

كذلك يؤدى التنفس اللاهوائى إلى زيادة تركيز بعض العناصر — مثل الحديد والمنجنيز — إلى مستويات سامة (بسبب خفض التنفس اللاهوائى لـ pH التربة)، وتراكم بعض الأحماض العضوية (مثل حامض الخليك، والبروبيونيك، والبيوتيريك)، والمركبات الفينولية. (مثل الـ para-hydroxybenzoic، والـ para-cumaric)، والغازات (مثل ثانى أكسيد الكربون، والإيثيلين، والميثان، وكبريتيد الأيدروجين) إلى مستويات ضارة بالنمو النباتى.

ويؤدى التنفس اللاهوائى إلى عدم توفر الطاقة اللازمة لاستمرار بقاء الأغشية الخلوية بصورة طبيعية؛ الأمر الذى يفقدها بعض خصائصها الهامة للنبات.

وتنشط فى الأراضى الغدقة عمليات تحول الآزوت العضوى (الموجود فى المادة العضوية والذى يعتمد عليه النبات كمصدر للنيتروجين) إلى الصورة الغازية، فيما يعرف بالـ denitrification، كما تغسل وتفقد النترات من التربة بسبب كثرة محتواها الرطوبى؛ ويترتب على ذلك افتقار النباتات إلى النيتروجين وظهور أعراض نقصه (عن Krizek ١٩٨٢).

خصائص النباتات التى تتحمل النمو فى الأراضى الغدقة

من أهم الخصائص التى تتميز بها النباتات التى يمكنها النمو فى ظروف نقص الأكسجين فى الأراضى الغدقة ما يلى:

١- زيادة المسافات البينية فى نسيج القشرة، لتكون بمثابة قنوات بامتداد الجذور، تسمح بمرور الغازات بينها وبين النموات الخضرية للنبات. وتعرف الخلايا البرانشيمية التى توجد فى المسارات الهوائية باسم البرانشيمات الهوائية، Aerenchyma. تظهر تلك المسافات الهوائية — بوضوح — فى الأرز، والسراخس، وعديد من النباتات المائية؛ كما تظهر فى النباتات التى تتحمل الغدق من القمح، والشعير، والذرة، ودوار الشمس، والطماطم. وفى كثير من الحالات توفر هذه القنوات

الهوائية كل احتياجات الجذور من الأكسجين، بالإضافة إلى بعض احتياجات الكائنات الدقيقة - التي تعيش حول الجذور - من الغاز.

ويعتقد أن نسيج الـ *Aeremchyma* (الخلايا البرانشيمية المحيطة بالمسارات والفراغات الهوائية الكبيرة في القشرة) يتكون عند انهيار بعض خلايا القشرة؛ بسبب عدم كفاية الطاقة التي تصل إليها تحت ظروف التنفس اللاهوائي. كما اقترح أن الإثيلين - الذى يتراكم فى الظروف اللاهوائية - يؤدي إلى زيادة نشاط إنزيم السيلوليز *Cellulase*؛ الذى يؤدي - بدوره - إلى تفكك الخلايا عن بعضها وظهور الفجوات الهوائية.

٢- تكوين جذور عرضية قريبة من سطح التربة؛ حيث يقل النقص فى الأكسجين، أو يكون تعويض النقص الذى يحدث فى الغاز سريعاً. يحدث ذلك فى عديد من النباتات؛ منها الطماطم ودوار الشمس.

٣- سيادة المجموع الجذرى السطحى مقارنة بالمجموع الجذرى المتعمق فى التربة.

٤- وجود عوائق أمام الفقد المحيطى للأكسجين من خلايا الجذر البرانشيمية؛ ذلك لأنه تحت ظروف الغدق ينتقل الأكسجين من قاعدة الساق إلى القمة النامية للجذر خلال خلايا الجذر البرانشيمية، إلا أن جزءاً كبيراً من هذا الأكسجين يفقد - غالباً - من محيط الجذر قبل وصوله إلى القمة النامية، ويؤدي وجود تلك العوائق إلى منع ظاهرة تسرب الأكسجين (Mano & Omori ٢٠٠٧).

٥- تحمل السموم (مثل الـ Fe^{2+} والـ H_2S) التى تتكون تحت ظروف نقص الأكسجين.

٦- اللجوء إلى بدائل لمسارات التحويلات الكيميائية الحيوية - الخاصة بالتنفس - يقل فيها إنتاج الكحول الإيثيلي. ومن أمثلة هذه البدائل تكوين الأحماض العضوية؛ مثل المالك، والشيكيميك *Shickimic*.

٧- زيادة كفاءة النباتات - مقارنة بالنباتات الحساسة للأراضي الغدقة - فى الاستفادة من النترات كمستقبل للإلكترونات (بدلاً من الأكسجين) فى حالات الغياب الجزئى للأكسجين؛ حيث يلاحظ زيادة واضحة فى نشاط إنزيم nitrate reductase فى جذور وأوراق النباتات التى تتحمل الأراضى الغدقة خلال فترات تشبع التربة بالرطوبة.

٨- كذلك تزيد كفاءة النباتات التى تتحمل الأراضى الغدقة فى تمثيل الأحماض الأمينية تحت هذه الظروف؛ الأمر الذى يسمح بإعادة أكسدة الـ NADH_2 تحت ظروف غياب الأكسجين إلى DH_2 (عن Krizek ١٩٨٢).

تأثير غرق التربة على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

تظهر على الطماطم النامية فى الأراضى الغدقة (وهى الأراضى التى يرتفع فيها مستوى الماء الأرضى إلى القرب من سطح التربة، والأراضى التى تزيد فيها الرطوبة إلى مستوى التشبع لفترة طويلة) أعراض مميزة، من أهمها ما يلى:

١- نمو جذور عرضية بكثرة.

٢- ضعف نمو الساق، وقلة استطالة الأوراق.

٣- اصفرار الأوراق السفلى.

٤- انحناء أنصال الأوراق لأسفل.

٥- ذبول الأوراق.

وتصاحب ذلك كله تغيرات داخلية فى النبات، من أهمها ما يلى:

١- تغيرات فى مستوى الجبريلينات Gibberellins، والسيتوكينينات Cytokinins.

٢- زيادة مستوى الإثيلين بالنبات؛ وهو المسئول عن حالة ميل أنصال الأوراق لأسفل،

وقد يكون له علاقة بنمو الجذور العرضية أيضاً.