الفصل الرابع

شد الجفاف (شد نقص الرطوبة الأرضية)

التغيرات الفسيولوجية المصاحبة للتغيرات فى الرطوبة الأرضية

نوجز فيما يلى الحالة الفسيولوجية التى تكون عليها النباتات فى المستويات المختلفة من الرطوبة الأرضية:

أولاً: عندما تكون الرطوبة الأرضية مناسبة

عندما تكون الرطوبة الأرضية فى المجال المناسب يتساوى معدل النتح مع معدل امتصاص الماء من التربة (فى الواقع أن معدل النتح يكون أعلى قليلاً من معدل امتصاص الماء، ابتداء من الثامنة صباحًا، حتى الخامسة بعد الظهر، وأقل قليلاً من معدل امتصاص الماء من الخامسة بعد الظهر حتى الثامنة صباحًا)، ويتبع ذلك ما يلى:

١- تكون الخلايا منتفخة Turgid.

٢- تكون الثغور مفتوحة.

٣- ينفذ ثانى أكسيد الكربون بسرعة إلى الأوراق.

٤- يكون معدل التمثيل الضوئى عاليًا.

٥- يكون معدل التنفس عاديًا.

٦- يتوفر كثير من المواد الكربوهيدراتية للنمو.

ثانيًا: عندما تكون الرطوبة الأرضية أقل من اللازم

يقل حينئذ امتصاص الماء، ويتبع ذلك ما يلى:

١- يقل انتفاخ الخلايا الحارسة.

٢- تقل مساحة الثغور.

٣- يقل معدل تمثيل الغذاء؛ وإن كان ذلك أمرًا مشكوكًا فيه.

٤- يقل النمو والمحصول، وتعيش النباتات على الغذاء المخزن.

٥- تقل المقاومة لأضرار البرودة فى حالة النباتات التى تبقى خلال فصل الشتاء.

ثالثا: عندما توجد زيادة فى الرطوبة الأرضية

عندما تزيد الرطوبة الأرضية عن اللازم يكون معدل امتصاص الماء أكثر من معدل النتح، ويتبع ذلك:

١- زيادة فى حجم الخلايا، وزيادة طول النبات، وتكون البادرات طويلة ورهيفة leggy.

٢- ظهور تشققات النمو growth cracks، كما فى الطماطم والبطاطا.

حالات الذبول الفسيولوجى

قد يكون الذبول لأسباب مرضية، أو لأسباب فسيولوجية، فالذبول المرضى يحدث نتيجة لإصابة جذور النباتات أو حزمها الوعائية بالمسببات المرضية التى تعوق عملية امتصاص الجذور للماء، أو انتقاله فى أوعية الخشب إلى باقى أجزاء النبات، أما الذبول الفسيولوجى، فإنه يحدث فى الحالات الآتية:

أولا: الذبول المؤقت فى درجات الحرارة المرتفعة

يحدث وقت الظهيرة، وينشأ عن زيادة النتح عن معدل امتصاص الماء من التربة، بالرغم من توفر الماء بالتربة، لكن ظهوره يزداد مع زيادة نقص الرطوبة الأرضية. وتعود النباتات إلى حالتها الطبيعية قرب المساء.

ثانيًا: الذبول الناشئ عن زيادة ملوحة التربة

يحدث نتيجة لزيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى، كما يظهر أحيانًا عند زيادة التسميد بالقرب من النباتات؛ حيث يتحرك الماء فى الاتجاه العكسي؛ أى من الجذور إلى المحلول الأرضى. ويحدث هذا النوع من الذبول، بالرغم من توفر الرطوبة فى التربة.

ثالثًا: الذبول الناشئ عن سوء التهوية وزيادة الصرف

يحدث فى الأراضى الرديئة الصرف، وعند زيادة الرطوبة الأرضية؛ حيث تختنق الجذور، ولا يمكنها امتصاص الماء اللازم للنبات.

رابعًا: الذبول الناشئ عن نقص الرطوبة الأرضية

يحدث عند وصول الرطوبة الأرضية إلى نقطة الذبول الدائم، ويعقبه موت النباتات؛ نتيجة جفاف بروتوبلازم الخلايا.

خامسًا: الذبول الناشئ عن انخفاض درجة حرارة التربة

يحدث ذلك عند انخفاض درجة حرارة التربة — بالرغم من توفر الرطوبة بها — خاصة وسط النهار عندما تكون الشمس ساطعة؛ حيث يزداد النتح عن مقدرة النبات على امتصاص الرطوبة.

خاصية الشدّ الرطوبى

تعريف الجهد المائى

يتعرض الماء الموجود فى الأوعية الموصلة للماء فى النبات لشدّ (ضغط سلبى) فى أى وقت يزيد فيه معدل فقد الماء بالنتح عن معدل امتصاصه عن طريق الجذور؛ مما يعنى انخفاض جهد الماء Water Potential، وازدياد التنافس بين مختلف الأنسجة والأعضاء النباتية عليه.

يأخذ الجهد المائى Water Potential فى النبات الرمز (Ψ_w)، وهو يقدر بالمعادلة التالية:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_\pi + \Psi_m$$

علمًا بأن:

Ψ_p = Turgor Potential أو جهد امتلاء الخلايا.

Ψ_π = Osmatic Potential أو الجهد الأسموزى.

Ψ_m = Matric Potential.

ينشأ الجهد الأسموزى عن طريق الأجسام الذائبة، سواء أكانت جزيئات، أم أيونات. وينشأ الـ matric Potential نتيجة لالتصاق الماء بالأسطح؛ حيث تكون جزيئات الماء أكثر انتظامًا وترتيبًا؛ معطية جزءًا من طاقتها الحركية. ومع توقف نشاط جزيئات الماء فإن طاقتها الحركية تنطلق كطاقة حرارية.

وينشأ جهد امتلاء الخلايا نتيجة لتعرض أسطح الأغشية الخلوية والجدر الخلوية التى تحتفظ بالماء فى نظام مغلق — مثل الفجوات العصارية — للقذف بجزيئات الماء. ويكون جهد الامتلاء — عادة موجبًا، ويُواجَه بالأغشية الخلوية أو الجدر الخلوية، أو بالضغط الهيدروستاتيكى الذى ينشأ بسبب تأثير الجاذبية على أعمدة الماء فى نسيج الخشب.

ويعد الحفاظ على خاصية امتلاء الخلايا بالماء turger ضروريًّا للنمو، وإذا انخفض الامتلاء فإن أعراض الذبول قد تظهر على النباتات. ويعد جهد الامتلاء أول مكونات جهد الماء التى تتأثر بنقص الرطوبة الأرضية.

ومع فقدان الماء من التربة بالصرف، أو بالتبخر السطحى، أو بامتصاص الجذور له، فإن استمرارية وجود الماء السائل — المتحرك فى التربة — تقل تدريجيًّا إلى أن تتوقف؛ فيبقى بعض الماء على سطح حبيبات التربة، ويتحول بعضه الآخر إلى بخار ماء

ينتشر فى الفراغات التى توجد بين حبيبات التربة. ومع زيادة فقد الماء من التربة يصبح المتبقى منه أكثر التصاقًا على سطح حبيبات التربة. ويمكن القول إن جهد الماء water potential يقل تدريجيًا إلى أن يصل إلى نقطة لا تتمكن عندها الجذور من امتصاص الماء لتعويض ما يفقد منه بالنتح، أو يستنفذ فى العمليات الحيوية الأخرى. وحينئذٍ قد يذبل النبات ولا يعود إلى حالته الطبيعية حتى لو أُوقف النتح بوضع النبات فى رطوبة نسبية عالية. وفى حالات كهذه يكون النبات قد ذبل بصورة دائمة، وتكون الرطوبة الأرضية عند نقطة الذبول الدائم Permanent Wilting.

يتراوح الجهد المائى فى التربة عند نقطة الذبول الدائم بين —١,٠ و ٢,٠ ميجاباسكال megapascls (الميجاباسكال وحدة قياس للضغط تأخذ الرمز MPa وتعادل ١٠ ضغط جوى). وعمومًا فإن الجهد المائى فى التربة يتراوح أثناء النمو النباتى من —٠,٠٣ ميجاباسكال ونقطة الذبول الدائم (—١,٥ ميجاباسكال).

كيفية وصول الماء الأرضى إلى الجذور تحت ظروف الشد الرطوبى

يصبح الماء ملامسًا لجذور النباتات بإحدى طريقتين؛ هما: إما بانتقال الماء إلى الجذور، وإما بنمو الجذور فى التربة الرطبة. يكون تحرك الماء فى التربة سهلاً عند نقطة التشبع الرطوبى تبًعا لقانون دارسى Darcy's Law ؛ كما يلى:

$$V = K \frac{\text{Change in total } \Psi_w \text{ in soil in cm } H_2O}{\text{Change in depth or distance}}$$

حيث إن:

V = سرعة حركة الماء (التدفق) عند التشبع الرطوبى.

K = معامل التوصيل الهيدروليكى Coefficient of Hydraulic Conductivity.

البسط = التغير فى الجهد المائى الكلى فى التربة بالسنتيمتر من الماء.

المقام = التغير فى العمق أو المسافة.

ومع نقص جهد الماء إلى ١,٥ ميجاباسكال فإن قيمة K تنخفض بسرعة إلى ٠,١٪ من قيمتها فى التربة المشبعة بالماء.

ويؤدى انخفاض محتوى التربة من الرطوبة إلى تقطع (عدم استمرارية) الغشاء المائى، ويتوقف التدفق المائى. وحينئذٍ يزداد إسهام الـ materic potential فى الجهد المائى، مقارنة بإسهام الجهد الأسموزى. وتحت هذه الظروف يصبح تحرك بخار الماء أمرًا هامًّا. وقد يتحرك الماء على سطح حبيبة التربة، وقد يتبخر فى المسافات المحصورة بين حبيبات التربة، وقد يتكثف على سطح حبيبة أخرى، ويتحرك إلى مسافات طويلة بتكرار هذه العملية. وتساعد التدرجات فى حرارة التربة فى هذا الشأن؛ حيث تعمل على حركة بخار الماء إلى أعلى شتاء وإلى أسفل صيفًا.

إن الأسطح التى تتملاس فيها الجذور مع حبيبات التربة تعد منطقة ديناميكية. ويعرف جزء التربة الذى يقع بالقرب من الجذور النامية ويتأثر بها باسم "الرايزوسفير Rhizosphere". ويعتبر الرايزوسفير نظامًا بيئيًّا ديناميكيًا تزداد فيه أعداد الكائنات الدقيقة كثيرًا عما فى بقية التربة. وتقع فيه جميع العمليات الحيوية للجذور التى يترتب عليها إفراز المركبات الكيميائية، والأيونات، وثانى أكسيد الكربون، بالإضافة إلى عمليات امتصاص الماء والعناصر.

تفرز جذور بعض النباتات — وخاصة النجيليات — مادة صمغية هلامية عند القلنسوة المحيطة بالقمة النامية للجذر. وتتكون تلك المادة من معقد من عديدات التسكر التى تتكاثر عليها البكتيريا؛ مما يؤدى إلى تحلل القلنسوة الجذرية؛ ليتكون غيرها... وهكذا. ويؤدى ناتج تحلل تلك المادة إلى التصاق حبيبات التربة ببعضها ومع القمة الجذرية النامية؛ الأمر الذى يفيد فى توثيق الاتصال بين الجذور وسطح حبيبات التربة (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

مستويات الشدّ الرطوبى

يمكن تقسيم درجات الشدّ الرطوبى كما يلى:

١- شدّ بسيط mild stress:

يكون مصاحبًا بانخفاض فى الجهد المائى Ψ_w للأوراق بمقدار ٠,١ ميجاباسكال، ونقص فى المحتوى النسبى للماء Relative Water Content يتراوح بين ٨٪ و١٠٪.

٢- شدّ معتدل Moderate Stress:

يكون مصاحبًا بانخفاض فى الجهد المائى للأوراق إلى -١,٢ حتى -١,٥ ميجاباسكال، ونقص فى المحتوى النسبى للماء أكثر من ١٠٪ ولكن أقل من ٢٠٪.

٣- شدّ شديد Severe Stress:

يكون مصاحبًا بانخفاض فى الجهد المائى للأوراق إلى أكثر من -١,٥ ميجاباسكال، ونقص فى المحتوى النسبى للماء أكثر من ٢٠٪.

وعندما تحدث حالة الشد الرطوبى يبدأ التنافس بين الأعضاء والأنسجة النباتية على الماء المُتاح؛ حيث تتميز الأعضاء والأنسجة التالية بقدرة تنافسية عالية:

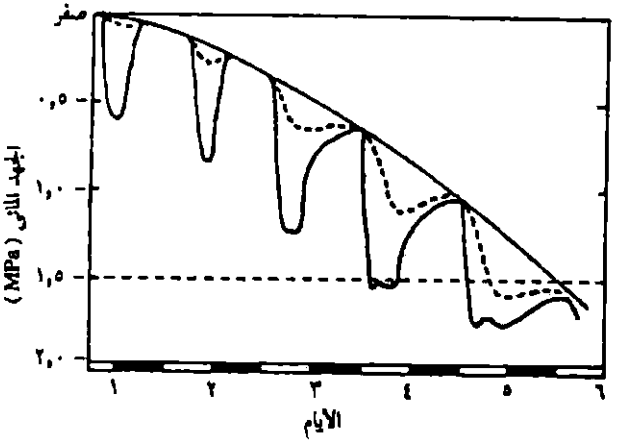
١- الأنسجة الميرستيمية بفعل ما تقوم بتمثيله من مركبات خلوية، وخاصة البروتين.

٢- الفجوات العصارية بفعل ما يتركز فيها من أملاح وسكريات.

٣- الأوراق بفعل ما تقوم بتصنيعه من غذاء.

٤- الأعضاء التى تتحول فيها المركبات العضوية غير الذائبة إلى مركبات ذائبة.

يزداد الشدّ الرطوبى مع ازدياد النقص فى الرطوبة الأرضية كما أسلفنا. ويبين شكل (٤-١) تطور الشد الرطوبى فى نبات نامٍ فى تربة مشبعة بالماء ثم تعرضت للجفاف التدريجى لمدة عدة أيام. نلاحظ فى الشكل وجود دورات يومية للتغيرات فى الجهد الرطوبى فى كل من الأوراق — التى تنتح أثناء النهار — والجذور، بالإضافة إلى نقص مستمر فى الجهد الرطوبى فى التربة.



شكل (٤-١): التغيرات فى الجهد المائى فى كل من الأوراق (الخط السفلى المتصل)، والجذور (الخط المتقطع)، والتربة (الخط العلوى المتصل) المرتبطة بنقص الماء الميسر فى التربة. يصل النبات إلى نقطة الذبول الدائم فى اليوم الخامس. يراجع المتن للتفاصيل.

تنشأ التغيرات اليومية فى الجهد المائى بالنبات بسبب تأخر امتصاص الجذور للماء مقارنة بنتحه من الأوراق. وعند نقطة الذبول الدائم نجد أن الجهد المائى بالأوراق يكون أقل من الجهد المائى فى التربة؛ حيث لا يمكن للماء أن يتحرك إلى الجذور بالسرعة الكافية للتغلب على نقص الرطوبة فى النبات، حتى لو كانت الثغور مغلقة.

وتحدث الدورة اليومية للشد الرطوبى نتيجة للدورة اليومية للنتح. فعند انغلاق الثغور ليلاً يستمر امتصاص الماء من التربة. وفى بداية مرحلة الجفاف نجد أن نقص الماء فى النبات — نتيجة للنتح نهارًا — يتم تعويضه فى بداية فترة الظلام، ولكن — مع تقدم حالة الجفاف — يصبح الماء الأرضى أقل تيسرًا، ويكون تعويض النقص فى الماء فى النبات أبطأ بصورة متزايدة إلى أن نصل إلى نقطة الذبول الدائم، وهى التى لا يمكن عندها تعويض هذا النقص (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

العوامل المؤثرة فى تأقلم النباتات على ظروف الشد الرطوبى

يتأثر مدى تأقلم النباتات على ظروف الشد الرطوبى بالعوامل التالية: