط بين الإنزيم ومادة التفاعل.
- الزنك له علاقة وثيقة أيضاً فى عمل إنزيمات:

  - Glutamic dehydrogenase .
  - Proteinases, peptidases .
  - Lactic acid .

Fig. 4: Involvement of Zn-dependent enzymes in carbohydrate metabolism.

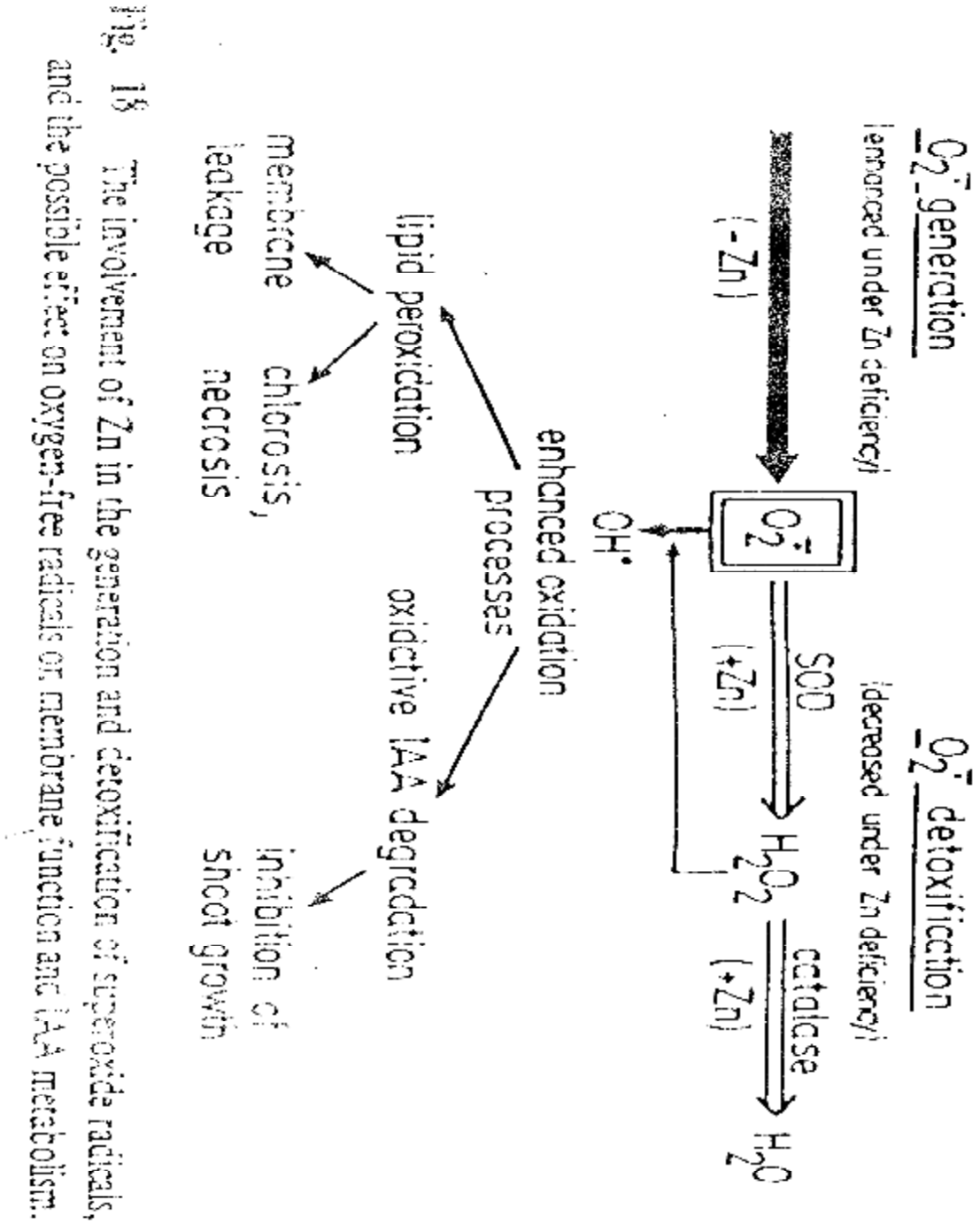


Fig. 18 The involvement of Zn in the generation and detoxification of superoxide radicals, and the possible effect on oxygen-free radicals or membrane function and IAA metabolism.

§ **يتداخل الزنك Zn بشدة فى التحولات الغذائية للكربوهيدرات فى مراحلها المختلفة ومنها إنزيم Carbonic anhydrase والذى يتواجد فى السيتوبلازم والكلوروبلاست والذى يقوم بتحويل CO_2 إلى HCO_3 فى عملية تثبيت CO_2 فى البناء الضوئى.**

- **لزنك Zn يؤدى إلى تنشيط إمتصاص P الفوسفور من خلال الأغشية البلازمية فى خلايا جذور النباتات مما يؤدى إلى حدوث سمية نتيجة لزيادة تراكم الفوسفور فى خلايا الجذر والمخطط التالى يوضح علاقة Zn الزنك بإنزيمات تحولات الكربوهيدرات.**
- **أيضاً الزنك Zn يعمل كمادة مضادة للأكسدة وحماية خلايا الأنسجة من Oxygen free radicals من خلال تفعيل وتنشيط عمل إنزيمات Catalase & SOD كما فى المخطط التالى:**

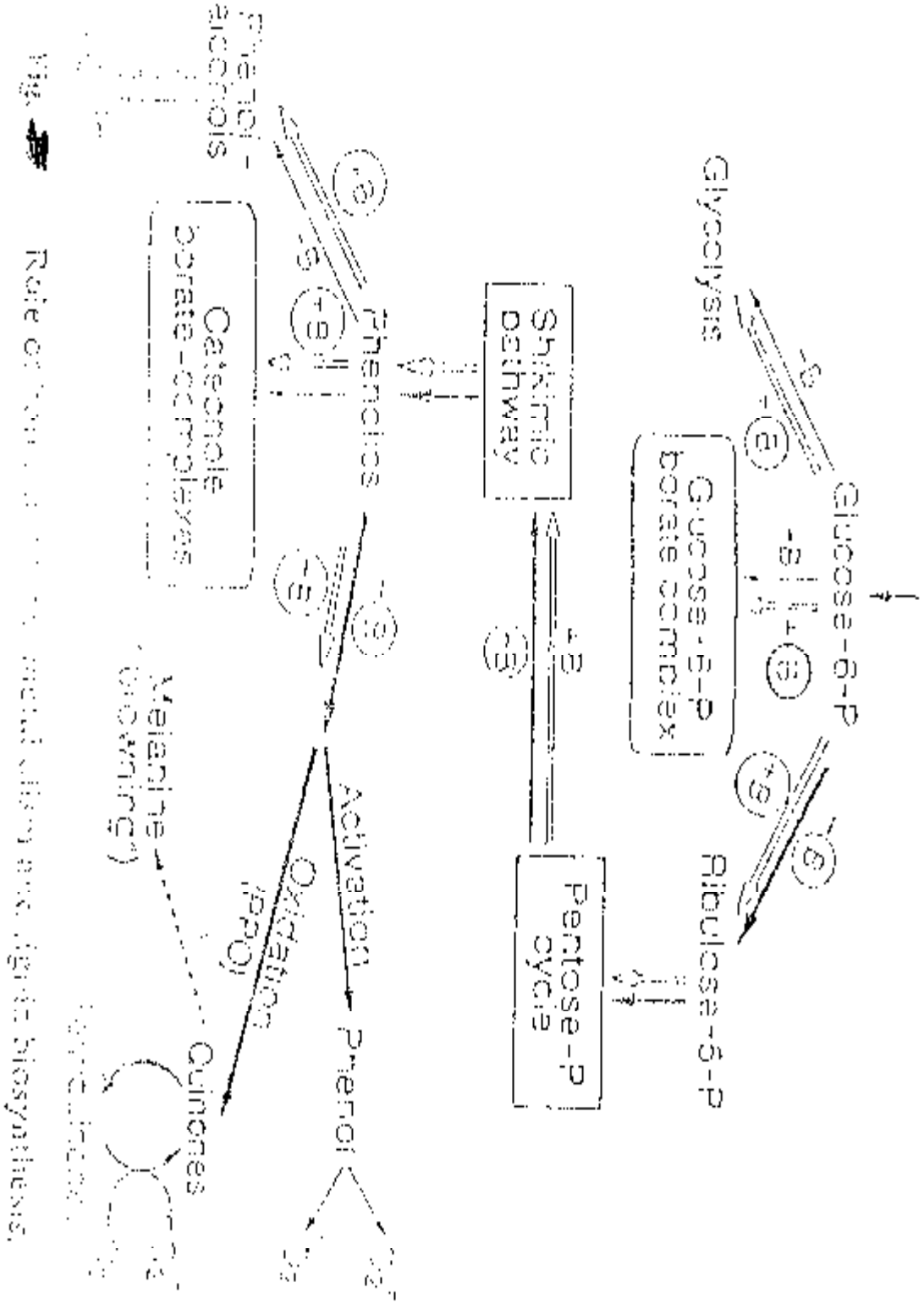
٦ ـ البورون (Boron):

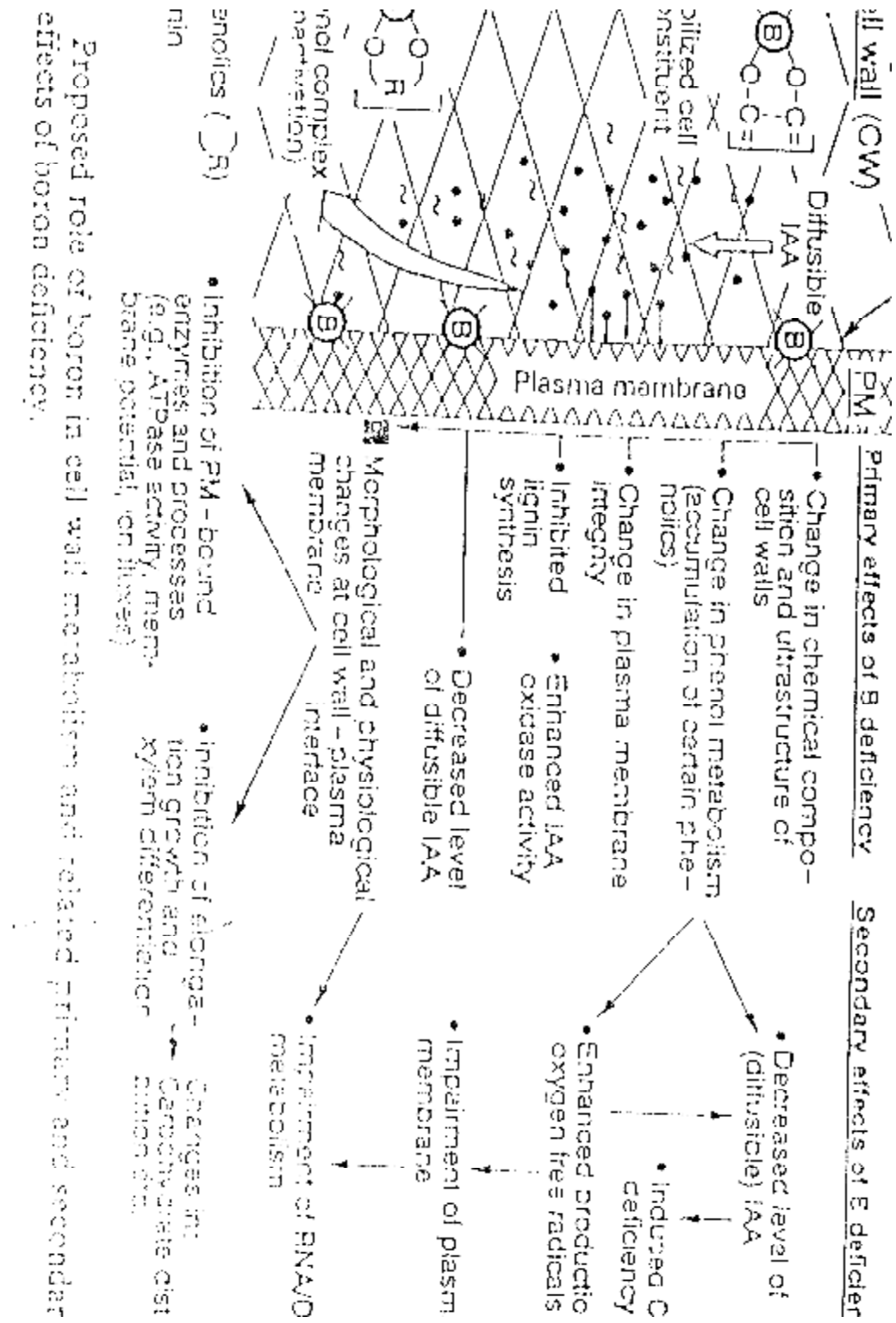
ــ البورون يتداخل فى العديد من العمليات الحيوية وله العديد من الأدوار مثل :

١ ــ إنتقال السكريات.
٢ ــ بناء مادة الجدار الخلوى.
٣ ــ عملية التلجين Lagnification .
٤ ــ التحولات الغذائية للكربوهيدرات.
٥ ــ أيض RNA .
٦ ــ التنفس.
٧ ــ أيض IAA .
٨ ــ أيض الفينولات.
٩ ــ الأغشية البلازمية.

والمخططان التاليان يوضحان العديد من الأدوار التى يلعبها البورون:

- **نقص البورون يؤدى إلى نقص شديد فى كفاءة عملية البناء الضوئى كما أنه يؤثر على شكل وتركيب الكلوروبلاست.**
- **نقص البورون يؤدى إلى نقص تحول الجلوكوز الناتج من البناء الضوئى إلى مركبات عديدة التسكر مثل السليلوز والذى يقل محتواه وبالتالى يتأثر بناء مادة الجدار الخلوى.**





§ نقص البورون يؤثر بشدة على المحتوى من الأحماض الأمينية ونشاط بعــض الإنزيمــات المختصــة بتحولات النيتروجين وكذلك N-reduction , الأحماض النووية.

(٧) الموليبدنيوم (Molybdenum)

§ القليل من الإنزيمات المرتبطة بالموليبدنيوم (Mo) هو المعروف ومنها:

- **NO_3-reductase**
- **SO_3-oxidase**
- **Nitrogenase**
- **Xanthine dehydrogenase**
- **Nodulated legumes enzymes**

§ نقص Mo يؤدى إلى نقص واضح فى عملية البناء الضوئى ويؤثر على تفاعل هيل (Hill reaction) كما يؤثر أيضاً على تركيب وشكل الكلوروبلاست.

§ كما يؤدى نقص Mo إلى زيادة المحتوى من المركبات النيتروجينية الذائبة (Soluble N-compounds) مثل Amides & Ribonuclease activity بينما حدث نقص واضح فى المحتوى من البروتين Alanine amino-transferase.

٨. الصوديوم (Sodium):

§ الصوديوم مهم جداً لمعظم النباتات رباعية الكربون بينما ليس له أهمية كبيرة للنباتات ثلاثية الكربون

§ فى النباتات رباعية الكربون يلعب الصوديوم Na دوراً هاماً جداً فى تحويل البيروفيت Pyrovate إلى Phosphoenolpyrovate (PEP) فى خلايا Mesophyll cells فى الأوراق .

§ كما أن الصوديوم Na يلعب دوراً هاماً فى تنشيط إنزيمات :

- **PEP-carboxylase**
- **NAD^+-malic enzyme**

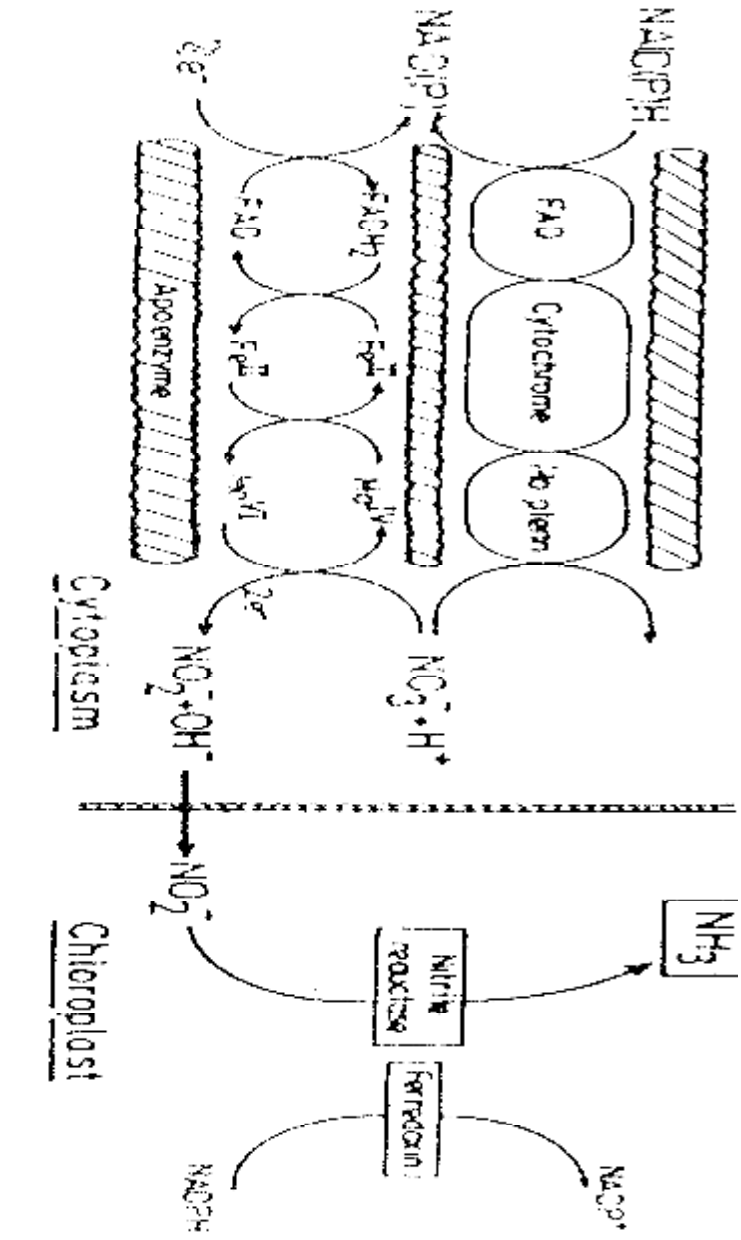


Fig. 4 Structural model of the nitrate reductase with its two subunits. Each subunit contains three prosthetic groups: FAD, heme-Fe, and Mo-pterin.

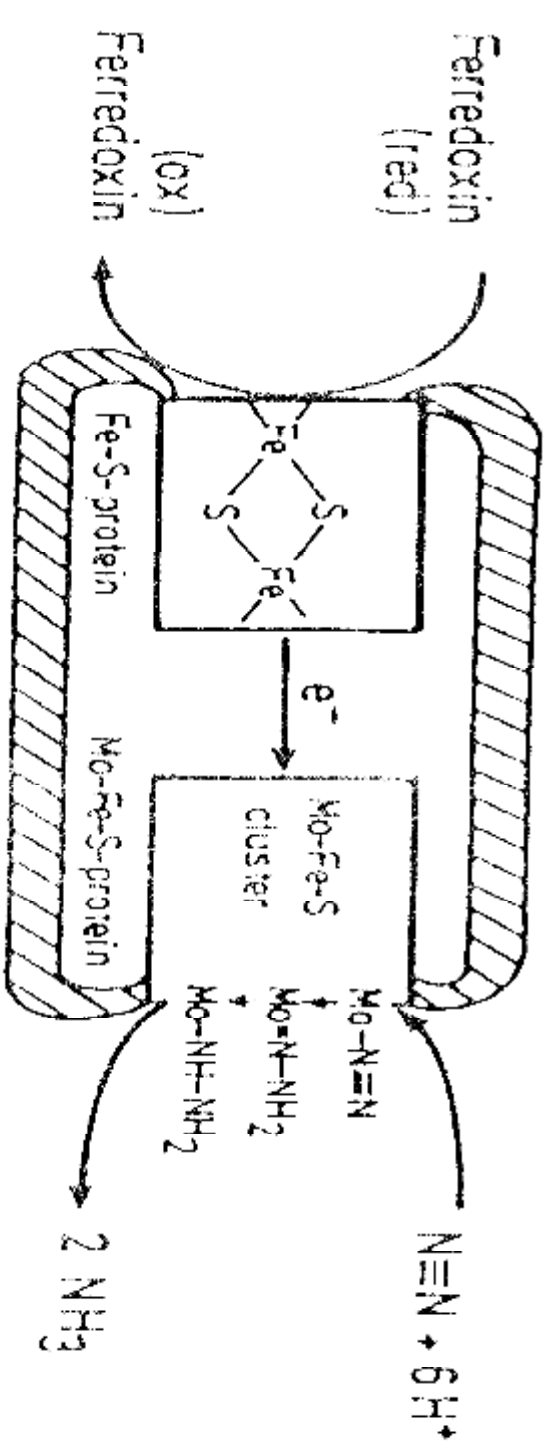


Fig. Model of the stepwise N_2 reduction by the Mo-containing nitrogenase.

Table 1. Summary of the function of nutrient elements in photosynthesis.

Element	Role
Nitrogen	General constituent of photosynthetic apparatus (proteins, chlorophyll and membrane constituents); NH_4^+ inhibitory.
Phosphorus	Active in energy transfers(APT, NAD and NADP),carbohydrate synthesis (starch and sugars), protein synthesis- cell membranes (phospholipid) and translocation of end products.
Potassium	Stomatal movement, transport of end products; balance between photosynthesis and respiration.
Calcium	ATP synthesis ; control plant membrane functions and enzyme activities .
Magnesium	Constituent of chlorophyll; catalyst in phosphate transfers.
Sulfur	Constituent of proteins.
Copper	Constituent of plastocyanin.
Iron	Essential for chlorophyll synthesis; constituent of cytochromes and ferredoxin.
Manganese	Essential for O_2 evolution.
Chloride	Participate in O_2 evolution.
Zinc	Carbohydrate metabolism (Carbonic anhydrase).
Boron	Carbohydrate metabolism and sugar transport.
Molybdenum	affect chlorophyll concentration and chloroplast structures; nitrate reductase (protein synthesis)
Sodium	C_4, photosynthesis