التغذية المعدنية للنبات Plant Mineral Nutrition

- هو علم يختص بجاهزية العناصر وامتصاصها وتمثيلها في النبات.
- **التمثيل الغذائي Assimilation:** هي عملية تكوين مركبات ذات طاقة من مركبات ليس فيها طاقة. مثلاً (H_2O, CO_2) ليس فيهما طاقة بينما الكاربوهيدرات (CHO) بها طاقة عالية. عند حرقها نحصل على طاقة عالية، اذن عملية التمثيل هي اقحام العناصر في مركبات لانتاج طاقة عالية من مركبات ليس فيها طاقة.
- **الايض الحيوي Metabolism:** هو استخدام هذه المركبات (الناتجة من التمثيل) للابقاء على حيوية الكائن الحي، مثلا تحول الكاربوهيدرات الى دهون التي تحتاجها النباتات تسمى ايض لكي يبقى الكائن الحي في ديمومة.
- للنبات القدرة على بناء جميع المركبات العضوية الضرورية من مركبات لاعضوية وعناصر يحصل عليها من البيئة (ذاتية التغذية Autotrophic).
- (H_2O, CO_2) توفر للنباتات كل ما تحتاجه من الكربون والهيدروجين والاوكسجين.
- **المعدن Mineral:** عنصر لا عضوي غالباً ما يحصل عليه النبات بشكل آيونات لاعضوية من التربة.
- **المغذي Nutrient:** المادة التي يحتاجها النبات لكي يعيش او المادة الضرورية لبناء المركبات العضوية.
- عند تجفيف المواد النباتية الطرية بدرجة حرارة 70-100 مْ لمدة يوم او يومين، سيفقد كل الماء تقريباً وما يبقى يسمى الوزن الجاف Dry Weight (DW) الذي يتراوح ما بين 10-20 % من الوزن الطري.
- ان اكثر من 90 % من الوزن الجاف لاغلب المواد النباتية يتكون من العناصر (H, O, C) (وهي العناصر الرئيسة للمركبات العضوية).
- هذا يعني ان العناصر المعدنية في المواد النباتية تشكل 10-20 % من الوزن الجاف وهذه العناصر تمثل المكونات المعدنية للنبات.

نسبة (H, C, O) في النبات مشابهة لنسبتها في الكاربوهيدرات، وهذا يوضح ان اغلب المادة الجافة مصدرها جدران الخلايا وان السايتوبلازم ومحتوياته يشكل نسبة قليلة من الوزن الجاف. اكثر من (H, C, O, N) %95

Essential Element	Available form	Conc. In Dry Tissue	
		mg/kg	%
A. Micronutrients			
Molybdenum (Mo)	MoO_4^{2-}	0.1	0.00001
Nickel (Ni)	Ni^{2+}	–	–
Copper (Cu)	Cu^{2+}	6	0.0006
Zinc (Zn)	Zn^{2+}	20	0.0020
Manganese (Mn)	Mn^{2+}	50	0.0050
Boron (B)	$B(OH)_3$	20	0.0020
Iron (Fe)	Fe^{3+}, Fe^{2+}	100	0.010
Chlorine (Cl)	Cl^-	100	0.010
B. Macronutrients			
Sulphur (S)	SO_4^{2-} SO_3^- $S_2O_3^{2-}$	1000	0.1
Phosphorous (P)	$H_2PO^-_4$, HPO_4^{2-}	2000	0.2
Magnesium (Mg)	Mg^{2+}	2000	0.2
Calcium (Ca)	Ca^{2+}	5000	0.5
Potassium (K)	K^+	10,000	1.0
Nitrogen (N)	NO_3^-, NH^+_4 $CO(NH_2)_2$	15,000	1.5
Oxygen (O)	O_2, H_2O, CO_2	450,000	45
Carbon (C)	CO_2	450,000	45
Hydrogen (H)	H_2O	60,000	6

العناصر الاساسية The Essential Elements

- ان وجود العنصر في النبات لا يعني انه عنصر اساسي.
- ان العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات وتكوينه تعتبر عناصر اساسية.
- يعتبر العنصر اساسياً اذا: (حسب Epstein, 1972)

1- لا يمكن للبنات اكمال دورة حياته بشكل طبيعي بدونه.
2- ان يدخل في تركيب جزيئة احد مكونات النبات الاساسية او نواتجه الايضية.
3- ان يكون تأثيره مباشراً في ايض النبات.
4- لا يحل محله اي عنصر آخر.

تقسم العناصر (المغذيات) الاساسية الى مجموعتين هما:

- **المغذيات الكبرى (Macronutrients):**

يحتاجها النبات بمقادير كبيرة نسبياً (اكثر من 30 ملي مول/ كغم وزن جاف)، وغالباً ما تكون اساسية في تركيب الجزيئات، وعددها 9 هي: (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S).

تركيز المغذيات الكبرى في المحاليل الغذائية 10^{-3} – 10^{-2} مولار.

- **المغذيات الصغرى (Micronutrients):**

يحتاجها النبات بمقادير صغيرة نسبياً (اقل من 30 ملي مول/ كغم وزن جاف)، وغالباً ما تؤدي دوراً اساسياً في تنشيط الانزيمات، وعددها 8 هي: (Fe, Mo, Cu, Zn, B, Mn, Cl, Ni).

تركيز المغذيات الكبرى في المحاليل الغذائية 0.1 – 1 ملي مولار

- ان تقسيم المغذيات الى كبرى وصغرى لا علاقة لها بمستوى الاهمية فجميعها اساسية ولا يمكن للنبات اكمال دورة حياته بشكل طبيعي عند غياب اي منها، ان التقسيم له علاقة بالكمية او التركيز الذي يحتاجه النبات في نموه فقط.
- ان اثبات اساسية المغذيات الصغرى ليس سهلاً لان النبات يحتاجها بمقادير ضئيلة ومثل هذه التراكيز يمكن وجودها في شوائب الماء او مع املاح المغذيات الكبرى.
- ان اساسية النيكل (Ni) هو بسبب كونه احد المكونات الاساسية لانزيم Urease الموجود في النبات والاحياء المجهرية وبعض اللافقريات البحرية وهو الانزيم الذي يساعد في التحلل المائي لليوريا الى NH_3 و CO_2، وقد وجد ان نقصه يؤدي الى انتاج بذور غير حيوية في نبات الشعير.

العناصر النافعة (المفيدة) Beneficial elements

- وهي عناصر غير اساسية لنمو النباتات الخضراء لكنها قد تساعد او تحسن نمو بعض النباتات، ولا تعد اساسية ولا تؤثر على فعالياته الحيوية. ومنها:
- الصوديوم (Na): يفيد النباتات المتحملة للملوحة (Halophytes) مثل نبات الرغل *Atriplex* Spp. وانواع عديدة اخرى. يسبب موازنة ازموزية وآيونية.
- الكوبالت (Co): مهم للطحالب والاحياء المجهرية، وضروري للبقوليات التي تعتمد على النتروجين المثبت من الجو من قبل بكتريا العقد الجذرية (عند نقص النتروجين)، ولا تحتاجه عند توافر النتروجين.
- السليكون (Si): مفيد لبعض الحشائش او محاصيل الحبوب كالرز او الذرة، ويكوّن (Si) نسبة 1-2 % من الوزن الجاف. واساسي للدايتومات.

واهميته للحشائش من خلال تراكمه في جدران الخلايا (خاصة خلايا البشرة) فيؤدي دوراً في حمايتها من الاصابة بالفطريات ومقاومتها للاضطجاع عند هبوب رياح شديدة او امطار.

بعض العناصر يكون وجودها مفيد عند غياب عناصر اخرى مشابهة لها في خصائصها مثل الربيديوم (Rb) الذي يحل محل (K) عند نقصه، والسترونيوم (Sr) الذي يحل محل (Ca) عند نقصه.

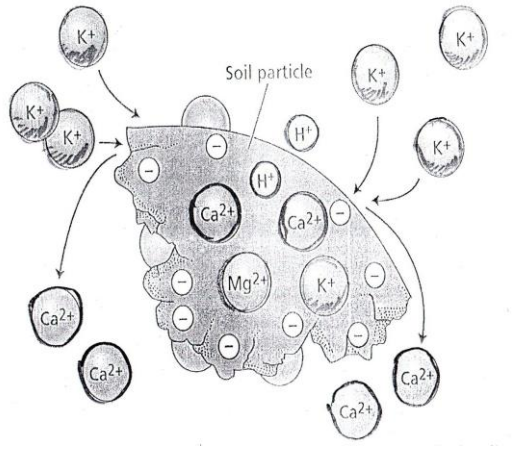
العناصر النادرة Rare nutrients

مجموعة من العناصر ليست غذائية، وجد ان وجودها بكميات منخفضة جدا مفيد لفعالية بعض النباتات، الا ان ارتفاعها ولو بصورة منخفضة يجعل منها عناصر سامة للنبات وكذلك الحيوان الذي يعيش على تلك النباتات مثل (Pb, Hg, Br, F, Cl)

العناصر الغذائية في التربة

- باستثناء الـ (O, H, C) المشتقة من (H_2O, CO_2)، فان النبات يحصل على جميع العناصر الغذائية بشكل آيونات غير عضوية من التربة، اي ان التربة هي وسط لتغذية النبات.
- تختلف الترب اختلافاً كبيراً بالنسبة لمكوناتها وتركيبها واحتواءها على المغذيات.
- ان دقائق التربة (العضوية وغير العضوية) والغرويات تحتفظ بالمغذيات من خلال الادمصاص (الامتزاز) Adsorption وتحررها الى محلول التربة لتصبح ميسورة للامتصاص من قبل الجذور.
- ان دقائق الطين الغروية ذات شحنات سالبة هائلة ولها القدرة على امتزاز الآيونات الموجبة (cations) على سطوحها ولها قابلية التبادل الآيوني مع محلول التربة ومع الجذور.
- بما ان شحنات الطين سالبة لذلك فان تبادل الآيونات السالبة (anions) في التربة ضعيف ولاتمسك بدقائق التربة وتنزل الى اعماق التربة (الى المياه الجوفية) وهذا هو سبب اضافة المغذيات (الاسمدة) سالبة الشحنة كالنترات (NO_3^-) بكميات قد تصل اكثر من ضعف الحاجة الفعلية للنبات، لان نسبة كبيرة منها تنزل الى المياه الجوفية ومنها الى الانهار والبحيرات مسببة الاثراء الغذائي (المحفز لنمو الطحالب).

تأثير التربة على امتصاص الآيونات



امتصاص الآيونات Ion Absorption (Uptake)

- ان امتصاص المغذيات المعدنية يعني يجب ان تمر من خلال الغشاء البلازمي (plasma membrane) لانها تشكل الحاجز الرئيس بين الخلية والوسط الخارجي،
- اذ ان جدران الخلايا والمسافات البينية لا تشكل حاجز أو عائق بينهما وتسمى (Free Space)، ويشكل حجمها 10-25 % من حجم انسجة الجذر،
- وان انتشار الآيونات بين المحيط الخارجي والفراغ الحر بدون اي عائق حتى يصل الى التوازن، ويمكن للآيونات الداخلة ان تخرج مادام هناك فرق بالتركيز.

طرائق الامتصاص الرئيسة

- ان التطور في معرفة تفاصيل تركيب الغشاء الخلوي ادى الى انبثاق نظريات تفسر كيفية امتصاص العناصر عبر الغشاء. وهناك 3 مفاهيم اساسية هي:

1- الانتشار البسيط 2 - الانتشار المُيسر 3- الامتصاص الفعّال (النشط).

الانتشار البسيط Simple Diffusion

- انتشار الجزيئات في المحلول من منطقة الى اخرى يعتمد على الفرق في التركيز.
- الاغشية الخلوية تتميز بخصائص دهنية (Lipid)، لذلك فأن جزيئات المادة المذابة غير القطبية (non-polar) تميل للمرور عبر الغشاء بسرعة اكبر (من خلال ذوبانها في طبقتي الدهون Lipid (bilayer).
- عدد الجزيئات المهمة بيولوجياً غير القطبية هي قليلة (O_2 و CO_2 و NH_3).

الانتشار الميسر Facilitated Diffusion

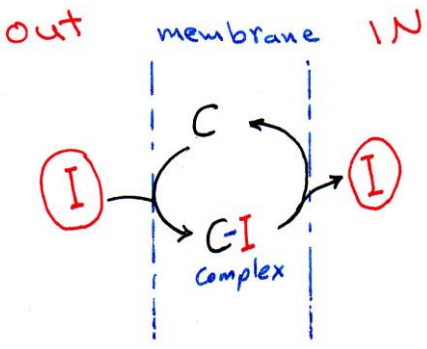
- الشحنات ودرجة الاماهة العالية (hydration) تجعل الآيونات غير ذائبة في الدهون، وبذلك تمنع دخولها الى الاغشية.
- الاغشية تحتوي على بروتينات والعديد منها تعمل كبروتينات ناقلة (Carrier proteins) والقنوات البروتينية (Channel proteins) وهي بروتينات انتخابية تسمح بمرور الجزيئات ذات الشكل الواحد او مجموعة متقاربة من الجزيئات.
- البعض منها تُسهل انتشار المواد المذابة (خاصة المواد ذات الشحنات والآيونات) الى داخل الخلية بالتغلب على مشكلة الاذابة.
- وكذلك الجزيئات غير المشحونة.
- الانتشار المُيسر استعمل لوصف عملية تيسير (تسهيل) الانتشار السريع للمواد عبر الاغشية.
- ان اتجاه الانتشار المُيسر يتحدد بفرق (منحدر) التركيز (concentration gradient) بالنسبة للجزيئات غير المشحونة.
- او بالمنحدر الكهروكيميائي (electrochemical gradient) بالنسبة للآيونات.
- اي انه باتجاهين.

- ان النقل بالانتشار (البسيط والمُيسر) هو عملية امتصاص سلبي (حر) (passive process) ويتميز:
- 1- مستقل عن الفعاليات الايضية، اي لا يحتاج الى طاقة حيوية لحدوثه.
- 2- رجوعية (Reversible)، باتجاهين.
- 3- غير انتقائية (non–selective) اي لا تميز بين آيون وآخر.

البروتينات الناقلة (Transport Proteins)

1- البروتينات الحاملة (Carrier Proteins):

- تسمى ايضاً حوامل او نواقل (Carriers or Transporters):
- كل حامل متخصص لآيون معين.
- ارتباط الآيون بالحامل يؤدي الى تغيّر في شكل البروتين الحامل.



- موقع فعّال متخصص- طاقة - تنشيط الحامل (C) - يتحد مع الآيون مكوّن معقد (CI) - ينتقل الى الجانب الاخر من الغشاء ويحرر الآيون .... وتتكرر العملية.

2- البروتينات الناقلة (Channel Proteins):

هي قنوات مشحونة ومملوءة بالماء تمتد عبر الغشاء. متخصصة بنوع معين من الآيون، وتعتمد على حجم اماهة الآيون (hydrated size) وشحنته.

وتوجد البوابات (Gates) في القنوات البروتينية، والتي تفتح للآيون المناسب في حجمه وشحنته.

- جميع القنوات البروتينية والعديد من الحوامل تسمح بالانتشار المُيسر.

- تكمن اهمية الحوامل في انتقاء المادة او الآيون المسموح له بالنفاذ الى الخلية او الخروج منها.
- اما القنوات فتكمن اهميتها عندما يتطلب الامر امتصاص كميات كبيرة من المادة وبسرعة (خاصة الآيونات اوالمواد المشحونة)،
- فالقناة تسمح بمرور 10^8 جزيئة او آيون بالثانية،
- بينما الحامل فيسمح بمرور 10^4-10^5 جزيئة / ثانية.

الامتصاص الفعّال (النشط) Active Uptake

- هي عمليات الامتصاص (السريعة والمتخصصة) والتي تؤدي الى تراكم الآيونات داخل الخلية (في الفجوات)، والتراكم (Accumulation) هو زيادة الامتصاص عكس منحدر التركيز او الكهروكيميائي. ومن مميزاته:

1- غير تلقائي: يحتاج الى طاقة ايضية لحدوثه.

2- تراكمي (غير رجوعي): الحركة باتجاه واحد.

3- انتقائي (متخصص) Selective: يميز بين آيون وآخر.

يحدث من خلال البروتينات الناقلة، ويسمى بعملية الضخ (pumps).

مخطط يوضح تبادل الآيونات والمواد عبر الغشاء الخلوي

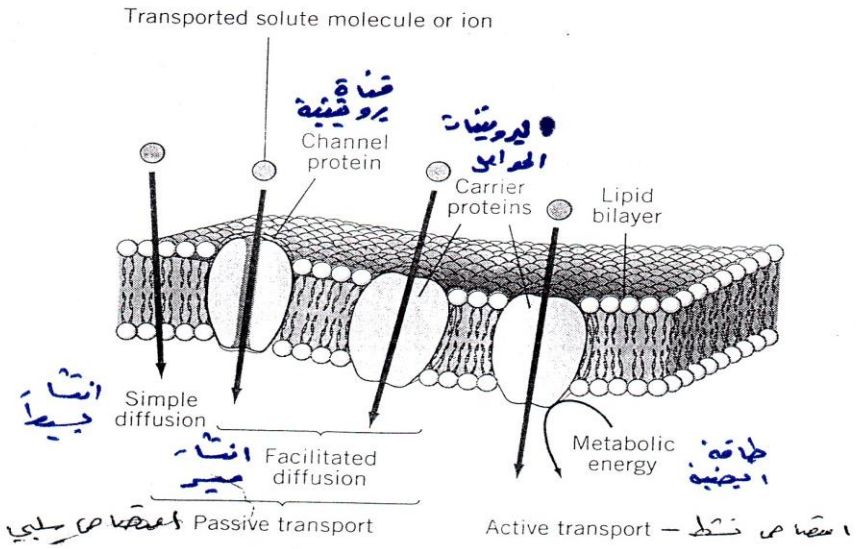


FIGURE 2.7 The exchange of ions and solutes across membranes may involve simple diffusion, facilitated diffusion, or active transport.