الفصل السابع

وظائف العناصر الغذائية & اعراض نقصها على النبات

وظائف العناصر الغذائية واعراض نقصها:

Essential Nutritional Elements:
(Their Physiological Function, Availability and Symptoms of Deficiency and their corrections.

وظائف العناصر الغذائية الرئيسية.

١) مواد بنائية كما في مكونات النبات والانزيمات وجدران الخلايا.
لما أهم العناصر الداخلة في بناء المواد فهي:

أ - النتروجين ويدخل في تركيب البروتينات، الحوامض الامينية، الحوامض النووية (Nucleic Acids) والمركبات النتروجينية القلوية (Alkaloids).

ب- الفسفور ويشترك في تركيب المواد الـ Phospholipids, Nucleoprotion وكذلك ADP وATP.

جـ - الكبريت ويدخل فى تكوين البروتينات والحوامض الامينية وبعض الزيون.

د - الكالسيوم ويشترك فى تركيب جدران الخلايا بالمركب Calcium Pectate أو يوجد فى فجوات الخلايا النباتية كناتج عرض للعمليات الفسيولوجية.

٢) التأثير الأزموزي أن الضغط الازموزي للموجود في العصير الخلوي يكون ناتج من املاح العناصر الغذائية الذائبة فيه.

٣) التأثير على الـ pH والـ Buffer Action في العصير الخلوي:
أ- ان مركبات العناصر الغذائية لها بعض التأثير على الـ pH في العصير الخلوي بالرغم من أن معظم التأثير على الـ pH ناتج من الحوامض العضوية والمركبات العضوية الاخرى في الانسجة النباتية.

ب- ان نظامي الـ Buffers المهمة والموجودة في النباتات هي Phosphate Buffer وCarbobate Buffer وانها تتكون من امتصاص مركبات الفسفور ومركبات الكاربون من الوسط البيئي للنبات بالاضافة إلى اشتراك الايونات الموجبة للعناصر كالكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم.

٤) الاشتراك في مساعدة وتنظيم بعض العمليات الحيوية.

أ- الحديد والنحاس والزنك وهي تشترك في مجاميع متصلة ببعض الانزيمات وتسمى هذه المجاميع (Prosthetic groups).

ب- المغنيسيوم والمنغنيز والكوبلت تعمل هذه كالمحفز (Activators) أو المثبط (inhibitors) في بعض التفاعلات الحيوية الانزيمية.

٥) تشترك بعض العناصر في عملية التضاد (Antagonism) كما ذكر سابقا.

الوظائف الحيوية الدقيقة للعناصر الغذائية، توفرها واعراض نقصها وكيفية علاجها

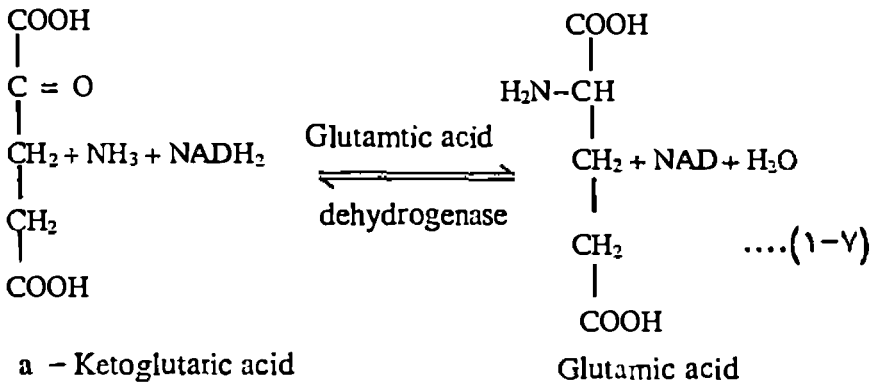
من المعلوم أن عناصر الكاربون والهايدروجين والاوكسجين تدخل في تركيب المواد البنائية كالبروتينات والكاربوهيدرات وجدران الخلايا وكذلك تدخل في الانزيمات ومنظمات النمو (Growth Regulations) والحوامض النووية والمواد العضوية الاخرى وكذلك مواد الـ Cofactors الا انها متوفرة دائما للنباتات بشكل ثاني اوكسيد الكاربون والماء ونادرا ما يحدث نقص لأي منها أما العناصر الضرورية الأخرى فهي:

١- **النتروجين:** يعتبر النتروجين من أهم العناصر الضرورية بعد العناصر الثلاثة المذكورة سابقا لانه يدخل في تركيب البروتينات والحوامض الأمينية وكذلك القواعد العضوية مثل Pyrimidines, purines وكذلك مركبات الـ porphyrins والـ Coenzymes ومن المعلوم ان القواعد العضوية مثل Pyrimidines, purines هي أقسام ضرورية داخلة في تركيب الحوامض النووية مثل (Deoxy Ribonucleic acid) DNA وكذلك (Ribonucleic acid) RNA أما الـ Porphyrins فهي تشترك في تكوين المركبات الحيوية المهمة مثل مركبات الكلوروفيل ومركبات Cytochrome وهي مهمة جدا في عمليتين التركيب الضوئي والتنفس شكل رقم (٧-١) أما الـ Coenzymes فهي مهمة لتنشيط عمل الانزيمات.

وعادة يأخذ النبات النتروجين بشكل ايونات الامونيوم NH^{+}_{4} والنترات NO^{-}_{3} والنتريت NO^{-}_{2} وبعض المركبات العضوية مثل اليوريا الا ان اغلب هذه المركبات النتروجينية يجب ان تختزل بتأثير الأنزيم (Nitrate Reductase) (شكل رقم ٢-١٣) إلى امونيا داخل جسم النبات قبل ان تدخل مجرى التمثيل إلى حوامض امينية وبروتين ومركبات عضوية أخرى.

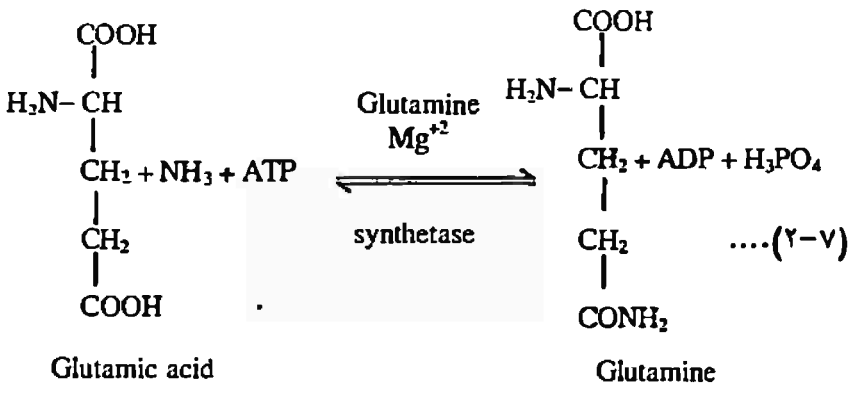
أما أهم التفاعلات الحيوية المسؤولة عن دخول او تمثيل الامونيا إلى مادة عضوية هي:

١- التفاعل الحيوى بين الأمونيا و a – Keto Acid مثل الحامض العضوي – a) Keto (glutaric Acid).



ان هذا الحامض الاميني قد يؤدي إلى تكوين احماض أمينية أخرى بتفاعلات (Transamin – ation) وتتجمع هذه الاحماض الأمينية بعمليات معقدة لتكون البروتين.

٢) التفاعل الحيوي الذي ينتهي بتكوين الـ (Gluatmine) وهو نوع من الـ Amide.



....(٢-٧)

ويشترك الـ (Glutamine) في تكوين القاعدة العضوية (Purine) التي تدخل في تكوين(Nucleotides) مثل, Adenosine Triphosphate (ATP), Guanosine Triphosphate (GTP) , Adenosine Diphosphate (ADP) وهي مركبات تشترك في تكوين الأحماض النووية (DNA) و(RNA) بالاضافة إلى انها مركبات مشحونة بالطاقة فتساعد في انجاز التفاعلات الحيوية.

٣) التفاعل الحيوي الذي يؤدي إلى تكوين المادة العضوية (Carbamyl Phosphate)

$$NH_3 + CO_2 + ATP \xrightarrow[\text{Carbamyl kinase}]{Mg^{+2}} ADP + H_2N-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-OPO_3H_2 \quad ...(٣-٧)$$

Carbamy Phosphate

والمادة (Carbamyl Phosphate) تشترك في تكوين القاعدة العضوية (Pyrimidine) والتي تدخل في تكوين (Nucleotides) بشكل Thymidine (CTP) Triphosphate (TTP) Cytidine Triphosphate Uridine (UTP) Triphosphate وهي مركبات تدخل في تكوين الأحماض النووية (RNA) (DNA) كذلك انها مركبات ذات طاقة.

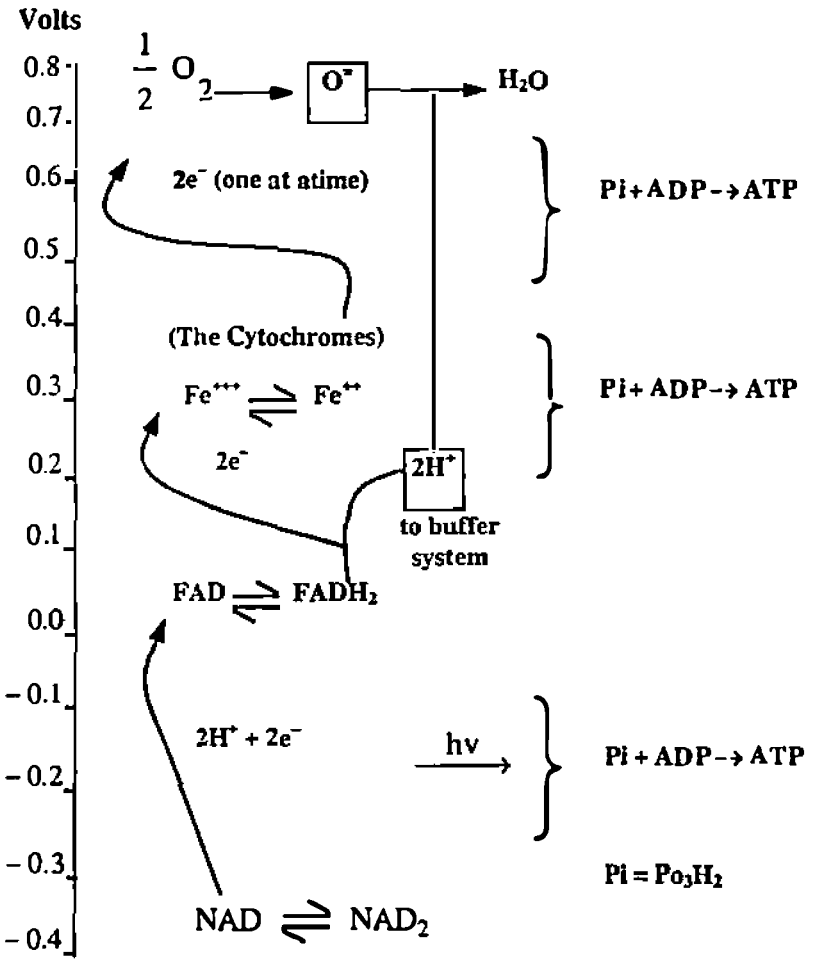
ان معظم الترب هي بحاجة للمركبات النتروجينية لسهولة فقدانه أثناء عملية الغسل وخاصة النترات او لتحويل بعض مركباته إلى غاز النتروجين المتطاير بتأثير بعض مجهريات التربة الحية ومن الجدير بالذكر ان نقص النتروجين في التربة يؤدي إلى قلة نمو النبات وظهور أعراض النقص المتمثلة بالاصفرار العام (Chlorosis) لقلة مادة الكلوروفيل في الاوراق القديمة التكوين شكل (٧-٢) ومن الاعراض الاخرى لنقص النتروجين في النبات هي تكوين صبغات أخرى غير الكلوروفيل كالانثوسانين (Anthocyanin) وقد تحدث هذه الحالة في سويقات وعروق أوراق الطماطة عندما ينقص النتروجين في التربة. كما ان الاستاذ عبد الهادي اسماعيل غني وجماعته (١٩٦٣) بينوا بعض أعراض نقص النتروجين التي تظهر على المحاصيل الخضرية كالطماطا مثلاً وأهمها صغر حجم النبات فوق سطح التربة وكبر حجم الجذور نسبياً وتصبح الاوراق صغيرة وتجف أطرافها وفي تقرير للدكتور يوسف حنا ١٩٧٥ أوضح بعض أغراض نقص النتروجين التي تظهر على أشجار الفاكهة ومنها بطئ سرعة النمو وقصر السلاميات وقلة عدد وصغر حجم الأزهار والاثمار والبذور. هذا وتصحح ظاهرة نقص التربة للنتروجين باضافة الاسمدة النتروجينية كسلفات الامونيوم او فوسفات الامونيوم او اليوريا بمعدلات تختلف باختلاف النباتات وخصوبة التربة والعوامل الحيوية الاخرى. أما اذا كان النبات نامياً في وسط غذائي ذو كمية كبيرة من المركبات النتروجينية فيظهر للنبات علامات الاخضرار الغامق وكثرة النمو الخضري وضعف السيقان وطراوة الأوراق مصحوباً بقلة في نمو المجموعة الجذرية بالاضافة إلى قلة في تكوين الازهار والبذور في النباتات.

ومما تجدر الاشارة إليه هو ان بعض النباتات التي تزدهر في النهار القصير تحتاج لكمية أكثر من الأسمدة النتروجينية لتساعدها على الازهار.

The Electron Transport System (Simplified)

(Receives 10 H^+ + 10e^- for each pyruvate

Receives 20 H^+ + 20 e^- for each glucose)

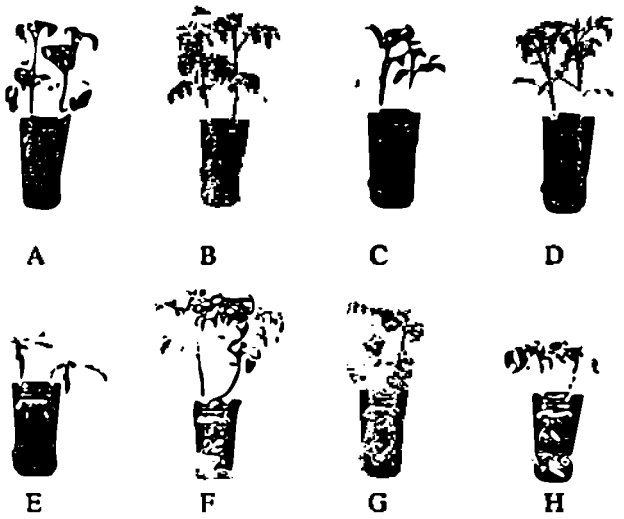


شكل رقم (٧-١): رسم تخطيطي لبعض التفاعلات الحيوية في عملية التنفس ويرى اشتراك الـ (Cytochromes) في نقل الالكترونات.

عن: Howard, 1972

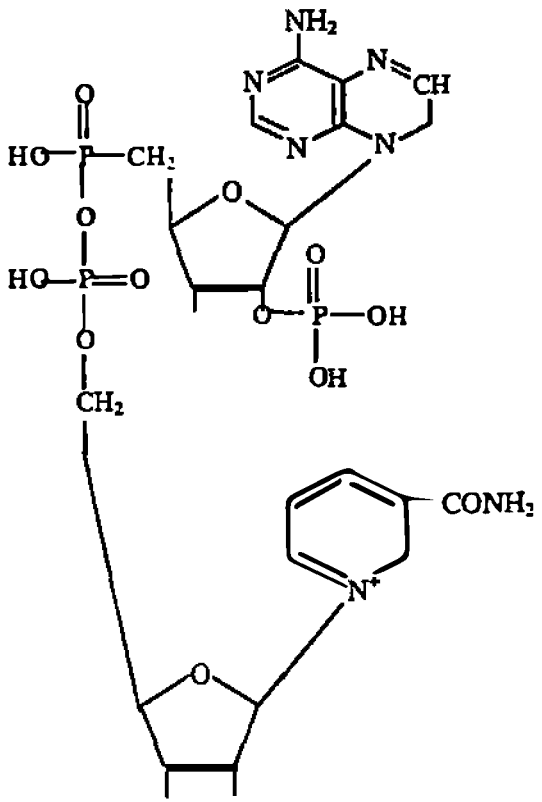
٢- الفسفور

يشترك الفسفور في تكوين الحوامض النووية والبروتينات النووية (nucleoprotein) وفي الاغشية الخلوية بصورة Phospholipids وكذلك مركبات الـ Coenzymes مثل NAD^+ وتعنى(Nicotine amide adenine dinucleotide) و$NADP^+$ وهي تعني ايضاً (Nicotine amide adenine dinucleotide phosphate) وكذلك FAD (Flavin adenine dinucleotide) (شكل رقم ٧-٣) وكذلك coenzyme A. بالاضافة إلى المركبات الناقلة للفوسفات وذات الطاقة العالية مثل المركب (PEP) أو Phosphoenol pyruvie acid وكذلك المركب ذو الطاقة ATP شكل رقم (٧-٤).



شكل رقم (٧-٢): توضيح علامات نقص العناصر الغذائية في نباتات الطماطا النامية في المحاليل الغذائية.

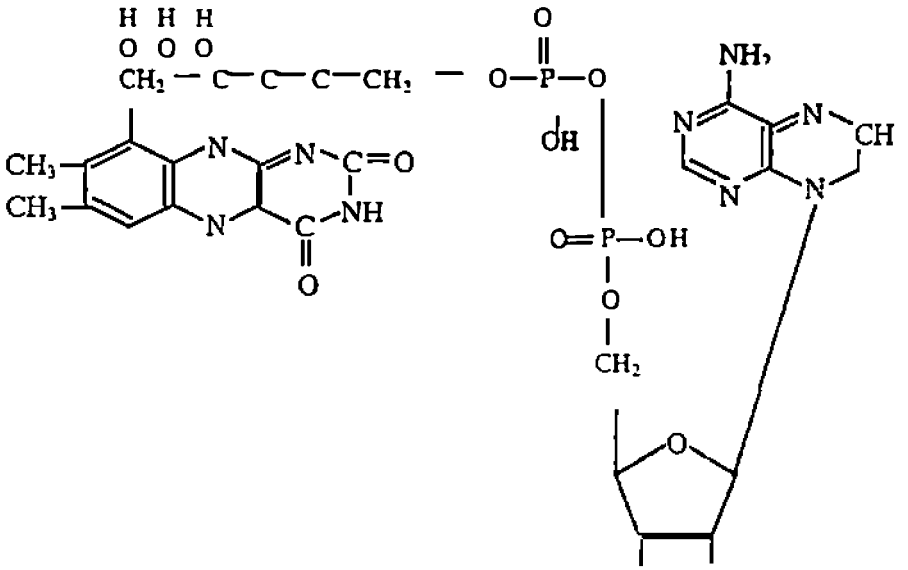
A نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذى كامل.
B نبات الطماطة القصيرة وراثياً النامية في محلول مغذي كامل.
C نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذي ينقصه الفسفور.
D نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذي ينقصه البوتاسيوم.
E نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذي ينقصه النتروجين.
F نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذي ينقصه الكبريت.
G نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذي ينقصه الكالسيوم.
H نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذي ينقصه الحديد.
I نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذي ينقصه المغنيسيوم.
J نبات الطماطة العادية النامية في محلول مغذي ينقصه بقية العناصر الغذائية.
عن: د. عبد العظيم كاظم محمد. ١٩٧٣. (Micronutrients)



Triphosphopyridine nucleotide (TPN^+),

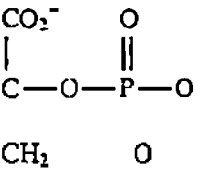
Mcotinamide – adenine dinucleotide phosphate ($NADP^+$)

Or coenzyme

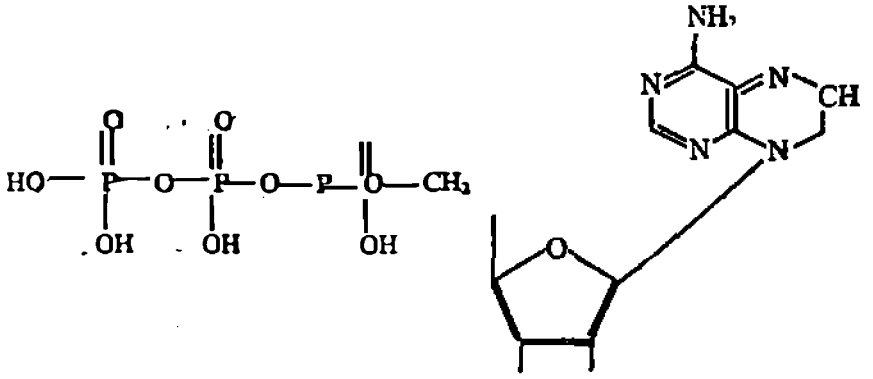


Flavin adenine dinucleotide (FAD)

شكل رقم (٧-٣): الصيغة التركيبية للمركب $NADP^+$ (الاعلى) والمركب FAD (الأسفل).



Phosphoenol – pyruvic acid



Adenosine – 5 – triphosphate (ATP)

شكل رقم (٧-٤): التصيغة التركيبية للمركب ذو الطاقة Phosphoenol pyruvate (PEP) الاعلى والمركب ذو الطاقة ATP.

هذا وتوجد المركبات الفوسفاتية بكثرة في الانسجة المرستيمية ذات الفعاليات الحيوية العالية ومن الجدير بالذكر ان الفسفور يوجد في التربة بشكل مركبات عضوية وغير عضوية وتجري على المركبات العضوية الفسفورية تحللات تؤدي إلى تحرر الفسفور غير العضوي في التربة كما قد تلتصق (adsorbed) ايونات الفوسفات بشدة على الطور الصلب solid phase في مكونات التربة مسبباً تركيزاً واطئاً من الفوسفات في التربة (Olsen, 1953).

وقد اثبتت تجارب Mc Auliffe et al, 1948 ان نسبة الفسفور المشع (P 32) في الطور الصلب إلى الفسفور المشع في الطور السائل تزداد بمرور الوقت عند اضافة فوسفات غير عضوية محتوية على (P_{32}) إلى التربة كما في الشكل رقم (٧-٥).

ان توفر الفسفور في التربة يعتمد على العوامل التالية:

١- تفاعل التربة pH كما ذكر سابقاً الـ pH يؤثر على تكوين ثلاثة أشكال مختلفة لأيونات الفوسفات في محلول التربة. فعندما تكون ظروف التربة حامضية تكثر الايونات ($H_2PO_4^-$) وحيدة الشحنة السالبة أما اذا ارتفع الـpH إلى المدى المعتدل (٧,٢٠) لذا تسود الايونات السالبة الثنائية الشحنة HPO_4^{-2} أما

الفوسفات الثلاثية الشحنة (PO_4^{-3}) فتوجد في الظروف القاعدية والتفاعلات التالية تبين تأثير الـ pH على تكوين حامض الفسفوريك كما أشار إليها Conn and Stumpf, 1967.

$$H_3PO_4 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_4^{-1} \quad Ka_1 = 7.5 \times 10^{-3} \quad Pka_1 = 2.12 \ldots (٤-٧)$$

$$H_2PO_4^{-1} \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^{-2} \quad Ka_2 = 6.23 \times 10^{-8} \quad Pka_2 = 7.2 \ldots (٥-٧)$$

$$HPO_4^{-2} \rightleftharpoons H^+ + PO_4^{-3} \quad Ka_3 = 2.2 \times 10^{-13} \quad Pka_3 = 12.66. (٦-٧)$$

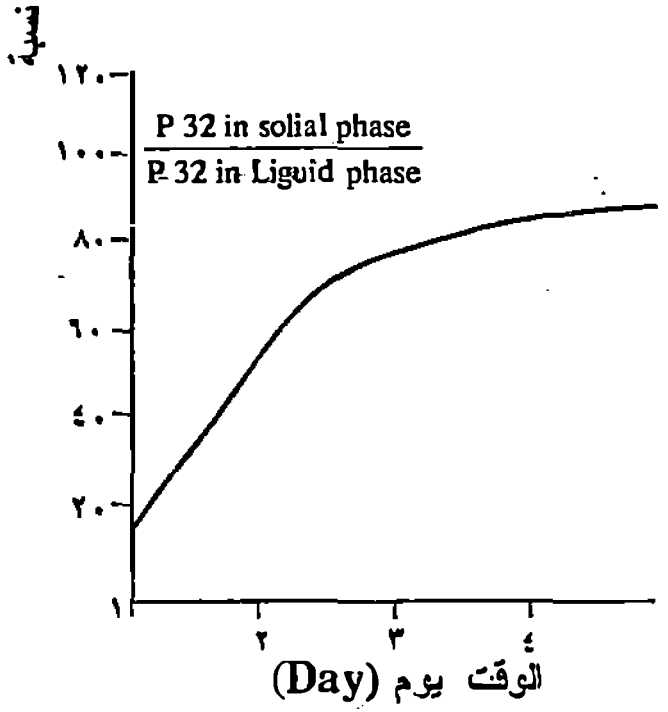
ومن هذه المعادلات الايونية نستنتج انه عندما يكون الـ pH حوالي (7.2) في محلول التربة توزع ايونات $HPO_4^{=}$, $H_2PO_4^{-}$ بشكل متكافئ وان هذين الشكلين من أيونات الفوسفات هما اللذان يستطيع النبات امتصاصهما عادة.

٢- كميات الحديد والالمنيوم العذابة: اذا اصبحت ظروف التربة حامضية جدا فان مركبات الحديد والألمونيوم ترسب الفوسفات كمركبات الحديد والالمنيوم الفوسفاتية والتي تكون غير متوفرة للنبات عادة (Cole and Jackson, 1950; Kittrick and Jackson, 1954) والمعادلات الكيمياوية التالية توضح كيفية حدوث التفاعل الكيمياوي.

$$Al(OH)_3 + H_2PO_4^- \longrightarrow Al(OH)_2HPO_4 + H_2O \quad \ldots (٧-٧)$$

$$Fe(OH)_3 + H_2PO_4^- \longrightarrow Fe(OH)_2HPO_4 + H_2O \quad \ldots (٨-٧)$$

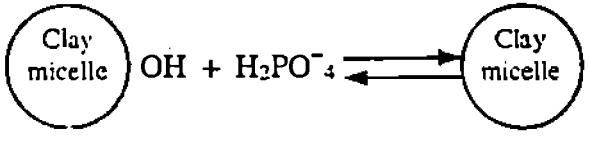
٣- وجود الكالسيوم ان كثرة الكالسيوم وخاصة كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ في التربة تؤدي إلى تكوين الشكل غير القابل للذوبان من فوسفات الكالسيوم $(Ca_3(PO_4)_2)$.



شكل رقم (٧-٥): تغير نسبة الفسفور المشع في الطور الصلب(P 32 in Solid Phose) إلى الفسفور المشع في الطور السائل (P 32 in liquid Phase) بمرور الزمن بعد اضافة كمية قليلة من الفوسفات غير العضوية الحاوية على (P 32) ولاحظ ازدياد (P 32) في الطور الصلب.
عن: Mcauliffe et al, 1948

٤- تبادل الايونات السالبة Anion Exchange

يحدث تبادل الايونات السالبة بين دقائق الطين الغروية وايونات الفوسفات حيث تتبادل مع ايون الهيدروكسيل (OH^-) الملتصق على سطح الدقائق الطينية.



(٧-٩)

ولأجل ارجاع التفاعل إلى اليسار يجب اضافة مركبات الكالسيوم lime للتربة حيث ان ايونات الكاربونات تحل محل ايونات الفوسفات التي تصبح عندئذ متوفرة للنبات.

٥- وجود الكائنات الحية المجهرية: ان وجود اعداداً كبيرة متوفرة من الكائنات الحية المجهرية في التربة سوف تقلل كمية الفسفور بالتربة بصورة مؤقتة نتيجة إلى استهلاك المركبات الفوسفورية غير العضوية في غذائها إلى ان تموت هذه الكائنات الحية وتتفسخ اجسامها ويرجع الفسفور للتربة ولكن بصورة متوفرة للنبات.

ان النبات الذي يأخذ الفسفور بشكل H_2PO^{-1} او HPO^{-2} سوف يستعمله في عملياته الحيوية (التمثيل) من اجل تكوين المواد العضوية وقد يحدث التمثيل اما في انسجة الجذر او بعد انتقالها في انسجة الخشب إلى الغصن الخضري او الاوراق.

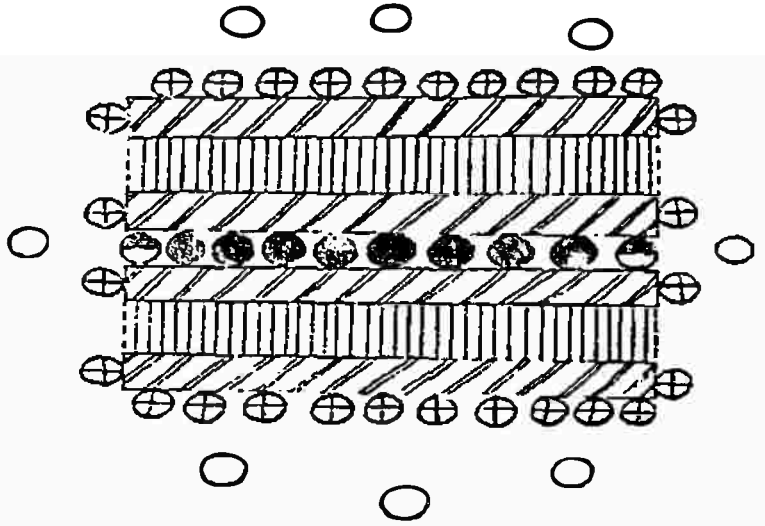
أما النباتات المصابة بنقص الفسفور فتظهر اعراضا قد تكون مشابهة لأعراض نقص النتروجين شكل (٧-٢) غير ان النباتات المصابة بنقص الفسفور تصبح داكنة الخضرة وتتجمع في أوراقها صبغة الـ Anthocyanin احيانا. وقد يقل كذلك نمو الجذر كما قد يتأخر نضج الحاصل وتتكون بقع بنية على الأوراق وسويقاتها والاثمار. تظهر عادة اعراض النقص على الاوراق القديمة لأن المركبات الفسفورية تنتقل وتتحول بسهولة من الأوراق والأعضاء النباتية القديمة إلى الأوراق الحديثة والأزهار المتفتحة والبذور المتطورة وعندما تظهر علامات نقص للفسفور فيجب اضافة بعض الأسمدة الفوسفاتية مثل السوبر فوسفات او فوسفات الامونيوم او الأسمدة المركبة بمعدلات تختلف باختلاف النبات والتربة والعوامل الجوية.

٣- البوتاسيوم:

يعادل توزيع البوتاسيوم ونقله من الاقسام القديمة إلى الأجزاء الحديثة النمو في حالات نقص البوتاسيوم في التربة كما هي الحال في النتروجين والفسفور وبالرغم من ان البوتاسيوم لا يشترك في تركيب الأجزاء النباتية الا ان نمو النبات وتطوره لا يحدث طبيعيا بغياب البوتاسيوم ويعتقد ان البوتاسيوم يشترك (بطريقة

ما غير معروفة) في أغلب العمليات الفسيولوجية الحية مثل تكوين البروتينات، صنع الكلوروفيل، التركيب الضوئي، امتصاص أوراق النباتات للماء، تمثيل للكاربوهيدرات ومحفزا لبعض الأنزيمات كالانزيم Pyruvate kinase التي تساعد في هدم الكاربوهيدرات.

هذا ويوجد البوتاسيوم في التربة بشكل مثبت (fixed) أو قابل للتبادل بالاضافة إلى شكل ذائب وعلى الرغم من أن أكثرية البوتاسيوم الموجود في التربة هو بالشكل غير المتبادل الا ان توفر البوتاسيوم من معادن حاوية عليه مثل Muscovite, Illite, Biotite يحدث



شكل رقم (٢-٦): تصميم يبين حالات وجود البوتاسيوم بصورة ذائبة – قابلة للتبادل – مثبته ومرتبطة بشبكة (Lattice) في معدن illite.

- طبقة من السيليكون والاوكسجين Si – O.
- طبقة من الالمنيوم والاوكسجين OH – O – H.
- ايونات البوتاسيوم الذائبة في محلول التربة.
- ايونات البوتاسيوم القابلة للتبادل.
- ايونات البوتاسيوم المثبتة (Fixed).
- ايونات البوتاسيوم المرتبطة بشبكة lattice.

عن: Wildander, 1958

عـــادة من جراء الـ (Weathering) وقد تبين Wiklander, 1958 كيفية حصول عملية تثبيت للبوتاسيوم وتحرره بالشكل المتوفر للنبات.

فخـــلال عمليتي الغسل (Leaching) و(Weathering) يحدث تحرر قسم من أيونـــات البوتاســـيوم الداخلـــة في شكل Lattice وتحتل الاماكن الفارغة بواسطة أيونات الهيدرونيوم H_3O^+ او المغنيسيوم أو الكالسيوم كما في شكل رقم (٧-٦).

أمـــا فـــي حالة اضافة مركبات البوتاسيوم كسماد بوتاسي للتربة فان أيونات البوتاســـيوم المضافة تحل محل أيونات المغنيسيوم والكالسيوم... الخ وتصبح مثبتة بدرجـــة أقـــل مـــن أيونات البوتاسيوم الأصلية وعند حدوث التوازن تكون حالات البوتاسيوم كالآتي:

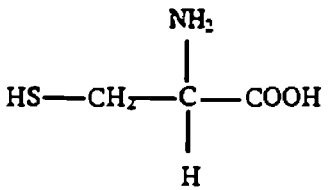
البوتاسيوم المثبت ⟷ البوتاسيوم القابل للتبادل ⟷ البوتاسيوم الذائب

البوتاسيوم الذائب	البوتاسيوم القابل للتبادل	البوتاسيوم المثبت
Soluble	(Exchangeable)	fixed
K	K	K

ومما هو جدير بالذكر ان امتصاص البوتاسيوم الذائب من قبل النبات يؤدي إلى تحويل التفاعل إلى جهة اليسار لغرض حصول توازن كيمياوي جديد.

هذا وتمتص جذور النباتات البوتاسيوم بشكل ايونات البوتاسيوم K^+ التي تكون مركباته متوفرة في أغلب الترب بكميات كافية وبصورة عامة فان مقدار البوتاسيوم في التربة أعلى من مقدار المركبات النتروجينية والفوسفاتية ولذا قلت كمية البوتاسيوم في التربة وهذا نادرا ما يحدث فان علامات نقص البوتاسيوم في النبات تظهر على شكل اسمرار واصفرار وجفاف حافات الأوراق شكل (٧-٢) وكذلك تصبح النباتات غير مقاومة لدرجات الحرارة المنخفضة ومعرضة للاصابة ببعض الأمراض النباتية وتصحح حالات النقص باضافة كلوريد البوتاسيوم او كبريتات البوتاسيوم بمعدلات تعتمد على التربة والنبات والظروف المناخية الأخرى.

٤- الكبريت



شكل رقم (٧-٧) الصيغة التركيبية الاميني Cysteine.

يشترك في تركيب بعض الحوامض الامينية مثل Cysteine شكل رقم (٧-٧) وMethionine... الخ.

التي تتحد مع احماض امينية أخرى لتكوين البروتين وكذلك يشترك الكبريت في تكوين بعض المركبات العضوية المهمة مثل Coenzyme A شكل رقم (٧-٨) الداخلة في العمليات الحيوية في التنفس وفي بعض الفيتامينات مثل Liopic acid, Thiamin, Biotin شكل رقم (٧-٩ أ، ب، جـ) وهي أجزاء من فيتامين B المعقد والتي تشترك في التفاعلات الحيوية. ويتدخل الكبريت في عملية صنع الكلوروفيل ولو أنه لا يشترك في تركيبه.

بالاضافة إلى ذلك فالكبريت يدخل في مكونات بعض الزيوت التي تعطي الصفات الحريفة في الثوم والخردل وبعض النباتات الأخرى.

يُمتص الكبريت بواسطة جذور النبات بشكل ايونات الكبريتات التي يعتقد بانها تتبادل مع ايونات الهيدروكسيل الموجودة في دقائق الطين بعملية تبادل الايونات السالبة anion exchange.

كما ان كمية قليلة من الكبريت تؤخذ بشكل ثاني اوكسيد عن طريق الاوراق (Always et al, 1937) ان الكبريتات الممتصة تنتقل إلى الغصن الخضرى دون أن يحدث أي تغير عليها ومن ثم تختزل غالبيتها إلى مجموعة (SH-) أو Sulfhydryl قبل ان تدخل مجرى التمثيل حيث تشترك في تركيب البروتينات والمواد الحية الأخرى.

وكما هو الحال بالنسبة لعمليتي اختزال (CO_2) في التركيب الضوئي والنترات (NO_3) اللتان تحتاجان إلى طاقة اختزال SO^{-2}_4 إلى Sulfide (S^{-2}) تحتاج إلى طاقة حسب المعادلة التالية:

$$SO^{-2}_4 + 8\ electrons + 8\ H^+ \xrightarrow{energy} S^{-2} + 4H_2O \quad ...(٧-١٠)$$

ويطلق على عملية اختزال الكبريتات إلى السلفايد (الكبريتد) (Sulfide) ومن ثم تصبح قابلة للتمثيل بـ (Sulfate Assimilation) وتشمل عدة تفاعلات حيوية مهمة وهي:

١- يعتقد بان اول تفاعل حيوي هو تنشيط السلفات بواسطة (ATP) لتكوين المركب (Adenosine Phosphosulfate) or (APS).

$$ATP + SO^{-2}_4 \xrightarrow{\text{sulfurylase}} APS + P{-}P \quad ...(١١-٧)$$

Adenosine Triphosphate — Adenosine Pyrophosphate Phosphosulfate

٢- ثم يليه التفاعل الذي ينتج (PAPS) Phosphoadenosine Phosphosulfate بمساعدة الانزيم (APS Kinase).

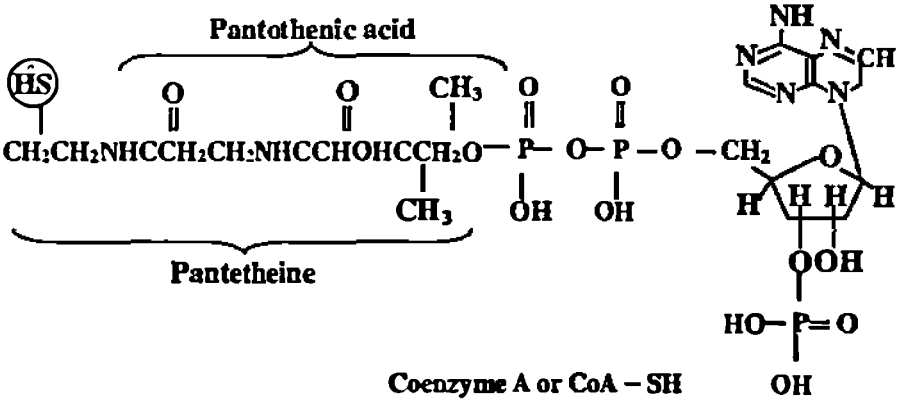
$$ATP + APS \longrightarrow PAPS + ADP \quad ....(١٢-٧)$$

Adenosine Diphosphate

٣- يشترك بروتين ذو وزن جزيئي صغير يسمى (Protein Cofactor) ويوجد بشكل مؤكسد أو Protein Disulfide الذي يختزل إلى شكل

Protein Dithiol

...(١٣-٧)

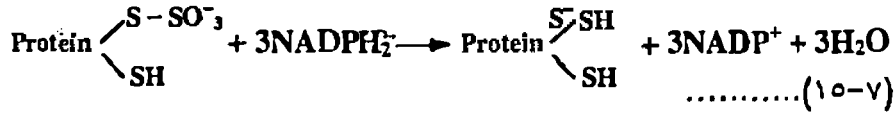


شكل رقم (٧-٨): الصيغة التركيبية للمركب Coenzyme A الحاوي على الكبريت

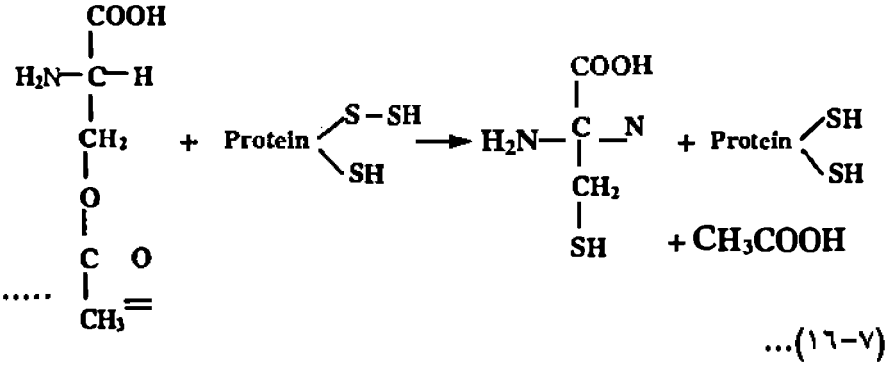
٤- إلـى الـــ (Protein Dithiol) يحـــتزل مادة (PAPS) بواسطة الانزيم المعقد (PAPS Reductase)

Phosphoadenosine Phosphate **Protein Thiosulfite**

٥- ان الـــ (Protein Thiosulfite) هـــو سام جداً لذلك يختزل بسرعة بستة (٦) للكـــترونات قـــد تجهز من ثلاثة (Moles) من ($NADPH_2$) وبمساعدة الانزيم (Sulfite Reductase).

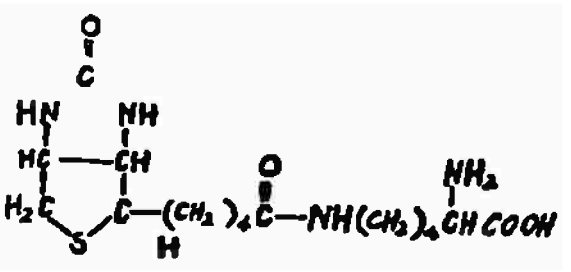


٦- والان يمكـــن ان يـــنقل ايون السلفايد (Sulfide) إلى احد المركبات مثل (O- Acetyl Serine) لـــيكون الحـــامض الامينـــي (Cysteine) ويحـــدث التفاعل بمساعدة الأنزيم (Cysteine Synthetase).



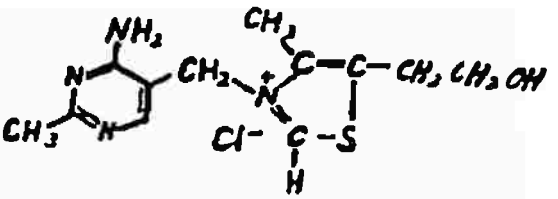
O – Acetyl Serine **Cysteine** **Acetic Acid**

ثم ان المركب (Protein Cofactor) بشكل (Dithiol) يستطيع ان يعيد الكرة مع(PAPS). هذا وقد توجد ميكانيكية لاختزال وتمثيل الـــلفت مقاربة لهذه المشروحة.

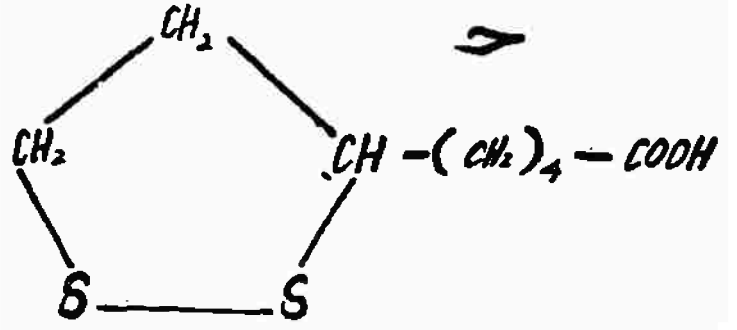


أ

ب



جـ



شكل رقم (٧-٩): الفيتامينات التي يدخل الكبريت في تركيبها.

أ- فيتامين (Biotion).

ب- فيتامين (B_1) أو (Thiamin).

جـ- فيتامين (lipoic Acid)

عن: Conn and Stumpf, 1967

هذا ويعتبر الكبريت من العناصر القابلة للنقل من جزء لآخر في النبات ولهذا يعتقد بأن المركبات الكبريتية العضوية قد تتحول إلى مركبات كبريتية غير عضوية كالكبريتات ومن ثم يعاد توزيعها ثانية للنبات.

أما الكبريت فيوجد بصورة رئيسية في القسم العضوي من التربة (Quastel, 1963).

والكبريت العضوي يصبح متوفراً للنبات بعملية الأكسدة الحيوية بفعل الأحياء المجهرية كما في المعادلات الكيمياوية التي وضعها Wiklander et al. 1950.

$$FsS + H_2O + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{chemical}} Fe(OH)_2 + S \quad ....(١٧-٧)$$

$$2S + 2H_2O + 3O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{biological}} 2H_2SO_4 \quad ....(١٨-٧)$$

وقد يوجد في بعض المعادن مثل Cobaltite, Pyrite, Epsomite, Gypsum وقليلا من الكبريتات $SO^{=}_4$ في التربة.

أما بالنسبة لوجود الكبريت في العراق ولا سيما المنطقة الشمالية فقد وجد بشكل عنصر الكبريت داخلا في بعض المعادن الكبريتية كصخور اللايمستون Limestone والدولومايت Dolomite ومارل Marl وقدرت الكميات المتوفرة في حقل المشراق بـــ(٢٠٠) مليون طن (Al – Samarrie, 1975) كما توجد كميّات هائلة من الكبريت في منطقة حمام العليل.

كما يوجد مصدر آخر لكبريت التربة وهو الكبريت الموجود في الهواء الجوي والذي يتصاعد من البراكين والمصانع وعندما تتساقط الأمطار تذوب بعض مركبات الكبريت وينزل للتربة (Wilson, 1926). هذا ويوجد الكبريت في معظم الترب بشكل كبريتات الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم ولهذا فنادراً ما نلاحظ ظهور علامات نقص الكبريت في النباتات التي ان وجدت فهي تشبه علامات نقص النتروجين وتشمل صغر الساق واصفرار عام في أوراق النباتات وخاصة

الأوراق الحديثة التكوين شكل رقم (٧-٢) وفي هذه الحالة تضاف كبريتات الكالسيوم لتعويض نقص الكبريت او رش النباتات بمحلول كبريتات الحديدوز.

٥- المغنيسيوم:

ان هذا العنصر يشترك في حدوث عمليتي التركيب الضوئي وتمثيل الكاربوهيدرات فبالنسبة للعملية الاولى يدخل المغنيسيوم في تركيب الكلوروفيل وهو يقع تقريباً في وسط جزيئة الكلوروفيل، أما بالنسبة للعملية الحيوية الثانية فالمعروف بأن العديد من أنزيمات تمثيل الكاربوهيدرات تحتاج إلى المغنيسيوم كمحفز لعملها ويعتبر توفر المغنيسيوم ومادة ATP مهمات في عملية هدم الكاربوهيدرات كذلك يعتبر وجود المغنيسيوم ضرورياً لتنظيم تجمع جسيمات الـRibosomes المكونة من Ribouncleoprateins والمهمة في عملية تكوين البروتينات.

هذا ويمتص النبات المغنيسيوم بشكل أيونات (Mg^{++}) ويعتبر العنصر سهل الانتقال من الاجزاء النباتية القديمة إلى الاجزاء الحديثة النمو ومن الطبيعي ان نقص المغنيسيوم في التربة يؤدي إلى قلة الكلوروفيل الذي يظهر على شكل اصفرار ما بين عروق الأوراق شكل رقم (٧-٢). ومما هو جدير بالذكر ان أغلب الترب حاوية على كمية كافية من مركبات المغنيسيوم، فالمغنيسيوم موجود في التربة بشكل ذائب وقابل للتبادل وبشكل مثبت Bould, 1963. كما اعتبرت كبريتات المغنيسيوم هي أكثر مركبات المغنيسيوم لانتشاراً في التربة والتي تبقي غير صالحة للنبات حتى تتم عملية الـ Weathering ويتحرر المغنيسيوم بالشكل الذائب.

كما لخص الباحثون Longstaff and Graham, 1951 مدى قابلية توفر المغنيسيوم في الجدول رقم (٧-١) والذي يدل على ان نمو نبات فول الصويا الطبيعي يحدث في مركبات المغنيسيوم Magnesite وOlivine وDolomite.

وفي حالات نقص المغنيسيوم في التربة وهي حالة نادرة جداً تضاف كبريتات المغنيسيوم والكالسيوم الممزوجين.

جدول رقم (٧-١). امتصاص المغنيسيوم بواسطة نبات فول الصويا من بعض التربة عن: Longstaff and Graham, 151

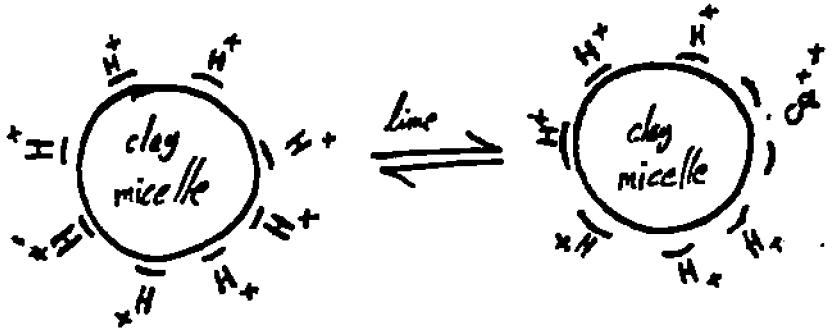
المعدن	النسبة المئوية للمغنيسيوم في النبات	امتصاص المغنيسيوم ملجرام /نبات نامي في سندقة واحدة	حالة نمو النبات
السيطرة	٠,١٦	١٦	توجد إعراض من نقص المغنيسيوم.
Control Hornblende	٠,١٥	١٧,٥	توجد اعراض من نقص المغنيسيوم.
Talc	٠,١٩	٢١,٢	توجد اعراض من نقص المغنيسيوم.
Magnesite	٠,٢٠	٤١,٨	النمو طبيعي
Olivine	٠,٢٤	٤٧,١	النمو طبيعي
Dolomite	٠,٢٩	٥١,٨	النمو طبيعي

٦- الكالسيوم

يوجد الكالسيوم في جدران الخلايا بشكل مركب Calcium pectate داخلا في تكوين الصفيحة الوسطى Middle lamella بين جدران الخلايا والذي يعمل على تماسك الجدران الأولية للخلايا المتجاورة ولهذا فالكالسيوم ضروري جداً لانقسام ونمو الخلايا المرستيمية في البراعم الورقية والزهرية والقمة النامية للساق والجذر لكثرة انقسام الخلايا وتكوين جدران الخلايا الجديدة في هذه الانسجة. اضافة إلى ذلك فالكالسيوم يؤثر في انتقال الكاربوهيدرات في الانسجة النباتية أيضاً.

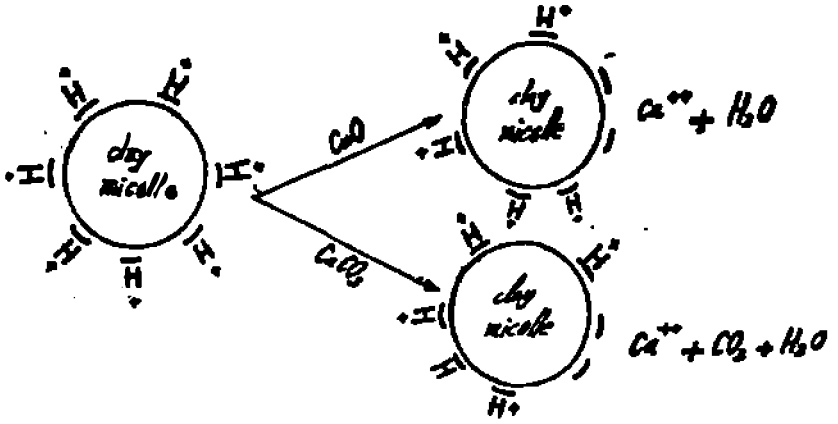
كما ان قسما كبيراً من مركبات الكالسيوم موجودة في فجوات الخلايا (Vacuoles) النباتية بشكل رواسب اوكزالات الكالسيوم وقد توجد اوكزالات الكالسيوم وكاربونات الكالسيوم مترسبة على طول الحزم الوعائية في الأوراق.

هذا ويمتص النبات الكالسيوم بشكل أيونات Ca^{++} وهو قليل التحول في الانسجة النباتية القديمة إلى الحديثة. وعلى الرغم من ان أيونات الكالسيوم هي الايونات الموجبة القابلة للتبادل في التربة الخصبة غير ان أغلبية الكالسيوم الموجودة في التربة هو من النوع غير القابل للتبادل بشكل مركبات الـ anorthine أما أيونات الكالسيوم القابلة للتبادل فهي عادة ملتصقة على سطح دقائق الطين كما في الشكل رقم (٧-١٠) الذي يوضح ظاهرة cation exchange في الحالات الحامضية او المعتدلة الحموضة حيث تعتبر الترب الحامضية جداً حاوية على كميات قليلة من الكالسيوم.



شكل رقم (٧-١٠): تأثير توفر الكالسيوم على دقائق الطين في الترب الحامضية حيث تتبادل ايونات الكالسيوم مع ايونات الهيدروجين (Cation exchange) .

ومن الجدير ذكره ان طريقة الـ liming تستعمل لمعالجة الترب الحامضية وذلك باضافة مركبات الكالسيوم بشكل اوكسيده أو كاربوناته (Millar et al, 1951) كما في المعادلة.



وتستعمل مادة الجبس ($CaSO_4$) لاستصلاح الاراضي المالحة والقلوية لأزالة أيونات الصوديوم العالقة على دقائق الطين في الترب المالحة (الصبخة) وفي أثناء غسل التربة لأزالة أملاح الصوديوم.

$$2NaCl + CaSO_4 \rightleftharpoons CaCl_2 + Na_2SO_4 \quad \ldots(٧-١٩)$$

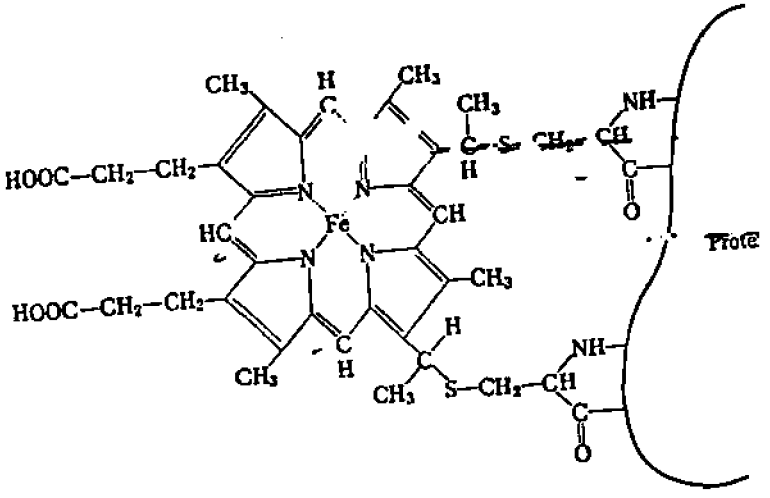
هذا ويجب ازالة الكميات الزائدة من Na_2SO_4 بوجود المبازل والا يحدث التفاعل العكسي وتصبح التربة مالحة مرة أخرى.

ان اهم اعراض نقص الكالسيوم هي قلة نمو الانسجة المرستيمية في البراعم المختلفة والقمة النامية للساق والجذر ونهايات الاوراق، ومن ثم موت هذه الاوراق شكل رقم (٧-٢) وتصحح حالات نقص الكالسيوم باضافة الجبس ($CaSO_4$) ممزوجا مع بعض الأسمدة الحيوانية أو الكيمياوية.

٧- الحديد

يشترك الحديد في وظائف العمليات الحيوية المهمة للنبات فمثلاً دور الحديد كعامل مساعد في تكوين الكلوروفيل في النبات كذلك وجد ان الحديد يشترك في

مركبات حيوية مهمة مثل الـ Cytochromes شكل رقم (٧-١١) التي تدخل في عمليتي التركيب الضوئي والتنفس شكل رقم (٧-١) وكذلك مركب الـ Ferredoxin المهم في عملية التركيب الضوئي وعملية اختزال النترات إلى امونيا والمسماة Nitrate Reduction. ويمتص النبات الحديد بشكله الايوني Fe^{++} أو بشكل مركب عضوي معقد عن طريق الجذور أو قد يؤخذ عن طريق الاوراق عند رش النباتات



شكل رقم (٧-١٢): الصيغة التركيبية للسايتوكروم Cytochrome الحاوى على الحديد.

بمركبات الحديد مثل كبريتات الحديدوز. وتتميز النباتات التي هي بحاجة للحديد بظهور اصفرار مابين العروق في الاوراق الحديثة التكوين اشبه بما يحدث عند نقص المغنيسيوم باستثناء ظهور هذه الاعراض في الاوراق الحديثة التكوين شكل رقم (٥) هذا ويعتبر الحديد من العناصر القليلة الانتقال لان مركباته قليلة الذوبان كذلك تعتبر معظم الترب غنية بمركبات الحديد وخاصة أكاسيد الحديد $Fe_2O_3.3H_2O$ والكبريتيدات (Bould, 1963) ان توفر الحديد للنبات يعتمد على تفاعل التربة pH حيث تتوفر مركباته في التربة الحامضية لانها تصبح قابلة للذوبان وقد تضاف لهذا الغرض بعض المركبات ذات التأثير الحامضي عند تحللها

بالماء مثل سلفات الامونيوم لما في حالات نقص الحديد في التربة فتضاف كبريتات الحديدوز لها.

٨- الكلور

يمتص النبات الكلور من التربة بصورة ايوناته Cl^- التي ربما توجد في الخلايا بهذه الصورة دون ان يشترك في التراكيب العضوية للخلايا ويعتقد بان احدى وظائف الكلور الرئيسية هي تحفيزه لاحدى انزيمات التركيب الضوئي مثل مساعدته في عملية تحلل الماء ضوئيا (Photolysis) شكل رقم (٤٢). بيد ان ميكانيكية هذه التفاعلات لازالت غامضة. ونادراً ما ينقص التربة العراقية عنصر الكلور.

ان أهم أعراض نقص الكلور في النباتات هي ذبول الأوراق واصفرارها وربما تصبح منخورة necrotic وقد تصبح الجذور قليلة النمو.

٩- المنغنيز

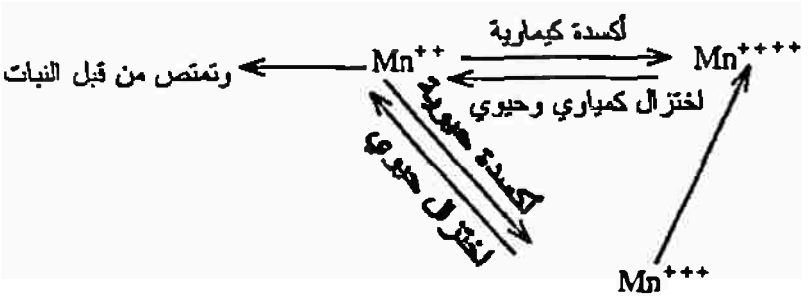
يؤخذ المنغنيز من قبل النباتات بشكل ايوناته Mn^{++} التي يعتقد بانها توجد بحالة ايونية داخل الخلايا النباتية كما هو الحال في الكلور كما ان النباتات تحتاج المنغنيز بكميات قليلة جداً لان كثرته تؤدي إلى نوع من التسمم Toxicity أما وظائف المنغنيز للنبات فهي متعددة ومنها تحفيز بعض الأنزيمات المتعلقة في تكوين الاحماض الشحمية وفي تكوين الحوامض النووية وكذلك في انزيمات التنفس المشتركة في دورة Kerbs cycle كما انه يدخل في عملية التركيب الضوئي وخاصة دورة تحلل الماء ضوئيا وخروج الاوكسجين شكل رقم (٦- ١).

ويعتبر المنغنيز من العناصر القليلة الحركة والانتقال في النبات وتتوقف حركته على الظروف المحيطة خاصة ما يتعلق بالـ pH والعناصر الثقيلة الأخرى ولذلك فقلة المنغنيز تؤدي إلى ظهور الاعراض على الأوراق الحديثة التكوين والتي تشمل تشوهات مختلفة وبقع رمادية اللون في الأوراق.

هذا وقد أظهرت تجارب (Leeper, 1947) بان أيونات المنغنيز الموجودة في التربة توجد بثلاثة أشكال منها الثنائية الشحنة (Bivalent) والثلاثية الشحنة (Trivalent) والرباعية (Tetravalent).

كما ان الشكل الأول هو القابل للتبادل والمتوفر للنبات وكذلك يوجد المنغنيز بشكل غير متوفر ومتحداً مع المركبات العضوية.

ومن الجدير ذكره ان تهوية التربة سوف تساعده على تكوين الشكل المؤكسد (Mn^{+4}) وغير المتوفر للنبات كما قد تحدث الأكسدة حيوياً (Mann and Quastel, 1946) كما في المعادلات التالية:



ان أكثر الترب حاوية على كميات كافية من مركبات المنغنيز ولكن توفرها للنبات يعتمد على تفاعل التربة pH وبصورة خاصة بين (٥,٥ - ٦,٥) لذلك قد يتلافى نقص المنغنيز باضافة الكبريت او كبريتات (سلفات) الامونيا او اضافة كبريتات المنغنيز إلى التربة او رشاً على الأوراق.

١٠- البورون:

يمتص النبات البورون باحدى أشكاله الايونية المختلفة مثل:

HBO^{-2}_3, $H2BO^{-1}_3$, $B_4O^{-2}_7$, BO^{-3}_3.

وهو من العناصر التي يحتاجها النبات بكميات قليلة جداً أما وظائف البورون فتعتبر غامضة وقد يلعب البورون دوراً مهماً في تكوين البروتينات وكذلك يؤثر بطريقة ما في اشراك الكالسيوم والبوتاسيوم في العمليات الحيوية كما انه ساهم في نقل الكاربوهيدرات ولقد وجد ان نقل السكر في اللحاء يتعلق بكمية البورون كما ان البقوليات تحتاج إلى البورون لتكوين العقد الجذرية.

هذا ويعتبر البورون من العناصر القليلة الانتقال في النبات لذلك يصعب اعادة توزيعه من أنسجة قديمة لاخرى جديدة عندما تحدث حالات نقص البورون النادرة جداً والتي تشمل تشوهات مختلفة راجعة إلى اتحلال الانسجة الداخلية وموتها في النبات كما ان الازهار قد لا تتكون.

ويعتبر البورون منتشراً في أ غلب الترب بشكل قابل وغير قابل للتبادل مثل مركب حامض البوريك H_3BO_3 او بورات الكالسيوم والمغنيسيوم كما يوجد بكثرة في الترب العراقية والمياه الجوفية كما ان القسم الذائب من البورون قليل جداً وقد وجد ان لرتفاع الـpH في التربة يؤدي إلى تقليل توفر البورون للنبات بسبب عدم ذوبان مركباته بيد ان (Drake, 1941) ادعى بأن توفر البورون للنبات لا يتأثر بتفاعل التربة.

وقد تضاف مركبات البورون لتلافي نقصه في التربة كبورات الصوديوم او حامض البوريك وقد تستعمل البوراكس $Na_2B_4O7.10H_2O$ رشاً على النبات او اضافته للتربة.

١١- الزنك

يمتص النبات الزنك بهيئة ايوناته Zn^{+} وهو من العناصر التي يحتاجها بكمية قليلة جداً. ويعتقد بان للزنك دوراً في تكوين الكلوروفيل او في تكوين هرمون الـ Indole 3 – acetic acid or Auxin (IAA) وكذلك في ازهار النباتات كما ان الزنك يشترك في تركيب بعض الأنزيمات مثل Carbonic anhydrase وأنزيم Alcohol dehydrogenase بالاضافة إلى أنزيم carboxylase الذي يسبب تثبيت CO_2.

ومما هو جدير بالذكر ان حالات نقص الزنك في النبات كثيرة الاحتمال ويؤدي النقص إلى نوع من التشوه مثل قصر الأوراق والساق فيسمى النبات (Rosette) وكذلك تشوه حافة الأوراق وتلون ما بين عروق الأوراق بلون أصفر أو اصفر مائل للبياض احياناً، هذا ويعتبر الزنك بصورة عامة غير متوفر بكميات كافية في التربة كما اشارت تجارب (Bould, 1963) بان الزنك يوجد في المعادن

الحديدية المنغنيز مثل (Magnetite) وBiotite وكذلك Hornbnblende وان عملية الـ Weathering تحرر الزنك بشكل ايونات موجبة ثنائية الشحنة والتي تلتصق على دقائق الطين والمادة العضوية وتكون قابلة للتبادل في التربة.

ويؤثر تفاعل التربة pH على توفر الزنك في التربة ووجد كذلك ان توفر الزنك يقل عند ازدياد الـ pH (Camp, 1945) كما ان الزنك قد يكون مركبات غير ذائبة مع فوسفات الكالسيوم الهيدروجينية ويمكن تلافي نقص الزنك باضافة كبريتات الخارصين للتربة او رشا على الأوراق.

١٢ - النحاس

يمتص النبات النحاس بشكل أيون النحاسيك Cu^{++} وقيلا بشكل ايون النحاسوز Cu^{+} وهو ضروري بكميات قليلية جداً لنمو النبات.

والنحاس يلعب دورا مهما في العمليات الحيوية في النبات فهو يدخل في عملية الاكسدة والاختزال في سلسلة الـ Electron Transport Chain في التنفس الهوائي. وكذلك يشترك في تكوين بعض الانزيمات المتعلقة بالاكسدة والاختزال مثل Ascorbic acid oxidase Phenolase and Laccase وهو قسم مهم في المركب Plastocyanin دورا مهما في عملية نقل الالكترونات من الماء إلى $NADP^{+}$ في التركيب الضوئي كما ان النحاس دورا مهما في عملية تثبيت النتروجين Nitrogen Fixation.

هذا وان نقص النحاس يؤدي إلى تكوين انسجة منخورة Necrotic وميتة في نهايات الأوراق الحديثة التكوين وقد ينتشر موت الانسجة على طول حافات الأوراق.

يوجد النحاس بصورة رئيسية في الصخور المعدنية كمركب $CuFes_2$ والذي يكون المصدر الرئيسي لكبريتيد النحاس في التربة (Bould, 1963).

أما كمية مركبات النحاس الذائبة في التربة فقليلة جداً. هذا ويعتبر أيون النحاسيك هو الملتصق على غرويات التربة الطينية والمواد القابلة للتبادل.

أما النحاس الموجود في التربة فقد يؤلف مركبات معقدة ثابتة مع المواد العضوية في التربة ويصبح غير قابلة للتبادل (Steenbjerg, 1950) وتعتبر الترب المتعادلة والقلوية غير مفتقرة للنحاس الا ان التربة الحامضية قد تفتقر للنحاس لذلك تضاف كبريتات النحاس للتربة لتلافي النقص او ترش الأوراق بها.

١٣- المولبيدنوم

ان المولبيدنيوم قد يمتص بشكل أيون المولبيدت MoO^{-2}_4 وهو من العناصر الضرورية جداً التي يحتاجها النبات بكميات قليلة.

هذا ويعتقد بان للمولبيدنيوم دورا فعالا في نقل الالكترونات أثناء عملية اختزال النترات إلى امونيا بواسطة مجموعة انزيمات Nitrate Reductase وهو كذلك يساهم في تثبيت النتروجين الحيوي Nitrogen fixation.

أما اعراض نقص المولبيدنيوم فقد تبتدئ باصفرار مابين عروق الاوراق السفلى وتبقعها ومن ثم تحلل وموت الأنسجة الموجودة في حافات الاوراق والتفاف الاوراق كما ان تكوين الازهار يقل.

يوجد المولبيدنيوم في التربة بثلاث أشكال هي الشكل الذائب في محلول التربة كأيون المولبيدات MoO^{-2}_4 والمولبيدات الاحادية الشحنة $HMoO^{-}_4$ كذلك يوجد الشكل الملتصق على دقائق الطين القابل للتبادل والشكل غير القابل للتبادل كجزء من مادة عضوية أو معدنية.

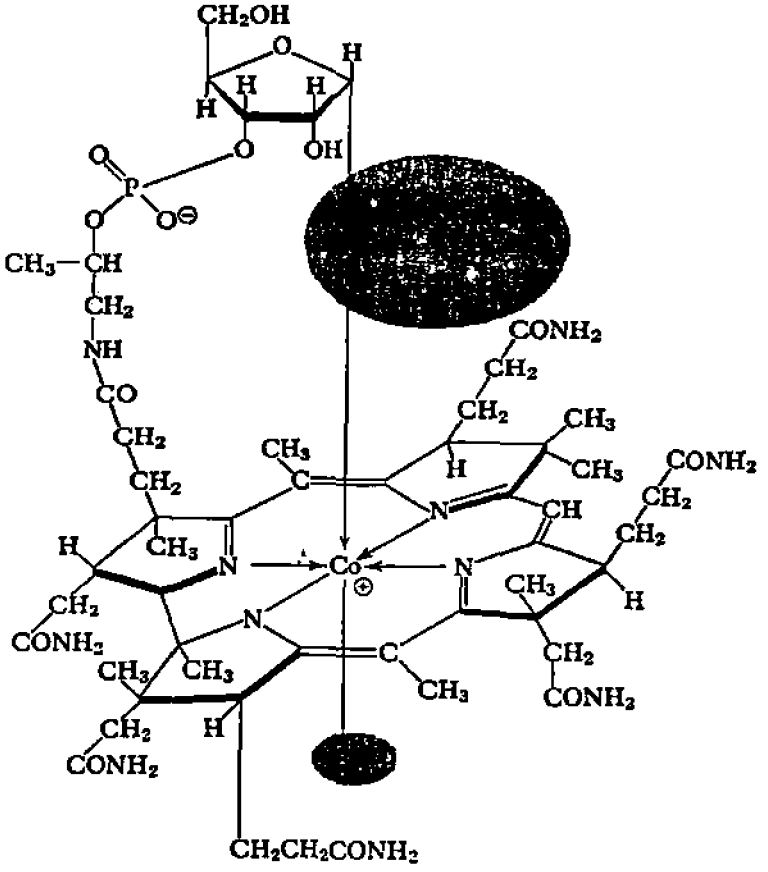
كما ان قسماً من المولبيدنيوم الموجود في التربة يكون على ثلاثة أشكال من الاكاسيد هي MoO_3 وMoO_2 وMo_2O_5 وتعتبر هذه الاشكال الثلاثة غير متوفرة للنبات باستثناء الشكل المؤكسد ومما تجدر الأشارة إليه ان حالة تأكسد عنصر المولبيدنيوم تجعله أكثر توفرا للنبات بعكس المنغنيز حيث يصبح الشكل المختزل هو المتوفر للنبات.

كما قد تتبادل ايونات المولبيدات $MoO^{=}_4$ مع ايونات الهيدروكسيل OH^{-} الموجودة في دقائق التربة كذلك يلاحظ أنه بعكس العناصر الصغرى يصبح توفر المولبيدنيوم قليلاً في التربة الحامضية (Barshad, 1951) لذلك تضاف كاربونات

الكالسيوم لرفع الـ pH بقصد جعله متوفرا للنبات وقد تضاف مولبيدات الصوديوم $Na_2MoO_4.2H_2O$ أو مولبيدات الامونيوم للتربة لتلافي نقص العنصر.

١٤ - الكوبلت

ان احتياجُ النبات للكوبلت لم يثبت بصورة قطعية بيد أن النباتات المضيفة للبكتريا المثبتة للنتروجين تحتاج الكوبلت وخاصة في العقد الجذرية Evans and Kliewer, 1964 غير ان (Wilson and Nicholas, 1967) نشروا تقريرا بان النباتات غير البقولية كالحنطة تحتاج الكوبلت لنموها. هذا وقد ثبت أن الكوبلت أحد مكونات فيتامين B_{12} (شكل رقم ٧-١٢).



شكل رقم (٧-١٢): الصيغة التركيبيه للمركب فيتامين B_{12}.

العناصر شبة الضرورية

وهـــي العناصر التي تحتاجها بعض النباتات وتحت ظروف معينة من النمو (Regland, 1970).

١) الصوديوم:

يعتبر الصوديوم ضروريا لبعض النباتات الملحية (Alriplex sP.) وقد يكون مهما في تثبيت الـ (pH) البروتينات (Protein Stabilization) ما يعتبر الصوديوم ضروريا لعدد من الاشنات الزرقاء الخضراء النامية في المياه العذبة أو المالحة. أما في النباتات الراقية فقد يلعب الصوديوم دورا محفزا في بعض العمليات الحيوية على الرغم من عدم وجوب توفره.

٢) اليود:

يعتبر ضروريا لبعض الاشنات الحمراء والسمراء التي تمتص اليود وتكون المركبات العضوية الحاوية على اليود.

٣) الفناديوم:

تجمع عدة أشنات بحرية وبعض النباتات الراقية هذا العنصر السام على الرغم من عدم توفر المعلومات بشأن تجمع الفناديوم في تلك النباتات.

٤) السيليكون:

يتجمع هذا العنصر في عدد من النباتات بشكل حبيبات السيليكا وخاصة في عدد من الحشائش. ويلعب دورا ثانويا في النقل والعمليات الحيوية.

بعض العناصر الأخرى

ان هذه العناصر لا يحتاجها النبات ولكنها يمكن أن تدخل مجرى العمليات الحيوية في حالة تجهيزها للنبات وهي غالبا ما تكون سامة للنبات أو الحيوانات أكلة النباتات وتشمل:

١) السيلينيوم Selenium

وهو يشبه الكبريت وقد يدخل في تركيب الاحماض الامينية بدلا من الكبريت ولهذا تصبح هذه الاحماض الامينية الحاوية على السيلينيوم مانعة(Inhibitors) في

تكوين البروتينات بالرغم من أن بعض النباتات لا تتأثر بوجوده كثيراً. مثل العشب (Astragalus sp.) وسبب هذا النبات تسمم الحيوانات في استراليا.

٢) البروم:

يتجمع في بعض الأشنات الحمراء وقد يتحول إلى مركبات عضوية في هذه النباتات كما أنه قد يعوض تأثير الكلور في عدد الأنواع النباتية وهو سام بدرجة قليلة جداً لأنواع أخرى من النباتات.

٣) الفلور:

يتجمع بشكل أيونات (F^-) في نباتات مختلفة مثل نبات Camellia sinensis ويتحول إلى مركبات عضوية في قسم قليل من النباتات وهذه المركبات سامة جدا للحيوانات.

٤) السترونتيوم: Strontium

ينافس الكالسيوم ويحل محله في عدد من الأشنات. يتكون النظير (Isotope Sr^{90}) من التفجيرات النووية ويكون هذا النظير ذو طاقة عالية وذو (half life) طويلة جداً ويتساقط على الحشائش والادغال والتي تأكلها الابقار والاغنام ثم يظهر Sr^{90} في حليب هذه الحيوانات الذي يستعمل كغذاء للأنسان ويتجمع في عظام الانسان مسبباً التشوهات.