وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الانبار – كلية الزراعة
قسم علوم التربة والموارد المائية
المرحلة الاولى

المحاضرة السابعة

بسم الله الرحمن الرحيم

العناصر الغذائية المهمة في التربة وعلاقتها بنمو النبات

ان اهم وظائف التربة بالنسبة لاستمرار الحياة على الارض هو قابلية التربة على تهيئة الظروف الملائمة لنمو النبات وانتاج الغذاء وتحسين البيئة التي نعيش فيها. وتعرف انتاجية التربة بقابليتها على انتاج محصول معين او تتابع من المحاصيل في الظروف البيئية وتحت نظام ادارة معين. ويعتمد الانتاج عادة على جميع عوامل نمو النبات التي يعتمد بعضها على الظروف الجوية والبعض الاخر على ظروف التربة والعوامل الوراثية للنبات. فمن الجو يحصل النبات على الطاقة الشمسية (الضوء والحرارة) وثاني اوكسيد الكاربون، اما التربة فتقوم بتثبيت جذور النبات وتجهيزه بالعناصر الغذائية والماء والهواء. كذلك تتأثر الانتاجية ببعض العوامل السلبية الامراض والحشرات والعناصر المثبطة او السمية سواء في التربة او في الجو. ويمكن الحصول على اعلى انتاج عندما تكون جميع عوامل النمو مقاربة للمثالية. وبما ان كمية الضوء الحرارة التي يتلقاها النبات في منطقة معينة تعتمد على الظروف الجوية فانه ليس بالإمكان السيطرة عليها بدرجة كبيرة.

التربة وتغذية النبات

تحصل النباتات النامية على سطح اليابسة على جميع العناصر الغذائية ماعدا الكاربون من التربة. رغم ان هناك مالا يقل عن ١٦ عنصرا ضروريا لنمو النباتات الاقتصادية (جدول ١) الا ان اربعة من هذه العناصر فقط هي H وO و N و C تتمكن من الحركة خلال الجو. بحيث يمكن توزيعها على مساحات واسعة لاستفادة النباتات والاحياء المجهرية منها. فمثلا قد تمتص نخلة في الصحراء قطرة ماء كانت قبل يوم واحد على مسافة مئات الاميال في البحر في المحيط. ولا ينطبق نفس الشيء بالنسبة للفسفور او الكالسيوم او الحديد والعناصر الاخرى لعدم امكان انتقالها في الجو. فهذه العناصر يجب ان توجد في التربة وبالقرب من جذور النباتات لأجل ان يتمكن النبات الاستفادة منها. ولا تزيد المسافة التي يمكن للعناصر ان تقطعها خلال التربة في معظم الاحوال عن بضعة مايكرونات الا في حالة حركة بعضها مع الماء (محلول التربة) الذي يتحرك خلال مسامات التربة الى مسافات لا باس بها احيانا.

وبسبب كون معظم العناصر الغذائية غير قابلة للحركة في التربة نسبيا فان على جذور النباتات ان تتغلغل وتمتد في التربة لأجل زيادة قابلية النبات على امتصاص غذائه من التربة والحصول على نمو وانتاج جيدين. ورغم ان امتداد الجذور يختلف من نبات لآخر ومن صنف لآخر فان لخواص التربة الفيزياوية والكيمياوية على امتداد جذور نفس النبات. وعند ملائمة ظروف التربة فان امتداد الجذور والشعيرات الجذرية قد يصل الى اطوال تفوق التصور.

ان التربة مادة غير متجانسة تتكون من مواد صلبة وسائلة وغازية. ويعتبر محلول التربة اهم مصدر مباشر للمواد الغذائية التي تمتصها جذور النباتات الارضية. وبما ان محلول التربة يكون عادة مخففا جدا فان اهميته في تجهيز العناصر الغذائية بصورة كافية للنبات بصورة ضئيلة لو لم تمتلك التربة القابلية على امداد محلول التربة بالعناصر الغذائية من الجزء الصلب.

ويتم اطلاق العناصر الغذائية المعدنية من الجزء الصلب الى محلول التربة عن طريق؛

١ – ذوبان معادن التربة وبعض المواد العضوية فيها.
٢ – ذوبان بعض الاملاح القليلة الذوبان.
٣ – تبادل الايونات وخصوصا الايونات الموجبة بين معقد التبادل ومحلول التربة.

العناصر الضرورية لتغذية النبات :-

العنصر الغذائي : هو ذلك العنصر الذي يحتاجه النبات لإكمال دورة نموه وعملياته الحيوية وان وظائف هذا العنصر لايمكن ان تعوض او تستبدل باضافة عنصر آخر الى التربة . اذ ان هناك عناصر ضرورية واخرى غير ضرورية ولكي يكون العنصر الغذائي ضرورياً يجب ان يتصف بالمواصفات التالية :

١. غياب العنصر يجعل استكمال النبات لنموه متعذراً.
٢. لايمكن استبدال العنصر الضروري بعنصر آخر يقوم بالعمليات الحيوية للعنصر الاول.
٣. ان مظاهر نقص العنصر الغذائي الضروري لا يمكن علاجها الا بإضافة العنصر المفقود وليس بعنصر آخر.
٤. للعنصر الغذائي الضروري دور مباشر في تغذية النبات ، كأن يدخل العنصر في تركيب مادة نباتية معينة لعدد كبير من النباتات.
٥. ان يكون العنصر ضرورياً لمعظم النباتات الراقية.

ومما تقدم يمكن القول بان العناصر التالية هي عناصر ضرورية للنبات وهي :
الكاربون والهيدروجين والأوكسجين والنتروجين والفسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والحديد والمنغنيز والنحاس والزنك والموليبدنيوم والبورون والكلور والصوديوم والسيليكون والكوبلت .
وتختلف مصادر العناصر الغذائية الضرورية للنبات وهي الهواء الجوي ، الماء والتربة ويمكن تقسيم العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات حسب مصادرها الى :

اولاً : عناصر مصادرها الهواء الجوي والماء

١. الكربون
٢. الاوكسجين
٣. الهيدروجين
٤. النتروجين (النباتات البقولية فقط)

ثانياً : عناصر مصادرها التربة

١ –النتروجين
٢ –الفسفور
٣ –البوتاسيوم
٤ –الكالسيوم
٥ –المغنسيوم
٦ –الكبريت
٧ –الحديد
٨– النحاس
٩– المنغنيز
١٠– الزنك
١١– البورون
١٢– الموليبدنيوم
١٣– الكلور
١٤–الصوديوم
١٥–السيلكون
١٦– الكوبلت

كذلك يمكن تقسيم العناصر الغذائية حسب احتياجها للنبات :

١. العناصر الغذائية الأساسية : وهي العناصر يحتاجها النبات بكميات تفوق الالاف المرات العناصر الكبرى وهي موجودة في الماء والهواء والتربة وهذه العناصر هي : O , H , C
٢. العناصر الغذائية الكبرى (Macronutrients) وهي العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة نسبياً وهي N ,P, K , S , Ca , Mg
٣. العناصر الغذائية الصغرى (Micronutrients) وهي العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات بكميات قليلة وهذه العاصر هي : Fe , Zn , Mn , Cu , Mo , B , Cl

من الخطأ تسمية العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة بالعناصر الرئيسية ، والعناصر التي يحتاجها النبات بكميات قليلة بالعناصر الضرورية فالواقع ان كل هذه العناصر هي عناصر ضرورية ولها نفس الاهمية ولكن الاختلاف الوحيد هو احتياج النبات من هذه العناصر لاكمال دورة نموه واعطاء نمو وحاصل جيد ، وكذلك وجد عند تحليل النبات ان العناصر الغذائية الكبرى توجد بكميات اكبر من العناصر الغذائية الصغرى والتي يحتاجها النبات بكميات صغيرة .

ان العنصر الغذائي يوجد في التربة باجزاء مختلفة من حيث حالتها الكيمياوية وجاهزيتها للامتصاص من قبل النبات ، وهذه تتضمن جزء العنصر الغذائي في محلول التربة وهو الجزء الذائب (الجزء الجاهز للامتصاص من قبل النبات)، والجزء المتبادل الذي يضم الايونات الممدصة على سطوح معادن الطين ، والجزء الثالث هو الجزء المثبت داخل تركيب معادن التربة ، اما الجزء الرابع فهو الجزء العضوي ويقصد به جزء العنصر الموجود في مادة التربة العضوية ، ان الاجزاء الثلاثة الاولى للعنصر الغذائي هي اجزاء كيمياوية تكون باستمرار في حالة توازن وهي المخزن الرئيسي للعنصر الغذائي الذي يمد النبات لإكمال دورة حياته .

ان محلول التربة يحتوي على الايونات (الكاتيونات والانيونات)أي العناصر الغذائية بصورة ذائبة سهلة الامتصاص من لدن النبات ، وصور امتصاص العناصر الغذائية من محلول التربة هي :

ت	العنصر	الرمز الكيميائي	صور الامتصاص من قبل النبات
١.	الكاربون	C	CO_2
٢.	الهيروجين	H	H_2O
٣.	الاوكسجين	O	H_2O
٤.	النيتروجين	N	NH_4^+ , NO_3^-
٥.	الفسفور	P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}
٦.	البوتاسيوم	K	K^+
٧.	الكالسيوم	Ca	Ca^{2+}
٨.	المغنسيوم	Mg	Mg^{2+}
٩.	الكبريت	S	SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , SO_2
١٠.	الصوديوم	Na	Na^+
١١.	الحديد	Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+}

١٢.	الزنك	Zn	Zn^{2+} , $Zn(OH)_2$
١٣.	النحاس	Cu	Cu^{+} , Cu^{2+}
١٤.	المنغنيز	Mn	Mn^{2+} , Mn^{3+}
١٥.	الموليبدنيوم	Mo	MoO_4^{2-}
١٦.	البورون	B	BO_3^{3-}
١٧.	الكلور	Cl	Cl^{-}
١٨.	السليكون	Si	$Si(OH)_4$
١٩.	الكوبلت	Co	Co^{2+}

تركيز العناصر في النبات

اثبتت الدراسات وجود اكثر من ٤٠ عصرا اخر اضافة الى العناصر الـ ١٦ المذكورة، ورغم ان بعض العناصر قد تكون ضرورية لنمو النبات الا انه لم يتم اثبات ذللك لحد الان. كذلك ان بعض النباتات قد تمتص كميات كبيرة من العناصر التي لا تعتبر ضرورية للنمو كما هو الحال في امتصاص الكرفس الامريكي لعنصر الصوديوم الذي قد يؤدي الى تحسين نوعيته رغم عدم ثبوت كون هذا العنصر ضروريا لنمو النبات لحد الان. وفي بعض الاحيان قد يقوم عنصر ما بالتعويض الجزئي او الكلي عن عنصر اخر ضروري لنمو النبات كما هو الحال في تعويض الصوديوم عن بعض البوتاسيوم في البنجر السكري. يختلف تركيز العناصر الغذائية في النبات بدرجة كبيرة جدا. ففي حين ان معدل تركيز الموليبدنم لا يزيد عن ٠,١ ppm فان معدل تركيز الهيدروجين قد يزيد على ٦٠٠٠ ppm. اما بقية العناصر فان معدلات تراكيزها تتراوح بين هاتين القيمتين.

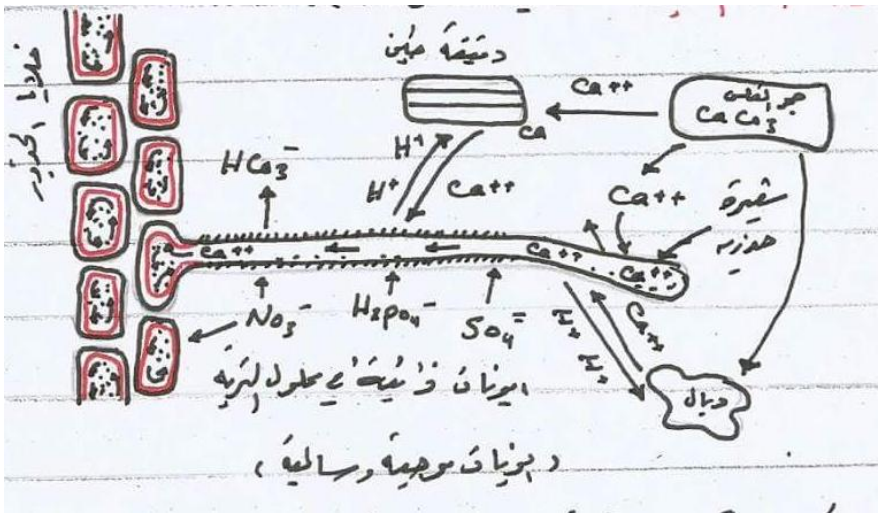
مفهوم جاهزية العناصر الغذائية

تعتمد جاهزية عنصر ما للنبات على كل من الصيغة الكيميائية للعنصر كما موضح في جدول ٢، وعلى موقع العنصر بالنسبة للجذور التي تقوم بعملية الامتصاص. ويكزن العنصر جاهزا من الناحية الكيمياوية عند وجوده اما بصورة ذائبة او بصورة قابلة للتبادل. اما من ناحية الموقع فيكون العنصر جاهزا عندما يكون عل اتصال مباشر مع جذور النبات. ولأجل ان يتم امتصاص اي عنصر غذائي فلا بد ان يتصف بصفتي الجاهزية المذكورتين اعلاه.

وغالبا ما تكون المغذيات جاهزة عندما تكون ذائبة او قابلة للتبادل بغض النظر عن موقعها بالنسبة للجذور التي تقوم بامتصاصها. اما الصور الاخرى للعناصر كالتي توجد في المواد المعدنية والعضوية فتعتبر غير جاهزة للنبات. فالترب الخصبة لا تكون قادرة على تجهيز النبات بالعناصر الغذائية فحسب فيجب ان تكون قادرة على اطلاق العناصر غير الجاهزة من الاجزاء المعدنية والعضوية وتحويلها الى صورها الجاهزة كي تتمكن من تجهيز النبات بتلك العناصر بالكميات المطلوبة لفترات طويلة. اما الترب غير الخصبة فمن الضروري اضافة بعض العناصر الغذائية لها لأجل ان تكون قادرة على تجهيز المغذيات للنبات بالكميات الملائمة خلال فترة نموه.

امتصاص النبات للعناصر الغذائية

يتم انتقال العناصر الغذائية من التربة الى الجذور اما عن طريق تبادل الايونات بالتماس (contact exchange) بين سطوح الغرويات وسطوح الجذور او عن طريق انتقال الايونات من محلول التربة الى الجذور كما في الشكل التالي:



وبعد وصول الايونات الى سطوح الجذور يتم دخولها الى جزء من النسيج الجذري بحيث يصل تركيز الايونات في ذلك الجزء من النسيج الى نفس تركيزها في المحلول المحيط بالجذور. وينتشر هذا المحلول الى الحيز الحر او الحيز الخارجي للخلايا دون الحاجة الى الطاقة. ويكون كل عنصر في المحلول حر الحركة من المحلول الى الحيز الخارجي وبالعكس اعتمادا على اختلاف التركيز فقط. ان انتقال الايونات من المحيط الخارجي الى الحيز الحر للأنسجة الجذرية يتم اما عن طريق الانتشار او بواسطة التبادل الايوني. ويتصف هذا الانتقال بما يلي:

١ - لا يعتمد على الفعاليات الحيوية للأنسجة اي انه لا يحتاج الى طاقة.

٢ - لا يكون انتقائيا.

٣ - يتصف بكونه عكسيا.

الانتقال الحيوي (الفعال) للأيونات في الخلايا والانسجة:

تتصف عملية انتقال الايونات خلال الغشاء البلازمي بما يلي:

١ - يحتاج الى طاقة يحصل عليها النبات من التنفس. ان منع الجذور من التنفس يؤدي الى خفض قابليتها على امتصاص الايونات بسبب عدم انتقال الايونات خلال الغشاء البلازمي.

٢ - تكون عملية الانتقال هذه عملية انتقائية اي ان الامتصاص لا يكون مرتبطا بتركيز العناصر في المحلول الخارجي او في الحيز الحر للنسيج او الخلية.

٣ - تكون العملية غير عكسية اي ان العناصر لا يمكنها ان تنتشر مجددا الى الخارج حتى وان كان تركيز بعضها في الداخل يزيد الاف المرات على تركيزها في المحلول الخارجي.

العوامل المؤثرة على امتصاص العناصر الغذائية

١ - ان كل ما يؤثر على العمليات الحيوية يؤثر على امتصاص المغذيات. ونظرا لاعتماد العمليات الحيوية على توفر الماء والاوكسجين ودرجة الحرارة فان اي تغير في هذه الصفات يؤثر على الامتصاص.

٢ - يتأثر امتصاص العناصر بتغير الصفات الفيزياوية للتربة كالنسجة والتركيب والمسامية وغيرها.

٣ - نقص الاوكسجين في المحلول الغذائي يؤثر على الامتصاص بسبب تأثيره السلبي على التنفس والعمليات الحيوية الاخرى الاساسية في تجهيز الطاقة اللازمة لامتصاص الجذور للعناصر الغذائية والماء.

٤ - تؤدي زيادة تركيز العنصر في المحلول المحيط بالجذر الى زيادة امتصاص العنصر من قبل النبات.

٥ - ان زيادة نسبة الرطوبة في التربة تؤدي الى زيادة جاهزية بعض العناصر الغذائية.

٦ - كثافة وتشعب الجذور في التربة: كلما زاد تشعب الجذور وكثافتها في التربة كلما زاد امتصاص العناصر المغذية للنبات.

العناصر الغذائية واهميتها بالنسبة لنمو النبات

من المعروف ان العناصر الغذائية تؤثر على النبات بواحدة او اكثر من الطرق التالية:

١ - الدخول في تركيب خلايا وانسجة النبات.

٢ - القيام بدور العامل المساعد في بعض العمليات الحيوية.

٣ - التأثير على عمليات الاكسدة والاختزال.

٤ - المساعدة على تنظيم درجة حموضة النبات.

٥ - التأثير على الضغط الازموزي في النبات.

٦ - التأثير على امتصاص العناصر الضرورية من قبل النبات.

٧ - تهيئة بيئة اكثر ملائمة لنمو الجذور.

لكل عنصر غذائي واجبات محددة داخل النبات ولا يمكن لأي عنصر ان يعوض بصورة كاملة عن اي عنصر اخر. لذلك لا بد ان يكون تجهيز العناصر الغذائية للنبات بصورة متوازنة نوعا ما لأجل الحصول على الانتاج الامثل للنبات ولتحسين مقاومة النبات للأمراض والحشرات والظروف الجوية المختلفة.

وفيما يلي موجزا لدور العناصر الغذائية المختلفة بالنسبة لنمو النبات:

الكاربون والهيدروجين والاوكسجين: تدخل هذه العناصر في تكوين الكاربوهيدرات والبروتينات والدهون. وتكون هذه المركبات معظم جسم البات حيث ان الهيدروجين والاوكسجين يونان الماء الذي تزيد نسبته على ٨٠% من الوزن الرطب لمعظم النباتات. اما بالسبة للوزن الجاف للنبات فان اكثر من ٩٠% منه يتكون من الكاربون والهيدروجين والاوكسجين.

النيتروجين: تكون مركبات النتروجين جزءا لا باس به من الوزن الكلي للنبات. تؤدي زيادة النتروجين في التربة الى زيادة النمو الخضري للنبات وتكون الاوراق داكنة الخضرة. وينظم استهلاك النبات للبوتاسيوم والفسفور ،

ويوجد في الاجزاء الفتية من النبات، زيادته عن حد معين غير مرغوبة بسبب اضطجاع النبات وتأخر النضج وانخفاض انتاج الثمار.

الفسفور: يدخل في تركيب جميع الخلايا النباتية، شانه في ذلك شان النتروجين. اذ يدخل في تركيب بروتينات نواة الخلية والفسفولبيدات والفايتن، يوجد على شكل فايتن في البذور بكميات اكبر من وجوده في اجزاء النبات الاخرى. وهو اساس لانقسام الخلايا ونمو النبات، وله اهمية في تحويل الطاقة، ولهذا السبب فهو اساسي في تحويل الكاربوهيدرات كتحول النشا الى سكر. وله دور مهم في تهيئة الطاقة اللازمة لعملية التمثيل الضوئي.

البوتاسيوم: رغم اهمية البوتاسيوم في العديد من العمليات الفسيولوجية الاساسية كالتنفس والتركيب الضوئي الا ان طبيعة عمله غير معروف بصورة دقيقة. فالبوتاسيوم مثلا يدخل في عدد من الفعاليات الانزيمية التي تساعد في تمثيل الكاربوهيدرات لأنه ضروري لبعض خطوات الحصول على الطاقة من السكر وضروري لبعض خطوات تركيب البروتين. والغريب ان البوتاسيوم لا يدخل في تركيب المركبات العضوية للنبات بل يبقى كعنصر في النبات ولذلك بالإمكان غسله من انسجة النبات.

الكالسيوم: يدخل في تكوين جدران الخلايا النباتية ويساعد على جعل خلايا الشعيرات الجذرية والجذر اكثر قابلية على الانتقاء للعناصر الغذائية. وله الإمكانية على جعل اغشية خلايا الشعيرات الجذرية والجذر القادرة على الامتصاص بحالة نصف ناضجة وهذه الحالة تساعد على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية في داخل الشعيرات الجذرية والجذور. يتحد الكالسيوم مع بعض الاحماض كحامض الاوكساليك لتكوين اوكسالات الكالسيوم وهذا يؤدي الى منع انخفاض رقم الحموضة لمحلول الخلية.

المغنسيوم: يدخل في تكوين جزيئات الكلوروفيل وبذلك فانه يساعد على وجود اللون الاخضر في النباتات. كذلك يساعد في امتصاص وانتقال الفسفور في النبات. ويعمل كذلك كعامل مساعد لنشاط بعض الانزيمات المهمة في تكوين الطاقة اللازمة لبعض العمليات الحيوية.

الكبريت: يدخل الكبريت في تكوين بعض الحوامض الامينية التي تدخل في تركيب البروتين. ويدخل ايضا في تركيب الدهون والفيتامينات. ويدخل في بعض المركبات الطيارة ذات الرائحة المميزة الموجودة في كل من البصل والخردل. ويدخل في تركيب بعض المركبات المهمة لتنفس النبات.

الحديد: يعتبر الحديد اساس في تكوين الكلوروفيل في النبات، وله اهمية في فعالية بعض الانزيمات وحاملات الالكترونات. التي تساعد في بعض عمليات الاكسدة في الخلايا النباتية الحية وفي تثبيت النتروجين بواسطة بعض الاحياء التعايشية.

المنغنيز: على الرغم من انه يعمل كمحرك للعديد من الفعاليات الانزيمية، الا انه لم يتم عزل سوى نوع واحد من البروتين الحاوي على المنغنيز لحد الان. له علاقة بتركيب الكلوروفيل، ويلعب دورا مهما في عمليات الاكسدة والاختزال في النبات.

البورون: يختلف اختلافا كليا عن بقية العناصر الغذائية، لان مدى التركيز الذي يحتاجه النبات في محيط جذوره محدود جدا. نقصه يؤثر على الاجزاء النامية من النبات. من المحتمل ان يكون ذلك مرتبطا بتأثير البورون على امتصاص الكالسيوم من قبل النبات.

الزنك: يدخل الزنك في تكوين العديد من الانزيمات، وله اهمية في تكوين بعض الاوكسينات او المواد المشجعة لنمو النبات.

النحاس: يدخل في تكوين العديد من الانزيمات النباتية وفي تركيب بعض المواد المشجعة للنمو. ويدخل في انتاج البروتين داخل النبات.

الموليبدنم: له اهمية في اختزال النترات داخل النبات مما يؤدي الى ظهور نقص النتروجين مع وجود النترات في انسجته، له اهمية في تثبيت النتروجين من احياء التربة التعايشية

الكلور: رغم انه ضروري لعمل بعض الانزيمات في عملية التمثيل الضوئي، الا ان طريقة عمله غير معروفة بصورة جيدة. له علاقة بعملية التنفس، مع انه عنصر اساسي في نمو النبات الا ان نقصه لا يلاحظ في الحقل بسبب وجود كميات منه في مياه الامطار، زيادته عن حد معين تؤدي الى تملح التربة والتأثير على نمو النبات.

نقص العناصر الغذائية وتحليل الانسجة:

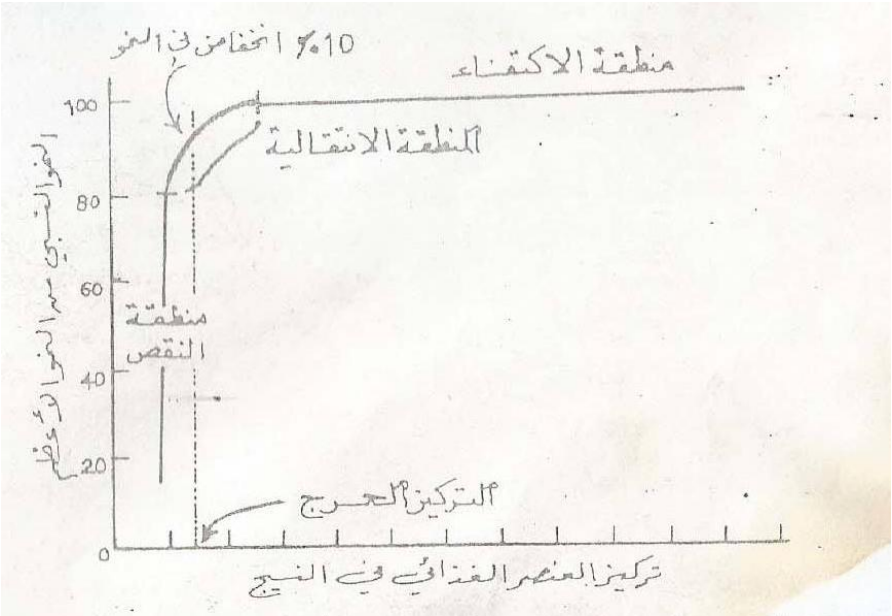
يحصل نقص العنصر الغذائي الضروري في النبات عند انخفاض تركيز ذلك العنصر في انسجة النبات تحت المستوى الملائم للنمو. وقد يحدث النقص عندما يكون مستوى العنصر منخفضا في محلول التربة او عند وجود العنصر بصورة غير جاهزة للنبات. ويحصل النقص ايضا عند زيادة تركيز عنصر اخر رغم وجود كمية كافية من العنصر الاول في محيط نمو الجذور.

تتأثر العمليات الحيوية في النبات عند قص احد العناصر الضرورية دون حدوث اعراض نقص ذلك العنصر على اجزاء النبات الا ان ذلك غالبا ما يؤدي الى انخفاض في النمو والانتاج. وعند وصول نقص العنصر الى حد معين تبدا علامات النقص بالظهور على اجزاء النبات.

تستعمل طريقة تحليل الانسجة للكشف عن نقص العناصر قبل ظهور اعراضه على النبات. ويعتمد في تحديد مستوى العنصر في النباتات بواسطة تحليل الانسجة على التركيز الحرج (critical concentration) الذي يمثل تركيز العنصر الغذائي في النسيج الذي يقع مباشرة تحت التركيز الذي يعطي الانتاج الامثل. ويمكن تقسيم خط النمو بصورة عامة الى ثلاثة مناطق وهي:

١ - منطقة نقص العنصر حيث يزداد النمو بشدة مع زيادة العنصر.
٢ - المنطقة الانتقالية التي يزداد فيها النمو بدرجة قليلة مع زيادة العنصر.
٣ - منطقة الاكتفاء التي لا يتأثر النمو فيها مع زيادة تركيز العنصر في محيط الجذور.

ان النسيج المستعمل في التحليل يعتمد على مدى امكانية انتقال العنصر المراد الكشف عنه في اللحاء. ففي العناصر التي يسهل انتقالها من جزء لآخر في النبات كما في عنصري البوتاسيوم والنايتروجين يمكن استعمال الاوراق لعمل المنحني. اما العناصر غير القابلة للانتقال في اللحاء والتي لا تتوزع بسهولة الى اجزاء النبات فيجب اختيار اجزاء اخرى من النبات غير الاوراق في التحليل لان تحليل الاوراق يعطي نتائج مخطوءة جدا.



شكل 8-5 العلاقة بين النمو وتركيز العناصر الغذائية في انسجة النبات . من :