جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية – السلمية
السنة الثالثة

المحاضرة النظرية الثانية في خصوبة التربة وتغذية النبات

النمو والعوامل المؤثرة فيه

Growth and the Factors Affecting It

٨/٤/٢٠٢٦

مقدمة

يقصد بالنمو النباتي التطوّر المتعاقب للنبات، أو لجزء من أجزائه، ويمكن التعبير عنه بالوزن الجاف أو الرطب للنبات أو بقياس الطول أو القطر أو الغلّة. ويتأثّر النمو النباتي عموماً بعدد كبير من العوامل المتداخلة، يمكن وضع العوامل الأساسية منها في مجموعتين هما: مجموعة العوامل الوراثية Genetic factors ومجموعة العوامل البيئية Environmental factors. فمما لا شك فيه أن نمو النبات يتأثر إلى حد بعيد بالمخزون الوراثي الذي يحمله النوع النباتي وكذالك الصنف.

فالمورثات مسؤولة عن الصفات الكمية والنوعية للإنتاج النباتي من خلال تحكمها وسيطرتها على مجمل العمليات الفيزيولوجية الجارية في الخلية النباتية. هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى فإن للتركيبة الوراثية للنبات انعكاسات هامة على خصوبة التربة **فالأصناف الهجنية عالية الإنتاج تتطلب كمية أكبر من العناصر المغذية بالمقارنة مع الأصناف التقليدية.**

وتجدر الإشارة هنا إلى أهمية التقانات الحيوية Biotechnologies في استنباط أصناف جديدة قادرة على تحقيق غلة أكبر في الأراضي التي تعاني من بعض الظروف المحدِّدة للنمو كالجفاف والملوحة وغيرهما.

٢-١ -العوامل البيئية المؤثرة في النمو النباتي Environmental Factors

من المعلوم أن النبات – كما الكائنات الحية الأخرى – ابن بيئته، ولكل بيئة نباتاتها الخاصة بها. فالأنواع النباتية التي تنمو في المناطق الصحراوية تختلف عن تلك النامية في المناطق الرطبة وشبه الرطبة، وهذه تختلف بدورها عن تلك النامية في المناطق الاستوائية. **ويمكن حصر العوامل البيئية المؤثرة في نمو النبات في خمسة عوامل أساسية هي:**

٢-١-١ الرطوبة Moisture

تعدّ الرطوبة (الماء) من أهم العوامل البيئية المؤثرة في النمو النباتي على الإطلاق، والواقع أن توزع الأنواع النباتية على سطح الكرة الأرضية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بتوفر الماء سواء أكان مصدر هذا الماء هو مياه الأمطار أو الأنهار أو المياه الجوفية. يضاف إلى ذلك أن الكرة الأرضية تضم مساحات شاسعة من الأراضي الصالحة للزراعة وغير المستغلة حاليا **بسبب عدم توفر المياه.**

وتتجلّى أهمية الماء في الحفاظ على بنية الخلية وتعضّيها وخاصّة فيما يتعلّق بالبنية الغروية للسيتوبلازما الضرورية لحدوث مختلف أشكال النشاط الحيوي في الخليّة. ويساعد الماء في حدوث التفاعلات الاستقلابية المختلفة التي يشكّل الوسط السائل شرطاً أساسياً لحدوثها. كما يؤدي الماء أيضاً دور الناقل للمواد المصنّعة من الأوراق إلى الأعضاء النباتية الأخرى، وللعناصر المغذية من التربة إلى النبات ومن عضو إلى آخر داخل النبات ذاته.

كما يؤدّي الماء دوراً مهماً في الحفاظ على انتباج الخلية Turgidity مما يسهل للخلية القيام بفعالياتها الحيوية المختلفة. ويمتص الماء كمية كبيرة من الحرارة من الوسط المحيط بالنبات بسبب حرارته النوعية العالية، مما يساعد في الحفاظ على درجة حرارة النبات ضمن المدى الذي يسمح بقيام واستمرار الفعاليات الحيوية – الكيميائية ضمن الخلية.

يختلف محتوى المادة النباتية الحيّة من الماء باختلاف النوع النباتي والصنف، كما يختلف أيضاً باختلاف العضو النباتي. فالأجزاء النباتية الحديثة النمو والأعضاء النشطة فيزيولوجياً كالأوراق تحتوي عادة على الماء بنسبة **أعلى** مما تحتويه الأعضاء البالغة وأعضاء التخزين كالبذور والحبوب **(الجدول ٢-١)**.
ويحصل النبات على الماء من التربة عن طريق الامتصاص من قبل الجذور، ويُفقد الجزء الأكبر من الماء الممتص من خلال عملية النتح حيث لا يحتفظ النبات إلا بكمية ضئيلة جداً منه تقدر بحوالي **0.2%** تستخدم في العمليات الاستقلابية المختلفة.

ويُعتقد أن ماء التربة Soil Water متصل بماء النبات بحيث يمكن اعتبارهما عموداً متصلاً، ويدعى الجزء من ماء التربة الذي يمكن للنبات امتصاصه والإفادة منه بـ **"الماء المتاح"**. ولا تتعلق جاهزية الماء للامتصاص من قبل النبات **بمحتوى التربة الكلي** من الماء بقدر ما تتعلق **بقوة الشد Tension التي تربط الماء بمكونات التربة**، أو بتعبير آخر فإن الأمر يتعلّق بمدى الطاقة التي يجب على النبات أن يبذلها من أجل الحصول على الماء.

الجدول رقم (٢-١): محتوى بعض النباتات من الماء		
النبات	الجزء النباتي	المحتوى من الماء (%)
قمح	أوراق، سوق حبوب	90 – 75 15 – 12
بقوليات	أوراق، سوق حبوب	90 – 75 13 – 12
شوندر سكري	أوراق، جذور	80 – 75
شوندر علفي	أوراق، جذور	90 – 88
ذرة صفراء	حبوب	25 – 15
خيار	ثمار	95– 85
بندورة	ثمار	93 – 92
بطاطا	أوراق، سوق درنات	85- 75 75 – 70
كرمة	ثمار	85 – 80
برتقال	ثمار	90 – 86
تفاح	ثمار	81 – 74

ترتبط قوة احتفاظ التربة بالماء ارتباطاً وثيقاً **بنسيج التربة** Soil Texture **ومحتواها من المواد الغروية (فلزات الطين والدبال)**، فكلما ازداد محتوى التربة من هذه المواد **انخفضت** جاهزية الماء نظراً لزيادة مواقع امتصاص الماء من جهة، واقتراب طبقات الماء المحيطة بغرويات التربة من تأثير التجاذب الكهربائي الساكن لهذه الغرويات من جهة أخرى. وهذا يفسّر كون الماء في التربة الرملية **أكثر** جاهزية منه في التربة الطينية **عند محتوى كلّي واحد من ماء التربة**.

من المؤكد أن قدرة تربة ما على تزويد النبات بالماء **لا تتحدد فقط** بقوة احتفاظ التربة بالماء، بل تتحدّد أيضاً بسعة احتفاظ التربة بالماء Water Holding Capacity (W.H.C) التي تتأثر بمسامات التربة المتوسطة والصغيرة الحجم المرتبطة بدورها ببناء التربة Soil Structure.

ويقودنا الحديث عن سعة احتفاظ التربة بالماء إلى مفهوم آخر لماء التربة وهو **"السعة الحقلية Field Capacity"**، التي تعبّر عن كمية الماء المتبقية في التربة بعد صرف الماء الحر أو ما يدعى بماء الجاذبية الأرضية. ويكون الماء الموجود تحت السعة الحقلية ممسوكاً بقوة شد بسيطة (-0.33 بار)، وكلما امتص النبات جزءاً من هذا الماء كلما قلت كميته وبالتالي يضطر الجذر لامتصاص الماء من الطبقات المائية الأقرب إلى سطح المادة الغروية في التربة حيث يكون الماء ممسوكاً بقوة شد أكبر، إلى أن نصل إلى حالة لا يستطيع النبات صرف طاقة إضافية لامتصاص كمية الماء المتبقية في التربة، **فتبدأ أعراض الذبول بالظهور عليه.**

إذا ما استمرت أعراض الذبول لمدة طويلة فإنّ خللاً دائماً سيحدث للنبات وهذا ما يسمى بـ **"نقطة الذبول الدائمة Permanent Wilting Point"**، التي تظهر عادةً عندما يكون الشد في التربة مساياً لـ (- 15) باراً. ويشكّل **الماء المتاح أو الميسر Available Water** الجزء من ماء التربة الواقع بين السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائمة، أي بين (-0.33) و(- 15) بار.

٢-١-٢ الحرارة Temperature

يُعتقد بأنّ مجال درجة الحرارة المناسب لنمو النبات يتراوح بين حد أدنى Minimum قدره **(10)** درجة مئوية، وحد أعلى Maximum قدره **(45)** درجة مئوية. وتختلف درجة الحرارة المثلى **Optimum** للنبات **باختلاف النوع النباتي والصنف**، كما تختلف أيضاً باختلاف **طور النمو الذي وصل إليه النبات.**

وتعدّ الحرارة من **أهم** العوامل المؤثرة في **توزع** النباتات على سطح الكرة الأرضية، والواقع أن معظم الفعاليات التي تتم ضمن الخلية النباتية، سواء أكانت هذه الفعاليات حيويةً أم كيميائية، تتأثر إلى حد كبير بدرجة الحرارة. فبارتفاع درجة الحرارة بمقدار عشر درجات مئوية تزداد سرعة التفاعل الحيوي بمقدار مرتين ونصف، وسرعة التفاعل الكيميائي بمقدار مرتين.

وأهم **الفعاليات الخلوية** التي تتأثر بدرجة الحرارة بشكل **مباشر** نذكر التنفس Respiration، والنتح Transpiration، والتركيب الضوئي Photosynthesis، ونفاذية غشاء الخلية Cell membrane permeability، والنشاط الأنزيمي Enzyme activity، إضافة إلى امتصاص الماء والعناصر المغذية Water and nutrients uptake. وذلك يتجلى من خلال تأثيرها في النشاط الأنزيمي كون الأنزيمات تؤدي الدور الحاسم في مجمل العمليات الحيوية التي تحدث ضمن الخلية النباتية.

فبارتفاع درجة الحرارة من الصفر المئوي باتجاه درجة الحرارة المثلى **تزداد** فعالية الأنزيمات عموماً، ولكن بارتفاع درجة الحرارة عن درجة الحرارة المثلى تتفكّك الروابط الهيدروجينية في البروتينات المكونة للأنزيمات مما يؤدي إلى حدوث تغير للأنزيم ينعكس سلباً على فعاليته التي لا تلبث أن تنخفض ثم تتلاشى.

وفيما يخص تأثير درجة الحرارة في امتصاص النبات للماء، يمكن القول عموما إن معدل امتصاص الماء **يزداد** مع ارتفاع درجة الحرارة عن درجة الحرارة الدنيا نظراً لزيادة معدّل تنفس الجذور التي توفّر مزيداً من الطاقة يستهلك بعضاً منها في امتصاص كميات إضافية من الماء، كما تقلّ لزوجة الماء وتزداد نفاذية الأغشية الخلوية **بارتفاع درجة الحرارة** مما يؤدي إلى زيادة الكمية الممتصة من الماء. مقابل ذلك يلاحظ أن **ارتفاع** درجة الحرارة عن الدرجة المثلى يترافق مع **انخفاض** في امتصاص النبات للماء بسبب موت بعض الشعيرات الجذرية الفاعلة في عملية الامتصاص.

كما تؤثّر درجة الحرارة بشكل **غير مباشر** في نمو النبات من خلال تأثير درجة حرارة التربة في نشاط الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بتفكيك المادة العضوية وتحرير محتوياتها من العناصر المغذية في أشكال صالحة لإفادة النبات، كما أن عملية التثبيت الحيوي للنتروجين الجوي سواء بالطريقة التكافلية أو غير التكافلية تتأثر بشكل مباشر بدرجة حرارة التربة. ويمكن لدرجة الحرارة أن تغيّر أيضاً من تركيب هواء التربة كنتيجة لزيادة أو انخفاض معدل النشاط الميكروبيولوجي في التربة، فبزيادة معدّل النشاط الميكروبيولوجي يزداد الضغط الجزئي لغاز CO_2 في هواء التربة بينما ينخفض الضغط الجزئي لـ O_2، الأمر الذي قد يؤدي إلى انخفاض معدل تنفس الجذور الذي يؤدي بدوره **إلى تدني في قدرة المجموعة الجذرية على امتصاص الماء والعناصر المغذية**.

٢-١-٣ الضوء Light

يشكّل الضوء بمكوناته الثلاث: الشدّة، والنوعية، والمدة (فترة الإضاءة) اللازمة للتزهير أحد العوامل الأساسية في نمو النبات وتطوره. وتعدّ الشمس المنبع الأساسي للضوء الذي يتيح للنبات تفكيك غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) الموجود في الهواء الجوي وتمثيله لاصطناع المواد الكربوهيدراتية **بعملية التركيب الضوئي Photosynthesis**، التي يمكن التعبير عنها بالتفاعل التالي:

$$n\,CO_2 + n\,H_2O + Light \rightarrow 2(CH_2O)_n + nO_2$$

تعبِّر **شدة الضوء Light intensity** عن كمية الضوء التي يتلقاها النبات خلال زمن محدد، ويمكن القول أنّ معظم الأنواع النباتية **يمكنها** النمو في ظروف شدة ضوئية **أدنى** من الشدة الضوئية الطبيعية، وبمعنى آخر لا تشكل الشدة الضوئية عادة عاملاً محدداً للنمو النباتي.

فيما يتعلّق **بنوعية الضوء Light Quality** والتي يقصد بها الطيف المرئي Spectrum الذي يمتصه النبات، فمن المؤكد أن الخلايا النباتية تحتوي على نوعين من الكلوروفيل هما كلوروفيل(A)، وكلوروفيل (B)، وكلا النوعين يمتصان بقوة اللون البنفسجي والأزرق وكذلك البرتقالي والأحمر(390- 490 nm)، بينما لا يمتصان سوى **كميات ضئيلة جداً** من اللونين الأخضر والأصفر (500 – 600 nm)، وعكس النبات لمعظم اللون الأخضر يجعله **يبدو أخضر اللون.**

تستخدم فترة الضوء اليومية أساساً لتقسيم النباتات إلى ثلاث مجموعات: نباتات ذات نهار طويل، ونباتات ذات نهار قصير، وأخرى ذات نهار متوسط.

ويطلق على تصرّف النبات واستجابته بالنسبة لطول فترة الضوء اليومية **مصطلح Photoperiodism**، وتعد الأوراق والخلايا المرستيمية من أكثر الأجزاء النباتية حساسية واستجابة للضوء.

ويعتقد أن طول فترة الظلام Dark period هي التي تحدّد مدى استجابة النبات لطول الفترة الضوئية، فهناك فترة ظلام حرجة Critical night يجب **بلوغها** لحدوث **عملية الإزهار** في النباتات ذات النهار **القصير**، كما يجب **عدم تجاوزها** لحدوث الإزهار في النباتات ذات النهار الطويل.

٢-١-٤- تركيب الهواء الجوي والأرضي Atmosphere and Soil Air Composition

يتكوّن **الهواء الجوي** بصورة رئيسة من غازات النتروجين (79%) والأوكسجين (21 %) وثاني أوكسيد الكربون (0.02 %)، كما يحتوي على بخار الماء وبعض الغازات النادرة. ومن المؤكّد أن هناك تداخلاً بين دورة الكربون ودورة الأوكسجين في الغلاف الجوي، فزيادة أو نقصان أحدهما تكون على حساب الآخر.

فبينما تنخفض كمية CO_2 في الهواء الجوي نتيجة لعملية التركيب الضوئي، تزداد في ذات الوقت كمية O_2 في الهواء الجوي وبالكمية نفسها نتيجة لهذه العملية بحيث تبقى نسبة كل من هذين الغازين في الهواء الجوي ثابتة تقريباً.

ويختلف **هواء التربة** في تركيبه عن **الهواء الجوي** اختلافاً كبيراً وخاصّة فيما يتعلّق بنسبة غاز CO_2 فيه، حيث أن تركيز هذا الغاز في الطبقات السطحية للتربة يبلغ (0.2 – 1%)، أي أنه أكبر بـ 6 – 20 مرة من تركيزه في الهواء الجوي.

وتبعاً لذلك ينخفض تركيز O_2 من 21 % في الهواء الجوي إلى 20.2 % في هواء التربة.

ويعزى هذا الاختلاف إلى **تنفّس** جذور النباتات وكذلك الأحياء الدقيقة واستهلاكها لـ O_2 من جهة، وإطلاقها لـ CO_2 من جهة أخرى.

ولما كانت جذور النباتات لا تقوم بعملية التركيب الضوئي، فإنّها لا تستهلك CO_2 وبالتالي تتراكم كمياته في التربة وتزداد بشكل مستمر، **وهذا يوضّح أهمية تحسين تهوية التربة.**

يؤثّر تركيب هواء التربة، وبخاصة محتواه من غاز O_2 بشكل مباشر أو غير مباشر في النمو النباتي، فنقص الأوكسجين يؤثر بطريقة مباشرة في استقلاب المواد الكربوهيدراتية في الجذور. ويؤدّي إلى انخفاض وتيرة التحلل التأكسدي Oxidative degradation للسكر، كما يتشكّل الايتانول بالتخمّر على الرغم من تأثيره الضار في نمو النبات وإنتاجه. ويترافق نقص الأكسجين في هواء التربة مع انخفاض في اصطناع بعض الهرمونات مثل Gibberellins, Cytokinins. وعند سيادة الظروف اللاهوائية في التربة تنتج الأحياء الدقيقة بعض المواد ذات الأثر السمي في النبات مثل الميثان، وكبريت الهيدروجين، والسيانيد، وحمض الزبدة مما يؤثر سلباً في نمو النبات وإنتاجه.

٢-٢ -العناصر المغذية الأساسية Essential Nutrients

يعبَّر عن التزويد بالمركبات الكيميائية اللازمة للنمو والاستقلاب وعن امتصاص هذه المركبات بـ **"التغذية Nutrition"**، أما المركبات الكيميائية التي يتطلبها الكائن الحي فتدعى بـ **"المغذيات Nutrients"**. ويطلق على الآليات التي تتحوّل من خلالها المغذيات إلى مادة خلوية، أو تستعمل من أجل الحصول على الطاقة بـ **"العمليات الاستقلابية Metabolic processes"**.

٢-٢-١ مفهوم "عنصر مغذي أساسي Essential Nutrient Concept of"

يمتص النبات عدداً كبيراً من العناصر من البيئة المحيطة به يفوق الـ 60 عنصراً ، لكن هذه العناصر تختلف فيما بينها من حيث أهميتها للنبات. فبعض العناصر لا يمكن للنبات أن يحقّق نموه الطبيعي من دونها، في حين نجد أن بإمكانه أن يحقق ذلك من دون عناصر أخرى. **وهناك شروطاً يجب أن تتوفر كي يكون العنصر المغذي أساسياً لنمو النبات، وهي:**

وهي:

أ- لا يستطيع النبات إكمال دورة حياته من دونه. وفي أحسن الأحوال يتوقّف نمو النبات عند المرحلة الخضرية أو الثمرية دون الوصول إلى النضج الجنسي.

ب-تظهر أعراض نقصه عند انخفاض كميته في الوسط المغذي عن التركيز المطلوب للنبات، ويمكن أن تزول هذه الأعراض بإضافة العنصر أو أحد أملاحه إلى الوسط المغذّي أو إلى النبات مباشرة.

ت-غير قابل للاستبدال أو الاستعاضة بأي عنصر آخر، إذ يبقى النمو النباتي متأثّراً ما لم يضاف العنصر نفسه.

ث-يدخل مباشرةً في التركيب الكيميائي لأحد مكونات الخلية النباتية، أو ضروري من أجل النشاط الأنزيمي.

ج-هام لعدد كبير من الأنواع النباتية التي تنتمي إلى فصائل نباتية مختلفة.

واعتماداً على الأسس سابقة الذكر تُعد العناصر الكيميائية المبينة في الجدول (٢-٢) جميعها أساسية للنباتات الراقية.

ويجدر التنويه هنا إلى أنّه لم يثبت حتى الآن كون عناصر الصوديوم والسيليكون والكوبالت أساسية لكافة الأنواع النباتية بل لبعض منها فقط. فالصوديوم يعد أساسياً لنباتات العائلة الخيمية كالشوندر السكري دون غيرها من العوائل النباتية الأخرى، وكذلك السيلكون الذي يعد ضرورياً لنبات الرز، في حين يؤدي الكوبالت دوراً مهماً في عملية تثبيت النتروجين الجوي التي تقوم بها بكتريا الرايزوبيوم Rhizobium المتعايشة مع جذور نباتات العائلة البقولية لذلك يعد هذا العنصر أساسياً للأنواع النباتية التابعة لهذه العائلة دون غيرها.

ويُعتقد أن قائمة العناصر الغذائية الأساسية للنباتات الراقية لم تكتمل بعد، وسيزداد عددها في المستقبل باكتشاف عناصر أخرى تثبت ضرورتها للنبات، الأمر الذي ربما يكون مرهوناً بتوفر أجهزة في غاية الدقة بإمكانها قياس تركيز العنصر في النبات مهما كان ضئيلاً، وفي كافة الأحوال فإن تراكيز هذه العناصر ستكون صغيرة جداً.

٢-٢-٢ تصنيف العناصر المغذية الأساسية

يحصل النبات على معظم حاجته من الكربون والأوكسجين من الهواء الجوي، أما الهيدروجين فيحصل النبات عليه من ماء التربة بصورة مباشرة أو غير مباشرة أو من الرطوبة الجوية. وعلى الرغم من كون عناصر الكربون والأوكسجين والهيدروجين تشكل بمجملها 92 – 98 % من تركيب المادة النباتية الجافة(٥-٦% H: ,42-40 % O: ,45-50 % C:) إلا أن هذه العناصر نادراً ما تكون عاملاً محدِّداً للنمو النباتي.

الجدول (2-٢): العناصر المغذية الأساسية للنبات			
اسم العنصر	الرمز	اسم العنصر	الرمز
الحديد	Fe (Iron)	الكربون	C (Carbon)
المنغنيز	Mn (Manganese)	الهيدروجين	H (Hydrogen)
النحاس	Cu (Copper)	الأوكسجين	O (Oxygen)
الزنك	Zn (Zinc)	النيتروجين	N (Nitrogen)
الموليبدنوم	Mo(Molybdenum)	الفوسفور	P (Phosphorous)
البورون	B (Boron)	الكبريت	S (Sulphur)
الكلور	Cl (Chlorine)	البوتاسيوم	K (Potassium)
الصوديوم	Na (Sodium)	الكالسيوم	Ca (Calcium)
السيلكون	Si (Silicon)	المغنزيوم	Mg (Magnesium)
الكوبالت	Co (Cobalt)		

تشكّل العناصر التي يحصل عليها النبات من **التربة** حوالي **2-8%** من المادة النباتية الجافة، وغالباً ما تشكّل هذه العناصر عاملاً **محدِّداً** للنمو النباتي على الرغم من صغر محتوى النبات منها مقارنة بمحتواه من العناصر التي يحصل عليها من الهواء والماء، ولهذا السبب فإنّ الاهتمام يتركّز على دراسة هذه العناصر. **ويمكن القول عموماً أنّ هناك أساسين رئيسين متبعين في تصنيف العناصر الغذائية، هما:**

الجدول (٢-٣): متوسط محتوى التربة والنبات من العناصر المغذية الأساسية		
العنصر	محتوى التربة	محتوى النبات
العناصر الكبرى (غ/١٠٠غ)		
النتروجين	0.1	3 – 1.5
الفوسفور	0.08	0.7
الكبريت	0.085	0.5
البوتاسيوم	1.3	3
الكالسيوم	1.2	1
المغنزيوم	0.6	0.5
العناصر الصغرى (مغ/ كغ)		
الحديد	28000	200
المنغنيز	2500 – 10	50 – 10
النحاس	60 –5	20 - 7
الزنك	100 - 25	40 - 10
البورون	55 – 1.5	94 - 1
الموليبدنم	7.5 – 0.2	8 – 0.2

أ- مجموعة العناصر الكبرى Macronutrients

تضم هذه المجموعة الكربون(C)، والهيدروجين (H)، والأوكسجين(O)، والنتروجين (N)، والفوسفور (P)، والكبريت (S)، والبوتاسيوم(K)، والكالسيوم (Ca)، والمغنزيوم (Mg).

ويتطلّب النبات كميات كبيرة من هذه العناصر، ويكون تركيزها في النبات أكبر عادةً بمئات المرات من تركيز العناصر المغذية الصغرى.

ويشكّل **الأوكسجين والكربون والهيدروجين** النسبة الأعلى في محتوى النبات من هذه العناصر، يليها **النتروجين والبوتاسيوم والفوسفور** ومن ثم بقية العناصر التابعة لهذه المجموعة.

ولما كان النبات يحتاج إلى كميات كبيرة من كل من **النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم** تفوق ما تحتويه التربة من **الأشكال المتاحة** من هذه العناصر لذلك غالباً ما تضاف هذه العناصر للتربة على شكل أسمدة، وتبعاً لذلك تدعى هذه العناصر **بالعناصر السمادية**. ويعبِّر عادة عن محتوى النبات من العناصر الكبرى **بالغرام في مئة غرام مادة نباتية جافة** ويكون عادة أكبر من **(0.1 %)**.

ب- مجموعة العناصر الصغرى Micronutrients

تضم عناصر الحديد (Fe)، والمنغنيز (Mn)، والنحاس (Cu)، والزنك (Zn)، والبورون (B)، والموليبدنم (Mo). **ويحتاج النبات إلى كميات ضئيلة من هذه العناصر مقارنة بما يحتاجه من العناصر الكبرى.** ويعبَّر عادة عن محتوى النبات من هذه العناصر بالجزء بالمليون (Parts Per Million, PPM) أو بـ($mg.\ kg^{-1}$) مادة جافة، ويكون عادة أقل من 0.1 % (1000 PPM >).

ولا بد من الإشارة هنا إلى أن تصنيف العناصر المغذية إلى عناصر كبرى وعناصر صغرى لا يعني أبداً أن أحدها أقل أو أكثر أهمية للنبات من الآخر، فجميعها في المستوى ذاته من **الأهمية الفيزيولوجية للنبات والاختلاف الرئيسي بينها يكمن فقط في متطلبات النبات من هذه العناصر.**

٢-٢-٢-٢ تصنيف العناصر المغذية تبعاً لدورها الحيوي- الكيميائي:

لما كانت العناصر المغذية التي يحتاجها النبات بكميات صغيرة نسبياً تقوم بأدوار ووظائف بيولوجية لا تقل أهمية عن تلك التي تقوم بها العناصر المغذية التي يتطلبها النبات بكميات كبيرة نسبياً، لذلك يرى العديد من الباحثين تقسيم العناصر المغذية تبعاً **للأدوار الفيزيولوجية والكيميائية التي تقوم بها. وبالتالي تمَّ تقسيم العناصر المغذية الأساسية إلى ثلاث مجموعات رئيسة:** مجموعة العناصر اللامعدنية، ومجموعة العناصر القاعدية والقاعدية الأرضية، ومجموعة المعادن الثقيلة.

أ- مجموعة العناصر اللامعدنية: تضم عناصر **الكربون والهيدروجين والأوكسجين**، التي تعدّ بمثابة حجر الأساس **في بناء المركبات العضوية** على اختلاف أنواعها وأشكالها. كما تضم **النتروجين والكبريت** اللذين لهما دوراً في **بناء المادة العضوية** اللذين يضمَّنان في السلاسل الكربونية بعد إرجاع النترات والسلفات. وتضم **الفوسفور، والبورون، والسيليكون** التي تدخل في **تركيب المادة العضوية** على شكل فوسفات، وبورات، وسيليكات على الترتيب.

تقوم عناصر **الكربون والأوكسجين والهيدروجين** ببناء هيكل النبات من خلال بناء السيليلوز والليجنين والبكتين، فإنّ عناصر النتروجين والفوسفور والكبريت تسهم في العمليات الاستقلابية **كما تشكّل حجر الأساس في بناء البروتينات.**

ب- مجموعة العناصر القاعدية والقاعدية الأرضية: تشمل كل من **البوتاسيوم، والصوديوم، والمغنزيوم، والكالسيوم**. يوجد الجزء الأكبر من هذه العناصر في النبات **بحالة أيونية (شاردية).** ويمتص النبات هذه العناصر على شكل كاتيوني Cation form، ويُعتقد أنها تنتقل ضمن النبات بهذا الشكل أيضاً. وتؤدّي هذه العناصر دوراً في معادلة الشحنات السالبة لبعض المركبات العضوية، ولا ترتبط هذه العناصر بالمادة العضوية بروابط قوية، وتتصف بقدرتها على إزاحة بعضها البعض من مواقع ارتباطها. وتؤدّي هذه العناصر دوراً في حالة انتباج الخلية، كما يلعب **المغنزيوم** دوراً كمنشّط أنزيمي في عمليات الفسفرة إذ يقوم بربط بروتين الأنزيم مع المرافق الأنزيمي.

ج- مجموعة المعادن الثقيلة: تشمل الحديد، والمنغنيز، والنحاس، والزنك، والموليبدنم. وبخلاف العناصر القاعدية والقاعدية الأرضية فإنّ هذه العناصر ترتبط بالمادة العضوية بروابط قوية، حيث يتم تضمينها في المادة العضوية على شكل مركبات مخلبية (شيلات Chelat). ولعلّ أهم ما تتصف به عناصر هذه المجموعة هو ميلها نحو تشكيل معقدات معدنيةMineral complexes. ويُعتقد بأنّ المركبات المخلبية تؤدي دوراً هاماً في امتصاص النبات للمعادن الثقيلة وانتقالها من جزء نباتي إلى آخر. ويمكن أن يقوم أيون أكثر ميلاً لتشكيل المركبات المخلبية (كالنحاس مثلاً) بإزاحة أيون آخر(كالمنغيز مثلاً) من المركب المخلبي والحلول مكانه. ويؤدّي **المنغنيز** أدواراً فيزيولوجية مشابهة لتلك التي يقوم بها المغنزيوم، لذلك يحتل هذا العنصر مكاناً متوسطاً بين مجموعة العناصر القاعدية والقاعدية الأرضية من جهة ومجموعة المعادن الثقيلة من جهة أخرى. ويبقى الدور البارز للمعادن الثقيلة في النبات هو عملها **كمنشطات أنزيمية**.

٢-٢-٢-٣ - تقييم محتوى النبات من العناصر المغذية تبعاً لمتطلباته منها:

بغض النظر عن محتوى النبات النسبي من العنصر المغذي بالمقارنة مع محتواه من العناصر المغذية الأخرى، **فإن محتوى النبات من العنصر المغذي الأساسي يمكن أن يقيم على أنه:**

أ. غير كافٍ Deficient: حيث يكون تركيز العنصر المغذي الأساسي في النبات منخفضاً إلى درجة يمكن أن يحدّ من الإنتاج ويسبب ظهور أعراض النقص المرئية Symptoms الخاصة بهذا العنصر. وقد يسبّب النقص (العوز) المستفحل للعنصر موت النبات، مقابل ذلك يلاحظ أنّ النقص الطفيف يمكن ألاّ يترافق بظهور أعراض النقص، لكن الإنتاج سينخفض بالتأكيد.

ب.عند المستوى الحرج Critical Level: يقصد به تركيز العنصر المغذّي في النبات الذي تُظهر التراكيز الأدنى منه استجابة في الغلّة للكميات المضافة من هذا العنصر المغذّي. من الطبيعي أن يختلف التركيز الحرج باختلاف العنصر المغذي وباختلاف النوع النباتي والصنف أيضاً، لكنّه يقع عادةً في المجال الكائن بين المستوى المنخفض (غير الكافي) والمستوى الملائم.

ت. مناسب(كافٍ) Sufficient: يشير هذا المستوى إلى مجال التركيز للعنصر المغذي الذي لا تُحدِث عنده الإضافات الجديدة من العنصر المغذي زيادة في الغلّة، لكنها تزيد من تركيز العنصر المغذي في النبات. يستعمل مصطلح **الاستهلاك الزائد Luxury Consumption** غالباً لوصف امتصاص العنصر المغذي من قبل النبات الذي لا يترافق مع تأثير في الغلة.

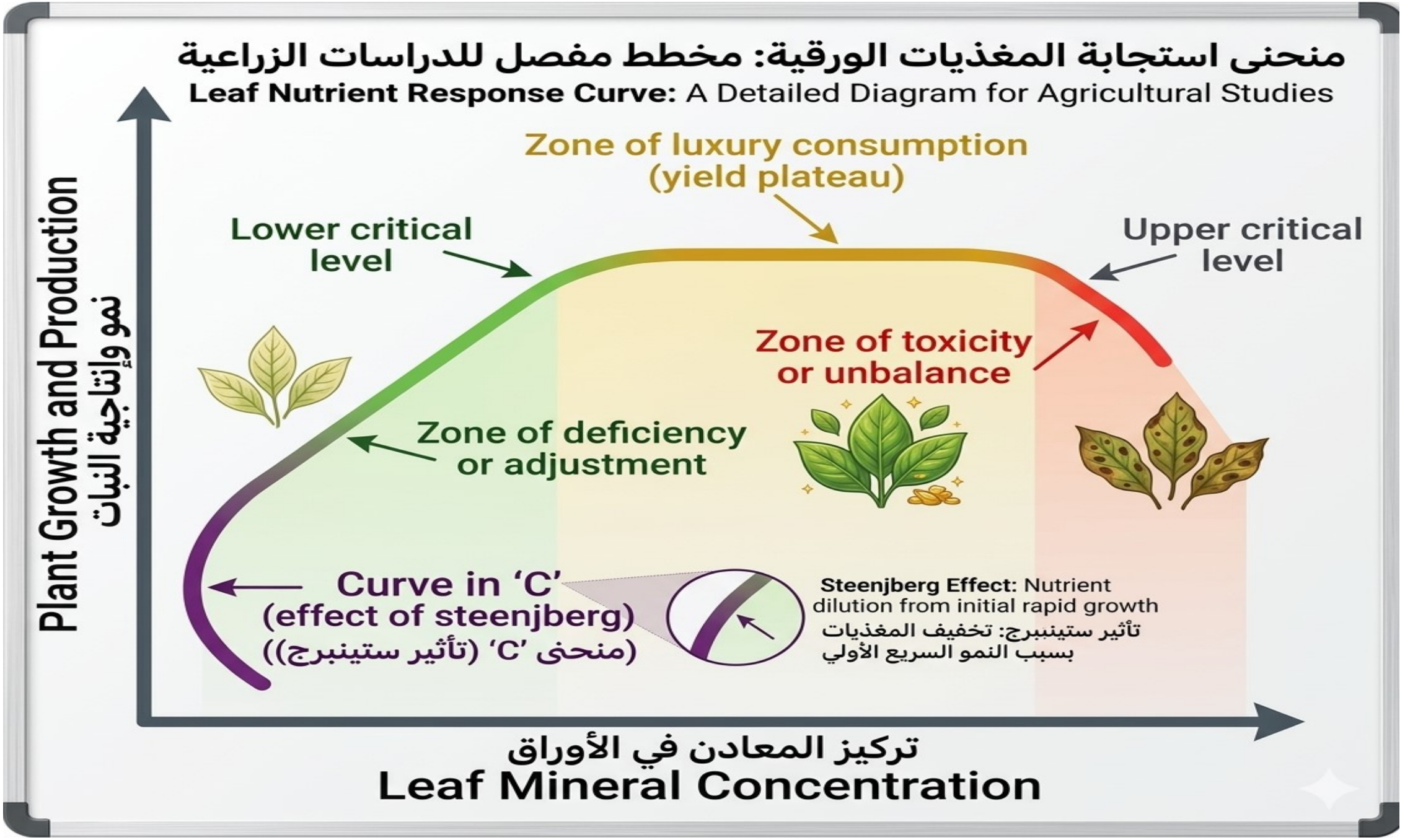
ث. زائد (مفرط) Excessive، أو سام Toxic: ذلك عندما يكون تركيز العنصر الأساسي أو غير الأساسي مرتفعاً لدرجة أنه يخفّض نمو النبات والغلة. ويمكن للتركيز المفرط من العنصر المغذي أن يسبب خللاً في امتصاص العناصر الأساسية الأخرى، وهذا ما يؤدي أيضاً إلى انخفاض الغلة.

يمكن توضيح العلاقة العامة بين تركيز العنصر المغذي في النسيج النباتي والغلة وفق ما هو مبين في الشكل (2-١). ويبدو من هذا الشكل أن **الغلّة تتأثّر بشكل كبير** عندما يكون مستوى العنصر المغذي **غير كافٍ**، وعندما يتم تصحيح النقص **يزداد نمو النبات** بمعدّل أكبر من معدل زيادة تركيز العنصر المغذي في النسيج النباتي.

وبوجود **نقص كبير في العنصر المغذّي** فإنّ **زيادة الغلة** الناجمة عن إضافته يمكن أن تسبب انخفاضاً **صغيراً** في تركيز العنصر المغذي ضمن النبات، وتدعى هذه الظاهرة بـ **Steenbjerg effect**، وتنتج عن **تمديد** العنصر المغذي في النبات بسبب النمو النباتي السريع.

وعندما **يصل التركيز إلى المستوى الحرج** فإنّ غلّة النبات تصل إلى أعلى حد ممكن، ويكون مجال التركيز في النبات لعنصر مغذٍ ما المتوافق مع المستوى الملائم كبيراً بينما **لا تتأثر الغلة**.

وتشير زيادة تركيز العنصر المغذي في النبات إلى تركيز أعلى من تركيز الحد الحرج إلى أن النبات يمتص مغذيات أكثر من الكميات اللازمة للحصول على إنتاج أعظمي، وهذا ما يدعى **بالاستهلاك الزائد**. وينتج عن امتصاص النبات لكميات زائدة من العنصر المغذي **انخفاض في الغلة** بشكل **مباشر** من خلال **السمية**، أو بشكل **غير مباشر** من خلال تخفيض تراكيز عناصر أخرى موجودة في تركيز أقل من الحد الحرج.



الشكل (2–١): العلاقة بين محتوى الأوراق النباتية من العنصر المغذي ونمو النبات

خلاصة القول:

إنّ جميع العناصر المغذية الأساسية تتمتّع بالأهمية ذاتها بالنسبة للنبات باعتبار أن غياب أي منها سواء أكان من العناصر الكبرى أو الصغرى وبغض النظر عن الدور الذي يؤدّيه داخل النبات، يؤدّي إلى عدم إكمال النبات لدورة حياته.

وبناءً على ذلك يمكن القول أنَّ النمو النباتي (وبالتالي مستوى الإنتاج النباتي ونوعيته) يحدّده العنصر المتوفر **بأقل تركيز** مقارنة بالتركيز المناسب للنبات من هذا العنصر.

ويشكّل هذا الموضوع جوهر نظرية **" العامل المحدِّد Limiting Factor"**، التي تكتسب أهمية بالغة في تغذية النبات كما في تقييم خصوبة التربة.

فالإنتاج النباتي (الغلة Yield) يبقى محدِّداً عند توفر جميع العناصر المغذية بتراكيز كافية، باستثناء **عنصرٍ واحدٍ** يكون تركيزه غير كاف لنمو النبات بصورة سليمة (الشكل ٢-٢).

الشكل(٢-٢): رسم تخطيطي لمفهوم العامل المحدد Limiting Factor، حيث الفوسفور والنتروجين هما العاملان المحددان للنمو في (a) و (b) على الترتيب

إلى اللقاء في المحاضرة القادمة

المرجع: - عودة وشمشم(٢٠١١) : كتاب خصوبة التربة وتغذية النبات- منشورات جامعة حمص.

ملاحظة: تمَّ تطوير بعض الرسوم البيانية بالاستعانة بالذكاء الصنعي .