الفصل الثامن

العوامل الأرضية وتأثيرها على نباتات الخضر

نتناول فى هذا الفصل دراسة تأثير بعض العوامل الأرضية على نمو نباتات الخضر . أما دراسة هذ العوامل ذاتها ، فإنها تدخل فى نطاق علم الأراضى ؛ لذا . . فإننا نكتفى هنا بإعطاء فكرة مبسطة عنها ؛ ليمكن استيعاب أهميتها بالنسبة لمحاصيل الخضر .

وبالرغم من أن العناصر الغذائية تعد من العوامل الأرضية ، إلا أنه قد خصص لها الفصل التاسع بأكمله ؛ لما لها من أهمية فى إنتاج الخضر .

أنواع الأراضى ومكوناتها

الأراضى إما أن تكون معدنية ، وإما أن تكون عضوية . والأراضى المعدنية هى التى يقل محتواها من المادة العضوية عن ٢٠ ٪ .

الأراضى المعدنية

تقسم الأراضى المعدنية حسب محتواها من الرمل ، والغِرّين (أو السلت) ، والطين ـ وهو ما يعرف بالتحليل الميكانيكى للتربة إلى ثلاثة أقسام رئيسية ؛ هى الأراضى الرملية Sandy ، والطميية (أو الصفراء) Loamy ، والطينية Clayey . وينقسم كل قسمٍ رئيسى منها ـ بدوره ـ إلى عدة أقسامٍ فرعيةٍ حسب قوامها texture ، الذى يتوقف على تحليلها الميكانيكى.

أما الحصى (الحبيبات التى يزيد قطرها على ٢,٠ مم) ، فيستبعد من التحليل الميكانيكى للتربة . وتعرف التربة التى تحتوى على ٢٠ ـ ٥٠ ٪ من وزنها حصى بأنها حصوية gravely ، وتلك التى تزيد فيها نسبة الحصى حتى ٩٠ ٪ بأنها حصوية جدا .

وتضاف تلك الصفة إلى الاسم الأصلى للتربة حسب قوامها (Millar وآخرون ١٩٦٥) .

الأراضى العضوية

تُعّرف الأراضى العضوية بأنها تلك التى تحتوى على ٢٠ ٪ على الأقل مادةً عضويةً ، ويشترط أن يكون سمك طبقة التربة المحتوية على هذه النسبة من المادة العضوية ٣٠ سم على الأقل . هذا . . وتتكون الأراضى العضوية من بقايا نباتيةٍ فى درجاتٍ مختلفةٍ من التحلل (Davis & Lucas ١٩٥٩).

ويطلق على الأراضى التى تحتوى على نسبةٍ مرتفعةٍ جدا من المادة العضوية اسم ملك Muck ، أو بيت Peat ، ومن الأخيرة يستخرج البيت موس المستخدم فى الأغراض الزراعية ، وهو عبارة عن بقايا نباتيةٍ لم يكتمل تحللها ، ويمكن ملاحظة معالم المادة العضوية المتحللة فيها . أما الملك ، فيكون التحلل قد تقدم فيها إلى درجة يصعب معها تحديد معالم المادة العضوية المتحللة . وتتحول الأراضى «البيت» إلى «ملك» عند تحسين الصرف فيها واستخدامها فى الزراعة.

خصائص الأراضى العضوية

من أهم خصائص الأراضى العضوية ما يلى :

١ ـ يكون لونها بنيا أو أسود ، وكلما تقدمت درجة تحللها كان لونها أكثر دكنةً .

٢ ـ ذات قدرة عالية على الاحتفاظ بالرطوبة .

٣ ـ غنية بالآزوت ؛ فتحتوى على ١,٥ ـ ٢,٥ ٪ أو أكثر نيتروجينًا على أساس الوزن الجاف .

٤ ـ فقيرة فى العناصر المعدنية ، وخاصة البوتاسيوم ، وقد تكون فقيرةً فى محتواها من الفوسفور ، كما تكون فقيرةً غالبا فى محتواها من العناصر الدقيقة .

محتوى التربة من الكائنات الحية

تزخر التربة بأعداد هائلة من الكائنات الدقيقة التى تعيش فيها من مختلف الأنواع النباتية والحيوانية . ويتوقف أعداد تلك الكائنات على محتوى التربة من المادة العضوية الطازجة التى تستعملها هذه الكائنات كمصدر للطاقة . ويؤدى تسميد التربة بالأسمدة الحيوانية ، أو قلب بقايا النباتات فيها إلى انتعاش كبير فى نشاط تلك الكائنات وزيادة أعدادها بدرجة هائلة ، شريطة أن تكون حرارة التربة ونسبة الرطوبة فيها مناسبتين لتكاثر هذه الكائنات .

وتقدر كميات الكائنات التى تعيش فى التربة الخصبة على النحو التالى (عن Chispeels & Sadava ١٩٩٤) :

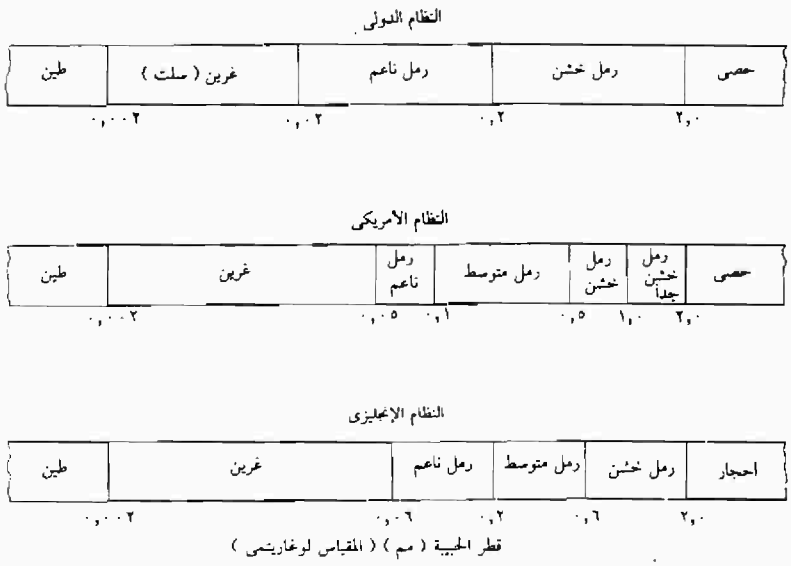
أنواع الكائنات	الكمية بالكيلو جرام للهكتار
البكتيريا	٨٠٠
الفطريات	٣٣٠٠
البروتوزوا	٣٣٠
الطحالب	٢٧٥
الديدان والحشرات	١٠٢٠

وفى تقدير آخر ذُكِر أن المتر المربع الواحد من الأراضى الزراعية الخصبة يحتوى على حوالى ٣ × ١٠^{١٤} (٣٠٠ جم) من الخلايا البكتيرية ، و ٤٠٠ جم من الفطريات ، و ٥ × ١٠^{٨} (٣٨ جم) من البروتوزوا ، و ١ × ١٠^{٧} (١٢ جم) من النيماتودا . ولحسن الحظ فإن معظم هذه الكائنات لا تكون متطفلة على النباتات (عن Huang ١٩٨٥) .

التحليل الميكانيكى للتربة وقوامها

يتوقف قوام التربة ـ كما أسلفنا ـ على تحليلها الميكانيكى ؛ أى على نسبة مكوناتها

من كل من الرمل ، والسلت ، والطين . ولكن تعريف هذه المكونات ـ الذى يعتمد على تحديد قطر حبيباتها ـ يتوقف على النظام المستعمل ؛ فهو يختلف فى النظام الأمريكى (المحدد فى U.S. Dept. Agr. Handbook 18; 1951) عنه فى النظام الدولى International or Atterberg System ، والنظام الإنجليزى . ويبين شكل (٨ ـ ١) مقارنةً بين أقطار حبيبات مختلف مكونات التربة فى كل نظام منها (عن White ١٩٨٧) .



شكل (٨ ـ ١) : أقطار مختلف مكونات التربة فى النظام الدولى ، والأمريكى ، والانجليزى .

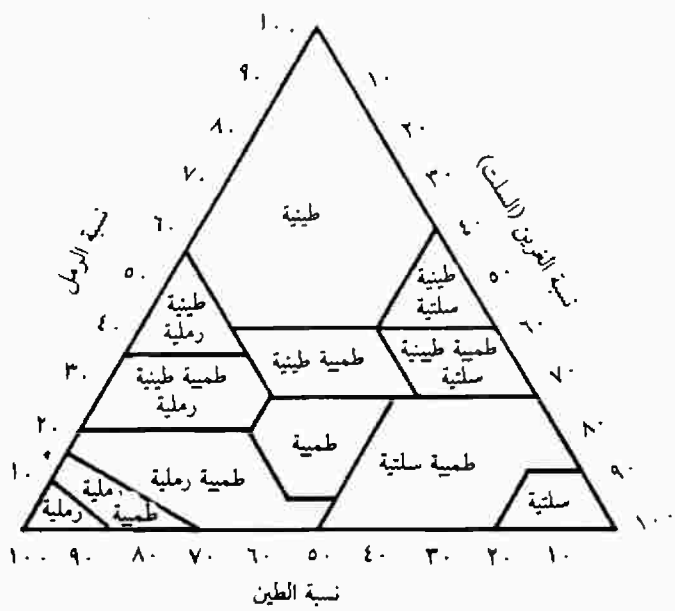
هذا . . وتقسم المجموعات الرئيسية للأراضى ـ تبعا لمكوناتها الفعلية من الرمل والسلت والطين ـ إلى الأقسام الفرعية التالية :

١ ـ الأراضى الرملية (الخشنة القوام Coarse Tectured ، أو خفيفة القوام Light Soils) : هى كل الأراضى التى تكون فيها نسبة الرمل بالوزن ٧٠ ٪ أو أكثر ، وتوجد منها الأراضى الرملية Sandy Soil ، والرملية الطمية Sandy Loam وغيرهما .

٢ ـ الأراضى الطينية (الدقيقة القوام Fine Textured ، أو الثقيلة Heavy Soils) : هى تلك التى تحتوى على ٣٥ ٪ على الأقل ـ وفى معظم التقسيمات ٤٠ ٪ على الأقل ـ من الطين ، ومنها الأراضى الرملية الطينية Sandy Clay ، والغرينية الطينيةSilty Caly وغيرهما . وتجدر الإشارة إلى أن الأراضى الطينية الرملية تحتوى على رمل أكثرمن الطين ، وكذلك الحال بالنسبة للأراضى الغرينية التى تحتوى على سلت أكثر من الطين .

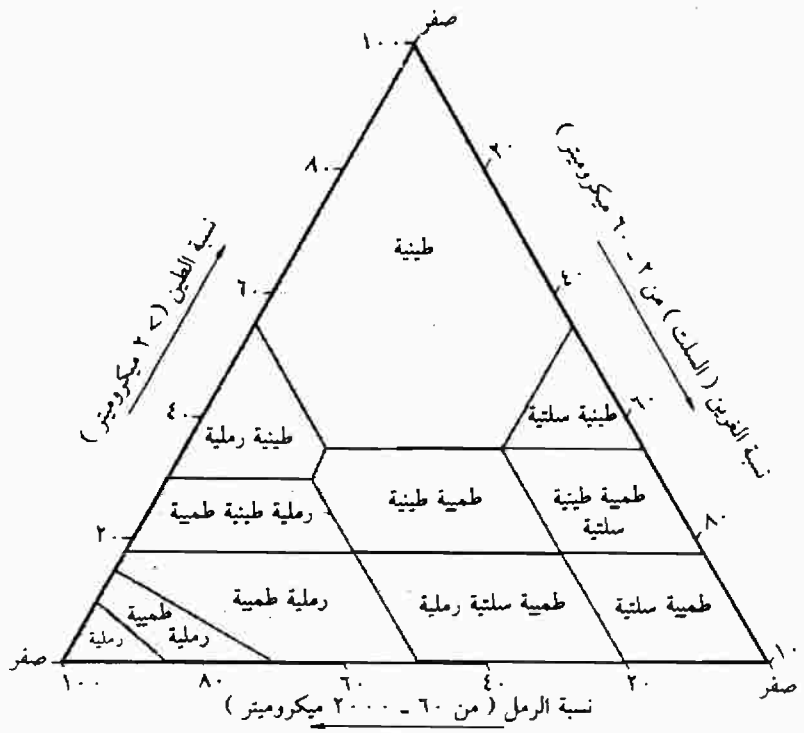
٣ ـ الأراضى الصفراء أو الطمية Loams (المتوسطة القوام Medium Textured) : هى أراضٍ تحتوى على الرمل ، والسلت ، والطين بنسب تجعلها وسطا فى صفاتها ، وتدخل تحتها أجود الأراضى الزراعية ، ومنها الأراضى الغرينية الطمية Silt Loams ، والطمية الطينية الغرينية Silty Clay Loams ، والطينية الطمية Clay Loams وغيرهم (Buckman & Brady ١٩٦٠) .

ويبين شكلا (٨ ـ ٢ ،و ٨ ـ ٣) نسبة كل من : الرمل ، والسلت ، والطين فى



شكل (٨ ـ ٢) : نسبة الطين (أقل من ٠,٠٠٢ مم) ، والسلت (٠,٠٠٢ ـ ٠,٠٥ مم) ، والرمل (٠,٠٥ ـ ٢,٠ مم) فى التقسيمات الرئيسية لأنواع الأراضى تبعاً للنظام الأمريكى (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

الأنواع المختلفة من الأراضى تبعا للنظامين الأمريكى ، والإنجليزى على التوالى ، علما بأن قطر حبيبات مختلف مكونات التربة يختلف فى النظامين كما سبق بيانه فى شكل (٨ ـ ١) .



شكل (٨ ـ ٣) : نسبة الطين (أقل من ٠,٠٠٢ مم) ، والسلت (٠,٠٠٢ ـ ٠,٠٦ مم) ، والرمل (٠,٠٦ ـ ٢,٠ مم) فى التقسيمات الرئيسية لأنواع الأراضى تبعاً للنظام الإنجليزى (عن White ١٩٨٧).

وترجع أهمية تحديد نسب مختلف مكونات التربة إلى علاقة ذلك المباشرة بمختلف صفات التربة الكيميائية والفيزيائية ، كما سيأتى بيانه . ويكفى للتدليل على ذلك مقارنة عدد حبيبات التربة ـ من الأحجام المختلفة ـ فى الجرام ، ومساحة أسطح تلك الحبيبات ؛ كما فى جدول (٨ ـ ١) .

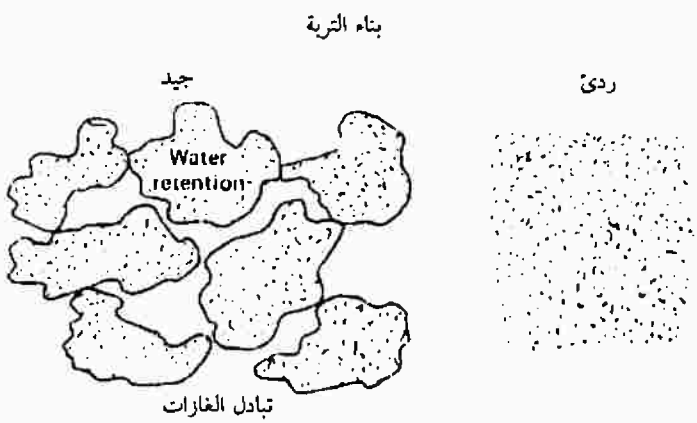
جدول (٨ ـ ١) : قطر مختلف مكونات التربة ، وأعدادها فى الجرام الواحد ، ومساحة أسطحها .

الحبيبة	القطر بالملليمتر حسب النظام الأمريكى	عدد الحبيبات فى الجرام	المساحة المسطحة (بالسم٢) للحبيبات التى توجد فى جرام واحد
رمل خشن جدا	٢,٠٠ ـ ١,٠٠	٩٠	١١
رمل خشن	١,٠٠ ـ ٠,٥٠	٧٢٠	٢٣
رمل متوسط	٠,٥٠ ـ ٠,٢٥	٥٧٠٠	٤٥
رمل ناعم	٠,٢٥ ـ ٠,١٠	٤٦٠٠٠	٩١
رمل ناعم جدا	٠,١٠ ـ ٠,٠٥	٧٢٢٠٠٠	٢٢٧
سلت	٠,٠٥ ـ ٠,٠٠٢	٥٧٧٦٠٠٠	٤٥٤
طين	< ٠,٠٠٢	٩٠٢٦٠٨٥٣٠٠٠	٨٠٠٠٠٠٠

بناء التربة وتحببها

بناء التربة

يشير مصطلح بناء التربة Soil Structure إلى تجمع aggregation حبيبات التربة الأولية (الرمل والسلت والطين) إلى حبيبات مركبة clusters تعمل كحبيبات مفردة تسمى تجمعات aggregates ، أو كحبيبات ثانوية Secondary Particles ، وتلك صفة جيدة ومرغوبة ؛ إذ إن مثل هذه الأراضى تحتفظ بالرطوبة جيداً بين الحبيبات الأولية داخل التجمعات ، وفى نفس الوقت تكون التربة جيدة التهوية ، أو تكون المسافات بين التجمعات مليئة بالهواء بعد صرف الماء الزائد بالجاذبية الأرضية . وقد تكون التجمعات صغيرة جدا تصعب رؤيتها بالعين المجردة ، أو أكبر حجما ويمكن رؤيتها (شكل ٨ ـ ٤) .



شكل (٨ ـ ٤) : بناء التربة : التربة على اليمين عديمة البنية أو ذات حبيبات مفردة . التربة على اليسار ذات بناء جيد تتجمع فيها الحبيبات الأولية (الرمل والسلت والطين) معا مكونة حبيبات مركبة أو تجمعات (Nelson ١٩٨٥) .

وقد تكون التربة عديمة البناء structurless ، ويوجد منها نوعان :

١ ـ تربة ذات حبيبات مفردة Single Grained ، كما فى الأراضى الرملية ؛ حيث تبقى كل حبة مفردة .

٢ ـ متكتلة Massive : وهى الأراضى الغنية بالطين ، والتى تحرث وبها نسبة مرتفعة من الرطوبة ؛ فتكون النتيجة ملء غرويات الطين للمسافات البينية بين الحبيبات الأولية الأكبر حجما ؛ مما يجعل التربة أكثر كثافة ، وتظهر بها كتل كبيرة بعد جفافها .

تحبب التربة

يعنى بالتحبب Granulation تكتل حبيبات الطين معًا لتكون تجمعات أكبر حجمًا ؛ ولذلك أهمية كبيرة فى زيادة مسامية التربة ، وتحسين التهوية بها . ويزداد تحبب التربة Granulation بفعل العوامل الآتية :

١ ـ بزيادة نسبة المادة العضوية فى التربة ؛ لأن حبيبات الطين تلتصق معًا بواسطة مادة الدبال Humus الناتجة من تحلل المادة العضوية ، وبذلك تتكون تجمعات الطين .

٢ ـ بزيادة الكالسيوم فى التربة يعمل على تجميع حبيبات الطين فى صورة تجمعات هشة ، ويسمى ذلك Flocculation ، وتصبح هذه التجمعات ثابتة عند التصاق حبيباتها الأولية بفعل المادة العضوية .

وعلى العكس من ذلك . . فإن للصوديوم تأثيراً مخالفًا لتأثير الكالسيوم ؛ إذ يعمل على تلاصق حبيبات الطين بعضها مع بعضٍ ببطء وبتناسق ، بحيث تكون الفراغات بينها قليلة جدا (Buckman & Brady ١٩٦٠) .

مسامية التربة ونفاذيتها

مسامية التربة

يعنى بدرجة المسامية Porosity نسبة الفراغات التى توجد بين حبيبات التربة . ولدرجة المسامية أهمية كبيرة فى تحديد إنتاجية التربة لتأثيرها على قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة ، وعلى تحرك الهواء بها ، وسهولة نمو الجذور . وعندما تقل نسبة الفراغات بين حبيبات التربة عن ١٠ ٪ يقل بشدة تحرك الماء والهواء ، ونمو الجذور خلال التربة .

العوامل المؤثرة فى مسامية التربة

تتأثر درجة مسامية التربة بالعوامل التالية :

١ ـ قوام التربة : تزيد المسامية فى الأراضى الخشنة القوام (مثل الرملية) عنه فى الأراضى الطينية ، والصفراء الطينية .

٢ ـ تجمعات التربة Soil Aggregates : تزيد المسامية مع زيادة هذه التجمعات .

٣ ـ كثرة عمليات العزيق والحرث ومرور الآلات الزراعية تؤدى إلى تفتيت تجمعات التربة ، وإجراؤها عندما تكون الأرض شديدة الجفاف أو زائدة الرطوبة يؤدى إلى نفس النتيجة . كما أن كثرة مرور الآلات الزراعية يعمل على انضغاط التربة ونقص مساميتها .

تتوقف نسبة الفراغات على طريقة تراص حبيبات التربة . فإذا فرض مثلا وجود كرة قطرها ٢,٥ سم، فإن حجمها يكون ٨,٥٨٨٣٦ سم^{٣} . فإذا وضعت فى مكعب طول ضلعه ٢,٥سم ، فإنه يتبقى حولها فراغ قدره ٧,٨٠١٦٤ سم^{٣} . ومعنى ذلك أن ٤٧,٦ ٪ من المكعب فراغ ، والباقى قدره ٥٢,٤ ٪ ـ تشغله الكرة . وينطبق ذلك على أية حالة تكون للمادة المائلة فيها كرات متساوية الحجم ومرصوصة فوق بعضها . أما إذا كانت الكرات متداخلة مع بعضها وما زالت بحجم واحد ، فإن نسبة الفراغات تصبح ٢٥,٩ ٪ .

ونظراً لأن حبيبات التربة لا تكون كروية أو متساوية فى الحجم ، لذلك فإن مقدار المسام أو الفراغات يختلف حسب حجم حبيبات التربة ، ومدى انضغاطها . فتعمل حبيبات الطين على ملء الفراغ بين الحبيبات الأكبر ؛ مثل : السلت والرمل ؛ فتقل المسامية ، بينما تعمل تجمعات التربة على زيادة المسامية .

ويوجد من الفراغات ما هو صغير micropores ، وهذه تمتلئ غالبا بالماء الذى لا يتحرك فيها إلا بالخاصية الشعرية ، وما هو كبير macropores ؛ حيث يتحرك الماء فيها بالجاذبية الأرضية ، وتكون غالبا ممتلئة بالهواء . وأفضل الأراضى هى التى تكون المسام فيها موزعة بالتساوى بين الحجم الصغير الذى يشغله الماء ، والحجم الكبير الذى يشغله الهواء .

طريقة حساب نسبة الفراغات فى التربة

تحسب نسبة الفراغات فى التربة بالمعادلة التالية :

$$n = 100 (1 - A_S / R_S)$$

حيث إن :

n = نسبة الفراغات .

A_S = كثافة التربة الظاهرية Apparent Specific Graviety ، وهى حاصل قسمة كتلة جافة من التربة على حجمها .

R_S = كثافة التربة الحقيقية Real Specific Graviety ؛ وهى حاصل قسمة وزن كتلة جافة من التربة على الحجم الحقيقى الذى تشغله حبيبات هذه الكتلة .

تتراوح الكثافة الحقيقية عادة بين ٢,٥ وأكثر من ٥,٠ ، تبعاً لأنواع المعادن التى تتكون منها الأراضى المختلفة . لكن الكثافة الحقيقية لمعظم الأراضى تبلغ حوالى ٢,٦٥ .

وتتراوح نسبة الفراغات فى معظم الأراضى الزراعية بين ٣٥ ٪ و ٥٥ ٪ .

نفاذية التربة

تعرف درجة نفاذية التربة Infiltration rate بأنها سرعة نفاذيتها للماء خلال فترة زمنية معينة . فلو فرض وأُضيف ٥ سم من الماء إلى سطح التربة ، وبعد ساعة كان المتبقى ٢ سم ، تكون درجة النفاذية ٣ سم/ساعة ، مع فرض تجاهل الماء المفقود بالتبخر .

العوامل المؤثرة فى نفاذية التربة

تتأثر نفاذية التربة بنفس العوامل التى تؤثر على مساميتها ؛ لأن نفاذية التربة تتوقف ـ أساسا ـ على مدى مساميتها ؛ ولذا . . فإن نفاذية التربة تتأثر بالعوامل التالية :

١ ـ قوام التربة : تزداد درجة النفاذية فى الأراضى الرملية ، عنها فى الأراضى الثقيلة ، وتقسم الأراضى حسب درجة نفاذيتها إلى أربعة أقسام ؛ كما يلى :

أ ـ أراضٍ ذات نفاذية عالية جدا (أكثر من ١٠٠ ملليمتر/ساعة ؛ وتشمل : الأراضى الرملية الخشنة ، والطمية الخشنة ، والطمية الرملية .

ب ـ أراضٍ ذات نفاذية عالية (من ٢٠ ـ ١٠٠ ملليمتر/ساعة) ؛ وتشمل : الأراضى الرملية الطمية ، والرملية الناعمة الطمية ، والطمية الرملية الناعمة .

جـ ـ أراضٍ ذات نفاذية متوسطة (من ٥ ـ ٢٠ ملليمتر/ساعة) ؛ وتشمل : الأراضى الطمية ، والسلتية الطمية ، والطينية الطمية .

د ـ أراضٍ ذات نفاذية منخفضة (أقل من ٥ ملليمتر/ساعة) ؛ وتشمل : الأراضى الطينية ، والسلتية الطينية ، والرملية الطينية (Fordham & Biggs ١٩٨٥) .

٢ ـ تجمعات حبيبات التربة : إذ إن المسافة بين هذه التجمعات هى التى يمر خلالها الماء بالجاذبية الأرضية .

٣ ـ درجة انضغاط التربة .

٤ ـ الفترة بين الريات : فتزداد النفاذية بزيادة الفترة بين الريات .

انضغاط التربة وتأثيره على النمو النباتى فيها

يؤدى انضغاط التربة Soil Compaction إلى زيادة كثافتها الظاهرية ونقص مساميتها . ويحدث الانضغاط عند كثرة مرور الآلات الزراعية الثقيلة على التربة دونما داعٍ ، وكذلك عند محاولة حَرْثها أوعزيقها قبل أن تصبح «مستحرثة» ؛ أى قبل أن تنخفض رطوبتها ـ عقب الرى أو المطر الغزير ـ إلى نحو ٥٠ ٪ من رطوبتها عند السعة الحقلية ، وعند كثرة عزيق التربة وخدمتها وهى جافة ؛ الأمر الذى قد يفتت تجمعات التربة .

ويتبين من دراسات Tu & Buttery (١٩٨٨) وجود علاقة عكسية بين شدة انضغاط التربة وبين كل من الوزن الكلى للمجموع الجذرى ، والنمو الخضرى ، والمساحة الكلية للأوراق فى كل من الفاصوليا وفول الصويا .

ومن السمات المميزة للنمو النباتى فى الأراضى المنضغطة : ضعف النمو الخضرى والنمو الجذرى ، وظهور أعراض الشد الرطوبى ، ونقص العناصر بسبب ضعف النمو الجذرى ، ونقص المحصول . كما تزيد الإصابة بأمراض الجذور ؛ بسبب سوء تهوية التربة وضعف نفاذيتها للماء (عن Aljibury وآخرين ١٩٨٢) .

يضعف النمو الجذرى ـ بشدة ـ فى الأراضى المنضغطة عندما تزيد قراءة مقاومة التربة لجهاز الـ Penetrometer عن ٢,٠ ميجا باسكال MPa . ويرجع ذلك ـ عندما تكون التربة قليلة الرطوبة ـ إلى عدم توفر ضغط امتلاء Turger Pressure كاف فى خلايا الجذر للتغلب على المقاومة الميكانيكية للتربة . كما يرجع ضعف النمو الجذرى فى الأراضى المنضغطة ـ حينما تكون رطوبتها عالية ـ إلى عدم توفر الأكسجين فيها بالقدر المناسب لتنفس الجذور واستمرار نموها .

ويقود النمو الجذرى المحدود للنباتات فى هذه الأراضى إلى ضعف مقابل فى النمو الخضرى ، ونقص فى المحصول ؛ بسبب ضعف امتصاص المجموع الجذرى للماء والعناصر المغذية .

ومما يزيد من حدة المشكلة أن محاولة التغلب على مقاومة التربة لاختراق الجذور لها ـ بزيادة معدلات الرى ـ يؤدى إلى زيادة نشاط البكتيريا اللاهوائية التى تحول الأزوت المتوفر فى التربة ـ والميسر لامتصاص النبات ـ إلى نيتروجين غازى لا يستفيد منه النبات .

وقد توصل بعض الباحثين إلى أن محدودية النمو الجذرى فى الأراضى المنضغطة ربما تتسبب فى إنتاج هرمونات معينة ـ فى الجذور ـ تتحكم فى نمو المجموع الخضرى للنبات وتحد منه . وقد لوحظت بالفعل زيادة فى مستويات حامض الأبسيسك ، والإيثيلين ، و 1H-indole-3-acetic acid فى جذور النباتات النامية فى أراضٍ منضغطة ، ولكن يحتاج هذا الأمر إلى إجراء مزيد من الدراسات للتأكد من حقيقته .

وقد تراوح مقدار النقص فى المحصول الناشئ عن انضغاط التربة ـ عادة ـ بين ٢٠ ٪ و ٥٠ ٪ فى المحاصيل الحقلية ، وبلغ ـ فى المتوسط ـ ٥٦ ٪ فى تسعة أنواع من الخضروات ، حيث كان ١٣ ٪ فى البطيخ ، و ٥٥ ٪ فى الذرة السكرية ، و ٦٥ ٪ فى الكرنب ، و ٦٦ ٪ فى الخيار ، و ٧٥ ٪ فى الفاصوليا الخضراء .

ويستدل من دراسات Wolfe وآخرين (١٩٩٥) على أن بادرات الكرنب النامية فى تربة منضغطة كانت أكثر تعرضًا للإصابة بالخنفساء البرغوثية . وأدت التربة المنضغطة إلى تأخير الحصاد ونقص المحصول بنسبة ٣٤ ٪ فى الذرة السكرية ، و ٤١ ٪ فى الخيار ، و ٤٩ ٪ فى الفاصوليا الخضراء ، و ٧٣ ٪ فى الكرنب .

الأهمية التطبيقية لنوع وقوام التربة

تأثير قوام التربة على عمليات الخدمة الزراعية

تتأثر عمليات الخدمة الزراعية باختلاف قوام التربة كما يلى :

١ ـ الأراضى الثقيلة :

أ ـ لا تحرث التربة إلا عندما تصبح مستحرثة ؛ أى عندما تصل نسبة الرطوبة بها إلى ٥٠ ٪ من السعة الحقلية .

ب ـ يكون الحرث عميقًا لتحسين التهوية .

جـ ـ يكون الرى بطيئًا ؛ لأن الأراضى الثقيلة تحتفظ بكميات كبيرة من الماء .

د ـ تطول المدة بين الريات .

هـ ـ تلزم العناية بالصرف .

و ـ يلزم الرى الخفيف قبل الإنبات إذا تشققت التربة حتى لا تنقطع الجذور .

٢ ـ الأراضى الخفيفة :

أ ـ يكون الحرث سطحيا ؛ لأن التربة مفككة بطبيعتها ، مع تزحيف الأرض جيدًا لزيادة انضغاط التربة .

ب ـ لا تزرع إلا بالطريقة العفير ؛ أى زراعة البذور الجافة فى أرضٍ جافةٍ ، ثم الرى .

جـ ـ يكون الرى سريعًا .

د ـ تقصر المدة بين الريات (مرسى وآخرون ١٩٥٩) .

٣ ـ الأراضى العضوية :

أ ـ يجب ضغط التربة قبل الزاعة لتشجيع حركة الماء بالخاصية الشعرية .

ب ـ يجب جعل مستوى الماء الأرضى على بعد ٦٠ ـ ١٢٠ سم من سطح التربة ؛ وذلك لمد النباتات بحاجتها من الماء ، ولتقليل التعرية قد الإمكان .

جـ ـ تلزم زيادة التمسيد البوتاسى بها .

د ـ تلزم حمايتها من التعرية بالرياح .

تأثير نوع وقوام التربة على محاصيل الخضر

يتأثر إنتاج الخضر بنوع وقوام التربة على النحو التالى :

١ ـ تعتبر الأراضى الرملية أنسب الأراضى لإنتاج محصول مبكر ، لكن المحصول يكون عادة منخفضًا فيها ؛ لعدم مقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة .

٢ ـ تعتبر الأراضى الطميية الرملية أنسب أنواع الأراضى لزراعة محاصيل الخضر ؛ لأن قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة وخصوبتها تكون أعلى منها فى الأراضى الرملية ، ولأن قوامها يكون أخف مما هو فى الأراضى السلتية والطينية ، ويمكن خدمتها بسهولة ، كما أن محصولها يكون أكبر منه فى حالة الزراعة فى الأراضى الأثقل .

٣ ـ تعتبر الأراضى الطميية السلتية أنسب أنواع الأراضى لزراعة محاصيل الخضر عندما يكون الهدف هو إنتاج محصول غزير ولا يهم التبكير فى النضج .

٤ ـ من أبرز عيوب الأراضى السلتية تكوين طبقة سطحية تسمى بالقشرة . هذه الطبقة تتصلب عند جفاف التربة ولا تتفتت ، وتعوق إنبات بذور الخضر ؛ حيث تبطئ من وصول الأكسجين إلى البذور من جهة ، وتشكل حاجزاً أمام بزوغ البادرات على سطح الأرض من جهة أخرى ؛ وبذلك تقل نسبة الإنبات ، كما أنه لا يكون منتظمًا . ويمكن تجنب هذه المشكلة ، إما بجعل سطح التربة رطبًا بصفة دائمة برذاذ خفيف من الماء ، وإما برش سطح التربة على خطوط الزراعة بمحلول ١ ٪ من زانثات السيليلوز Cellulose Xanthate . تعطى هذه المعاملة نتائج جيدة ، دون أن تضر بالبادرات ؛ نظراً لسرعة ادمصاص المركب على سطح حبيبات التربة .

٥ ـ أما الأراضى الطينية ، فإنها لا تصلح لزراعة محاصيل الخضر بصفة عامة ، والجذرية منها بصفة خاصة .

٦ ـ تعتبر الأراضى العضوية أصلح الأراضى لزراعة الكرفس ، والخس ، والبصل ، وتناسب زراعة بعض الخضروات الأخرى ؛ مثل الجزر ، والبنجر ، والكرنب ، والبطاطس .

استغلال الأراضى الرملية فى إنتاج الخضر

تعتبر النفاذية العالية من أهم عيوب الأراضى الرملية الخشنة القوام ؛ فهى لا تحتفظ بالرطوبة عقب الرى ، بل يرشح منها ماء الرى بسرعة كبيرة إلى باطن الأرض ، وفى ذلك إهدار كبير لمياه الرى ، وزيادة فى تكلفة الإنتاج ؛ نظراً للحاجة إلى تكرار عملية

الرى على فترات زمنية أقصر مما فى حالة الزراعة فى الأراضى المتوسطة والثقيلة القوام .

وتتطلب الزراعة فى مثل هذه الأراضى استعدادات خاصة ؛ منها :

١ ـ هذه الأراضى لا تصلح معها طريقة الرى السطحى المعروفة ، لكن إذا اتبعت معها هذه الطريقة ، فيجب على الأقل تبطين قنوات الرى بالأسمنت أو البلاستيك الأسود لمنع تسرب الماء منها .

٢ ـ يجب أن تتبع فيها طرق الرى التى توفر كثيراً من كمية المياه المستخدمة ؛ مثل : الرى بالرش ، أو بالتنقيط .

٣ ـ يفيد خلط الطبقة السطحية من التربة فى هذه الأراضى بمركبات محبة للماء ـ وذات قدرة عالية على الاحتفاظ بالرطوبة ـ فى زيادة احتفاظ الأرض بالماء . تعرف هذه المواد باسم Soil Conditioners ، وجميعها من البوليميرات التى تستخدم بمعدل ٠,٢ جم من البوليمر القابل للذوبان ، أو ١٠ جم من البوليمر المستحلب لكل كيلو جرام من التربة ، ومن أهم أنواعها ما يلى (عن White ١٩٨٧) :

البوليميرات الذائبة	البوليميرات المستحلبة
Polyvinyl alcohol (PVA)	Bitumen
Polyacrylamide (PAM)	Polyvinylacetate (PVAc)
Polyethyleneglycol (PEG)	Polyurethane

ومن أمثلة التحضيرات التجارية لهذه المركبات ما يلى (عن الزراعة فى العالم العربى ـ ١٩٨٧ ـ المجلد الثالث ـ العدد الأول) :

أ ـ أجروسوك Agrosoke : إنتاج Chem. Discoveries بانجلترا ، ويمتص حتى ٣٠٠ ضعف وزنه من الماء . تنتج نفس الشركة مركب إيروسل Erosel الذى يخلط بالطبقة السطحية من التربة لتحسين إنبات البذور .

ب ـ جالشاكتى Jalshakti : مُنْتَج هندى يمتص حتى ١٠٠ ضعف وزنه من الماء .

جـ ـ هموزورب Homosorb : يمتص حتى ١٥٠ ضعف وزنه من الماء .

د ـ برودليف بي٤ Broadleaf P4 : إنتاج Agr. Polymers بانجلترا ، ويمتص حتى ٤٠٠ ضعف وزنه من الماء .

هـ ـ أكواستور Aguastore : إنتاج شركة Cyanamid ، ويمتص حتى ٥٠٠ ضعف وزنه من الماء .

تتميز هذه المركبات بما يلى :

أ ـ تمتص مياه الأمطار فلا تفقد بالتبخير ، ومياه الرى فلا تفقد بالرشح .

ب ـ تُحسّن تهوية التربة .

جـ ـ لا تتحلل فى التربة ، وتكفى معاملة واحدة منها .

تفيد هذه المركبات فى تقليل صدمة الشتل ، وزيادة كفاءة استخدام المياه ، وتحسين النمو النباتى ، وزيادة المحصول .

تخلط هذه المركبات بالتربة إلى العمق المناسب ـ الذى تنتشر فيه الجذور ـ إما يدويا ، وإما آليا . فمثلا . . يخلط الأجروسوك بالطبقة السطحية من التربة حتى عمق ١٠ سم . ويكفى كيلو جرام واحد منه لكل طن من الأرض الرملية ، أى نحو طن لكل هكتار من الأرض . ويستخدم الأكواستور بمعدل كيلو جرام واحد/لكل متر مكعب من الأرض الرملية . أما الهموزورب فيستخدم بمعدل ١٥ ـ ٢٠ جم/م^{٢} من الأرض .

ويتبين من دراسات Letey وآخرين (١٩٩٢) أن هذه البوليمرات تقوم بامتصاص الماء والاحتفاظ به عند إضافتها إلى مخاليط التربة فى أصص الزراعة ، ويبقى هذا الماء ميسراً لاستعمال النبات ، وربما يفيد فى زيادة طول الفترة بين الريات ، إلا أن تلك الزيادة تراوحت بين يوم واحد وسبعة أيام فقط . وتحققت أكبر فائدة من البوليمرات عندما استعملت مع مخاليط الزراعة ذات النفاذية العالية .

ويستدل من هذه الدراسة كذلك على أن استعمال البوليمرات لا يوفر فى مياه الرى ؛ لأنها لم تؤثر على مجموع الماء المفقود بكل من النتح والتبخر السطحى ، وأن إطالة الفترة بين الريات يستلزم ـ بدايةً ـ زيادة كمية مياه الرى المضافة للوصول بالرطوبة إلى السعة الحقلية .

ويستفاد من هذه الدراسة ـ التى أجريت فى الأصص ـ أن هذه البوليمرات إذا استخدمت فى الزراعات الحقلية يمكن أن تفيد فى الأراضى الرملية الخشنة ؛ حيث يمكن إعطاء ريات غزيرة على فترات متباعدة دون تعرض ماء الرى للفقد بالرشح .

٤ ـ يفيد مع الأراضى الرملية الخشنة القوام (التى لا تقل نسبة الرمل فيها عن ٨٥ ٪ ، ولا تزيد نسبة الطين فيها على ١٠ ٪) استخدام الحواجز الأسفلتية للرطوبة Asphalt Moisture Barriers . يوضع الحاجز الأسفلتى تحت سطح التربة بنحو ٦٠ ـ ٩٠ سم بواسطة آلة خاصة لذلك ؛ بحيث تتكون على هذا العمق طبقة مستمرة من الأسفلت بسمك نحو ٣ مم . ويؤدى استخدام هذه الحواجز الأسفلتية إلى احتفاظ الأرض بالرطوبة وزيادة المحصول .

٥ ـ تستجيب الأراضى الرملية ـ بشدة ـ للتسميد العضوى الجيد ، الذى يفيد فيما يلى :

أ ـ توفير قدر من العناصر الغذائية للنبات ، مع تيسر تلك العناصر بصورة تدريجية أثناء تحلل المادة العضوية .

ب ـ تشجيع نشاط الكائنات الدقيقة فى التربة ، وهى التى تعمل بدورها على تيسر العناصر الغذائية ـ المثبتة فى التربة ـ لاستعمال النبات .

جـ ـ يعمل الدبال (وهو الناتج النهائى لتحلل المادة العضوية) على تحسين بناء التربة ؛ حيث إنه يعمل على تكوين تجمعات التربة Soil Aggregates .

د ـ كما يعمل الدبال على زيادة احتفاظ التربة بالرطوبة .

هـ ـ ويفيد الدبال كثيرا ـ كذلك ـ فى تقليل رشح الأسمدة مع مياه الصرف ؛ بادمصاصه لكاتيونات العناصر المغذية ؛ مثل الأمونيوم ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنيسيوم ، والمنجنيز ، والنحاس ، والحديد ، والزنك .

قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر المغذية

السعة التبادلية الكاتيونية للتربة

تحمل غرويات التربة ـ سواء أكانت غرويات الطين ، أم الغرويات العضوية ـ شحنات سالبة بكثرة ، وتزداد أعداد الشحنات السالبة على الغرويات العضوية كلما ازدادت درجة تحللها . هذه الشحنات السالبة تجذب إليها الكاتيونات المختلفة ؛ مثل : الكالسيوم ، والبوتاسيوم ، والمغنسيوم ، والأيدروجين ، والصوديوم ، والأمونيا ، فتدمص على سطح هذه الغرويات .

ويعبر عن عدد مواقع ادمصاص الكاتيونات لكل وحدة من وزن التربة بالسعة التبادلية الكاتيونية Soil Cation Exchange Capacity ، وتحسب بالمللى مكافئ millequivalents لكل ١٠٠ جرام من التربة المجففة ؛ وهى تساوى عدد ملليجرامات أيون الأيدروجين H^+ التى تتحد بمائة جرام من التربة الجافة .

هذا . . وتكون السعة التبادلية الكاتيونية قليلة جدا ، ولا تذكر فى كل من السلت والرمل ، وتتراوح بين ٨ و ١٠٠ مللى مكافئ فى الأنواع المختلفة من غرويات الطين ، وتصل إلى ٢٠٠ فى المادة العضوية . وعليه . . تبلغ قيمة السعة التبادلية الكاتيونية أقل من ٥ فى الأراضى التى تحتوى على نسبة قليلة جدا من الطين ، وتصل إلى ٢٠٠ فى الأراضى العضوية .

ويبين جدول (٨ ـ ٢) السعة التبادلية الكاتيونية لمختلف مكونات التربة وفى مختلف أنواع الأراضى (عن Archer ١٩٨٥) .

ويتم ـ عمليا ـ تقدير السعة التبادلية الكاتيونية للتربة بالمعادلة التالية :

جدول (٨ ـ ٢) : السعة التبادلية الكاتيونية لمختلف مكونات التربة ومختلف أنواع الأراضى .

نوع التربة أو مكوناتها	ملى مكافئ / ١٠٠ جم
الرمل والسلت	٣
الطين :	
الكالونيت Kalonite	٥
الإيليت ilite والكلوريت chlorite	٣٠
المونت موريللونيت montmorillonite	١٠٠
المادة العضوية	١٠٠ ـ ٢٠٠
الأراضى الرملية	٥
الأراضى الطمية الخفيفة	١٠
الأراضى الطمية	٢٠
الأراضى الطينية	٣٠

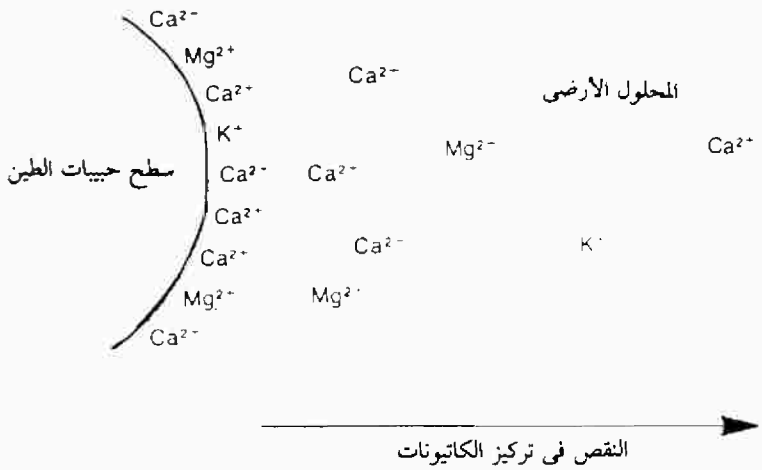
السعة التبادلية الكاتيونية = (النسبة المئوية للمادة العضوية فى التربة × ٢) + (النسبة المئوية للطين فى التربة × ١/٢) .

ويعد انخفاض السعة التبادلية الكاتيونية من أهم عيوب الأراضى الرملية ؛ لما يترتب على ذلك من عدم قدرة هذه الأراضى على الاحتفاظ بأيونات العناصر الغذائية الموجبة الشحنة . ولذا تفيد كثيرًا إضافة الأسمدة العضوية إلى هذه الأراضى ـ خاصة فى خطوط الزراعة ـ حيث تُحدث تلك الأسمدة زيادة ملموسة فى كل من السعة التبادلية الكاتيونية ، وقدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة فى منطقة نمو الجذور .

التبادل الكاتيونى

عندما تكون الكاتيونات المدمصة على سطح غرويات التربة فى حالة توازن مع المحلول الأرضى فإن تركيز الكاتيونات يقل تدريجيا كلما ابتعدنا عن سطح غرويات التربة ، إلى أن نصل إلى المحلول الحر ، الذى يكون مستقلاً عن تأثير الشحنة السالبة

لغرويات التربة . ويبين شكل (٨ ـ ٥) السلوك العام للكاتيونات فى مثل هذه الحالات .



شكل (٨ ـ ٥) :سلوك الكاتيونات فى التربة (عن Archer ١٩٨٥) .

وفى هذا النظام يوجد ـ دومًا ـ تبادل بين الكايتونات الحرة فى المحلول الأرضى والكاتيونات التى تقع تحت تأثير الشحنة السالبة لسطح غرويات التربة ولكن غير مدمصة عليها ، وهى التى تعرف بالكاتيونات المتبادلة Exchangeable Cations . ولحدوث التوازن فى التبادل الكاتيونى ، فإن توزيع الكاتيونات يقل تدريجيا من المحلول الأرضى الحر باتجاه سطح غرويات التربة .

ويمكن لأى كاتيون أن يحل محل أى كاتيون آخر من المحلول الأرضى الحر . فمثلا . . يمكن لأيون كالسيوم Ca^{++} أن يحل محله أيونان من البوتاسيوم K^{+} . ويتوقف مدى التبادل الذى يمكن حدوثه على قوة ادمصاص الكاتيون المدمص . ويتوقف ذلك على صفات الكاتيون ذاته وطبيعة غرويات التربة . وعندما يزيد تركيز كاتيونٍ ما فى التربة بالتسميد فإنه يميل إلى التبادل مع الكاتيونات المدمصة بالفعل إلى

حين الوصول إلى توازن جديد . ويلاحظ فى الأراضى الحامضية أن أيون الأيدروجين يحل محل بعض الكاتيونات الأخرى .

وتتوقف كفاءة الكاتيون فى أن يحل محل الكاتيونات الأخرى على العوامل التالية :

١ ـ التركيز النسبى للكاتيون فى المحلول الأرضى ، ويخضع ذلك لقانون فعل الكتلة mass action .

٢ ـ عدد شحنات الكاتيون ، فتزداد الكفاءة مع زيادة عدد الشحنات .

٣ ـ سرعة تحرك الكاتيون أو درجة نشاطه ، ويتوقف ذلك على حجم الكاتيون ، فكلما كان حجمه صغيراً ، ازدادات كفاءته ، فتكون الكفاءة أعلى ما يمكن فى الليثيوم Li^+ ، وأقل فى الصوديوم Na^+ ، ثم البوتاسيوم K^+ ، ثم الروبيديم Rb^+ ؛ لأن الحجم يزداد حسب الترتيب السابق ، لكن يجب أن تؤخذ درجة التشبع المائى Hydration فى الحسبان . فأيون الليثيوم يرتبط به عديد من جزيئات الماء ؛ مما يقلل من سرعته ونشاطه بشدة ، ولا يستطيع الاقتراب من غرويات التربة بسبب جزيئات الماء المحيطة به ، كما يزيد التشبع المائى فى الصوديوم عنه فى البوتاسيوم . وعلى ذلك . . نجد أن الكاتيونات السابقة يعاد ترتيبها هكذا حسب كفاءتها فى الإحلال محل بعضها البعض : Rb^+ ، ثم K^+ ، ثم Na^+ ، ثم Li^+ . وإذا ما أُخذت الكاتيونات المختلفة فى الحسبان ، فإنه يمكن ترتيبها تنازليا حسب مقدرتها على الإحلال محل بعضها البعض على سطح غرويات التربة كالتالى :

أيدروجين H^+ ← باريم Ba^+ ← كالسيوم Ca^{++} ← مغنسيوم Mg^{++} ←

روبيدوم Rb^+ ← بوتاسيوم K^+ ← أمونيا NH_4^+ ← صوديوم Na^+ ←

ليثيوم Li^+ .

النسبة المئوية للتشبع القاعدى وأهميته

النسبة المئوية للتشبع القاعدى Percent Base Saturation هى النسبة المئوية للقواعد المتبادلة ($Na^{++}, Mn^{++}, Mg^{++}, K^{+}, Ca^{++}$ . . . إلخ) من السعة التبادلية الكلية ، أما الباقى ، فيكون أيدروجينًا . فلو كانت السعة التبادلية ٢٠ ملللى مكافئ لكل ١٠٠ جم من التربة الجافة ، وكان الأيدروجين المتبادل ٤ ملللى مكافئ لكل ١٠٠ جم ، فإن ذلك يعنى أن نسبة التشبع القاعدى تساوى ٨٠ ٪ .

وترجع أهمية نسبة التشبع القاعدى إلى أن تيسر العناصر المتبادلة للنبات لايكون بوفرة إلا عندما تكون هذه النسبة مرتفعة ، ويتضح ذلك من المثال التالى (عن Buckman & Brady ١٩٦٠) .

الكالسيوم المتبادل (ملللى مكافئ/١٠٠ جم تربة)	السعة التبادلية (ملللى مكافئ/١٠٠ جم تربة)	التشبع بالكالسيوم (٪)	تيسر الكالسيوم للنبات
٦	٨	٧٥	ميسر
٦	٣٠	٢٠	غير ميسر

ادمصاص الأنيونات

تعد قدرة التربة على ادمصاص الأنيونات Anion Adsorption منخفضة ، مقارنة بقدرتها على ادمصاص الكايتونات . وتتوفر القدرة المحدودة على ادمصاص الأنيونات فى المواقع النشطة بكل من أكاسيد الحديد والألومنيوم ، ومعادن الطين(وخاصة معدن الكالونيت الذى تكثر فيه مجموعة الأيدروكسيل OH^{-}) ، والمركبات المعقدة من كل من الحديد والألومنيوم مع المادة العضوية ، وكربونات الكالسيوم . وتتركز أهمية هذا الموضوع فيما يعرف بالـ ligand exhange بين الأنيونات ومجموعة الأيدروكسيل ؛ حيث يدمص أيون الفوسفات ، وبدرجة أقل أيون الكبريتات .

وتساعد بعض التفاعلات الكيميائية فى التربة ـ وخاصة تفاعلات الفوسفات ـ فى الإبقاء على بعض الأنيونات لاستعمال النبات .

كلب (أو خلب) العناصر

يحتفظ ببعض العناصر فى التربة ، وخاصة الحديد ، والنحاس ، والزنك ، والموليبدنم فى صورة مخلبية كجزء من المادة العضوية التى تتوفر فى التربة (عن Archer ١٩٨٥) .

الرقم الأيدروجينى ، أو تفاعل التربة وأهميته

تعريف الرقم الأيدروجينى للتربة

يعبر عن درجة حموضة التربة بالرقم الأيدروجينىpH ، ويقع pH غالبية الأراضى بين ٥,٠ ، و ٩,٠ ، وتقسم الأراضى حسب الرقم الأيدروجينى إلى الأقسام التالية :

التصنيف	الرقم الأيدروجينى (pH)
شديدة الحموضة	٥,٠ ـ ٥,٥
معتدلة الحموضة	٥,٥ ـ ٦,٠
حامضية قليلاً	٦,٠ ـ ٧,٠
متعادلة	٧,٠
قلوية قليلاً	٧,٠ ـ ٨,٠
معتدلة القلوية	٨,٠ ـ ٨,٥
شديدة القلوية	٨,٠ ـ ٩,٥

يرتفعpH الأراضى الصحراوية ـ دائمًا ـ عن ٨,٠ ؛ حيث يتراوح ـ غالباً ـ بين ٨,٠ و ٨,٥ ، بينما يصل الرقم إلى ٩,٠ فى الأراضى الجيرية .

ويلاحظ أن كل تغير مقداره وحدة pH واحدة يقابله تغير نسبى مقداره عشرة أضعاف فى حموضة أو قلوية التربة . فمثلا تزداد حموضة التربة عشرة أضعاف عند تغير الـ pH من ٦ إلى ٥ .

وتجدر الإشارة إلى أن pH التربة يتوقف على تركيز الأملاح فى المحلول الأرضى ، وعلى تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون بهواء التربة ، وكلاهما يتغير باستمرار . كذلك يختلف pH التربة كثيراً من مكان لآخر بالحقل . ويعنى كل ذلك صعوبة تقدير pH التربة بدقة (Russell ١٩٧٣) .

وتعد الأراضى ذات قدرة تنظيمية عالية Highly Bufferd ضد التغير فى الـ pH ، ويرجع ذلك إلى العوامل التالية :

١ ـ توفر أملاح الكربونات والفوسفات والأملاح الأخرى فيها .

٢ ـ السبب الرئيسى هو طبيعة غرويات التربة العضوية وغير العضوية ، التى تعمل كحامض متأين قليلاً ، أو كملح متأين قليلا لحامض ضعيف ؛ ولذا . . نجد أن تعديل pH التربة يصبح أكثر صعوبة كلما ازدادت نسبة المادة العضوية أو الطين فيها .

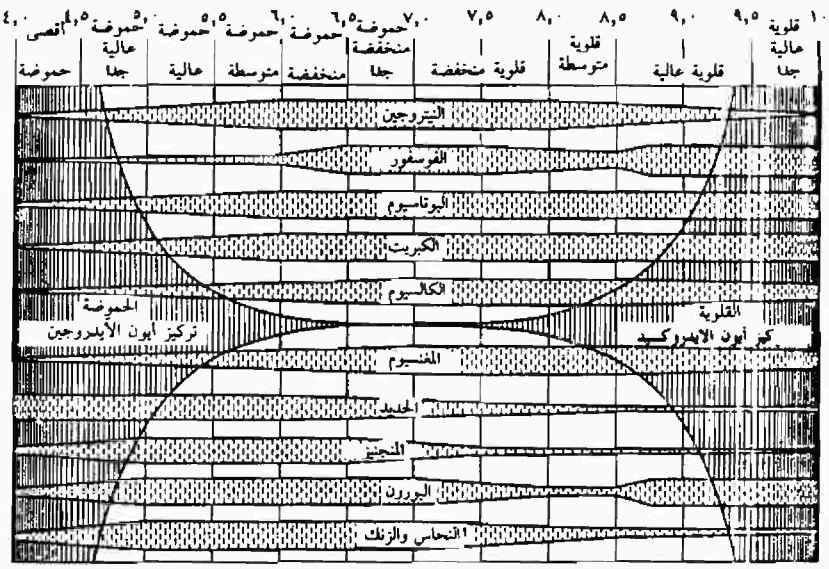
ولكن يمكن رفع الرقم الأيدروجينى (pH) فى الأراضى الحامضية بإضافة الحجر الجيرى limestone (كربونات الكالسيوم) ، أو الحجر الجيرى الدولوميتى dolomitic lime (كربونات الكالسيوم والمغنسيوم) ، أو أكسيد الجير (أكسيد الكالسيوم) . كما يمكن خفض الرقم الأيدروجينى فى الأراضى القلوية بإضافة الكبريت أو الجبس الزراعى (كبريتات الكالسيوم) . وفى أى من الحالتين ، فإن المواد المستعملة تجب إضافتها قبل الزراعة بوقت كاف ، مع خلطها جيداً بالعشرة سنتيمترات العلوية من التربة . وتفضل إضافة كميات معتدلة سنويا عن إضافة كميات كبيرة كل عدة سنوات (Lorenz & Maynard ١٩٨٠) . ونتناول هذا الأمر بشئ من التفصيل فى موضع لاحق من هذا الفصل .

تأثير pH التربة على تيسر العناصر الغذائية

يتوقف مدى تيسر العناصر الغذائية بالتربة على رقمها الأيدروجينى (pH) . ففى الأراضى الشديدة الحموضة (pH حوالى ٤) يقل الكالسيوم والمغنسيوم المدمص على سطح حبيبات التربة ، ويزداد ذوبان الألومنيوم والحديد والمنجنيز والبورون ، ويقل ذوبان الموليبدنم ، كما تزداد فرصة وجود المواد العضوية السامة غير المتحللة ، وبالتأكيد يقل تيسر النيتروجين والفوسفور . وفى الأراضى القلوية (pH حوالى ٧,٥)

يتوفر الكالسيوم النشط بكثرة ، وكذلك المغنسيوم والموليبدنم ، ولا يوجد أى ألومنيوم بتركيزات سامة ، كما يتوفر النيتروجين . ولو كان الـ pH عالياً بدرجة كبيرة ، فإنه يقل تيسر الحديد والمنجنيز ، والنحاس ، والزنك ، والفوسفور ، والبورون . أما الأراضى المعتدلة الحموضة ، فإن كل العناصر تكون ميسرة فيها بصورة جيدة ، ويبدو أنها أصلح الأراضى لنمو النباتات (Buckman & Brady ١٩٦٠) .

ويتحدد مدى تيسر العناصر الغذائية مع التغير فى التربة المعدنية كالتالى (شكل ٨ ـ ٦) .



شكل (٨ ـ ٦) : تأثير الرقم الأيدروجينى للتربة (الـ pH) على تيسر العناصر بها .

١ ـ يتوفر النيتروجين بكثرة فى مدى pH ٦ ـ ٨ ، ويقل بزياد حموضة أو قلوية التربة عن ذلك بصورة تدريجية ، وتصبح كمية النيتروجين الميسرة ضئيلة جدا فى pH أقل من ٥,٥ ، أو أعلى من ٨,٥ .

٢ ـ يتوفر البوتاسيوم والكبريت فى صورة صالحة للامتصاص فى الأراضى القلوية ، وكذلك فى الأراضى الحامضية حتى pH ٦ ؛ حيث يقل مستواهما تدريجيا ، وتصبح

الكميات الصالحة لامتصاص النبات منها ضئيلة جدا ، مع انخفاض رقم الـ pH عن ٥,٥ .

٣ ـ يتيسر الكالسيوم بوفرة فى مدى pH ٧ ـ ٨,٥ ، ويقل تيسره تدريجيا مع زيادة الحموضة أو القلوية عن تلك الحدود ، لكن مستواه لا ينخفض بشكل واضح إلا عند نقص الـ pH عن ٦ أو زيادته عن ١٠ . والأراضى الأخيرة نادراً ما تستخدم فى الزراعة .

٤ ـ يتوفر الفوسفور بكثرة فى مجال pH ضيق من ٦,٥ ـ ٧,٥ ، وينخفض مستواه بشدة مع انخفاض الـ pH عن ٦,٥ إلى أن يصل إلى مستوى حرج فى pH ٦ ، كما ينخفض ببطء مع ازدياد الـ pH عن ٧,٥ إلى أن يصل إلى مستوى حرج فى pH ٨,٥ . ومع ارتفاع الـ pH عن ذلك يتيسر الفوسفور مرة أخرى .

٥ ـ يتيسر المغنسيوم بوفرة فى الأراضى القلوية ، ويقل مستواه مع انخفاض رقم الـ pH عن ٧ ، لكن مستواه لا ينخفض بشكل ملحوظ إلا بعد وصول الـ pH إلى ٥,٥ .

٦ ـ يوجد الحديد ، والمنجنيز والبورون ، والنحاس ، والزنك بوفرة فى الأراضى الحامضية. وفى الأراضى الشديدة الحموضة يزداد تركيز الحديد ، والمنجنيز ، والألومنيوم إلى الدرجة السامة للنبات .

٧ ـ يزداد توفر الحديد إلى درجة السمية مع انخفاض الـ pH ، إلا أن مستواه يقل تدريجيا مع ارتفاع الـ pH عن ٦ ، ويصبح النقص ملحوظًا مع ارتفاع الـ pH حتى ٧ ، وحرجاً بعد ٧,٥ .

٨ ـ يقل تيسر المنجنيز مع ارتفاع الـ pH عن ٦,٥ ، ويصبح مستواه حرجا بعد pH ٧,٥ ؛ حيث يقل تيسره بشدة بعد ذلك .

٩ ـ يبدأ تيسر البورون فى النقصان بصورة تدريجية مع زيادة الـ pH عن ٧ ، ويصبح مستواه حرجًا بعد pH ٧,٥ ، وينقص بشدة فى pH ٨ ، لكن تيسر البورون يبدأ فى الزيادة مرة أخرى مع ارتفاع الـ pH عن ٨,٥ .

١٠ ـ يقل تيسر النحاس والزنك تدريجيا وببطء مع ارتفاع الـ pH عن ٧ ، ويكون النقص واضحًا عند pH ٨ وحرجا بعد pH ٨,٥ .

١١ ـ يسلك الموليبدنم نفس سلوك المغنسيوم تقريبا ؛ أى يقل مستواه مع انخفاض الـ pH عن ٦,٥ ، ويكون النقص ملحوظًا مع وصول الـ pH إلى ٥,٥ .

ويمكن القول أن pH التربة لا يؤثر بصورة مباشرة على النمو النباتى ، وإنما بصورة غير مباشرة من خلال تأثيره على تيسر العناصر . وأفضل pH هو الذى يميل قليلاً نحو الحموضة ، ويتراوح بين ٦ ، و ٦,٨ .

ويمكن إيجاز ما سبق بيانه بشأن تأثير التربة على تيسّر العناصر بها فى أن معظم العناصر الدقيقة ـ كالحديد ، والمنجنيز ، والنحاس ، والزنك ، والبورون ـ تثبت فى صورة غير صالحة لاستعمال النبات فى الأراضى القلوية . كما يقل ـ أيضا ـ تيسر عنصر الفوسفور ، وخاصة عند ارتفاع الـ pH عن ٨,٠ .

وعلى العكس من ذلك . . فإن بقية العناصر الغذائية (النيتروجين ، والبوتاسيوم ، والكبريت ، والمغنسيوم ، والموليبدنم) لا تثبت فى مدى الـ pH القلوى السائد فى الأراضى المصرية والعربية عموما .

تأثير pH التربة على محاصيل الخضر

ترجع أهمية pH التربة إلى العوامل الآتية :

١ ـ يؤثر pH التربة على مدى تيسر العناصر الغذائية بها كما أسفلنا . فمعظم العناصر تثبت فى الأراضى الشديدة الحموضة ، وكذلك فى الأراضى الشديدة القلوية ، كما أن بعض العناصر ـ كالحديد والألومنيوم ـ يزداد ذوبانها وتركيزها إلى درجة السمية للنباتات فى الأراضى الحامضية .

٢ ـ يؤثر pH التربة على نشاط الكائنات الحية الدقيقة النافعة ، كبكتيريا تثبيت أزوت الهواء الجوى ، والبكتيريا التى تقوم بتحليل المادة العضوية . وأنسب pH لنشاط هذه الكائنات هو ما يتراوح بين ٦ و ٧ .

٣ ـ يؤثر pH التربة على انتشار بعض الأمراض ، مثل مرض تثألل جذور الصليبيات الذى يشتد فى الأراضى الحامضية ، ولا يظهر فى pH ٧,٢ ـ ٧,٤ ، ومرض جرب البطاطس الذى يكون أكثر انتشاراً فى pH من ٥,٥ إلى ٧ . ولا ينصح بزراعة البطاطس فى هذه الدرجة من الحموضة ، برغم أنها مناسبة لنموها فى حالة غياب المرض (Thompson & Kelly ١٩٥٧) .

كذلك ينتشر عفن جذور البسلة الذى يسببه الفطر Aphanonyces euteiches فى مدى يتراوح بين ٥,٤ و ٧,٥ ، والذبول البكتيرى فى البطاطس الذى تسببه البكتيريا Pseudomonas solanacearum فى pH أعلى من ٥,٠ (عن Palti ١٩٨١) .

هذا . وأنسب pH لزراعة معظم محاصيل الخضر يتراوح بين ٦ و ٦,٨ ؛ حيث يتوفر فى هذا المدى معظم العناصر الغذائية الضرورية للنبات ، لكن يمكن زراعة الخضروات بنجاح أيضاً فى رقم أيدروجينى يتراوح بين ٥ و ٨ ، بشرط علاج النقص الذى يمكن أن يحدث فى بعض العناصر الغذائية ، مع منع تراكم المواد السامة بالتربة .

تقسيم الخضروات حسب تحملها لحموضة التربة

برغم أنه يمكن زراعة معظم الخضروات بنجاح فى pH يتراوح بين ٥ و ٨ متى أمكن التغلب على النقص فى العناصر الغذائية الذى يحدث فى الأراضى الحامضية والقلوية ، إلا أن لكل محصول مدى pH معيناً يناسب نموه . وتقسم محاصيل الخضر إلى ثلاث مجموعات حسب مقدرتها على تحمل حموضة التربة ، كما فى جدول (٨ ـ ٣) .

تنمو نباتات المجموعة الأولى فى جدول (٨ ـ ٣) بصورة جيدة فى الأراضى القلوية التى يصل الـ pH فيها حتى ٧,٥ ، ما دام لا يوجد نقص فى العناصر الضرورية . وتنمو خضر المجموعة الثالثة فى الأراضى الحامضية التى ينخفض فيها الـ pH حتى ٥ ، لكن جميع الخضروات يمكنها النمو فى pH من ٥ ـ ٨ ، ويكون أفضل نمو لها فى pH من ٦ ـ ٦,٨ .

جدول (٨ ـ ٣) : تقسيم الخضروات حسب تحملها لحموضة التربة .

المقدرة على تحمل حموضة التربة (والـ pH المناسب)	محاصيل الخضر
قليلة التحمل للحموضة (٦ pH ـ ٦,٨)	الهليون ـ البنجر ـ البروكولى ـ الكرنب ـ القنبيط ـ الكرفس ـ السلق السويسرى ـ حب الرشاد ـ الكرسون الأرضى ـ الكرنب الصينى ـ الكرات أبو شوشة ـ الخس ـ القاوون ـ السبانخ النيوزيلاندى ـ البامية ـ البصل ـ الجزر الأبيض ـ السلسفيل ـ فول الصويا ـ السبانخ ـ الكرسون المائى .
متوسط التحمل للحموضة (٥,٥ pH ـ ٦,٨)	الفاصوليا ـ فاصوليا الليما ـ كرنب بروكسل ـ الجزر ـ الكولارد ـ الذرة السكرية ـ الخيار ـ الباذنجان ـ الثوم ـ الجيركن ـ فجل الحصان ـ الكيل ـ كرنب أبو ركبة ـ المسترد ـ البقدونس ـ البسلة ـ الفلفل ـ القرع العسلى ـ الفجل ـ الروتاباجا ـ الكوسة ـ الطماطم ـ اللفت .
تتحمل الحموضة بدرجة جيدة (٥ pH ـ ٦,٨)	الشيكوريا ـ الداندليون ـ الهندباء ـ الفينوكيا ـ البطاطس ـ الروبارب ـ الشالوت ـ الحميض ـ البطاطا ـ البطيخ .

ملوحة التربة

العوامل المسببة لزيادة الملوحة فى التربة

تتراكم الأملاح بصورة طبيعية فى الأراضى التى تتكون من تفتت صخور معدنية تحتوى على أملاح بكميات زائدة ، إلا أن الأملاح تزداد أيضًا فى التربة بفعل العوامل الآتية :

١ ـ مع ماء الرى . . فمهما كانت عذوبة الماء المستخدم فى الرى ، فإنه يحتوى على أملاح تتراوح كميتها عادة بين ٠,١ و ٠,٥ أطنان لكل ٣٠ سم ـ فدان من ماء الرى . ويمكن لهذه الأملاح أن تتراكم فى التربة إن لم يتوفر لها نظام صرف جيد . وتتأثر سرعة تراكم الأملاح التى تصل إلى التربة بهذه الطريقة بالعوامل الآتية :

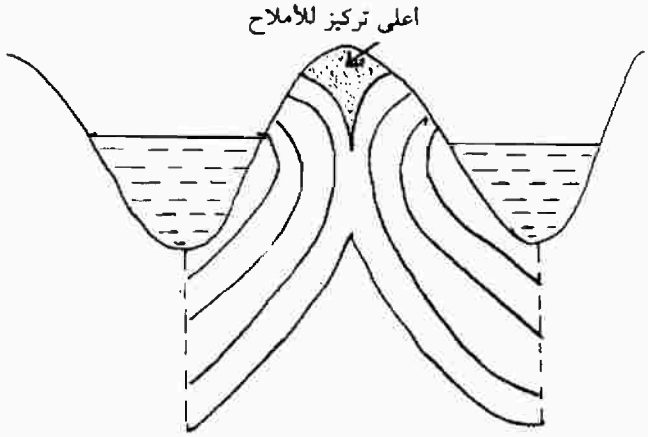
أ ـ درجة ملوحة الماء المستخدم فى الرى .

ب ـ كمية الماء المستخدم فى الرى . ففى حالة نقص المياه لا يكون الرى بالدرجة التى تكفى لبل التربة لعمق كبير ؛ ومن ثم لا تغسل الأملاح ، وتتراكم سنويا . ففى المناطق الحارة التى تروى أراضيها بالتنقيط قد تصل كمية ماء الرى فى الموسم الواحد إلى ٣٦٠٠م^3 للفدان (متوسط ٢٠ م^3 للفدان يوميا بالتنقيط × ٣٠ يومًا شهريًا × ٦ شهور لموسم النمو) ؛ أى إن كمية الأملاح المضافة إلى الفدان ـ مع ماء الرى فى الموسم الواحد ـ تتراوح بين ٠,٩ طناً (عند استخدام مياه عذبة تبلغ نسبة الأملاح فيها ٢٥٠ جزءًا فى المليون) و٩ أطنان للفدان (عند استخدام مياه تبلغ نسبة الأملاح فيها ٢٥٠٠ جزء فى المليون) .

٢ ـ عند ارتفاع منسوب الماء الأرضى ، فمن جهة يكون الصرف رديئًا ، ومن جهة أخرى . . يؤدى منسوب الماء الأرضى المرتفع إلى ارتفاع الماء إلى سطح التربة بالخاصية الشعرية وتبخره ، تاركًا الأملاح على سطح التربة (Israelsen & Hansen ١٩٦٢) .

وعند الزراعة على خطوط أو مصاطب تنتقل الأملاح الموجودة فى التربة مع الواجهة المبتلة wetting front ، وتتراكم فى طبقات رقيقة على طول سطح التربة ، وتحت وسط سطح المصطبة أو الخط حتى تتقابل الواجهات المبتلة المتقابلة (شكل ٨ ـ ٧) ، ويكون تركيز الملوحة فى هذه الأماكن ٥ ـ ١٠ أضعاف تركيزها فى التربة بوجه عام (Allison ١٩٦٤) .

والوسيلة الوحيدة الفعالة لإصلاح الأراضى الملحية هى خفض مستوى الماء الأرضى ، وتوفير صرف جيد ، وتحسين نفاذية التربة بإضافة الجبس الزراعى لكى يحل الكالسيوم محل الصوديوم ، مع غسيل الأملاح الزائدة بالرى الغزير . وسوف نناقش هذا الموضوع بشئ من التفصيل فى موضع لاحق من هذا الفصل .



شكل (٨ ـ ٧) : نظام تراكم الأملاح في حالة الزراعة على خطوط (خبوب) مع اتباع طريقة الري بالغمر .

طرق تقدير ملوحة التربة

يُعبَّر عن ملوحة التربة إما بالجزء في المليون (ppm) ، وإما بالمللي مكافئ/ لتر(meq/l) ، وإما بدرجة التوصيل الكهربائي (EC) ، وتميز بالمللي موز/ سم (millimhos / cm) ، أو بالميكروموز/ سم (micromohs / cm) عند ٢٥° م ، أو تُميز ـ حسب النظام الدولي لوحدات القياس ـ بالمللي سيمنز/ سم (mS / cm) عند ٢٥° م .

ويمكن التحويل من وحدة قياس إلى أخرى كما يلي :

مللي موز سم = EC × ١٠ ^{٣} في حرارة ٢٥° م .

ميكروموز سم = EC × ١٠ ^{٦} في حرارة ٢٥° م .

EC × ١٠ ^{٣} = ٦٤٠ جزءاً في المليون = ١٠ مللي مكافئ / لتر تقريبا .

وأكثر الطرق شيوعا لتقدير ملوحة التربة هى طريقة المستخلص المشبع Saturation Extract Method ، ويعبر فيها عن الملوحة بدرجة التوصيل الكهربائى للمستخلص المشبع للتربة ، والذى يعبر عنه بالملى موز / سم فى درجة ٢٥° م . وتتلخص هذه الطريقة فى عمل معجون تربة مشبع Saturated Soil Paste عن طريق تقليب التربة ، مع إضافة ماء مقطر إلى أن تصل إلى نقطة يمكن التعرف عليها بقليل من التمرين . ويلى ذلك سحب كمية كافية من المستخلص بواسطة مرشح تحت تفريغ لتقدير درجة توصيلها الكهربائى .

ومن مزايا تقدير الملوحة بهذه الطريقة أن تركيز الأملاح فى المستخلص يكون - عادة - نصف تركيزه فى المحلول الأرضى عند السعة الحقلية ، وحوالى ربع تركيزه عند نقطة الذبول الدائم ؛ وعليه . . فإنه يمكن ربط درجة التوصيل الكهربائى فى المستخلص مباشرة بتركيز الأملاح فى المحلول الأرضى فى المستويات المختلفة من الرطوبة الأرضية (Schoonover & Sciaroni ١٩٥٧) .

يجب عدم خلط عينات التربة التى تؤخذ لتقدير الملوحة ؛ لأن الملوحة تتباين - عادة - من موقع لآخر فى الحقل الواحد ، ويتعين أن تمثل العينات مدى الملوحة فى مختلف أجزاء الحقل . كذلك يجب أن تمثل العينات طبقة التربة التى تشغلها الجذور حسب المحصول ، مع الابتعاد عن الطبقة السطحية (السنتيمترين العلويين من التربة) التى تتراكم فيها الأملاح - عادة - بصورة طبيعية (عن Branson ١٩٨٣) .

ويتعين تصحيح قراءة التوصيل الكهربائى EC إذا اختلفت درجة الحرارة التى أجرى عندها القياس عن ٢٥° م . ويتم ذلك بضرب القراءة المشاهدة فى معامل التصحيح المقابل لدرجة الحرارة التى سُجّلت عندها القراءة ، كما فى جدول (٨ - ٤) .

جدول (٨ ـ ٤) : معامل التصحيح لقراءة درجة التوصيل الكهربائى (EC) عند اختلاف درجة الحرارة التى يجرى عندها القياس عند ٢٥° م (عن Resh ١٩٨٥) .

درجة الحرارة (°م)	معامل التصحيح
٥	١,٦١٣
١٠	١,٤١١
١٥	١,٢٤٧
١٦	١,٢١١
١٧	١,١٨٩
١٨	١,١٦٣
١٩	١,١٣٦
٢٠	١,١١٢
٢١	١,٠٨٧
٢٢	١,٠٦٤
٢٣	١,٠٤٣
٢٤	١,٠٢٠
٢٥	١,٠٠٠
٢٦	٠,٩٧٩
٢٧	٠,٩٦٠
٢٨	٠,٩٤٣
٢٩	٠,٩٢٥
٣٠	٠,٩٠٧
٣١	٠,٨٩٠
٣٢	٠,٨٧٣
٣٣	٠,٨٥٨
٣٤	٠,٨٤٣
٣٥	٠,٨٢٩
٤٠	٠,٧٦٣
٤٥	٠,٧٠٥

التأثيرات الضارة لارتفاع ملوحة التربة

١ ـ نجد فى الأراضى العادية أن الكالسيوم والمغنسيوم يكُونان أكثر الكاتيونات تواجداً ، أما عند زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فإن كبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم ، وكبريتات المغنسيوم تترسب ؛ لأن مقدرتها على الذوبان محدودة ، ويؤدى ذلك بالتالى إلى زيادة نسبة أيونات الصوديوم فى المحلول الأرضى .

ونظراً لوجود توازن ديناميكى بين الأيونات الذائبة فى المحلول الأرضى والأيونات المدمصة على سطح حبيبات التربة ، فإن أيونات الصوديوم تحل محل بعض أيونات الكالسيوم والمغنسيوم على سطح حبيبات التربة . وفى بعض الأراضى الملحية ـ التى تزيد فيها نسبة تركيز أيون الصوديوم على نصف الكاتيونات الذائبة الكلية ـ يكون أيون الصوديوم هو الكاتيون الوحيد تقريبًا فى المحلول الأرضى ؛ ومن ثم يكون هو الكاتيون الأساسى المدمص على غرويات التربة (Allison ١٩٦٤) .

ويترتب على ذلك ما يلى :

أ ـ فقر التربة فى الكاتيونات المدمصة ، وعدم قدرة النباتات على الحصول على حاجتها منها .

ب ـ امتصاص النباتات لكميات كبيرة سامة من أيونى الصوديوم والكلور .

جـ ـ ضعف بناء التربة ؛ بسبب ترسب الكالسيوم وسيادة أيون الصوديوم فى المحلول الأرضى وعلى سطح غرويات التربة .

٢ ـ بالنظر إلى أن الأملاح التى توجد فى التربة تزيد الضغط الآسموزى للمحلول الأرضى ، وتجعل الماء الأرضى أقل تيسرًا للنباتات ؛ لذا . . تقل قدرة النباتات على امتصاص الماء ، وتكون استجابتها لزيادة الأملاح مماثلة تقريبا لاستجابتها لظروف الجفاف ، ولكن مع وجود بعض الاختلافات .

فمثلا . . نجد فى كلتا الحالتين أن تركيز حامض الأبسيسك يزداد ؛ مما يؤدى إلى إغلاق الثغور ، وأن مستوى السيتوكينين ينخفض . ويبقى مستوى حامض الأبسيسك

مرتفعا لفترة أطول تحت ظروف الملوحة العالية منه تحت ظروف الجفاف ، حتى عندما تستعيد النباتات توازنها المائى (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

٣ ـ نقص المحصول :

بالرغم من تأثر الأنواع النباتية ـ سلبيا ـ بإرتفاع تركيز الأملاح فى مياه الرى إلا أنها تتباين فى مدى هذا التأثر . ويقدر مدى تأثر المحصول بتركيز الأملاح بالمعادلة التالية :

$$Y = 100 - B (EC_e - A)$$

حيث إن :

Y = المحصول النسبى .

B = معدل النقص فى المحصول مع كل زيادة فى وحدة قياس الملوحة .

A = الحد الأدنى للملوحة الذى ينخفض بعده المحصول .

EC_e = درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع مقدرا بالمللى موز/سم عند ٢٥° م (عن Ponnamperuma ١٩٨٢) .

وتجدر الإشارة إلى أن العلاقة بين تركيز الأملاح والمحصول تكون غالبا غير خطية ؛ حيث تتبع منحنى «سيجمويد» معكوسًا تظهر به زيادة صغيرة ـ ولكنها معنوية ـ فى المحصول فى تركيزات الملوحة المنخفضة (عن Shannon ١٩٨٥) .

كما توصل Genuchten & Gupta (١٩٩٥) إلى معادلة أخرى تصف العلاقة «السيجمويد» بين تركيز الأملاح والمحصول ، كما يلى :

$$Y = 1 (1 + (c / c_{50})^3)$$

حيث إن :

Y : المحصول النسبى .

c : متوسط تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور .

c_{50} : متوسط تركيز الأملاح ـ فى منطقة نمو الجذور ـ الذى يحدث عنده نقص قدره ٥٠ ٪ فى المحصول .

تقسيم الخضر حسب تحملها لملوحة التربة

تتفاوت محاصيل الخضر كثيراً فى مدى حساسيتها أو تحملها لملوحة التربة (سوف نوضح مظاهر أضرار الملوحة والأساس الفسيولوجى لذلك فى موضع لاحق من هذا الفصل) ، ويتضح ذلك من جدول (٨ ـ ٥) الذى رتبت فيه محاصيل الخضر تصاعديا حسب تحملها لملوحة التربة ، مع مقارنتها بعدد من محاصيل الفاكهة ومحاصيل الحقل الهامة ؛ علمًا بأن القيم المبينة فى الجدول هى للاسترشاد بها فقط ، أما القيم الفعلية لتحمل الملوحة . . فإنها تتوقف على الظروف الجوية ، والعوامل الأرضية ، والمعاملات الزراعية التى يُعطاها المحصول (عن Mass ١٩٨٤) .

جدول (٨ ـ ٥) : الحد الأقصى للملوحة الذى يمكن أن تتحمله محاصيل الخضر المختلفة ـ مقارنة بعدد من الفاكهة والمحاصيل الحقلية ـ وتأثير زيادة الملوحة على ذلك فى نموها .

المحصول	الحد الأقصى لمستوى الملوحة ـ فى مستخلص التربة المشبع ـ الذى لايحدث معه نقص فى المحصول (EC_e) (أ)	النسبة المئوية للنقص فى المحصول مع كل زيادة مقدارها وحدة (EC_e) عن الحد الأقصى المناسب لمستوى الملوحة
محاصيل حساسة :		
الفاصوليا	١,٠	١٩
الجزر	١,٠	١٤
الفراولة	١,٠	٣٣
البصل	١,٢	١٦
البرقوق (ب)	١,٥	١٨
المشمش (ب)	١,٦	٢٤
البرتقال	١,٧	١٦
الخوخ	١,٧	٢١
الجريب فروت (ب)	١,٨	١٦
البامية	-	-

(يتبع)

تابع جدول (٨ ـ ٥) .

المحصول	الحد الأقصى لمستوى الملوحة ـ فى مستخلص التربة المشبع ـ الذى لايحدث معه نقص فى المحصول (EC_e)(أ)	النسبة المئوية للنقص فى المحصول مع كل زيادة مقدارها وحدة (EC_e) عن الحد الأقصى المناسب لمستوى الملوحة
محاصيل متوسطة الحساسية :		
اللفت	٠,٩	٩,٠
الفجل	١,٢	١٣
الخس	١,٣	١٣
البرسيم المصرى	١,٥	٥,٧
العنب(ب)	١,٥	٩,٦
الفلفل	١,٥	١٤
البطاطا	١,٥	١١
الفول الرومى	١,٦	٩,٦
الذرة	١,٧	١٢
الكتان	١,٧	١٢
البطاطس	١,٧	١٢
قصب السكر	١,٧	٥,٩
الكرنب	١,٨	٩,٧
الكرفس	١,٨	٦,٢
البرسيم الحجازى	٢,٠	٧,٣
السبانخ	٢,٠	٧,٦
اللوبيا (علف)	٢,٥	١١
الخيار	٢,٥	١٣
الطماطم	٢,٥	٩,٩
البروكولى	٢,٨	٩,٢

(يتبع)

تابع جدول (٨ ـ ٥) .

المحصول	الحد الأقصى لمستوى الملوحة ـ فى مستخلص التربة المشبع ـ الذى لايحدث معه نقص فى المحصول (EC_e)(أ)	النسبة المئوية للنقص فى المحصول مع كل زيادة مقدارها وحدة (EC_e) عن الحد الأقصى المناسب لمستوى الملوحة
محاصيل متوسطة التحمل :		
حشيشة السودان	٢,٨	٤,٣
بنجر المائدة(جـ)	٤,٠	٩,٠
الكوسة	٤,٧	٩,٤
اللوبيا	٤,٩	١٢
فول الصويا	٥,٠	٢٠
القمح(جـ)	٦,٠	٧,١
الذرة الرفيعة	٦,٨	١٦
محاصيل تتحمل الملوحة :		
الهليون	–	–
نخيل البلح	٤,٠	٣,٦
حشيشة برمودا	٦,٩	٦,٤
بنجر السكر(جـ)	٧,٠	٥,٩
القطن	٧,٧	٥,٢
الشعير(جـ)	٨,٠	٥,٠

أ ـ كل وحدة : ٦٤٠ جزءاً فى المليون من الأملاح .

ب ـ قِيَمَ تَحَمُّلُ الملوحة على أساس النمو النباتى وليس المحصول .

جـ ـ أقل تحملا للملوحة أثناء إنبات البذور ونمو البادرات .

ويعطى جدول (٨ ـ ٦) بيانات أكثر تفصيلاً عن درجات التوصيل الكهربائى لكل من ماء الرى EC_w ومستخلص التربة المشبع EC_e التى لا يحدث عندها أى نقص فى

المحصول ، وتلك التى يحدث عندها نقص فى المحصول قدره ١٠ ٪ ، و ٢٥ ٪ ، و ٥٠ ٪ لمختلف محاصيل الخضر ، مع بيان التسرب الرطوبى Leaching Require-ments (اختصاراً LR) اللازم فى كل حالة ، وهو نسبة ماء الرى التى يلزم تسربها خلال طبقة التربة التى تشغلها الجذور ؛ ليمكن التحكم فى الملوحة عند المستوى المحدد (عن Soil Improv. Comm., Calif . Fertiliz . Assoc . ١٩٨٠) .

وقد وضعت تقديرات EC_e فى جدول (٨ ـ ٦) على أساس أنها تصل ـ فى طبقة التربة التى تشغلها الجذور ـ إلى نحو ١٥٠ ٪ من قيمة EC_w للمياه المستخدمة فى الرى .

جدول (٨ ـ ٦) : درجات التوصيل الكهربائى (mS / cm) لكل من ماء الرى (EC_w) ومستخلص التربة المشبع (EC_e) ـ عند ٢٥° م ـ التى لا يحدث عندها أى نقص فى المحصول ، وتلك التى يحدث عندها نقص قدره ١٠ ٪ ، و ٢٥ ٪ ، و ٥٠ ٪ لمختلف محاصيل الخضر ، ونسبة التسرب الرطوبى (LR) اللازم فى كل حالة ؛ ليمكن التحكم فى الملوحة عند المستوى المحدد .

المحصول	عدم حدوث نقص فى المحصول			١٠ ٪ نقصاً فى المحصول			٢٥ ٪ نقصاً فى المحصول			٥٠ ٪ نقصاً فى المحصول		
	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e
البنجر	٩	٢,٧	٤,٠	١١	٣,٤	٥,١	١٥	٤,٥	٦,٨	٢١	٦,٤	٩,٦
البروكولى	٧	١,٩	٢,٨	١٠	٢,٦	٣,٩	١٤	٣,٧	٥,٥	٢٠	٥,٥	٨,٢
الطماطم	٧	١,٧	٢,٥	٩	٢,٣	٣,٥	١٤	٣,٤	٥,٠	٢٠	٥,٠	٧,٦
القاورن	٥	١,٥	٢,٢	٨	٢,٤	٣,٦	١٢	٣,٨	٥,٧	١٩	٦,٠	٩,١
الخيار	٨	١,٧	٢,٥	١١	٢,٢	٣,٣	١٤	٢,٩	٤,٤	٢١	٤,٢	٦,٣
السبانخ	٤	١,٣	٢,٠	٧	٢,٢	٣,٣	١٢	٣,٥	٥,٣	١٩	٥,٧	٨,٦
الكرنب	٥	١,٢	١,٨	٨	١,٩	٢,٨	١٢	٢,٩	٤,٤	١٩	٤,٦	٧,٠
البطاطس	٦	١,١	١,٧	٩	١,٧	٢,٥	١٣	٢,٥	٣,٨	٢٠	٣,٩	٥,٩
الذرة السكرية	٦	١,١	١,٧	٩	١,٧	٢,٥	١٣	٢,٥	٣,٨	٢٠	٣,٩	٥,٩
البطاطا	٥	١,٠	١,٥	٨	١,٦	٢,٤	١٢	٢,٥	٣,٨	١٩	٤,٠	٦,٠
الفلفل	٦	١,٠	١,٥	٩	١,٥	٢,٢	١٣	٢,٢	٣,٣	٢٠	٣,٤	٥,١
الخس	٥	٠,٩	١,٣	٨	١,٤	٢,١	١٢	٢,١	٣,٢	١٩	٣,٤	٥,٢
الفجل	٤	٠,٨	١,٢	٧	١,٣	٢,٠	١٢	٢,١	٣,١	١٩	٣,٤	٥,٠
البصل	٥	٠,٨	١,٢	٨	١,٢	١,٨	١٢	١,٨	٢,٨	١٩	٢,٩	٤,٣
الجزر	٤	٠,٧	١,٠	٧	١,١	١,٧	١٢	١,٩	٢,٨	١٩	٣,١	٤,٦
الفاصوليا	٥	٠,٧	١,٠	٨	١,٠	١,٥	١٢	١,٥	٢,٣	١٨	٢,٤	٣,٦
الفراولة	٩	٠,٧	١,٠	١١	٠,٩	١,٣	١٥	١,٢	١,٨	٢١	١,٧	٢,٥

هذا . . ويعطى Staples & Toennissen (١٩٨٤) شرحا تفصيليا متقدما عن فسيولوجيا القدرة على تحمل الملوحة فى النباتات .

وسائل خفض الملوحة أو الحد من أضرارها

الغسيل السابق للزراعة

تحتاج الأراضى الشديدة الملوحة إلى الغسيل ـ قبل زراعتها بالخضر الحساسة للملوحة ـ بنحو ١٠٠٠ ـ ٢٠٠٠ م^3 ماء للفدان ؛ ليمكن التخلص مما يوجد فيها من أملاح ، ويمكن إضافة تلك الكمية من الماء بطريقة الرش . كذلك يلزم توفير صرف جيد فى الأراضى التى يرتفع فيها مستوى الماء الأرضى ، وتحسين نفاذية الأراضى القليلة النفاذية بإضافة الجبس الزراعى إليها لكى يحل الكالسيوم محل الصوديوم ، مع غسيل الأملاح الزائدة بالرى الغزير ، ويفضل إضافة الماء بطريقة الغمر فى تلك الحالات .

وتتوقف كمية الماء التى تلزم إضافتها لخفض ملوحة التربة ـ ابتداء ـ إلى المستوى المقبول على كل من ملوحة التربة ذاتها ، وملوحة مياه الرى ، والمستوى الذى يُرغب فى خفض الملوحة إليه . كما تتوقف كمية الماء التى تنبغى إضافتها ـ كذلك ـ على عمق الجذور ، ودرجة نفاذية التربة ، وأنواع الأملاح التى توجد بمياه الرى (قيمة SAR) ، وأنواع الأيونات المتبادلة ، ونسبة كربونات الكالسيوم فى التربة .

وتجدر الإشارة إلى أن غسيل التربة قد يكون له تأثير سلبى على بناء التربة ، ويتوقف ذلك على أنواع الأيونات المسئولة عن الملوحة ، والتى توجد فى كل من التربة ومياه الرى .

وتحسب كميات الماء التى تلزم لخفض الملوحة إلى المستوى المقبول فى منطقة نمو الجذور (الكمية لكل وحدة عمق من التربة) على أساس المعادلة التالية :

$$Y = \frac{\text{درجة التوصيل الكهربائى المرغوب فيه لمستخلص التربة ـ درجة التوصيل الكهربائى لمياة الرى}}{\text{درجة التوصيل الكهربائى الأصلى للتربة ـ درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى}}$$

وفى الأراضى الرملية ترتبط قيمة Y بعمق الماء الذى يلزم إضافته لكل وحدة عمق من التربة على النحو التالى :

عمق ماء الغسيل لكل وحدة عمق من التربة	قيمة Y
١,٠٠	٠,١٠
٠,٦٠	٠,١٧
٠,٥٠	٠,٢٠
٠,٤٠	٠,٢٥
٠,٣٠	٠,٣٣
٠,٢٠	٠,٥٠
٠,١٥	٠,٦٠

وتعتبر كمية المياه التى تلزم لغسيل التربة هى عمق مياه الغسيل لكل وحدة عمق من التربة مضروباً فى العمق الذى تصل إليه الجذور .

وكمثال . . نفترض أن درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى ٢,٠ مللى موز/سم ، وأن ملوحة التربة فى منطقة نمو الجذور ٥,٠ مللى موز/سم ، ويرغب فى خفضها إلى ٣,٠ مللى موز/سم ، وأن الجذور تتعمق إلى ٥٠ سم :

∴ Y = (٣ ـ ٢) / (٥ ـ ٢) = ٠,٣٣

ويعنى ذلك أن عمق مياه الغسيل لكل وحدة عمق من التربة تكون ٠,٣٠ .

∴ كمية المياه التى تلزم لغسيل الأملاح إلى ما بعد منطقة نمو الجذور = ٠,٣٠ × ٥٠ سم = ١٥ سم ماء ؛ أى ١٥٠ مم مياه رى ؛ أى ١٥٠٠ م^3 للهكتار .

ويجب أن يضاف إلى هذه الكمية كمية المياه التى تلزم لتوصيل رطوبة التربة إلى السعة الحقلية ، وكمية الماء التى تفقد بالتبخر خلال إجراء عملية الغسيل . ونظراً لأن توزيع الأملاح لا يكون متجانسا ، وأنه قد يحدث بعض الجريان السطحى للماء . . لذا يراعى زيادة كمية المياه اللازمة المحسوبة للغسيل بمقدار ٢٥ ٪ ؛ الأمر الذى يعنى ـ فى مثالنا ـ إضافة ٢٠٠٠ م^3 من الماء للهكتار ؛ أى ١٢٠ مم من الماء .

الغسيل أثناء النمو المحصولى

لتجنب تراكم الأملاح فى التربة أثناء نمو المحصول ، يلزم دائماً زيادة كمية مياه الرى - فى كل رية - عما يلزم لتوصيل الرطوبة فى منطقة نمو الجذور إلى السعة الحقلية ؛ حيث تعمل كمية المياه الزائدة على غسيل الأملاح التى تضاف إلى التربة مع كل رية ولا تمتصها النباتات . وتتضح أبعاد هذه المشكلة عند اتباع نظام الرى بالتنقيط ؛ حيث يكون الهدف هو التوفير فى مياه الرى إلى أكبر قدر ممكن .

تعرف نسبة الزيادة فى مياه الرى (عما يلزم لحاجة المحصول) - التى تلزم لغسيل الأملاح المتراكمة - باسم عامل الغسيل ، وهى تتوقف على كل من : مدى ملوحة مياه الرى ، ودرجة الملوحة التى يُراد المحافظة عليها فى منطقة انتشار الجذور ، وهى التى تتوقف على مدى حساسية المحصول المزروع للملوحة .

ويحسب عامل الغسيل بالمعادلة التالية :

$$LR = \frac{EC_w}{EC_{dw}}$$

حيث إن :

LR = عامل الغسيل Leaching Requirement .

EC_w = درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى بالملى موز/سم .

EC_{dw} = درجة التوصيل الكهربائى لمياه الصرف drainage water .

= درجة التوصيل الكهربائى لماء التربة عند السعة الحقلية EC_{sw} .

= ٢ × درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع EC_e .

وكمثال . . إذا كانت EC_w = ١ و EC_e المرغوب فى المحافظة عليها = ٠,٢

∴ EC_{dw} = ٢ × ٢ = ٠,٤ ملى موز/سم .

وإذا احتاج المحصول إلى ١٠ مم (= ١٠٠ م^3 للهكتار) فى كل رية :

∴ LR = ١ ÷ ٤ = ٠,٢٥

ويعنى ذلك ضرورة زيادة كمية مياه الرى ـ فى كل رية ـ بمقدار الربع ؛ بهدف غسيل الأملاح التى تتجمع فى التربة نتيجة لعملية الرى ذاتها ؛ وبذا . . تصبح كمية مياه الرى التى ينبغى استعمالها فى كل رية ١٢,٥ مم (عن Van der Zaag ١٩٩١) .

ويلزم الاسترشاد بجدول (٨ ـ ٦) لاختيار قيمة EC_{dw} المناسبة لكل محصول ؛ علماً بأن قيمة عامل الغسيل المناسبة يجب ألا تزيد على ٣٠ ٪ ، وإلا ترتب على ذلك فقدان كبير فى مياه الرى ، مع احتمال تعرض النباتات للإصابة بأعفان الجذور (عن وزارة الزراعة ١٩٨٩) .

وتبعا لـ Ibrahim (١٩٩٢) فإن زيادة عامل الغسيل من ٠,١ إلى ٠,٥ أدى إلى زيادة محصول صنف الطماطم إدكاوى عند زراعته فى أرض رملية ، علماً بأنه من أصناف الطماطم القليلة التى تعرف بتحملها للملوحة .

الطرق الزراعية

يمكن الاستفادة من الأراضى الملحية غير المستصلحة فى الزراعة بمراعاة ما يلى :

١ ـ تفضل الزراعات الشتوية ؛ حيث يكون ضرر الأملاح عليها أقل مما هو فى الزراعات الصيفية .

٢ ـ تفضل الزراعة بالشتل عن الزراعة بالبذرة ؛ لأن الشتلات أكثر تحملاً للملوحة من البذور .

٣ ـ تفضل زراعة المحاصيل الأكثر تحملا للملوحة .

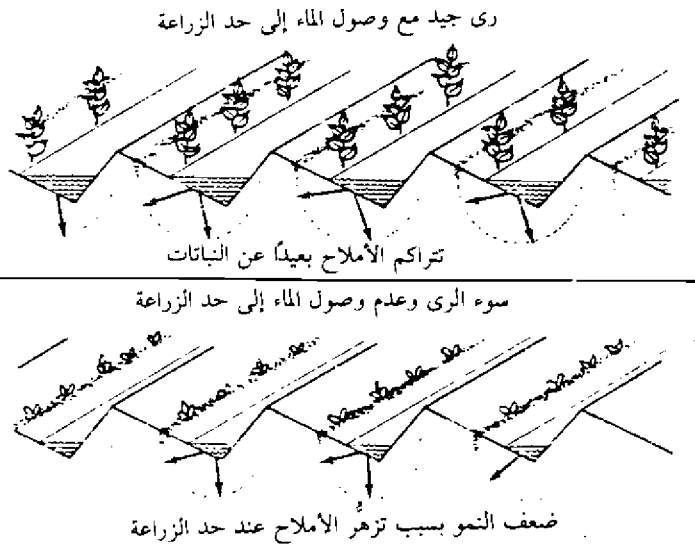
٤ ـ يحسن اتباع طريقة الرى بالتنقيط ؛ لأنها تعمل على تجميع الأملاح بعيداً عن النباتات ، على أن تغسل التربة من الأملاح المتراكمة قبل زراعة المحصول التالى (الإدارة العامة للتدريب ـ وزارة الزراعة ١٩٨٣) .

٥ ـ اتباع طريقة الرى السطحى بالغمر مع الزراعة بأى من الطرق التالية :

أ ـ على خطوط عالية ، على أن تكون الزراعة فى النصف السفلى من ميل الخطوط ، وأن يصل ماء الرى ـ عبر قنوات الخطوط ـ إلى حد الزراعة ؛ ليكون تزهر الأملاح بعيداً عن النباتات (شكل ٨ ـ ٨) .

ب ـ فى خطوط مفردة فى منتصف مصاطب عريضة ، مع تنظيم الرى بحيث تتزهر الأملاح بعيدًا عن النباتات (شكل ٨ ـ ٩) .

جـ ـ فى خطوط مزدوجة على جانبى مصاطب عريضة ، مع تنظيم الرى بحيث يحدث تزهُّر الأملاح فى منتصف المصاطب بعيدًا عن النباتات (شكل ٨ ـ ١٠) (عن Mayberry ١٩٨٣) .



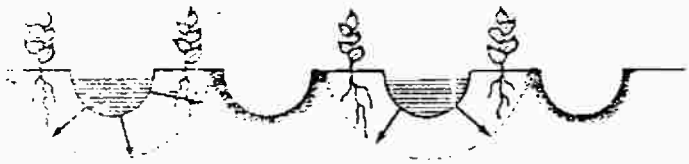
شكل (٨ ـ ٨) : تزهّر الأملاح بعيدًا عن حد الزراعة عندما تكون الزراعة على خطوط ، ويكون الرى منتظمًا .

المعاملات الكيميائية

أجريت محاولات لتحسين إنبات البذور فى الأراضى الملحية بتعريضها لمعاملات خاصة قبل زراعتها ؛ ومن أمثلة ذلك ما يلى :

١ ـ وجد Bano وآخرون (١٩٨٧) أن نقع بذور الطماطم فى محلول كلوريد الكولين Choline Chloride (وهو منظم النمو Chlormequat) بتركيز ٢ مللى مول أدى إلى تحسين إنباتها بعد ذلك فى أطباق بترى تحتوى على محلول Hoagland & Arnon المغذى مضافًا إليه كلوريد الصوديوم بتركيزات وصلت إلى ٥٠,٠ مللى مكافئ / لتر .

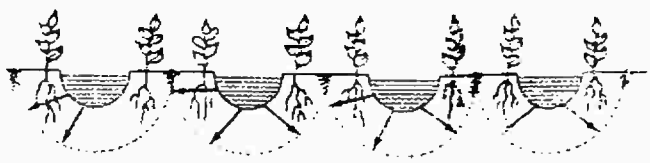
نظام جيد للرى يسمح بتراكم الأملاح فى قنوات الرى غير المستخدمة



سوء الرى ؛ مما يسمح بتراكم الأملاح عند خط الزراعة

شكل (٨ ـ ٩) : تزهّر الأملاح بعيداً عن النباتات عندما تكون الزراعة فى منتصف مصاطب عريضة ، ويكون الرى منتظمًا .

نظام جيد للرى يسمح بتراكم الأملاح فى وسط المصاطب بين الخطوط المزدوجة



سوء الرى ؛ مما يسمح بتراكم الأملاح عند بعض خطوط الزراعة

شكل (٨ ـ ١٠) : تزهّر الأملاح بعيداً عن النباتات عندما تكون الزراعة فى خطوط مزدوجة على جانبى مصاطب عريضة ، ويكون الرى منتظمًا .

٢ ـ وجد Wiebe & Muhyaddin (١٩٨٧) أن نقع بذور الطماطم لمدة ٨ أيام فى محلول مهوى من البوليثيلين جليكول ٤٠٠٠ (PEG 4000) بتركيزات ١٢ باراً على ١٦° م أدى إلى تحسين إنباتها عند زراعتها بعد ذلك فى تربة طمية رملية تحتوى على تركيزات تتراوح بين صفر و ٨ جم من كلوريد الصوديوم ، وكبريتات المغنسيوم/ كجم من التربة .

٣ ـ تفيد دراسات Cano وآخرين (١٩٩١) إمكانية زيادة قدرة نباتات الطماطم على تحمل الملوحة بنقع البذور فى محاليل ملحية من كلوريد الصوديوم قبل الزراعة ؛ حيث تحدث تغيرات فسيولوجية فى الجنين تزيد من مقاومته لأضرار الملوحة .

٤ ـ كما تفيد بعض الدراسات إمكانية استعمال منظمات النمو : AMO - 1618 ، و Phosfon ، و CCC لزيادة القدرة على تحمل الملوحة فى بعض النباتات ؛ مثل : القمح ، والسبانخ ، و فول الصويا ؛ حيث أفادت معاملة البذور ـ بها ـ فى بعض الحالات .

٥ ـ كما وجد أن بعض المركبات الطبيعية ـ مثل الكولين ، والبيتين betaine ـ تعمل كمواد حامية من البلزمة osmo-protectants للبكتيريا Escherichia coli (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) ، وربما يمكن تطوير هذا الاكتشاف ليُستفاد منه فى النباتات الراقية .

تعريف بالأنواع المختلفة من الأراضى الملحية والقلوية وطرق إصلاحها

الأراضى الملحية

الأراضى الملحية Saline Soils هى الأراضى التى تقل فيها نسبة الصوديوم المتبادل عن ١٥ ٪ ، وتزيد درجة توصيلها الكهربائى على ٤ ، ويقل الـ pH فيها عن ٨,٥ . وتحسب نسبة الصوديوم المتبادل Exchangeable Sodium Percentage (أو ESP) كالتالى :

$$\text{نسبة الصوديوم المتبادل} = \frac{\text{الصوديوم المتبادل (ملى مكافئ/ ١٠٠ جم تربة)}}{\text{السعة التبادلية الكاتيونية (ملى مكافئ/ ١٠٠ جم تربة)}} \times ١٠٠$$

يشكل الصوديوم الذائب فى المحلول الأرضى فى هذه الأراضى أقل من ٥٠ ٪ من الكاتيونات ؛ وعليه . . فإنه لا يشكل سوى نسبة بسيطة من الكاتيونات المتبادلة (تقل عن ١٥ ٪) . وعادة لا يشكل البوتاسيوم الذائب والمتبادل سوى نسبة ضئيلة أيضا ، ولكنه قد يوجد أحيانا بوفرة . أما كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم فتختلف كمياتها النسبية كثيرا فى المحلول الأرضى . وأكثر الأنيونات الذائبة سيادة فى الأراضى الملحية هى : الكلور ، والكبريتات ، وأحيانا النترات أيضا . وقد توجد كميات ضئيلة من البيكربونات ، لكن نظرا لعدم زيادة الـ pH عن ٨,٥ ، فإن الكربونات الذائبة تكون غالبا غائبة . وإضافة إلى الأملاح الذائبة ، فإن الأراضى الملحية قد تحتوى على بعض الأملاح غير الذائبة نسبيا ؛ مثل : الجبس (كبريتات الكالسيوم) ، وكربونات الكالسيوم ، وكربونات الماغنيسيوم . ومن خصائص الأراضى الملحية أنها تكون مفككةً وعالية النفاذية . ويمكن التعرف عليها بتزهُّر الأملاح على سطحها ، أو بظهور بقع ذات مظهر زيتى ، وخالية من النموات النباتية بها .

ومن الطرق المؤقتة لإصلاح الأراضى الملحية ما يلى :

١ ـ قلب الطبقة السطحية بعمق فى التربة .

٢ ـ إزالة الطبقة السطحية الملحية بكشطها والتخلص منها .

٣ ـ معادلة تأثير بعض الأملاح بإضافة أملاح أخرى وأحماض .

لكن إصلاح الأراضى بصورة جيدة ودائمة يتطلب عدة شروط وإجراءات كما يلى :

١ ـ خفض منسوب الماء الأرضى :

ولتحقيق ذلك يجب أن نعرف أولا مصدر الماء الذى يتسبب فى رفع منسوب الماء الأرضى . فإذا كان من مصدر مائى قريب ، فقد يمكن فصله عن الحقل بمصرف عميق ، لكن منسوب الماء الأرضى المرتفع غالبا ما يرجع إلى تسرب الماء إلى الحقل سطحيا أو من تحت التربة من المناطق الأعلى المجاورة .

٢ ـ نفاذية جيدة للماء خلال التربة :

ذلك لأن النفاذية الضعيفة قد تتسبب فى فشل خطة إصلاح التربة ، حتى مع توفير مصارف جيدة . فغالبا ما تتقارب حبيبات الطين بعضها من بعض أثناء غسل التربة ،

وتصبح التربة بذلك شديدة التماسك وضعيفة النفاذية . وفى هذه الحالات تلزم إضافة الجبس الزراعى ، وأحيانا الكبريت ليحل محل الصوديوم . وأفضل وسيلة للمحافظة على النفاذية الجيدة هى بتقليل عمليات حرث الأرض إلى حدها الأدنى ، مع تجنب حرث التربة نهائيا وهى شديدة الجفاف أو زائدة الرطوبة .

٣ ـ غسل الأملاح الزائدة :

يتطلب ذلك كميات كبيرة من الماء الذى يجب أن يتخلل التربة . ويمكن تحقيق ذلك بسهولة فى الأراضى الخشنة القوام ، لكنه قد يكون أمرًا صعبا فى الأراضى المنضغطة Compact والطينية .

٤ ـ توفير صرف جيد :

فبدون الصرف الجيد نجد أن استمرار الرى يؤدى إلى رفع مستوى الماء الأرضى تدريجيا ، ويتبع ذلك ارتفاع الماء بالخاصية الشعرية بين الريات ، ثم تبخره ، تاركا الأملاح لتتزهر على سطح التربة من جديد .

الاراضى الملحية القلوية

الأراضى الملحية القلوية Sodic or Saline Alkali Soils هى الأراضى التى تزيد فيها نسبة الصوديوم المتبادل على ١٥ ٪ ، وتزيد درجة توصيلها الكهربائى على ٤ فى درجة حرارة ٢٥° م ، كما يزيد الـ pH فيها على ٨,٥ قليلا .

تحتوى هذه الأراضى ـ عادة ـ على كربونات الصوديوم أو بيكربونات الصوديوم ، وكربونات الكالسيوم ، وتركيزات عالية من السيليكون الذائب .

يتشابه مظهر وخصائص هذه الأراضى مع الأراضى الملحية ، مادام الملح موجودًا بها ، ولكن عند التخلص من الأملاح الذائبة بالغسيل ، فإن مظهر وخصائص هذه الأراضى يتغير وتصبح مشابهة للأراضى القلوية .

فعند وجود نسبة عالية من الأملاح الذائبة يندر أن يزيد الـ pH عن ٨,٥ ، وتظل الغرويات فى حالة متجمعة flocculated ، ومع نقص نسبة الملح فى التربة تدريجيا بالغسيل يتهدرج بعض الصوديوم مكونا أيدروكسيد الصوديوم ، وقد يتبع ذلك تكوّن

كميات صغيرة من كربونات الصوديوم بالتفاعل مع ثانى أكسيد الكربون ، إلى أن تصبح التربة شديدة القلوية (أعلى من ٨,٥) ، ويتبع ذلك تفرق dispersion غرويات التربة ، وتصبح التربة غير منفذة للماء وشديدة الصلابة عند الجرث .

ويمكن تلخيص أهم مشاكل الأراضى الصودية فيما يلى :

١ ـ ارتفاع الـ pH ذاته .

٢ ـ تثبيت عناصر الفوسفور ، والكالسيوم ، والحديد ، والزنك .

٣ ـ سمية البورون .

٤ ـ ضعف نفاذيتها للماء .

٥ ـ إعاقة نمو الجذور فيها .

وتقسم المحاصيل حسب تحملها للنمو فى الأراضى الصودية كما يلى :

١ ـ محاصيل ذات قدرة على التحمل . . وتشمل البرسيم الحجازى ، والشعير ، وبنجر السكر ، وبنجر المائدة ، وحشيشة برمودا ، والقطن .

٢ ـ محاصيل متوسطة التحمل . . وتشمل الأرز ، والقمح ، والشوفان .

٣ ـ محاصيل حساسة . . وتشمل الفاصوليا ، والذرة ، وأشجار الفاكهة .

ولإصلاح الأراضى الصودية يلزم الغسيل ، مع إضافة الجبس الزراعى ، أو الكبريت لمعالجة الملوحة مع القلوية فى آنٍ واحدٍ ؛ حيث يحل الكالسيوم محل الصوديوم المتبادل ، كما يلى :

الكبريت + أوكسجين الهواء الجوى + ماء ⟵ حامض كبريتيك .

حامض كبريتيك + كربونات كالسيوم بالتربة ⟵ جبس (كبريتات كالسيوم) + ثانى أكسيد الكربون + ماء .

الجبس + الصوديوم فى الأراضى الصودية ⟵ كالسيوم ميسر للنبات محل الصوديوم + كبريتات صوديوم .

كبريتات الصوديوم تزول بالغسيل مع الصرف الجيد (خطوة فى منتهى الأهمية ، مع إضافة الماء بالغمر أو بالرش) .

ويؤدى استعمال حامض الكبريتيك مباشرة ـ بدلا من الكبريت ـ إلى الاستغناء عن التفاعل الأول ، كما يؤدى استعمال الجبس مباشرة إلى الاستغناء عن التفاعلين الأول والثانى .

الأراضى القلوية غير الملحية

الأراضى القلوية غير الملحية Non Saline Alkali Soils هى الأراضى التى تزيد فيها نسبة الصوديوم المتبادل على ١٥ ٪ ، وتقل درجة توصليها الكهربائى عن ٤ فى درجة حرار ٢٥° م . ويتراوح الـ pH فيها بين ٨,٥ و ١٠ . وتوجد هذه الأراضى ـ غالبا ـ فى المناطق الجافة وشبه الجافة .

وفى هذه الأراضى تتباعد غرويات الطين المشبعة بالصوديوم بعضها عن بعض ، وتنتقل لأسفل ؛ حيث تتجمع على مستوى أدنى ، ويتبع ذلك أن تصبح الطبقة السطحية من التربة خشنة القوام ، بينما تليها مباشرة طبقة قليلة النفاذية .

كما نجد فى هذه الأراضى أن الـ pH يرتفع ، ويزداد تنافر غرويات الطين كلما ازدادت نسبة الصوديوم المتبادل . وفيها تغلب أنيونات الكلور والكبريتات والبيكربونات فى المحلول الأرضى مع وجود كميات قليلة من الكربونات . وعندما يكون الـ pH مرتفعا مع وجود الكربونات ، فإن ذلك يؤدى إلى ترسب كل من الكالسيوم والمغنسيوم ، ومن ثم يحتوى المحلول الأرضى للأراضى القلوية على قليل جدا من الكاتيونات ، بينما يسود الصوديوم ، وتوجد فى بعض الأراضى القلوية كميات كبيرة من البوتاسيوم الذائب والمتبادل .

هذه الأراضى تكون قليلة النفاذية ، ويصعب حرثها ، وتكون لدنة plastic ولزجة sticky عندما تكون مبتلة ، كما تكوّن كتلا (قلاقيل) clods ، وقشرة صلبة crusts عند جفافها . ونجد أن المادة العضوية تنتشر وتتوزع على سطح حبيبات التربة فيها ؛ مما يجعل لونها قاتما . وفى حالة وجود كميات محسوسة من المادة العضوية ، فإن سطح التربة قد يصبح أسود اللون ، ومن ذلك جاء اسم الأرض السوداء black soil (Israelsen & Hansen ١٩٦٢ ، و Allison ١٩٦٤) .

هذا . وتُضارّ كثيرٌ من النباتات بشدة عند زيادة القلوية فى التربة على ٠,٠٧ ٪ HCO_3 والـ pH عن ٨,٧ ، وتموت معظم النباتات ـ تقريبا ـ فى pH أعلى من ٩,٥ . وتكون التربة قاحلة وقفراء عندما تصل نسبة الصوديوم المتبادل فيها إلى ٢٥٪ ـ ٣٠ ٪ ، وتكون غير صالحة للحراثة أو الرى .

الأراضى الجيرية

تزداد مشكلة ارتفاع الـ pH فى الأراضى الصحراوية تعقيدًا عندما يكون ذلك مصاحبًا بارتفاع كبير فى نسبة كربونات الكالسيوم ، كما فى الأراضى الجيرية Calcarious Soils ؛ إذ يؤدى ذلك إلى ما يلى :

١ ـ تكوّن قشرة صلبة على سطح التربة تؤدى إلى تأخير الإنبات أو إعاقته .

٢ ـ تتحول فوفسات أحادى وفوسفات ثنائى الكالسيوم إلى فوسفات ثلاثى الكالسيوم ، وهى صورة قليلة الذوبان جدا فى الماء .

٣ ـ تتحول مركبات العناصر الصغرى الأكثر ذوبانًا فى المحلول الأرضى إلى صورة الكربونات الأقل ذوبانًا .

٤ ـ يؤدى توفر الجير إلى تطاير وفقد الأمونيا من الأسمدة النشادرية .

٥ ـ انتشار وجود الطبقات الجيرية الصماء تحت سطح التربة .

وتنتشر الأراضى الجيرية فى مصر فى المواقع التالية :

الموقع	نسبة الجير بالتربة (٪)	مشاكل التربة الأخرى
النوبارية	١١ ـ ٤٠	تكوّن القشرة السطحية الصلبة عند جفاف التربة
القطاع الشمالى لمديرية التحرير	٥ ـ ٣٠	شدة نفاذية التربة ورشحها للماء
الساحل الشمالى	٣٠ ـ ٧٠	ارتفاع نسبة الأملاح
		ارتفاع منسوب الماء الأرضى إلى أقل من ١٠٠ سم
سيناء	١١ ـ ٥٠	ارتفاع نسبة الأملاح
النوبارية	١٠ ـ ٤٠	تكوّن القشرة السطحية الصلبة عند جفاف التربة

وتعالج المشاكل الفيزيائية للأراضى الجيرية بحراثة طبقة تحت التربة لتقطيع الطبقات الصماء التى تمنع رشح الماء وانتشار الجذور . ويفضل لذلك استخدام المحاريث الحفارة ، مع تجنب استعمال المحاريث القلاّبة . كذلك يراعى الإكثار من التسميد العضوى ، مع إجراء الرى « على الحامى » ؛ أى يكون غزيرًا وسريعًا .

ويوصى ـ عمومًا ـ بزيادة تركيز عناصر الحديد ، والمنجنيز ، والزنك فى مياه الرى (بالتنقيط) بنسبة ٥٠ ٪ عند وجود كربونات الكالسيوم فى الأرض بنسبة ٥ ـ ١٠ ٪ ، أما عند زيادة نسبة الجير عن ١٠ ٪ . . فتفضَّل إضافة العناصر الصغرى رشا على أوراق النباتات .

ومن أنسب المحاصيل للزراعة فى الأراضى الجيرية : الطماطم ، والباذنجان ، والفلفل ، والكوسة ، والبطيخ . كذلك يمكن زراعة التين ، والزيتون ، واللوز ، والعنب ، والخوخ ، والرمان ، والنخيل ، بالإضافة إلى المحاصيل الحقلية النجيلية (مثل القمح ، والشعير ، والذرة) والبقولية (مثل الفول والبرسيم) .

رفع pH الأراضى الحامضية

ليس من المنطقى الحديث عن رفع pH الأراضى الحامضية وأراضينا كلها قلوية ، ولكنّا نوجز هذا الأمر ؛ بهدف استكمال صورة موضوع حموضة التربة وقلويتها فى ذهن القارئ .

يُستخدم فى رفع pH التربة عدد من المركبات ؛ أهمها كربونات الكالسيوم (الحجر الجيرى limiestone) . ويوضح جدول (٨ ـ ٧) الكميات التى تجب إضافتها من الحجر الجيرى فى الأنواع المختلفة من الأراضى لإحداث التعديل المطلوب فى pH التربة .

جدول (٨ ـ ٧) : كميات الحجر الجيرى التى تلزم إضافتها للأنواع المختلفة من الأراضى لإحداث التعديل المطلوب فى pH التربة .

التعديل المطلوب فى pH التربة حتى عمق الجرث	عدد كيلو جرامات الحجر الجيرى اللازمة للفدان فى الأراضى					
	الرملية sandy	الرملية الطمية sandy loam	الطمية loam	السلتية الطمية silt loam	الطينية الطمية clay loam	المك muck (العضوية)
٦,٥٠ ـ ٤,٠	١٣٠٠	٢٥٠٠	٣٥٠٠	٤٢٠٠	٥٠٠٠	٩٥٠٠
٦,٥٠ ـ ٤,٥	١١٠٠	٢١٠٠	٢٩٠٠	٣٥٠٠	٤٢٠٠	٨١٠٠
٦,٥٠ ـ ٥,٠	٩٠٠	١٧٠٠	٢٣٠٠	٢٨٠٠	٣٣٠٠	٦٣٠٠
٦,٥٠ ـ ٥,٥	٦٠٠	١٣٠٠	١٧٠٠	٢٠٠٠	٢٣٠٠	٤٣٠٠
٦,٥٠ ـ ٦,٠	٣٠٠	٧٠٠	٩٠٠	١١٠٠	١٢٠٠	٢٢٠٠

وترجع مشاكل الأراضى الشديدة الحامضية إلى فقرها فى عناصر الفوسفور ، والكالسيوم ، والمغنيسيوم ، والموليبدنم التى تثبت فيها ، وزيادة تركيز عنصرى الألومنيوم والمنجنيز بها إلى درجة السمّية .

ومن أهم المحاصيل التى يمكنها النمو فى الأراضى الحامضية : الأناناس ، والشاى ، والبن ، والأرز ، والكاسافا ، واللوبيا ، والفول السودانى . ومن المحاصيل الحساسة لها الذرة ، و الذرة الرفيعة ، والقطن .

خفض pH الأراضى القلوية

يستخدم عدد من المواد لإصلاح الأراضى المرتفعة القلوية ، ويعتبر الكبريت الزراعى أهم هذه المواد .

يوضح جدول (٨ ـ ٨) الكمية التى تلزم إضافتها من الكبريت لإحداث التعديل المطلوب فى الـ pH فى الأنواع المختلفة من الأراضى . ويلاحظ من الجدول أن الكميات المضافة من الكبريت تزداد مع زيادة نسبة الطين ، ومع ازدياد التغيير المطلوب فى pH التربة .

جدول (٨ ـ ٨) : كمية الكبريت التى تلزم إضافتها فى الأنواع المختلفة من الأراضى لإحداث التعديل المطلوب فى pH التربة .

التعديل المطلوب فى pH التربة حتى عمق الحرث	الكمية التى تلزم إضافتها بالكيلو جرام للفدان فى الأراضى		
	الرملية	الطميية	الطينية
٦,٥ ـ ٨,٥	١٠٠٠	١٢٥٠	١٥٠٠
٦,٥ ـ ٨,٠	٦٠٠	٧٥٠	١٠٠٠
٦,٥ ـ ٧,٥	٢٥٠	٤٠٠	٥٠٠
٦,٥ ـ ٧,٠	٥٠	٧٥	١٥٠

تتراوح نقاوة الكبريت الزراعى ـ عادة ـ بين ٥٠و ٩٩ ٪ ، وتتوقف كفاءته فى خفض التربة على مستوى نقاوته ومدى نعومة حبيباته ؛ فكلما صَغُرت حبيباته كانت أكثر تأكسداً فى التربة .

ويوفر الكبريتُ الكالسيومَ بصورة غير مباشرة من خلال تفاعلين يَحْدُثان فى التربة : ففى البداية يتأكسد الكبريت إلى حامض كبريتيك ، ثم يتفاعل الحامض المتكون مع كربونات الكالسيوم التى توجد فى التربة ليتكون الجبس .

ويحدث تأكسد الكبريت إلى حامض الكبريتيك بواسطة بكتيريا التربة ، وهى عملية بطيئة تتطلب تربة دافئة ، ورطبة ، وجيدة التهوية ؛ ولذا . . فإن إضافة الكبريت للتربة خلال فصل الشتاء ربما لا تأتى بأية نتائج قبل فصل الربيع التالى .

ويضاف الكبريت نثراً إلى التربة (الكبريت لا يذوب فى الماء ولا تجوز إضافته مع ماء الرى) ، ثم يُقلب فيها إلى العمق المطلوب ، ثم يروى الحقل جيداً (عن Branson & Fireman ١٩٨٠) ؛ ليمكن التخلص من كبريتات الكالسيوم المتكونة بالصرف .

أما الجبس الزراعى فإن الكميات التى تستخدم منه تتحدد بمقدار الصوديوم المتبادل كما هو مبين فى جدول (٨ ـ ٩) .

جدول (٨ ـ ٩) : كمية الجبس الزراعى اللازمة للفدان لتعديل الـ pH فى الـ ١٥ سم السطحية من التربة ، مقدرة على أساس مقدار الصوديوم المتبادل بها .

الصوديوم المتبادل (ملليمكافئ/١٠٠ جم تربة)	كمية الجبس الزراعى اللازمة (طن/فدان)
١	٠,٩
٢	١,٧
٣	٢,٦
٤	٣,٤
٥	٤,٣
٦	٥,٢
٧	٦,٠
٨	٦,٩
٩	٧,٧
١٠	٨,٦

ويلاحظ أن نسبة النقاوة تتراوح فى الجبس التجارى ـ عادة ـ بين ٢٠ ٪ و ٧٠ ٪ . ونظراً لأن تكلفة نقل الطن الواحد من الجبس وإضافته إلى التربة تكون ثابتة أيا كانت درجة نقاوته ؛ لذا . . يفضل استعمال الجبس ذى النقاوة العالية .

ويتعين عند الرغبة فى إصلاح الأراضى القلوية بإضافة الجبس إليها أن يكون المحلول الجبسى مركزا ليكون الإصلاح أسرع ؛ ولذا . . يفضل عندما تكون الأرض شديدة القلوية إضافة كمية الجبس المقررة مرة واحدة ؛ لتسهيل عملية نفاذ الماء خلال التربة ، ولإسراع عملية إصلاح الكالسيوم محل الصوديوم . لكن يفضل البعض ـ وخاصة فى الأراضى الأقل قلوية ـ إضافة الجبس على فترات ليبقى تركيزه مرتفعا فى التربة لأطول فترة ممكنة .

ويراعى دائمًا قلب الجبس فى الأرض ، مع إضافة ماء الرى باستمرار ؛ ليكون

إصلاح التربة لأكبر عمق ممكن . ويضاف ماء الرى ـ عادة ـ بمعدل ٣٠ فداناً ـ سم لكل طن من الجبس الزراعى المستخدم .

وتجدر الإشارة إلى أن كميات الكبريت والجبس اللازمة لإصلاح الأراضى القلوية والمبنية فى جدولى (٨ ـ ٨) ، و(٨ ـ ٩) هى كميات تقريبية ، وتتوقف الكمية الفعلية التى يتعين إضافتها على العوامل التالية :

١ ـ السعة التبادلية الكاتيونية لغرويات التربة .

٢ ـ نسبة الصوديوم المتبادل منسوبا إلى مجموع الكاتيونات الأخرى .

٣ ـ مدى الخفض المطلوب الوصول إليه فى نسبة الصوديوم المتبادل إلى مجموع الكاتيونات الأخرى .

٤ ـ العمق المطلوب الوصول إليه فى عملية إصلاح التربة .

٥ ـ نسبة نقاوة الجبس .

الصفات العامة المميزة للأراضى الزراعية فى مصر

يبين جدول (٨ ـ ١٠) الصفات العامة للأنواع المختلفة من الأراضى الزراعية فى مصر ، وهى الأراضى الصحراوية الحديثة الاستصلاح (الرملية والجيرية) ، وأراضى الوادى والدلتا (عن عبد الحميد ١٩٩١) .

جدول (٨ ـ ١٠) : صفات التربة فى الأراضى الصحراوية المصرية مقارنة بأراضى الوادى والدلتا .

نوع التربة	المحتوى (٪ بالوزن) رمل	سلت	طين	رقم الـ pH	التوصيل الكهربى (EC_e)	كربونات الكالسيوم (٪)	المادة العضوية (٪)
الصحراوية							
الرملية	٨٥ ـ ٩٠	٣ ـ ٥	٧ ـ ١٠	٨,٥ ـ ٨,٠	٠,٢ ـ ٠,٧	٠,٥ ـ ٠,٧	٠,٤ ـ ٠,٨
الجيرية	٧٠ ـ ٨٣	٧ ـ ١٠	١٠ ـ ٢٠	٨,٥ ـ ٩,٠	٠,٦ ـ ٣,٠	٦ ـ ٤٠	٠,٧ ـ ٠,٩
الوادى والدلتا	٢٠ ـ ٢٥	٣٧ ـ ٤٧	٢٨ ـ ٤٢	٨,٠ ـ ٨,٥	٠,٦ ـ ٣,٥	٤,٥ ـ ٧,٥	١ ـ ٤,٥

مياه الرى ونوعيتها

مصادر مياه الرى كثيرة ومتنوعة ، وتختلف كثيراً فى نوعيتها . ومن الأهمية بمكان

الإلمام بخصائص المياه المستعملة فى الرى ؛ لما لذلك من علاقة أكيدة بالمحصول المتوقع ، ومن تأثير على بناء التربة .

تقسيم مياه الرى حسب مستوى ملوحتها

تتناسب درجة التوصيل الكهربائى لماء الرى تناسبًا طرديا مع درجة ملوحته . وتقسم مياه الرى حسب درجة توصيلها الكهربائى(EC_w) إلى ست درجات كما يلى :

١ ـ الدرجة الأولى :

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين صفر و ٠,٢٥ مللى موز (صفر ـ ١٥٠ جزءًا فى المليون من الأملاح) ، وملوحتها منخفضة ، ويمكن استعمال هذه المياه فى رى معظم المحاصيل فى معظم الأراضى ، دون أى احتمال لحدوث مشاكل ملوحة . ويلزم توفير صرف مناسب للماء الزائد فى الأراضى الضعيفة النفاذية .

٢ ـ الدرجة الثانية :

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين ٠,٢٥ و ٠,٧٥ مللى موز (١٥٠ ـ ٥٠٠ جزءٍ فى المليون من الأملاح) ، وملوحتها معتدلة ، ويمكن استعمال هذه المياه فى رى معظم المحاصيل ما عدا الشديدة الحساسية ، وفى معظم الأراضى ، ما عدا القليلة النفاذية ؛ حيث يجب توفير صرف جيد للسماح بغسل الأملاح .

٣ ـ الدرجة الثالثة :

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين ٠,٧٥ و ٢,٢٥ مللى موز (من ٥٠٠ ـ ١٥٠٠ جزءٍ فى المليون من الأملاح تقريبًا) ، وملوحتها معتدلة إلى عالية ، ويجب قصر استعمال هذه المياه على الأراضى المتوسطة إلى العالية النفاذية ، كما يحسن غسل الأملاح بصفة دورية ؛ تجنبًا لمشاكل الملوحة ، كذلك يجب أن يقتصر استعمال هذه المياه على المحاصيل المتوسطة إلى العالية فى قدرتها على تحمل الملوحة .

٤ ـ الدرجة الرابعة :

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين ٢,٢٥ و ٤,٠ مللى موز (من ١٥٠٠ ـ ٢٥٠٠ جزءٍ فى المليون من الأملاح تقريبًا) ، وملوحتها عالية ، ويمكن استعمالها فى

رى المحاصيل ذات القدرة العالية على تحمل الملوحة عند زراعتها فى الأراضى العالية النفاذية ، بشرط توفير صرف جيد .

٥ ـ الدرجة الخامسة :

تتراوح درجة توصيلها الكهربائى بين ٤,٠ و ٦,٠ مللى موز (من ٢٥٠٠ ـ ٤٠٠٠ جزء فى المليون من الأملاح تقريبا) ، وملوحتها عالية جدا ، وتستعمل تحت الظروف التى تستخدم فيها مياه الدرجة الرابعة ، بشرط توفير غسيل دائم ، وإن كان لا ينصح باستعمال هذه المياه فى الرى .

الدرجة السادسة :

تزيد درجة التوصيل الكهربائى فيها على ٦,٠ مللى موز (يزيد تركيز الأملاح على ٤٠٠٠ جزء فى المليون) ، وملوحتها عالية جدا بدرجة لا ينصح معها استعمال هذه المياه فى الرى (عن Thorne & Peterson ١٩٥٤) .

هذا . . ويبلغ تركيز الأملاح فى الماء ٢ ـ ١٠٠ ضعف تركيزه فى ماء الرى حسب الحالة ، ففى الأراضى الرملية التى تروى بغزارة قد يقترب تركيز الأملاح فى الماء الأراضى من تركيزه فى ماء الرى . أما فى الأراضى الثقيلة . . فقد يصل تركيز الأملاح فى الماء الأرضى إلى ١٠٠ ضعف تركيزه فى ماء الرى (Israelsen & Hansen ١٩٦٢) .

وبصفة عامة . . فإن الأراضى الرملية لا تُضارُّ من استعمال المياه المرتفعة الملوحة فى الرى كما تضار الأراضى الثقيلة ، كما أن توفير الجبس فى التربة يقلل من أضرار زيادة الأملاح فى ماء الرى . وعند استعمال هذه المياه يجب أن تغسل التربة بصفة دورية ؛ لأن ذلك يساعد على التخلص من الأملاح المتراكمة ، وقد يقلل من الصوديوم المتبادل .

وتجدر الإشارة إلى أن عددا كبيرًا من الأنواع النباتية يمكنه تحمل تركيز مرتفع للأملاح فى مياه الرى إذا كان المحلول الأرضى فى حالة توازن فسيولوجى ، كما فى ماء البحر .

تقسيم مياه الرى حسب محتواها من الصوديوم

عندما تزيد نسبة الصوديوم إلى الكالسيوم والمغنسيوم ($\frac{Na}{Mg + Ca}$ ، معبراً عن التركيزات بالمللى مكافئ/ لتر) على الواحد الصحيح ، فإن الصوديوم يتراكم فى التربة ، وتصبح الأرض قلوية . ويفضل التعبير عن محتوى التربة من الصوديوم كنسبة مئوية من الكاتيونات المتبادلة كلها ($\frac{١٠٠ \times Na}{K + Na + Mg + Ca}$ ، مع التعبير عن كل التركيزات بالمللى مكافئ/ لتر) . ومع زيادة الصوديوم فى ماء الرى يزداد الصوديوم المتبادل فى التربة ، وتزداد مشاكل القلوية .

وتقسم مياه الرى حسب محتواها من الصوديوم إلى أربعة أقسام :

١ ـ مياه منخفضة فى محتواها من الصوديوم : ويمكن استخدامها تقريبًا فى كل أنواع الأراضى ، دون خوف من تراكم كميات ضارة من الصوديوم المتبادل .

٢ ـ مياه متوسطة فى محتواها من الصوديوم : ويمكن استخدامها دون مشاكل فى الأراضى الخشنة القوام ذات النفاذية العالية ، ولكن استعمالها فى الأراضى التى تحتوى على نسبة مرتفعة من الطين ، والمنخفضة فى محتواها من المادة العضوية يؤدى إلى تراكم الصوديوم ؛ لأن نفاذيتها تكون منخفضة ، إلا إذا توفر الجبس فى التربة .

٣ ـ مياه مرتفعة فى محتواها من الصوديوم: يؤدى استعمالها فى الرى إلى تراكم الصوديوم بشدة فى معظم الأراضى التى لاتحتوى على الجبس . ويتطلب استعمالها عناية خاصة ؛ إذ يلزم توفير صرفٍ جيدٍ وغسيلٍ جيدٍ ، مع إضافة المادة العضوية لتحسين صفات التربة الطبيعية ، ويلزم أحيانا إضافة الجبس الزراعى لإحلال الكالسيوم محل الصوديوم على حبيبات الطين.

٤ ـ مياه مرتفعة جدا فى محتواها من الصوديوم: وهذه لايمكن استعمالها فى الرى إلا إذا كانت منخفضة فى محتواها من الأملاح الكلية؛ حيث يمكن تلافى أضرار

الصوديوم باستخدام الجبس الزراعى والغسيل الجيد، كما يمكن إضافة الجبس الزراعى إلى ماء الرى نفسه بطريقة آلية.

تقسيم مياه الرى حسب محتواها من البورون

نظراً لتفاوت المحاصيل المختلفة فى تحملها للبورون ، فإن مياه الرى تقسم من حيث نوعيتها تقسيمًا يأخذ فى حسبانه درجة حساسية المحاصيل للبورون كما فى جدول (٨ ـ ١١) .

جدول (٨ ـ ١١) : تقسيم مياه الرى حسب محتواها من البورون ومدى صلاحيتها لرى المحاصيل المختلفة .

نوعية المياه ومدى صلاحيتها للرى	الحد الأقصى لمحتوى المياه من البورون (بالجزء في المليون) بالنسبة للمحاصيل		
	الحساسة للبورون	المتوسطة التحمل للبورون	العالية التحمل للبورون
ممتازة	< ٠,٣٣	< ٠,٦٧	< ١,٠٠
جيدة	٠,٣٣ ـ ٠,٦٧	٠,٦٧ ـ ١,٣٣	١,٠٠ ـ ٢,٠٠
مقبولة	٠,٦٧ ـ ١,٠٠	١,٣٣ ـ ٢,٠٠	٢,٠٠ ـ ٣,٠٠
مشكوك فى صلاحيتها	١,٠٠ ـ ١,٢٥	٢,٠٠ ـ ٢,٥٠	٣,٠٠ ـ ٣,٧٥
غير صالحة	> ١,٢٥	> ٢,٥٠	> ٣,٧٥

وتقسم الخضروات ـ فى الزراعات الحقلية ـ حسب تحملها للبورون فى مياه الرى إلى الأقسام التالية :

١ ـ خضروات حساسة للتركيزات المنخفضة التى تصل إلى ٠,٥ ـ ١,٠ جزءاً فى المليون من البورون ، وتشمل : الفاصوليا ـ الطرطوفة .

٢ ـ خضروات متوسطة التحمل ، ويمكنها النمو فى تركيزات تصل إلى ١ ـ ٢ جزء فى المليون من البورون ؛ وتشمل : فاصوليا الليما ـ البطاطا ـ الفلفل ـ الطماطم ـ القرع العسلى ـ الذرة السكرية ـ البسلة ـ الفجل ـ البطاطس ـ الكرفس .

٣ ـ خضروات قادرة على تحمل تركيزات مرتفعة من البورون تصل إلى ٢ ـ ١٠ أجزاء فى المليون ؛ وتشمل : الجزر ـ الخس ـ الكرنب ـ اللفت ـ البصل ـ الفول الرومى ـ القاوون ـ البنجر ـ الهليون .

ومن المحاصيل الأخرى الشديدة التحمل للبورون فى مياه الرى : النخيل ، وبنجر السكر ، والبرسيم الحجازى .

وقد رتبت خضروات كل مجموعة تصاعديا حسب مقدرتها على تحمل البورون (Thorne & Peterson ١٩٥٤ ، و Allison ١٩٦٤) .

أما تحت ظروف المزارع الرملية . . فإن معظم النباتات تنمو جيدا فى تركيز يتراوح بين ٠,٣ و ٠,٤ جزءًا من المليون ، بينما تظهر أضرار البورون بوضوح عند زيادة تركيزه على جزء واحد فى المليون (عن U.S. Dept. Agr. ١٩٥٤) .

وتشاهد أضرار زيادة البورون ـ عادة ـ على صورة تحلل فى قمة الأوراق وحوافها ، يتبعه ظهور انسفاع أو احتراق scorching فى مختلف أنسجة الورقة (عن Branson ١٩٨٣) .

هذا . . ومع مرور الوقت تسبب المياه ـ المحوية على أكثر من جزأين فى المليون من البورون ـ مشاكل مع معظم المحاصيل الزراعية .

الحد الأقصى المأمون للعناصر الدقيقة (الصغرى) والعناصر غير الضرورية للنبات فى مياه الرى

تتحدد نوعية مياه الرى بمقدار ما تحتويه من العناصر الدقيقة والعناصر غير الضرورية للنبات ؛ لأن وجود هذه العناصر ـ حتى بتركيزات منخفضة ـ قد يكون ساماً للنباتات . ويوضح جدول (٨ ـ ١٢) الحد الأقصى المأمون لتلك العناصر فى ماء الرى .

جدول (٨ ـ ١٢) : الحد الأقصى المسموح به من العناصر الدقيقة والعناصر غير الضرورية للنبات فى مياه الرى .

العنصر	للاستعمال باستمرار فى جميع أنواع الأراضى (بالجزء بالمليون)	للاستعمال لمدة ٢٠ عاما فى الأراضى الخفيفة ذات pH من ٦ ـ ٨,٥ (بالجزء بالمليون)
الألومنيوم	٥,٠	٢٠,٠
الزرنيخ	٠,١٠	٢,٠
البرليم	٠,١٠	٠,٥
البورون	٠,٧٥	٢,٠ ـ ١٠,٠
الكادميوم	٠,٠١	٠,٠٥
الكروم	٠,١٠	١,٠
الكوبالت	٠,٠٥	٥,٠
النحاس	٠,٢	٥,٠
الفلور	١,٠	١٥,٠
الحديد	٥,٠	٢٠,٠
الرصاص	٥,٠	١٠,٠
الليثيم	٢,٥	٢,٥
المنجنيز	٠,٢	١٠,٠
الموليبدنم	٠,٠١	٠,٠٥
النيكل	٠,٢	٢,٠
السيلينيوم	٠,٠٢	٠,٠٢
الفانديوم	٠,١	١,٠
الزنك	٢,٠	١٠,٠

ومقارنة بالعناصر الدقيقة . . فإن الحدود القصوى المسموح بها من بعض العناصر الكبرى فى مياه الرى تزيد كثيراً عما سبق ، ولكنها تختلف من عنصر لآخر ، كما يلى (عن حبيب وآخرين ١٩٩٣) .

الأيون	الحد الأقصى المناسب له والأضرار التي تترتب على زيادة التركيز
الكالسيوم	٦ مللى مكافئ/ لتر (١٢٠ جزءاً فى المليون) ، تؤدى زيادته عن ذلك إلى ترسيب أيون الفوسفات إذا حُقِنَا معا فى مياه الرى
المغنيسيوم	٣ مللى مكافئ/ لتر
الكبريتات	تتحمل معظم النباتات غير الحساسة للكبريت تركيزات تصل إلى ١٠ مللى مكافئ/ لتر (٤٨٠ جزءا فى المليون) ، ولكن النباتات الحساسة لا تتحمل تركيزات تزيد على مللى مكافئ واحد فى اللتر .

أما البيكربونات فإن حدها الأقصى المسموح بـه ٦ ملى مكافئ/ لتر ، وتؤدى زيادتها على ذلك إلى حدوث بعض الترسبات فى مواسير الرى ؛ حيث إنها ـ وكذلك الكربونات ـ ترسب الكالسيوم والمغنيسيوم فى صورة ملح كربونات العنصر ؛ كما يؤدى ذلك ـ تلقائيا ـ إلى زيادة النسبة المئوية للصوديوم المتبادل .

كيفية الحكم على مدى صلاحية المياه للرى

يمكن الاستدلال على مدى صلاحية المياه للرى من نتائج تحاليلها المختلفة كما فى جدول (٨ ـ ١٣) (عن Ayers & Westcot ١٩٨٥) .

جدول (٨ ـ ١٣) : الاستدلال على مدى صلاحية المياه للرى من نتائج تحاليلها .

نوع المشكلة(أ)	مدى المشكلة		
	لا توجد	متزايدة	شديدة
الملوحة :			
EC_w (ملى موز/ سم) أو	أقل من ٠,٧٥	٠,٧٥ ـ ٣,٠	أكثر من ٣,٠
TDS (مجم/ لتر أو جزء فى المليون)	أقل من ٤٨٠	٤٨٠ ـ ١٩٢٠	أكثر من ١٩٢٠
سمية أيونات معينة لمحاصيل حساسة :			
(عند الرى السطحى) :			
الكلوريد (ملى مكافئ/ لتر)	أقل من ٢	٢ ـ ١٠	أكثر من ١٠
(مجم/ لتر)	أقل من ٧٠	٧٠ ـ ٣٤٥	أكثر من ٣٤٥
البورون (مجم/ لتر)	١,٠	١,٠ ـ ٢,٠	٢,٠ ـ ١٠,٠
الصوديوم (مقدرا بالـ SAR)	SAR أقل من ٣,٠	٣,٠ ـ ٩,٠	أكثر من ٩,٠
(عند الرى بالرش) :			
الصوديوم (ملى مكافئ/ لتر)	أقل من ٣,٠	أكثر من ٣,٠	–
(مجم/ لتر)	أقل من ٧٠	٧٠	–
الكلوريد (ملى مكافئ/ لتر)	أقل من ٣,٠	أكثر من ٣,٠	–
ـ(مجم/ لتر)	أقل من ١٠٠	١٠٠	–
متنوعات			
البيكربونات (ملى مكافئ/ لتر)	أقل من ١,٥	١,٥ ـ ٨,٥	أكثر من ٨,٥
(مجم لتر)	أقل من ٤٠	٤٠ ـ ٥٢٠	أكثر من ٥٢٠
pH	المدى الطبيعى : ٦,٥ ـ ٨,٤		

(أ) EC_w: درجة التوصيل الكهربائى Elelectrical Conductivity لماء الرى مقدرة بالديسى سيمنز لكل متر decisimens/meter (dS/m) ، أو بالملى موز لكل سنتيمتر (mmohs/cm) عند ٢٥ م .

TDS: المواد الصلبة الكلية الذائبة Total Dissolved Salts .

SAR: نسبة ادمصاص الصوديوم Sodium Adsorption Ratio . إلى الكاتيونات الأخرى (الكالسيوم والمغنيسيوم) ، وهى تحسب ـ بالنسبة لماء الرى بالمعادلة التالية :

$$SAR = Na^{+} / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}$$

حيث تمثل Na^{+} ، و Ca^{++} ، و Mg^{++} تركيز هذه الأيونات بالملى مكافئ/ لتر .

تجدر الإشارة إلى أن نسبة الصوديوم المتبادل ـ على سطح غرويات التربة (اختصارا ESP) Estimated Equilibrium Exchangealbe-Sodium-Percentage ـ المقدرة عند الوصول إلى حالة توازن ـ تتوافق ـ إلى حد كبير ـ مع نسبة ادمصاص الصوديوم Sodium Adsorption Ratio إلى الكاتيونات الأخرى (الكالسيوم والمغنيسيوم) ، التى تحسب ـ بالنسبة لماء الرى ـ من المعادلة التالية :

$$SAR = Na^{+} / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2}$$

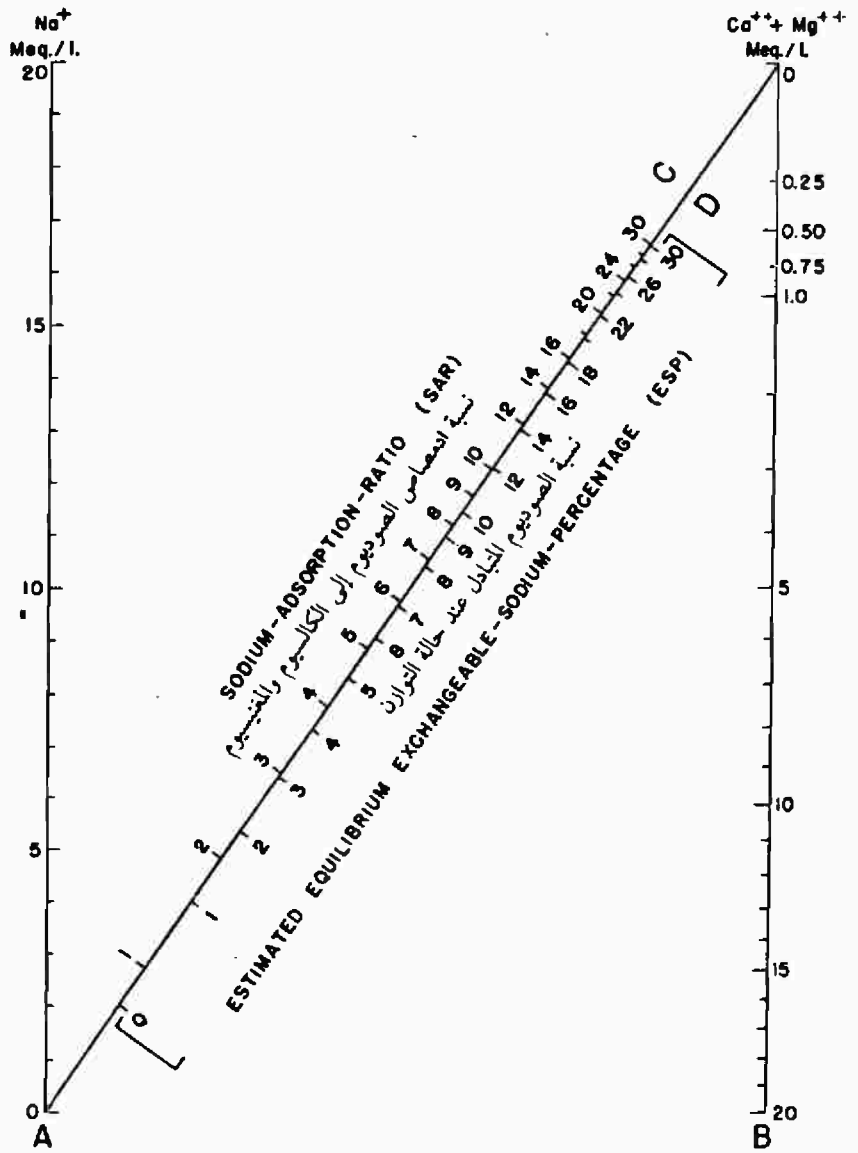
حيث تمثل Na^{+} ، و Ca^{++}، ، و Mg^{++} تركيز هذه الأيونات ـ فى ماء الرى ـ بالملليمكافئ/لتر . وتبدو هذه العلاقة واضحة من شكل (٨ ـ ١١) .

وقد قدرت قيم ESP المبنية فى الشكل من المعادلة التالية :

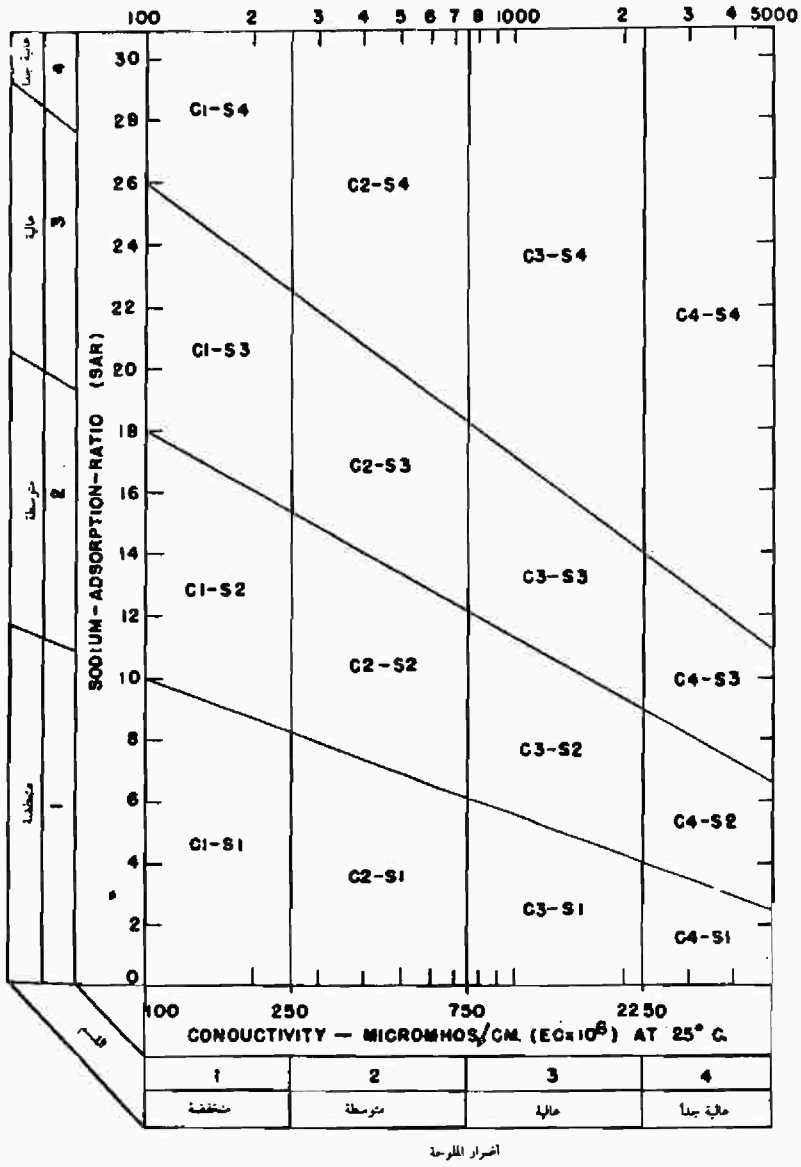
$$ESP = \frac{100 (- 0.0126 + 0.01475 SAR)}{1 + (- 0.0126 + 0.01475 SAR)}$$

هذا . . إلا أن قيم SAR المقدرة تكن عادة أقل قليلا من القيم الفعلية المتحصل عليها تحت ظروف الحقل ؛ لأن محاليل التربة تكون غالبا أعلى تركيزًا من تركيز الأملاح فى مياه الرى .

ويفضل دائماً أخذ كل من قيمتى SAR ، و EC_w ـ لماء الرى ـ فى الحسبان عند تقرير مدى صلاحية استخدام تلك المياه فى الرى . وتبعا لذلك . . فإن مياه الرى تقسم ـ حسب نوعيتها ـ إلى ١٦ قسمًا تبعا لمدى انخفاض أو ارتفاع قيمتى SAR ، و EC_w كما هو مبين فى شكل (٨ ـ ١٢) .



شكل (٨ ـ ١١) كيفية تحديد قيمة SAR لماء الرى ، وتقدير قيمة ESP المقابلة فى التربة التى تكون فى حالة توازن مع الماء المستخدم فى الرى .



شكل (٨ ـ ١٢) : تقسيم نوعيات مياه الري تبعا لمدى انخفاض أو ارتفاع كل من قيمتي SAR ، و EC_w .

تأخذ SAR ـ فى شكل (٨ ـ ١٢) ـ الرمز S ، بينما تأخذ EC الرمز C . وتزداد المشاكل المتوقعة من استعمال المياه فى الرى مع زيادة الرقم المصاحب لكل من الـ C ، أو الـ S، أو كليهما . أما العلاقات الخطية ـ بين S ، و C ـ المبينة فى الشكل فقد تحددت من المعادلات الآتية :

المنحنى	المعادلة
العلوى	S = 43.75 - 8.87 (log C)
الأوسط	S = 31.31 - 6.66 (log C)
السفلى	S = 18.87 - 4.44 (log C)

حيث إن : EC = C ، و SAR = S ، و log = اللوغاريتم للأساس ١٠ (عن U.S. Dept . Agr ١٩٥٤) .

فسيولوجيا استجابة النباتات لملوحة التربة ومياه الرى

مظاهر اضرار الملوحة على محاصيل الخضر

تتباين أضرار الملوحة على النباتات ـ حسب تركيز الأملاح فى التربة ومياه الرى ـ كما يلى :

١ ـ فى التركيزات الشديدة الارتفاع تموت النباتات بسبب سمية التركيزات العالية للأيونات المكونة للأملاح ، مع حدوث ارتفاع كبير فى الضغط الآسموزى للمحلول الأرضى ؛ فتفشل البذور فى الإنبات ، ولا يمكن للجذور امتصاص حاجة النباتات من الماء ، وخاصة عند ارتفاع معدل النتح .

٢ ـ فى التركيزات المتوسطة إلى العالية من الأملاح قد تحترق الأوراق ويتوقف النمو ، وهو ضرر مباشر تحدثه التركيزات المرتفعة لأيونى الصوديوم والكلور .

٣ ـ فى التركيزات الخفيفة إلى المتوسطة من الأملاح تنخفض سرعة النمو النباتى ، كما يزداد سمك الأوراق ، وتزداد دكنة لونها الأخضر فى بعض الأنواع النباتية .

٤ ـ عند استخدام المياه المرتفعة الملوحة فى الرى بالرش فإن الأوراق تمتص الأملاح ؛ مما يؤدى إلى احتراقها . ويتوقف مدى الضرر على درجة الحرارة (التى تؤثر فى سرعة تبخر الماء وزيادة تركيز الأملاح) ، ومعدل امتصاص الأوراق للماء .

٥ ـ إلى جانب الأضرار الفسيولوجية المباشرة التى تقدم بيانها . . فإن زيادة تركيز الأملاح يمكن أن تؤدى ـ كذلك ـ إلى زيادة الإصابة ببعض الأمراض ؛ مثل مرض عفن جذور فيتوفثورا فى الطماطم الذى يسببه الفطر Phtopthora parasitica (Swiecki & MacDonald ١٩٩١) .

الأساس الفسيولوجى لأضرار الملوحة

تظهر الآثار السلبية للملوحة العالية فى ثلاثة جوانب كما يلى :

١ ـ بناء التربة Soil Structure :

تؤثر التركيزات العالية للأملاح ـ وخاصة عند زيادة نسبة ادمصاص الصوديوم إلى الكاتيونات الأخرى على سطح غرويات الطين ـ تأثيرًا سيئًا على الصفات الفيزيائية للتربة ، حيث تتشتت الحبيبات الصغيرة (المكونة للتجمعات الكبيرة) ، وتصبح مفردة ؛ الأمر الذى يقلل كثيرًا من حجم مسام التربة ، ويضعف نفاذيتها للماء .

٢ ـ التفاعل بين التربة والجذور Soil/Root Interactions :

تجعل التركيزات العالية للأملاح فى المحلول الأرضى امتصاص النبات للماء والعناصر أمرًا صعبًا ؛ بسبب زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى ، والتنافس الكيميائى بين أيونات الأملاح وأيونات العناصر المغذية على الامتصاص ؛ مما يؤدى إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر .

٣ ـ داخل النبات :

تؤدى زيادة امتصاص النبات للأملاح إلى تواجدها بتركيزات عالية فى أنسجة النبات بصورة عامة ، وفى السيتوبلازم ، والفجوات العصارية بصورة خاصة ؛ الأمر الذى يترتب عليه ما يلى :

أ ـ تثبيط النشاط الأيضى ، بالرغم من أن زيادة الملوحة تؤدى إلى زيادة المحتوى الكلوروفيللى للنبات .

ب ـ التضارب مع تمثيل البروتين .

جـ ـ فقدان الخلايا للماء .

د ـ انغلاق الثغور ؛ بسبب زيادة تركيز حامض الأبسيسك فى الملوحة العالية .

هـ ـ شيخوخة الأوراق مبكراً .

ويؤدى عدم التوازن بين تركيز الأملاح فى كل من السيتوبلازم والفجوات العصارية إلى زيادة التأثير الضار للأملاح الزائدة ؛ فتصبح سامة للنبات ، بالرغم من أن تركيزها العام فى النسيج النباتى قد يكون معتدلا (عن Yeo & Flowers ١٩٨٩ ، و Xu وآخرين ١٩٩٤) .

ومن أمثلة الأضرار الفسيولوجية التى تسببها الملوحة لمحاصيل الخضر ما يلى :

١ ـ أدت زيادة الملوحة إلى زيادة تركيز الأيونات فى أوراق الطماطم ، وخاصة المسنة منها ، بينما ازداد تراكم البروتين فى الأوراق الحديثة بصورة أكبر (عن Soliman & Doss ١٩٩٢) .

٢ ـ أدت زيادة الملوحة من ٣ إلى ٨ ديسى سيمنز/سم إلى نقص تراكم المادة الجافة فى كل من الخيار والطماطم ، وإلى نقص كل من امتصاص الكالسيوم والمحصول بصورة أكثر وضوحا فى الخيار منه فى الطماطم (عن Ho & Adams ١٩٩٤) .

التأثيرات المفيدة للملوحة على محاصيل الخضر

لا تخلو زيادة الملوحة من بعض التأثيرات المفيدة التى يمكن أن تجد لها تطبيقات زراعية ، كما يلى :

١ ـ تؤدى زيادة الملوحة إلى الحد من النمو الخضرى فى الطماطم ؛ الأمر الذى يمكن الاستفادة منه فى زيادة العقد المبكر ، وخاصة فى ظروف الإضاءة الضعيفة .

كذلك فإن زيادة الملوحة فى الوقت المناسب (فى المزارع المائية) تفيد فى الحد من النمو الخضرى فى الفراولة ؛ الأمر الذى يؤدى إلى اتجاه النبات نحو النمو الثمرى .

٢ ـ تؤدى الملوحة العالية ـ أحيانا ـ إلى جعل الثمار المنتجة أفضل مظهراً وأكثر مقاومة للأضرار الميكانيكية (عن Awang وآخرين ١٩٩٣) .

٣ ـ تعمل الملوحة على زيادة قدرة النباتات العشبية على تحمل الحرارة المنخفضة ؛ فقد أدى تعريض جذور السبانخ لمحلول ملحى يبلغ تركيزه ٣٠٠ ملى مولار من كلوريد الصوديوم إلى زيادة قدرة الأوراق على تحمل التجمد بمقدار ٢,٣° م فى خلال ٢٤ ساعة من المعاملة ، علما بأن امتصاص الملح كان سريعا خلال السبع ساعات الأولى من معاملة الملوحة ، ثم انخفض بعد ذلك (Hincha ١٩٩٤) .

٤ ـ من المعروف أن زيادة الملوحة تؤدى إلى زيادة نسبة المادة الجافة وتحسين النوعية ؛ بزيادة محتوى الثمار من السكريات والحموضة المعايرة ؛ كما فى الطماطم ، والفلفل ، والفراولة .

فمثلا . . أوضحت دراسات Mizrahi & Pasternak (١٩٨٥) أن ثمار طماطم التصنيع التى عرضت لعدة مستويات من الملوحة كان محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة أكثر منه فى نباتات الشاهد . وبالرغم من أن محصول معاملة الملوحة كان أقل ، إلا أن التحسن فى نوعيتها رفع من قيمتها .

كذلك حصلت ثمار القاوون التى تعرضت لمستويات من الملوحة على قيم أعلى فى اختبارات التذوق منها فى ثمار معاملة الشاهد ، ولكن اختفى الفرق بينهما بعد ٣ ـ ٤ أسابيع من التخزين فى حرارة الغرفة .

أما الخس . . فلم تكن لمعاملة الملوحة أية تأثيرات على نتائج اختبارات التذوق فيه .

وفى الكرنب الصينى كان لمعاملة الملوحة تأثير قليل على المحصول، ولكنها أحدثت زيادة فى معدل الإصابة باحتراق حواف الأوراق .

٥ ـ من المعروف أن ثمار النباتات الأصيلة فى طفرة الطماطم nor لا تتلون بصورة عادية ولا تفقد صلابتها ؛ حيث يمكن تخزينها لفترات طويلة ، ولكنها تكون رديئة النوعية لعدم اكتمال نضجها بصورة طبيعية ؛ حيث يكون تطورها مقيدًا بشدة على المستويات الفسيولوجية والإنزيمية ، وحتى على مستوى التعبير الجينى . هذا . . إلا أن الملوحة يمكن أن تخفف من التأثيرات المتعددة لهذا الجين ؛ حيث إن تعريض النباتات للأملاح ـ فى نهاية مرحلة تطورها ـ أدى إلى احمرار الثمار ونضجها جزئيا . وقد صاحب ذلك نقص فى وزن الثمار وصلابتها ، مع زيادة فى محتواها من المادة الجافة ، والحموضة المعايرة ، والسكر ، وأيون الكالسيوم . ولكن لم يكن للملوحة تأثير على نشاط إنزيم بولى جلالاكتورونيز polygalacturonase ؛ الذى يختفى تماما فى الثمار الأصيلة فى هذا الجين ، والذى يعد مسئولا عن فقد ثمار الطماطم الطبيعية لصلابتها .

طبيعة تحمل الملوحة فى النباتات المحبة للملوحة

تنمو النباتات المحبة للملوحة ـ غالبًا ـ فى بيئات تحتوى على كلوريد الصوديوم بتركيز ١٠٠ ـ ٢٥٠ مول/م^{٣} (يحتوى ماء البحر على نحو ٥٠٠ مول كلوريد الصوديوم/ م^{٣}) ، مع تواجد بعض الأيونات السامة الأخرى أحيانا . فإذا أخذنا كلوريد الصوديوم فقط فى الحسبان ، وافترضنا أن نسبة النتح إلى البناء الضوئى (وزن الماء المفقود بالنتح إلى الوزن الجاف للمادة العضوية التى يقوم النبات بتمثيلها) هى ٣٠٠ (وهى نسبة واقعية) ، وأن تركيز الأملاح فى بيئة نمو النباتات هو ٢٠٠ مول/ م^{٣} . . نجد أنه مقابل كل جرام من المادة الجافة العضوية التى يقوم النبات بتمثيلها ، فإن عليه أن يتعامل مع ٣,٥ جم من كلوريد الصوديوم ؛ إما بالتخلص منها ، وإما بمنع تأثيرها السام .

ويمكن بيان خطوط دفاع النباتات ضد الكميات الهائلة التى يمتصها من كلوريد الصوديوم ـ مرتبة حسب أهميتها ـ فيما يلى :

١ ـ تمييز النباتات ضد أيونى الصوديوم والكلور عند امتصاصها للماء الأرضى الملحى .

٢ ـ حجز الأملاح فى الفجوات العصارية ، ويظهر ذلك ـ مورفولوجيا ـ على صورة أعضاء نباتية عصيرية succulent توجد فيها نسبة عالية من الماء إلى المواد العضوية الجافة . وقد يحدث هذا الحجز للأملاح فى الأوراق المسنة . ولا يعتقد أن تلك الوسيلة يمكن أن يكون لها أهمية كبيرة فى تجنب أضرار الأملاح الزائدة فى المحاصيل الاقتصادية .

٣ ـ يوجد فى بعض النباتات تراكيب متخصصة لفرز وطرح الأملاح منها ، كما فى النجيليات المحبة للملوحة ، وهى نباتات لا هى بالعصيرية ، ولا يوجد فيها فجوات عصارية كبيرة (عن Austin ١٩٨٩) .

ونجد فى أوراق بعض النباتات (مثل الجنس Atriplex) تراكيب متخصصة تعرف باسم الغدد الملحية Salt Glands، أو المثانات الملحية Salt Bladders تتجمع فيها الأملاح من الأنسجة المحيطة بها ، ثم تفرز منها بتركيزات عالية إلى سطح الأوراق ؛ حيث تُغسل مِنْ عليها بواسطة الندى أو ماء المطر .

٤ ـ تُسقط بعض النباتات الصحراوية المحبة للملوحة أوراقها عند زيادة محتواها من الأملاح عن مستوى معين ؛ الأمر الذى يمنع تراكم الأملاح فى باقى أجزاء النبات . وبالرغم من أن هذا الأسلوب فى التخلص من الأملاح ذو كفاءة عالية ، إلا أن قيمته الزراعية ـ فى المحاصيل الاقتصادية ـ مشكوك فيها (عن Rains ١٩٧٩) .

٥ ـ يمكن للنباتات أن تؤمن لنفسها توازنًا آسموزيا Osmoregulation داخليا عن طريق خاصية النفاذية الاختيارية للأغشية الخلوية التى قد تسمح بمرور أيون معين إلى داخل الخلية ، وتمنع أيوناً آخر ، وقد تعمل على نقل أيون ثالث خارج الخلية . ويكون اختيار الأغشية الخلوية للأيونات التى تسمح بنفاذها حسب أهميتها للنبات ومدى حاجته إليها . ويكون للأغشية الخلوية المعرضة للبيئة الخارجية (فى الشعيرات الجذرية) دورها فى تحديد الأيونات التى يُسمح بمرورها إلى داخل النبات عندما يكون تركيز الأملاح منخفضًا أو متوسطًا . أما عند زيادة تركيز الأملاح فإن الكميات الممتصة من الأيونات غير المرغوب فيها تزداد بصورة غير مناسبة ؛ الأمر الذى يستتبع قيام

الأغشية الخلوية الداخلية بعملية التنظيم الآسموزى فى الفجوات العصارية (Rains ١٩٨١) .

٦ ـ يعرف كثير من الأنواع النباتية ـ التى يرتبط تحملها للتركيزات العالية من كلوريد الصوديوم ـ بقدرتها على استبعاد أيون الكلور ، أو أيون الصوديوم ، أو كليهما من الوصول إلى النموات الخضرية من خلال أنظمة فيزيائية كيميائية خاصة ، والتى منها إفراز الصوديوم من الجذور إلى التربة مرة أخرى ، وقيام خلايا متخصصة من برانشيمية الخشب بالامتصاص .

ومن أمثلة تلك النباتات ما يلى (عن Jones ١٩٨١) :

النوع النباتى	الأيون المُستبعد
الشعير	الكلور والصوديوم
Festuca rubra	الكلور والصوديوم
القمح Triticum aestivum	الكلور والصوديوم
Agropyron elongatum	الكلور والصوديوم
فول الصويا	الكلور
الأفوكادو	الكلور
العنب	الكلور
الحمضيات	الكلور والصوديوم
الفواكه ذات النواة الحجرية	الكلور والصوديوم

وتزداد نسبة الليبيدات الفوسفورية phospholipids إلى الاستيرولات sterols فى جذور الفاصوليا عند تعرضها لظروف الملوحة العالية (٨٠ مللى مولار كلوريد صوديوم) . ويستدل من نتائج دراسات Cachorro وآخرين (١٩٩٣) فى هذا الشأن على أن وجود الكالسيوم (حتى ١٠ مللى مولار) فى بيئة نمو النبات يجعل النبات أكثر تأقلما مع الملوحة العالية .

التنظيم الآسموزى واهميته

نجد أن معظم النباتات الثنائية الفلقة المحبة للملوحة halophtes عصيرية succulent ، ويتراكم فى فجواتها العصيرية تركيزات عالية من أيونى الصوديوم والكلور . كما يكون تركيز هذين الأيونين فى سيتوبلازم هذه النباتات أعلى مما فى النباتات العادية القليلة أو المتوسطة التحمل للملوحة mesophytes .

ولكى تحقق تلك النباتات توازنًا آسموزيا بين الفجوات والسيتوبلازم . . يتراكم بسيتوبلازم خلاياها تركيزات عالية جدا من المواد العضوية الذائبة organic solutes ؛ مثل البرولين proline ، والجليسين بيتين glycinebetaine ، والسوربتول sorbitol ، والجليسرول ، وحامض الأوكالسيك ، والبيتين betaine ، وغيرها حسب النوع النباتى . كما أن الأحماض العضوية ذات الشحنة السالبة ـ مثل حامض الأوكساليك ـ تعمل على إحداث توازن مع أيونات الصوديوم المتراكمة ذات الشحنة الموجبة ، ويعرف ذلك باسم التنظيم الآسموزى Osmoregulation .

ومن المعلوم أن نشاط عديد من الإنزيمات يتأثر سلبيا بالمركبات الذائبة غير العضوية ، بينما يكون ضرر المركبات العضوية الذائبة معدومًا أو قليلا فى التركيزات العالية .

وبالرغم من الدراسات العديدة التى أجريت على موضوع التنظيم الآسموزى فى النباتات ، فإنه لا يوجد اتفاق بين الباحثين لا على دوره ، ولا على أهميته . . حتى لقد ذكر البعض منهم أن تراكم البرولين والجليسين بيتين يكون مصاحبا بزيادة القدرة على تحمل الملوحة فى بعض الأنواع النباتية ، إلا أن ذلك الأمر لا يحدث فى كل الحالات . كذلك ذكر البعض أن تراكم الجليسين بيتين فى النباتات يساعدها على زيادة تحملها للملوحة ، ولكن ذلك التراكم ليس شرطًا لا غنى عنه لتحمل الملوحة فى النباتات الراقية .

كما أن دور البرولين فى التنظيم الآسموزى فى النباتات موضع جدل . فالبرولين يتراكم فعلا فى النباتات التى تتعرض لظروف قاسية (وخاصة نقص

الرطوبة الأرضية) ، ولكن يبدو أن ذلك يحدث كاستجابة آسموزية شديدة ، أو ـ ربما ـ لسمية الأملاح .

ومن المعلوم أن المركبات النيتروجينية ـ مثل البرولين ـ تنظم بكفاءة عالية عملية تخزين النيتروجين الضرورى للنبات . ويعد البرولين مناسباً لتحقيق هذا الهدف ؛ لأنه نشط آسموزيا ، ومتوافق مع مكونات السيتوبلازم ، ويمكن أن يتحول بسهولة إلى حامض الجلوتامك ، وهو حامض أمينى مركزى فى عملية تنظيم تمثيل الأحماض الأمينية الأساسية الأخرى . وبذا . . فإن النبات المعرض للملوحة يمكنه استخدام البرولين كمخزون نيتروجينى ، وفى التنظيم الآسموزى (عن Rains ١٩٨١) .

ومن النباتات التى يتراكم فيها البرولين بكثرة فى ظروف الملوحة العالية كل من : Triglochin maritima ، و Puccinellia maritima ، وكثير من الطحالب والبكتيريا .

كذلك فإن سكر المانيتول Mannitol ـ الذى يوجد فى أكثر من ٧٠ نوعًا نباتيا ـ يزداد تراكمه فى الظروف البيئية القاسية ، وخاصة ظروف زيادة الملوحة ، كما فى الكرفس . كما وجد أن نباتات التبغ المحولة وراثيا ـ والمنقول إليها الجين المسئول عن تمثيل المانيتول من البكتيريا Escherichi coli ـ كانت أكثر تحملا للملوحة من النباتات العادية غير القادرة على إنتاج المانيتول (عن Pharr وآخرين ١٩٩٥) .

إن قائمة المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم cytosolutes ـ فى النباتات الراقية ـ فى ازدياد مستمر ، وتتضمن كحولات السكر sugar alcohols ، والأحماض الأمينية الـ dipolar، ومشتقاتها . ومن الأمثلة الهامة لذلك مركب dimethyl-sulphonoproionate الذى يشيع وجوده فى الطحالب البحرية . وتوجد المركبات الـ Sulphonic فى النباتات الراقية ؛ مثل : Wedelia biflora ، و Ulva lactuca اللذين يتغير تركيز المركب فيهما بتغير تركيز الأملاح فى وسط نموهما .

ويبدو أنه توجد علاقة قوية بين نوع المركبات العضوية الذائبة التى تتراكم فى السيتوبلازم فى ظروف الملوحة العالية وبين الوضع التقسيمى ؛ كما هو موضح فى جدول (٨ ـ ١٤) (عن Jones ١٩٨١) .

جدول (٨ ـ ١٤) : أمثلة لأنواع المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم فى بعض الأنواع النباتية .

النوع النباتى	العائلة	المركب العضوى
Suaedo monoica	Chenopodiaceae	Glycinebetaine
Suaeda maritima		
Atriplex spongiosa		
Spinacia oleracea		
Beta vulgaris		
Spartina x townsendii	Graminae	
Diplochne fusa		
Puccinellia maritima	Graminae	Proline
Triglochina maritima		
Plantago maritima	Plantagonaceae	Sorbitol
Plantago capensis		
Medicago sativa	Leguminoseae	Prolinebetaine
Wedelia biflora	Compositae	Beta-dimethysulphonio-propionate

كذلك تتراكم ـ فى السلالات التى تتحمل الملوحة ، عند تعرضها لظروف الملوحة العالية ـ أنواع مختلفة من البروتينات ، مثل البروتين المسمى أوزموتين Osmotin . وقد وجد Jain وآخرون (١٩٩٣) طرزاً محددة لتراكم البولى بيبتيدات Polypeptides تحت ظروف الملوحة ، تختلف باختلاف السلالات المتحملة للملوحة . وبالرغم من عدم التوصل إلى حقيقة الدور الفسيولوجى الذى تلعبه هذه البروتينات على وجه التحديد . إلا أنه يعتقد بأنها تسمح للنبات بعمل التأقلمات الحيوية البنائية التى تمكنه من التعامل مع مستويات الملوحة العالية .

علاقة صفة تحمل الملوحة بالنمو النباتى فى النباتات المحبة للملوحة

ينبغى أن تكون الإنزيمات ، أو الأغشية الخلوية ، ومكونات تلك الأغشية فى السيتوبلازم ـ فى النباتات المحبة للملوحة ـ قادرةً على تحمل التركيزات العالية للأيونات غير العضوية ، والمواد العضوية الذائبة التى توجد فى خلاياها ، أو تكون النباتات مزودة بخصائص لفصل تلك المواد عن الأجزاء النباتية الحساسة فى حجيرات خاصة ، فيما يعرف بالـ Compartmentation .

ويتطلب تراكم المواد العضوية الذائبة فى تلك النباتات ، والحاجة إلى أن تكون إنزيماتها قادرة على تحمل الملوحة (الأمر الذى قد يجعلها أقل كفاءة من نظيراتها فى النباتات العادية) ، وتخصيص حجيرات للأملاح فيها ، والتمييز ضد أيونى الصوديوم والكلور عند امتصاص النبات للماء الملحى من التربة . . كل ذلك يتطلب بذل طاقة ، تكون دائمًا على حساب نمو النبات وقدرته الإنتاجية ؛ ولذا . . نجد أن النباتات الملحية تكون ـ دائمًا ـ أقل نموا وإنتاجية من النباتات العادية ، كما أنها تعطى أعلى نمو ممكن لها عندما تنمو فى بيئات يقل فيها تركيز الأملاح عما تكون عليه الحال فى البيئات التى تنمو فيها بصورة طبيعية (عن Rains ١٩٧٩ ، و Austin ١٩٨٩) .

علاقة التربة والماء بالنبات

مستويات تيسر الرطوبة الأرضية لاستعمال النبات

عند إضافة الماء إلى التربة ، فإنه يبللها إلى أعماق تتوقف على كمية الماء المضافة ؛ لأن تجمعات التربة soil aggregates تشد إليها الماء فى طبقات متتالية ، ويقل شدها تدريجيا كلما بعد الماء عن سطح جوامد الأرض ، حتى يصل مقدار شد التربة للماء إلى ١/٣ ضغط جوى ، حينئذ لا يمكن لجوامد التربة شد الماء إليها ، فيتحرك إلى أسفل بفعل الجاذبية الأرضية .

وتعرف كمية الماء التى تحتفظ بها التربة ضد الجاذبية الأرضية بالسعة الحقلية Field Capacity، ويعبر عنها كنسبة مئوية من الوزن الجاف للتربة .

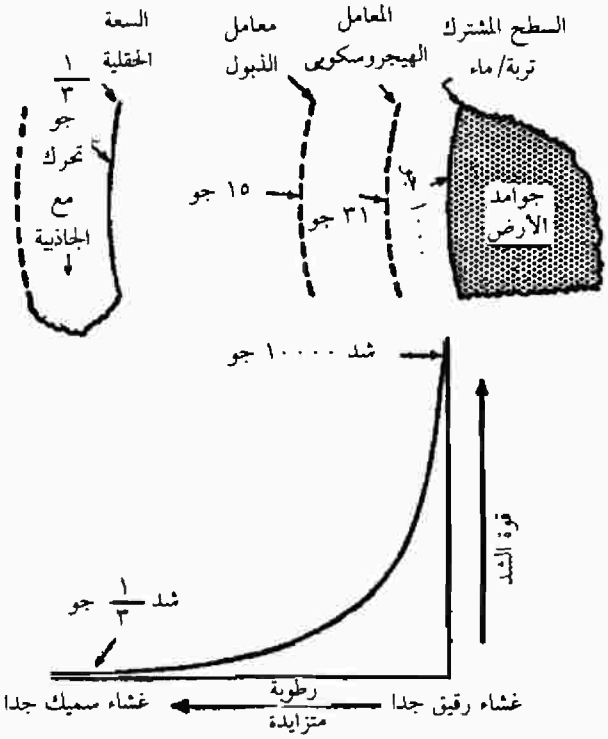
وفى البداية تكون كل مسام التربة مملوءة بالماء ، ومع تحرك الماء إلى أسفل فى الفراغات الكبيرة بين تجمعات التربة تصبح هذه المسام مملوءة بالهواء ، بينما يبقى نصف المسام - وهى الموجودة داخل تجمعات التربة - مملوءًا بالماء الذى تحتفظ به التربة ضد الجاذبية الأرضية . فالتربة عند السعة الحقلية بها نصف المسام مملوءاً بالماء ، والنصف الآخر مملوء بالهواء .

ومع امتصاص النباتات للماء يقل سمك غشاء الماء المحيط بجوامد التربة تدريجيا وتزيد قوة احتفاظ التربة بهذا الماء ؛ فتقل بالتالى مقدرة النبات على امتصاصه ، حتى تصل قوة احتفاظ التربة بالماء إلى ١٥ ضغط جوى ؛ حيث يستحيل على معظم النباتات امتصاص الماء عند هذه النقطة ، وهى التى تعرف بمعامل الذبول Wilting Coefficient .

ويعرف الماء الميسر لامتصاص النبات بأنه ذلك الجزء الذى تحتفظ به جوامد التربة بقوة شد تتراوح من ١/٣ إلى ١٥ ضغط جوى ؛ أى هو المحتوى المائى للتربة بين السعة الحقلية ومعامل الذبول .

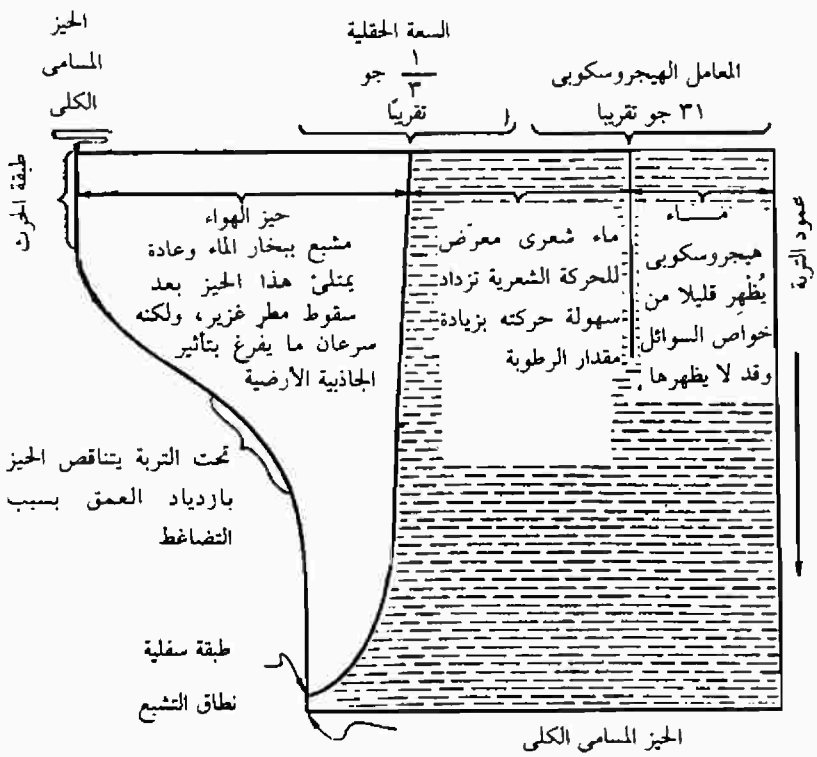
ومع استمرار جفاف التربة بعد ذلك بفعل التبخر يقل سمك الغشاء المائى الذى تحتفظ به التربة ، وتزداد قوة احتفاظها به ، حتى يصل مقدار شد التربة للغشاء المائى إلى ٣١ ضغط جوى ؛ حيث يصعب فقد الماء من التربة بالتبخر بعد ذلك تحت الظروف العادية . ويعرف هذا الحد بالمعامل الهيجروسكوبى ، كما يعرف الماء الذى تحتفظ به التربة حينئذ بالماء الهيجروسكوبى Hygroscopic Water . وهذا الماء لا يفقد إلا بالتسخين فى الأفران على درجة حرارة مرتفعة ؛ لأن التربة تحتفظ به بقوة كبيرة تصل عند السطح المشترك بين التربة والماء إلى نحو ١٠٠٠ ضغط جوى .

هذا . . وتظهر العلاقات المائية التى سبق شرحها فى شكل (٨ ـ ١٣) .



شكل (٨ ـ ١٣) : التغير فى قوة الشد الرطوبى مع التغير فى سمك الغلاف المائى المحيط بحبيبات التربة (بكمان وبرادى ١٩٦٠) .

كما يبين شكل (٨ ـ ١٤) كيف أن الماء المحصور بين قوتى شد ٣١ ضغط جوى و ١/٣ ضغط جوى ـ أى ما بين المعامل الهيجروسكوبى والسعة الحقلية ـ يمكن أن يتحرك بالخاصية الشعرية فى المسام الدقيقة للتربة من المناطق الأكثر رطوبة إلى المناطق الأقل رطوبة ، حتى تصل التربة إلى حالة اتزان رطوبى ، وتزداد سرعة حركة هذا الماء بزيادة مقدار الرطوبة . ويعرف هذا الماء بالماء الشعرى Capillary Water .



شكل (٨ ـ ١٤) : المستويات المختلفة من الرطوبة الأرضية وتحرك الماء فى التربة (عن بكمان وبرادى ١٩٦٠) .

وبناء على ما تقدم بيانه . . فإن الماء الأرضى يقسم حسب قدرته على التحرك فى التربة كما يلى :

١ ـ الماء الهيجروسكوبى Hygroscopic Water :

هو الماء الذى يوجد ملاصقًا لسطح حبيبات التربة ، وهو غير ميسر للنبات ، ولا يتحرك فى التربة لا بفعل الجاذبية الأرضية ، ولا بفعل قوى الحركة الشعرية Capillary Forces .

٢ ـ الماء الشعرى Capillary Water :

هو الماء الزائد عن الماء الهيجروسكوبى ، ويوجد فى المسافات بين حبيبات التربة ،

ويتحرك بالخاصية الشعرية ، ولا يمكن تحركه بفعل الجاذبية الأرضية ، حتى لو توفر الصرف الجيد .

٣ ـ الماء الحر Gravitational Water :

هو الماء الزائد عن الماء الشعرى والهيجروسكوبى ، والذى يمكن تحركه بسهولة وصرفه من التربة عند توفر مصارف جيدة .

وتتوقف نسبة كل قسم من أقسام الماء على قوام التربة وتركيبها ، ونسبة المادة العضوية ، ودرجة الحرارة .

كما يقسم الماء الأرضى حسب تيسره للنبات كما يلى :

١ ـ ماء غير ميسر للنبات Unavailable Water .

٢ ـ ماء ميسر للنبات Available Water .

٣ ـ ماء زائد Superfluous Water أو الماء الحر .

يتصرف الماء الزائد سريعًا بعيدًا عن منطقة الجذور عند توفر صرف جيد ، ويكون انصرافه بسرعة كبيرة فى الأراضى الرملية بالمقارنة بالأراضى الطينية ، فقد يستغرق ذلك يوما واحدا فى الأراضى الرملية ، بينما قد يحتاج الأمر إلى أربعة أيام أو أكثر فى الأراضى الطينية .

أما الماء غير الميسر للنبات ، فتحتفظ به حبيبات التربة بقوة شديدة ، ولا يمكن لجذور النبات امتصاصه .

ويكون الماء الميسر للنبات هو ما بين الماء الحر الزائد والماء غير الميسر . وبتعبير أدق . . فإن الماء الميسر للنبات هو الفرق بين السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم . ويعبر عنه على أساس الوزن الجاف ، أو على أساس الحجم ، أو على أساس العمق الرطوبى .

ويوضح الموضوع التالى هذا الأمر بصورة أكثر تفصيلا .

السعة الحقلية ، ونقطة الذبول الدائم ، والماء الميسر

السعة الحقلية

السعة الحقلية Field Capacity هى النسبة المئوية للرطوبة المتبقية فى التربة بعد صرف الماء الزائد الذى يتحرك بفعل الجاذبية الأرضية . وبرغم صعوبة تقدير السعة الحقلية لعدم وجود حد فاصل على المنحنى الذى يبين العلاقة بين النسبة المئوية للرطوبة فى التربة مع الزمن ، إلا أنها تستعمل بكثرة للدلالة على كمية الماء الصالحة لاستعمال النبات فى التربة . هذا . . وتجدر ملاحظة أن القسم الأكبر من الماء الزائد ينصرف بعيدا عن منطقة الجذور قبل أن يحصل منه النبات على أى قدر يذكر .

وتقدر السعة الحقلية ـ عادة ـ بعد يومين من الرى الذى يكفى لبل التربة إلى العمق الذى يراد اختباره ، إلا أنه تجدر ملاحظة أن كثيرا من العوامل تؤثر على دقة التقدير ؛ مثل : درجة الحرارة ، وسرعة تبخر الماء من سطح التربة ، ومقدارالنمو النباتى ، وما تمتصه النباتات من رطوبة ، ووجود طبقات سلتية أو طينية تعوق صرف الماء الزائد ، أو وجود مستوى ماء أرضى مرتفع .

ويتراوح الشد الرطوبى عند السعة الحقلية بين ٠,١ و ٠,٣٣ ضغط جوى . وتتوقف القيمة على مدى جودة نظام الصرف ، وعلى المدة التى تمر من الرى إلى حين تقدير السعة الحقلية ، وعلى قوام التربة . وعموما . . تكون القيمة قريبة من ٠,١ ضغط جوى فى الأراضى الرملية ، وقريبة من ٠,٣٣ ضغط جوى فى الأراضى الطينية ، وفى أحيان نادرة ترتفع القيمة إلى ٠,٦ ضغط جوى .

هذا . . وتبلغ النسبة المئوية للرطوبة الأرضية (على أساس الوزن الجاف) عند السعة الحقلية ٤ ٪ فى الأراضى الرملية ، و ١٠ ٪ فى الأراضى الطمية ، و ١٧ ٪ فى الأراضى الطينية .

نقطة الذبول الدائم

نقطة الذبول الدائم Permanent Wilting Point هى النسبة المئوية للرطوبة الأرضية التى يذبل عندها النبات ذبولا دائما ؛ أى لا يستطيع عندها امتصاص الماء من التربة .

ويختلف ذلك عن الذبول المؤقت الذى يحدث فى أغلب النباتات فى الأيام الحارة ، والتى تشتد فيها الرياح الساخنة برغم توفر الرطوبة الأرضية ؛ حيث لا يستطيع النبات امتصاص الرطوبة بالسرعة التى يفقدها بها ، ولكنه يستعيد حالته ليلا أو فى المساء عند انخفاض درجة الحرارة . وتختلف النسبة المئوية للرطوبة عند نقطة الذبول الدائم حسب طبيعة النبات ، ودرجة الحرارة ، ودرجة تعمق الجذور .

ويصل النبات إلى حالة الذبول الدائم ـ عادة ـ بعد فترة تتراوح بين أسبوع وأربعة أسابيع من الرى فى الأراضى الرملية والطينية على التوالى ، وقد تطول المدة عن ذلك عند تعمق جذور النباتات .

وتتراوح درجة الشد الرطوبى عند نقطة الذبول الدائم بين ٧ و ٤٠ ضغط جوى حسب المحصول المزروع ، ومحتوى التربة من الأملاح ، وقوام التربة . وعموما . . فالمعدل العام للشد الرطوبى عند نقطة الذبول الدائم هو ١٥ ضغط جوى . وعند هذه النقطة يؤدى أى تغير ـ ولو كان طفيفًا ـ فى نسبة الرطوبة إلى إحداث تغيرات كبيرة فى قوة الشد الرطوبى .

وتبلغ النسبة المئوية للرطوبة (على أساس الوزن الجاف) عند نقطة الذبول نحو ٢ ٪ فى الأراضى الرملية ، و ٥ ٪ فى الأراضى الطمية ، و ٨ ٪ فى الأراضى الطينية . ويمكن تقديرها بقسمة نسبة الرطوبة عند السعة الحقلية على ٢ أو ٢,٤ حسب نسبة السلت فى التربة ؛ حيث يقسم على ٢,٤ عند وجود نسبة عالية من السلت بها .

الماء الميسر للنبات

الماء الميسر للنبات Available Water هو الفرق بين النسبة المئوية للرطوبة عند السعة الحقلية والنسبة المئوية عند نقطة الذبول الدائم .

وتزداد صعوبة امتصاص الماء الميسر كلما انخفضت نسبة الرطوبة نحو نقطة الذبول ؛ ولذلك يقسم الماء الميسر إلى قسمين : أحدهما ميسر بسهولة Ready Availbe Water ، ويبلغ ٧٥ ٪ من الماء الميسر ، والباقى ـ وقدره ٢٥ ٪ ـ أقل تيسراً .

هذا . . وتتأثر نسبة الماء الميسر بالعوامل التالية :

١ ـ نسبة المادة العضوية :

حيث تزداد نسبة الماء الميسر بزيادة المادة العضوية ؛ لأنها تحسن خواص التربة الطبيعية ، وتزيد من مقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة . وبرغم أن المادة العضوية نفسها (فى صورة دبال) تكون ذات قدرة أكبر على الاحتفاظ بالرطوبة ، إلا أن نقطة الذبول الدائم بها تكون أعلى أيضا ؛ مما يجعل الماء الميسر الذى تحتفظ به أقل من المتوقع .

٢ ـ كمية الأملاح بالتربة حيث يقل الماء الميسر بزيادة الأملاح .

٣ ـ يزداد الماء الميسر بزيادة عمق التربة ، ويقل مع وجود طبقات صماء أو طبقات رملية تحت سطح التربة .

ويمكن تقدير كمية الماء الميسر للنبات فى الأنواع المختلفة من الأراضى ـ بسهولة ـ بالمعادلة التالية :

$$AWC = \frac{(FC - PWP) \times ASG \times D}{100}$$

حيث إن :

AWC = الماء الميسر Available Water Capcity .

FC = السعة الحقلية Field Capacity .

ASG = الكثافة النوعية الظاهرية للتربة Apparent Specific Gravity .

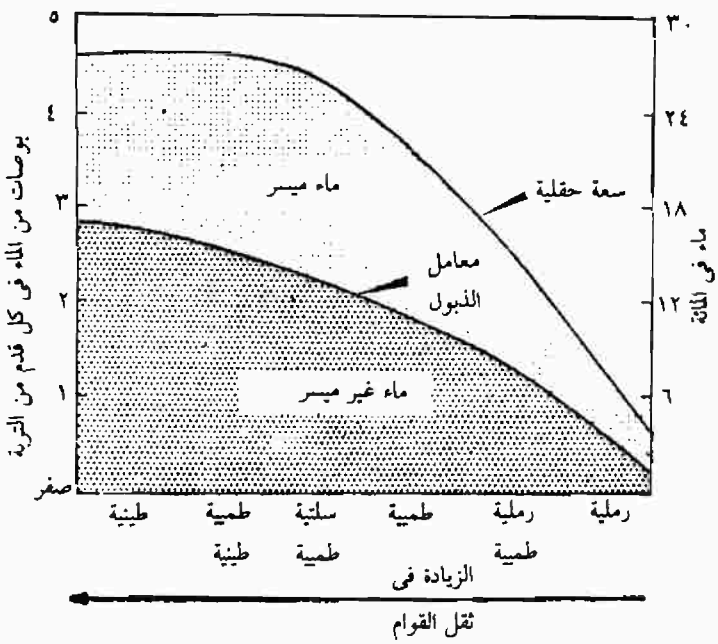
D = عمق التربة Depth الذى تقدر فيه الرطوبة .

ويقدر الماء الميسر ـ عادة ـ فى صورة ملليمتر لكل سنتيمتر (مم/سم) ، أو بوصة لكل قدم عمق من التربة ، ولكن يفضل التعبير عنه فى صورة نسبة مطلقة يمكن تحويلها إلى أى وحدة قياس .

فمثلا . . نسبة ماء ميسر مقدارها ١٢/١ أو ٠,٨٣ يمكن تحويلها حسب الرغبة إلى أى وحدة قياس ؛ فهى تساوى ١ بوصة/قدم ، أو ١ سم/١٢سم ، أو ٠,٨ بوصة/١٠ بوصات ، أو ٨ مم/١,٠ م عمق من التربة (Winter ١٩٧٤) .

تأثير طبيعة التربة على تيسر الماء للنبات

تختلف الأراضى فى نسبة الرطوبة التى تحتفظ بها ضد الجاذبية الأرضية (السعة الحقلية) وفى نسبة الرطوبة غير الميسرة لامتصاص النبات (بداية من معامل الذبول) ؛ ومن ثم فإنها تختلف فى كمية الماء التى تكون ميسرة لامتصاص النبات . فمع الزيادة فى ثقل قوام التربة تزداد كل من الرطوبة عند السعة الحقلية ، والرطوبة عند معامل الذبول ، لكن الزيادة فى السعة الحقلية تكون أكبر من الزيادة فى معامل الذبول ، وتكون النتيجة زيادة كمية الماء الميسر لامتصاص النبات مع الزيادة فى ثقل قوام التربة ؛ كما هو مبين فى شكل (٨ ـ ١٥) .



شكل (٨ ـ ١٥) : كمية الماء الأرضى الميسرة لامتصاص النبات (وهى المحصورة بين نسبتى الرطوبة عند السعة الحقلية وعند نقطة الذبول الدائم) فى الأنواع المختلفة من الأراضى .

ويمكن القول إجمالا إن نسبة الماء الميسر لامتصاص النبات (٪ من حجم التربة) تبلغ :

١ ـ أقل من ١٢,٥ ٪ فى الأراضى : الرملية الخشنة Coarse Sand ، والرملية الخشنة الطمية Loamy Coarse Sand ، والطمية الرملية الخشنة Coarse Sandy loam .

٢ ـ من ١٢,٥ ٪ إلى ٢٠ ٪ فى الأراضى : الرملية الطمية Loamy Sand ، والطينية Clay ، والطينية الرملية Sandy Clay ، والطينية السلتية Silty Clay ، والطمية الطينية Clay Loam ، والطمية السلتية الطينية Silty Clay Loam ، والطمية Loam .

٣ ـ أكثر من ٢٠ ٪ فى الأراضى : الطمية الرملية الناعمة جداً Very Fine Sandy Loam ، والطمية السلتية Silty Loam ، والبيت Peaty Soil (Fordham & Biggs ١٩٨٥) .

ويبين جدول (٨ ـ ١٥) الخصائص المائية لبعض أنواع الأراضى ؛ متضمنة : نسبة الرطوبة ـ على أساس الوزن الجاف للتربة ـ عند كل من السعة الحقلية ، ونقطة الذبول الدائم ، وكذلك كمية الماء الميسر فى الأنواع المختلفة من الأراضى على أساس كل من : الوزن الجاف للتربة ، والحجم ، والعمق الرطوبى ـ كما تقاس كمية مياه الأمطار (بالسم لكل ٣٠ سم عمقا من التربة) ، بالإضافة إلى نفاذية مختلف أنواع الأراضى ، ومساميتها .

علاقة تيسر الرطوبة الأرضية للنبات بنموه الجذرى

بطبيعة الحال . . فإن حساب كمية الماء الميسر للنبات يتوقف على مدى تعمق المجموع الجذرى ؛ الأمر الذى يتوقف على النوع النباتى ، ومرحلة النمو ، وعلى طبيعة التربة ، ومدى خلوها من العوامل التى تعوق النمو الجذرى .

جدول (٨ ـ ١٥) : الخصائص المائية لبعض أنواع الأراضي .

الخاصية (أ)	المتوسط العام والمدى (بين قوسين) في الأراضي المختلفة القوام					
	الرملية	الرملية الطمية	الطمية	الطينية الطمية	السلتية الطمية	الطينية
الوزن النوعي الظاهري (As)	١,٦٥	١,٥	١,٤٠	١,٣٥	١,٣٠	١,٢٥
Apparent . Spec . Grav .	(١,٥٥ ـ ١,٨٠)	(١,٤٠ ـ ١,٦٠)	(١,٣٥ ـ ١,٥٠)	(١,٣٠ ـ ١,٤٠)	(١,٢٥ ـ ١,٣٥)	(١,٢٠ ـ ١,٣٠)
السعة الحقلية FC (٪)	٩	١٤	٢٢	٢٧	٣١	٣٥
Field Capacity	(٦ ـ ١٢)	(١٠ ـ ١٨)	(١٨ ـ ٢٦)	(٢٣ ـ ٣١)	(٢٧ ـ ٣٥)	(٣١ ـ ٣٩)
معامل الذبول PWP (٪)	٤	٦	١٠	١٣	١٥	١٧
Permanent Wilt . Point	(٢ ـ ٦)	(٤ ـ ٨)	(٨ ـ ١٢)	(١١ ـ ١٥)	(١٣ ـ ١٧)	(١٥ ـ ١٩)
الماء الميسر :						
على أساس الوزن الجاف للتربة (٪)	٥	٨	١٢	١٤	١٦	١٨
P_w = FC - PWP	(٤ ـ ٦)	(٦ ـ ١٠)	(١٠ ـ ١٤)	(١٢ ـ ١٦)	(١٤ ـ ١٨)	(١٦ ـ ٢٠)
على أساس حجم التربة (٪)	٨	١٢	١٧	١٩	٢١	٢٣
$P_v = P_w A_s$	(٦ ـ ١٠)	(٩ ـ ١٥)	(١٤ ـ ٢٠)	(١٦ ـ ٢٢)	(١٨ ـ ٢٣)	(٢٠ ـ ٢٥)
على أساس سم/ ٣٠ سم عمقا	٢,٥	٣,٥	٥	٥,٧٥	٦,٢٥	٦,٧٥
$d = \frac{P_w}{100} AsD$	(٢,١٠ ـ ٣,١٠)	(٢,٧٥ ـ ٤,٥)	(٤,٢٥ ـ ٥,٧٥)	(٥,٠ ـ ٦,٥)	(٥,٥ ـ ٧,١٠)	(٦,١٠ ـ ٧,٥)
النفاذية (سم/ساعة)	٥	٢,٥	١,٢٥	٠,٧٥	٠,٢٥	٠,٥
Infiltration	(٢,٥ ـ ٢٥)	(١,٢٥ ـ ٧,٥)	(٠,٧٥ ـ ٢,١٠)	(٠,٢٥ ـ ١,٥)	(٠,٠٢٥ ـ ٠,٥)	(٠,٠١٢٥ ـ ١,٠)
المسامية (٪)	٣٨	٤٣	٤٧	٤٩	٥١	٥٣
Total Pore Space	(٣٢ ـ ٤٢)	(٤٠ ـ ٤٧)	(٤٣ ـ ٤٩)	(٤٧ ـ ٥١)	(٤٩ ـ ٥٣)	(٥١ ـ ٥٥)

(أ) P_w = النسبة المئوية للرطوبة على أساس الوزن الجاف ، و P_v = النسبة المئوية للرطوبة على أساس الحجم ، و d = العمق الرطوبي ، و D = عمق طبق التربة التي يُراد تقدير الرطوبة فيها .

وتقسم المحاصيل تبعا لتعمق جذورها ـ فى مرحلة اكتمال النمو ، مع عدم وجود أية عوائق أمام نمو الجذور ـ إلى ثلاث مجموعات (مع بيان المدى الذى يصل إليه تعمق النمو الجذرى بالسنتيمتر بين قوسين بعد كل محصول) كما يلى :

١ ـ محاصيل سطحية الجذور . . تشمل : الفاصوليا (٥٠ ـ ٧٠ سم) ، والبروكولى (٤٠ ـ ٦٠ سم) ، والكرنب (٤٠ ـ ٥٠ سم) ، والقنبيط (٣٠ ـ ٦٠ سم) ، والخس (٣٠ ـ ٥٠ سم) ، والبصل (٣٠ ـ ٥٠ سم) ، والبطاطس (٤٠ ـ ٦٠ سم) ، والأرز (٥٠ ـ ٧٠ سم) والسبانخ (٣٠ ـ ٥٠ سم) .

٢ ـ محاصيل ذات جذور متوسطة التعمق فى التربة . . وتشمل : الشعير (١٠٠ ـ ١٥٠ سم) ، والجزر (٥٠ ـ ١٠٠ سم) ، والبرسيم (٦٠ ـ ٩٠ سم) ، والباذنجان (٩٠ ـ ١٢٠ سم) ، والحبوب النجيلية الصغيرة (٩٠ ـ ١٥٠ سم) ، والبسلة (٦٠ ـ ١٠٠ سم) ، والفلفل (٥٠ ـ ١٠٠ سم) ، والبطاطا (١٠٠ ـ ١٥٠) ، والطماطم (٧٠ ـ ١٥٠ سم) ، والبطيخ (١٠٠ ـ ١٥٠ سم) .

٣ ـ محاصيل متعمقة الجذور . . وتتضمن : البرسيم الحجازى (١٠٠ ـ ٢٠٠ سم) ، والقطن (١٠٠ ـ ١٧٠ سم) ، والفاكهة المتساقطة الأوراق (١٠٠ ـ ٢٠٠ سم) ، والذرة (١٠٠ ـ ٢٠٠ سم) ، والذرة الرفيعة (١٠٠ ـ ٢٠٠ سم) ، وقصب السكر (١٠٠ ـ ١٢٠ سم) .

هذا . . إلا أن امتصاص الجذور للماء لا يكون متساويا على امتداد النمو الجذرى فى مختلف أعماق التربة ، ولكنه يقل تدريجيا ؛ حيث يبلغ استنفاذ الجذور لما تحتويه التربة من ماء ميسر للنبات حوالى ٨٠ ٪ فى الربع الأول من النمو الجذرى ، ينخفض إلى ٦٠ ٪ فى الربع الثانى ، وإلى ٤٠ ٪ فى الربع الثالث ، ثم إلى ٢٠ ٪ فى الربع الأخير من النمو الجذرى ، بمتوسط استنفاذ للماء يقدر بنحو ٥٠ ٪ من الماء الميسر للامتصاص فى التربة فى الحيز الذى ينتشر فيه المجموع الجذرى .

ونظراً لأن النباتات لا يمكنها استنفاذ أكثر من ٥٠ ٪ من الماء الميسر للامتصاص بسهولة ؛ لذا . . فإن الحقل يروى ـ عادة ـ عند استنفاذ هذا القدر من الماء . وتكون القاعدة عند الرى ـ حينئذ ـ هى أن تعادل كمية الماء المضافة نصف كمية الرطوبة التى

يمكن أن تحتفظ بها التربة وتكون ميسرة لامتصاص النبات فى منطقة النمو الجذرى . ويتوقف معدل الرى ـ أو الفترة بين الريات ـ على سرعة استنفاذ النباتات للماء الميسر لها (عن Stern ١٩٧٩) .

تقسيم نباتات الخضر حسب حاجتها إلى الرطوبة الأرضية

تقسم نباتات الخضر حسب حاجتها للماء إلى ثلاثة أقسام ؛ كما يلى :

١ ـ نباتات محبة للرطوبة Hydrophytes :

وهى التى تعيش فى الماء أو تحتاج إلى توفر الرطوبة الأرضية دائمًا بكميات كبيرة ؛ ومن أمثلتها فى محاصيل الخضر : القلقاس ، والكرسون المائى .

٢ ـ نباتات متوسطة فى احتياجاتها إلى الماء Mesophytes :

وهى التى تتعرض للذبول إذا فقدت نحو ٢٥ ٪ من محتواها الرطوبى ، وتشمل معظم النباتات المزروعة ؛ مثل : الطماطم ، والفلفل وغيرهما .

٣ ـ نباتات تتحمل ظروف الجفاف Xerophytes :

وهى التى لا تتعرض للذبول إلا بعد أن تفقد من ٥٠ ـ ٧٥ ٪ من رطوبتها ، كما أن تركيبها يسمح لها بمقاومة ظروف الجفاف . ومن أمثلتها من محاصيل الخضر : السبانخ النيوزيلاندى (Meyer وآخرون ١٩٦٠ ، و Yamaguchi ١٩٨٣) .

ويستدل من دراسات Itani وآخرين (١٩٩٢) أن نباتات اللوبيا وفاصوليا المنج Vigna radiata تتحملان الشد الرطوبى لفترات أطول إذا قورنت بنباتات الفاصوليا العادية وفول الصويا بسبب قدرتهما على الاحتفاظ بالرطوبة بأنسجتهما لفترة أطول .

التغيرات الفسيولوجية المصاحبة للتغيرات فى الرطوبة الأرضية

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

أولا : 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 قليلا 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 ـ تكون الخلايا منتفخة Turgid .

٢ ـ تكون الثغور مفتوحة .

٣ ـ ينفذ ثانى أكسيد الكربون بسرعة إلى الأوراق .

٤ ـ يكون معدل التمثيل الضوئى عالياً .

٥ ـ يكون معدل التنفس عاديا .

٦ ـ يتوفر كثير من المواد الكربوهيدراتية للنمو .

ثانياً : عندما تكون الرطوبة الأرضية أقل من اللازم :

يقل حينئذ امتصاص الماء ، ويتبع ذلك ما يلى :

١ ـ يقل انتفاخ الخلايا الحارسة .

٢ ـ تقل مساحة الثغور .

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

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

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

ثالثًا : عندما توجد زيادة فى الرطوبة الأرضية :

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

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

٢ ـ 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 الآسموزى للمحلول الأرضى ، كما يظهر أحيانًا عند زيادة التسميد بالقرب من النباتات ؛ حيث يتحرك الماء فى الاتجاه العكسى ؛ أى من الجذور إلى المحلول الأرضى . ويحدث هذا النوع من الذبول ، بالرغم من توفر الرطوبة فى التربة .

ثالثًا : الذبول الناشئ عن سوء التهوية ورداءة 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 ـ بالرغم من توفر الرطوبة بها ـ خاصة وسط النهار عندما تكون الشمس ساطعة ؛ حيث يزداد النتح عن مقدرة النبات على امتصاص الرطوبة ؛ نظراً لأن الحرارة المنخفضة تؤدى إلى ما يلى :

١ ـ نقص الطاقة الحركية Kinetic energy للماء الأرضى .

٢ ـ زيادة لزوجة الماء الأرضى .

٣ ـ زيادة درجة التوتر السطحى للماء الأرضى .

وجميعها عوامل تقلل من حركة الماء فى التربة .

٤ ـ نقص نفاذية خلايا النبات للماء .

٥ ـ زيادة لزوجة بروتوبلازم الخلايا .

٦ ـ نقص استطالة الجذور .

٧ ـ نقص النشاط الحيوى لأنسجة الجذر .

وجميعها عوامل تقلل من امتصاص الجذور للماء .

وأكثر الخضر تأثرًا بهذا النوع من الذبول هى الخضر الصيفية (Edmond وآخرون ١٩٧٥) .

فسيولوجيا الاستجابة للشد الرطوبى (ظروف الجفاف)

خاصية تحمل النباتات لظروف الجفاف

تعريف تحمل الجفاف

يختلف التعريف البيولوجى والإيكولوجى (أو البيئى) لتحمل النباتات للجفاف عن التعريف الزراعى أو المحصولى ؛ فالتعريف البيولوجى لا يتطلب أكثر من بقاء النبات حيا ، مع إنتاجه لأى عدد من البذور عقب تعرضه لنقص حاد فى الرطوبة الأرضية (عن Myers وآخرين ١٩٨٦) . ويتحقق ذلك ـ غالبًا ـ من خلال حدوث نقص فى المساحة الورقية ، وخفض النشاط الأيضى ، وغير ذلك من الظواهر التى توصف مجتمعة باسم Cryptobiosis . وترتبط تلك الظواهر ـ عادة ـ بنقص فى المحصول ؛ ولذا . . فإن فائدتها العملية محدودة (عن Quisenberry ١٩٧٩).

وبالمقارنة . . فإن التعريف الزراعى أو المحصولى لتحمل الجفاف يتطلب أن يكون النمو النباتى كافياً لإنتاج محصول اقتصادى .

ويميل بعض العلماء إلى استعمال مصطلح مقاومة الجفاف Drought Resistance ؛ ليعنى به حالتى : تجنب الجفاف Drought Avoidance ، وتحمل الجفاف Drought Tolerane . ويقصد بتجنب الجفاف قدرة النباتات على إكمال دورة حياتها فى فترة زمنية قصيرة عندما تكون الرطوبة الأرضية متوفرة ، كما فى عديد من النباتات الصحراوية .

ويرجع تحمل النباتات للجفاف إما إلى قدرتها على تأخير فقد الرطوبة من أنسجتها(Desication) ، وإما إلى تحملها الفقد الرطوبى عند حدوثه . ويحدث تأخير الفقد الرطوبى إما بخفض النبات لمعدل النتح ، وإما بزيادة معدل امتصاصه للماء . أما تحمل النبات للجفاف فيحدث من خلال التنظيم الآسموزى لخلايا النبات بالقدر الذى يسمح باستمرار امتلائها (Cell Turger) ، وتوسعها(Cell Expansion) ، ونموها (عن Parsons ١٩٧٩ ، و Hasegawa وآخرين ١٩٨٤) .

معادلات تقدير المحصول تحت ظروف الجفاف

نظراً لأهمية الفقد الرطوبى ، ومعدل البناء الضوئى ـ تحت ظروف الجفاف ـ فى تحمل النباتات للجفاف . . فإن تلك القيم تدخل فى معادلات حساب المحصول البيولوجى والمحصول الاقتصادى ، كما يلى :

$$W = mT/E_0$$

حيث إن :

W = المحصول البيولوجى .

m = ثابت خاص بالنبات .

T = النتح الخاص بالمحصول Crop Transpiration .

E_0 = التبخر السطحى والنتح الممكنان للمحصول Potential Evapotranspiration .

ويمكن استبدال القيمة T بالقيمة E_a ، وهى التبخر السطحى والنتح الفعليان للمحصول .

أما المحصول الاقتصادى فيقدر بالمعادلة التالية :

$$EY = E_a \times WUE \times HI$$

حيث إن :

EY = المحصول الاقتصادى .

WUE = كفاءة استعمال الماء Water Use Efficiency (كمية الماء المفقودة مقابل كل وحدة وزن من المادة العضوية المصنعة) .

HI = دليل الحصاد (عن Blum ١٩٨٩) .

علما بأن دليل الحصاد هو المحصول الاقتصادى كنسبة مئوية من الوزن الجاف الكلى للنبات ، ويقدّر بالمعادلة التالية :

$$HI = \frac{EY}{W} \times 100$$

علاقة التنظيم الآسموزى بتحمل الجفاف

يتراكم البرولين الحر فى النباتات عند تعرضها للشد الرطوبى . ولا يتجمع هذا البرولين نتيجة لهدم البروتين الموجود فى النبات ، ولكن نتيجة لتمثيل كميات منه تحت ظروف الشد الرطوبى . وبالرغم من أن البرولين يُسهم فى زيادة الضغط الآسموزى ، إلا أنه من المشكوك فيه أن يكون لتراكمه دور فى المحافظة على حياة النباتات .

ويستدل من نتائج دراسات El-Sayed (١٩٩٢) ازدياد تراكم البرولين فى أوراق وجذور الفلفل (وخاصة فى الجذور) مع ازدياد الشدّ الرطوبى الذى تتعرض له النباتات . كذلك لاحظ الباحث ما يلى :

١ ـ انخفض نشاط إنزيم Proline Dehydrogenase فى أوراق وجذور النباتات مع زيادة الشد الرطوبى إلى أن وصل النقص فى نشاط الإنزيم إلى ٨٥ ٪ فى أقصى درجات الشد الرطوبى .

٢ ـ كان نشاط إنزيم Proline Oxidase فى نباتات معاملة الشاهد أعلى بكثير فى الجذور مما فى الأوراق .

٣ ـ هذا . . بينما ثبط نشاط إنزيم Proline Oxidase ـ تحت ظروف الشد الرطوبى ـ بدرجة أعلى بكثير فى الجذور منها فى الأوراق .

ويتراكم البيتيـن Betaine ـ كذلك ـ بطريقة مماثلة للبرولين فى ظروف الشد الرطوبى ، وهو يُصنّع من السيرين Serine (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

ارتباط درجة حرارة الأوراق بتحمل الجفاف

ترتبط درجة حرارة الأوراق ـ تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية ـ ارتباطا وثيقا بمعدل النتح ، الذى يكون ـ بدوره ـ دليلا على مدى قدرة النبات على امتصاص الرطوبة اللازمة لاستمرار عملية النتح .

وقد توصل Stark وآخرون (١٩٩١) ـ من دراستهم على ١٤ صنفاً وسلالة من البطاطس ـ إلى وجود علاقة خطية بين ΔT (وهى الفرق بين درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة النموات الخضرية أثناء النهار فى الأيام الصحوة) ، والنقص فى ضغط بخار الماء Vapor Pressure Deficit ـ فى النباتات ـ فى حالات معاملات الرى المختلفة ؛ وبذا . . أمكنهم استخدام ΔT ـ بكفاءة ـ فى تقييم القدرة النسبية على تحمل ظروف الجفاف فى البطاطس .

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 الآسموزى 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 ـ مثل الفجوات العصارية ـ للقذف بجزيئات الماء . ويكون جهد الامتلاء ـ عادة ـ موجبا ، 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 ضرورياً 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 ـ المتحرك فى التربة ـ تقل تدريجيا 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 التصاقا على سطح حبيبات التربة . ويمكن القول إن جهد الماء water potential يقل تدريجيا إلى أن يصل إلى نقطة لا تتمكن عندها الجذور من امتصاص الماء لتعويض ما يفقد منه بالنتح ، أو يستنفذ فى العمليات الحيوية الأخرى . وحينئذ 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 Piont .

يتراوح الجهد المائى فى التربة عند نقطة الذبول الدائم بين ـ 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 ـ ٠,٣ ميجاباسكال ونقطة الذبول الدائم (ـ ١,٥ ميجاباسكال) .

كيفية وصول الماء الأرضى إلى الجذور تحت ظروف الشد الرطوبي

يصبح الماء ملامسا لجذور النباتات بإحدى طريقتين ؛ هما : إما بانتقال الماء إلى الجذور ، وإما بنمو الجذور فى التربة الرطبة . يكون تحرك الماء فى التربة سهلا عند نقطة التشبع الرطوبى تبعا 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 . وحينئذ يزداد إسهام الـ materic potential فى الجهد المائى ، مقارنة بإسهام الجهد الآسموزى . وتحت هذه الظروف يصبح تحرك بخار الماء أمرًا هاما . 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 صيفا .

إن الأسطح التى تتلامس فيها الجذور مع حبيبات التربة تعد منطقة ديناميكية . ويعرف جزء التربة الذى يقع بالقرب من الجذور النامية ويتأثر بها باسم « الرايزوسفير Rhizosphere » . ويعتبر الرايزوسفير نظاماً بيئيا ديناميكيا تزداد فيه

أعداد الكائنات الدقيقة كثيراً 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 ـ وخاصة النجيليات ـ 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 ـ شدّ بسيط mild stress :

يكون مصاحباً بانخفاض فى الجهد المائى Ψw للأوراق بمقدار ٠,١ ميجاباسكال ، ونقص فى المحتوى النسبى للماء Relative Water Content يتراوح بين ٨ ٪ و ١٠ ٪ .

٢ ـ شدّ معتدل Moderate Stress :

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

٣ ـ شدّ شديد Severe Stress :

يكون مصاحبًا بانخفاض فى الجهد المائى للأوراق إلى أكثر من ـ 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 :

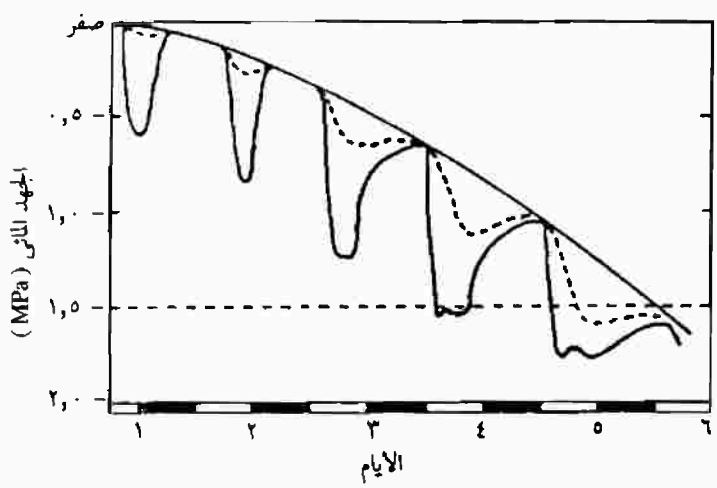
١ ـ الأنسجة الميرستيمية بفعل ما تقوم بتمثيله من مركبات خلوية ، وخاصة البروتين .

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

٣ ـ الأوراق بفعل ما تقوم بتصنيعه من غذاء .

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

يزداد الشدّ الرطوبى مع ازدياد النقص فى الرطوبة الأرضية كما أسلفنا . ويبين شكل (٨ ـ ١٦) 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 ـ التى تنتح أثناء النهار ـ والجذور ، بالإضافة إلى نقص مستمر فى الجهد الرطوبى فى التربة .



شكل (٨ ـ ١٦) : 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 ليلا يستمر امتصاص الماء من التربة . وفى بداية مرحلة الجفاف نجد أن نقص الماء فى النبات ـ نتيجة للنتح نهاراً ـ يتم تعويضه فى بداية فترة الظلام ، ولكن ـ مع تقدم حالة الجفاف ـ يصبح الماء الأرضى أقل تيسراً ، ويكون تعويض النقص فى الماء فى النبات أبطأ بصورة متزايدة إلى أن نصل إلى نقطة الذبول الدائم ، وهى التى لايمكن 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 :

١ ـ سرعة تطور حالة الشد الرطوبى :

حيث يسمح نقص فى الجهد المائى (قدره ـ ٠,١ إلى ـ ٠,٥ ميجاباسكال يوميا) بحدوث التأقلم ، بينما يكون الشدّ المائى أسرع من أن يحدث معه التأقلم إذا تراوح النقص فى الجهد المائى بين ـ ١,٠ و ـ ١,٢ ميجاباسكال يوميا .

٢ ـ درجة الشدّ :

حيث يمكن الإبقاء على حالة الامتلاء الكامل full turger فى المراحل المبكرة من التعرض للشدّ الرطوبى ، ولكن تلك القدرة تقل مع استمرار حالة الشد .

٣ ـ العوامل البيئية :

يكون للعوامل المؤثرة على سرعة الجفاف ـ مثل الحرارة وشدة الإضاءة ـ دور مباشر ، بينما يكون للعوامل المؤثرة على معدل البناء الضوئى دور غير مباشر .

٤ ـ الاختلافات الوراثية بين الأصناف والأنواع النباتية .

٥ ـ عمر النبات .

ومن مظاهر التأقلم النباتى على الشدّ الرطوبى نقص المساحة الورقية ؛ الذى يؤدى إلى نقص فقد الماء من النبات .

كما يؤدى الشد الرطوبى إلى الإسراع بموت الأوراق المسنة وموتها مبكرا ؛ الأمر الذى يقلل أكثر من فقد النبات للماء ، علما بأن تلك الأوراق لا تُسهم كثيرًا فى إمداد الثمار ، أو البذور ، أو الأعضاء النباتية الأخرى بالغذاء المجهز .

كذلك تتغير مع الشد الرطوبى زاوية ميل الورقة وشدة عكسها للضوء ، وتزداد حالة التفاف الأوراق ، وخاصة فى النجيليات ، علما بأن هذا الالتفاف قد يؤدى إلى نقص النتح بنحو ٧٠ ٪ ونقص المساحة الورقية المعرضة لضوء الشمس المباشر بنحو ٦٨ ٪ .

تأثر الهرمونات النباتية بظروف الشد الرطوبى ، وتأثير ذلك على النمو النباتى

يؤثر الشدّ الرطوبى على التوازن الهرمونى ؛ الذى يؤثر بدوره على تطور النمو النباتى . وبينما تتأثر جميع الهرمونات النباتية بالشدّ الرطوبى . . فإن أكثرها تأثرا حامض الأبسيسيك ، والسيتوكينينات ، والإيثيلين ، التى تتحكم فى التوازن المائى ، بينما يتأثر إندول حامض الخليك والجبريللينات بدرجة أقل .

١ ـ إندول حامض الخليك :

ينخفض تركيز إندول حامض الخليك وانتقاله فى النباتات التى تتعرض لظروف الشدّ الرطوبى ، وربما يرجع ذلك إلى الزيادة فى تركيز إنزيم IAA oxidase التى تحدث فى ظروف الشد الرطوبى .

٢ ـ الجبريللينات :

ينخفض تركيز الجبريللينات فى النباتات التى تتعرض لأى من ظروف الجفاف أو الغدق .

٣ ـ الإيثيلين :

يؤدى الشدّ الرطوبى إلى زيادة تمثيل الإيثيلين فى النبات ؛ بسبب زيادة تمثيل

مركب ACC الذى يُصنّع منه الإيثيلين . . وجد ذلك فى عديد من النباتات ؛ منها : القطن ، والقمح ، والبرتقال ، والفول الرومى .

ونظرا لأن معاملة النباتات بحامض الأبسيسيك تؤدى إلى زيادة تمثيل الإيثيلين ؛ لذا . . يعتقد أن زيادة الأخير ترجع إلى زيادة تركيز حامض الأبسيسيك تحت ظروف الشد الرطوبى .

٤ ـ السيتوكينينات :

تُصنّع السيتوكينينات فى الجذور ، وينخفض تمثيلها فى ظروف الشد الرطوبى ، ولذلك أثره فى الإسراع بشيخوخة الأوراق وموتها فى حالات الشد الرطوبى .

٥ ـ حامض الأبسيسيك :

يؤدى الشد الرطوبى إلى زيادة تركيز حامض الأبسيسيك . وقد وجد ذلك فى عديد من النباتات ؛ منها : الأفوكادو ، وعباد الشمس ، والفاصوليا ، والداتورة ، والقمح . ويلعب الحامض دورًا هاما فى التحكم فى فتح الثغور وانغلاقها ؛ حيث يمكن أن يؤدى إلى انغلاقها أو منع انفتاحها . ويظهر ذلك التأثير جليا فى طفرة الطماطم flacca التى لا يتراكم فيها حامض الأبسيسيك عند تعرض النباتات للشد الرطوبى . وفيها تبقى الثغور مفتوحة برغم التعرض للشد الرطوبى ، وتذبل النباتات عند تعرضها للضوء . ولا تغلق الثغور فى هذه الطفرة إلا عند معاملة الأوراق بحامض الأبسيسيك .

تأثير التفاعل بين الهرمونات على النباتات فى ظروف الشدّ الرطوبى

تلعب ثلاثة هرمونات نباتية دورًا هاما فى النبات أثناء تعرضه للشد الرطوبى . فنجد أن الشد الرطوبى يُحدث زيادة مبدئية فى تركيز الإيثيلين ، تتبعها زيادة كبيرة فى تركيز حامض الأبسيسيك ، ونقص فى تركيز السيتوكينينات . وتمنع الزيادة فى تركيز حامض الأبسيسيك أية زيادة إضافية فى تركيز الإيثيلين ، بينما نجد أن السيتوكينين ـ الذى يمكن أن يحفز تمثيل الإيثيلين ـ ينخفض تركيزه ؛ الأمر الذى يزيد من حدة النقص فى تركيز الإيثيلين .

ويعد أحد أدوار حامض الأبسيسيك التأثير على نفاذية الأغشية الخلوية للخلايا الحارسة ؛ حيث تؤدى زيادة تركيزه ـ فى ظروف الشد الرطوبى ـ إلى إغلاق الثغور جزئيا أو كليا .

وقد يؤدى استمرار الشد الرطوبى لفترة طويلة إلى سقوط الأوراق . وفى حالات كهذه . . قد يكون تمثيل الإيثيلين هو أهم العمليات الحيوية ؛ حيث تؤدى زيادة تركيزه إلى نقص انتقال الأوكسين من نصل الورقة إلى طبقة الانفصال فى عنق الورقة . ويؤدى سقوط الأوراق إلى نقص المساحة الورقية ؛ الأمر الذى يجعل النبات أكثر قدرة على إعادة أقلمة نفسه على ظروف الشد الرطوبى (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

تأثير الشد الرطوبى على عملية البناء الضوئى

تعتبر كمية الماء التى يحتاج إليها النبات فى عملية البناء الضوئى قليلة جدا إذا ما قورنت بما يحتاج إليه النبات لاستمرار نموه ونشاطه البيولوجى . وعلى ذلك . . فإن عملية البناء الضوئى لا تتوقف عند نقص الرطوبة الأرضية بسبب التأثير المباشر لنقص الرطوبة ، وإنما يكون مرد ذلك إلى تأثيرات غير مباشرة ؛ منها حالة الجفاف hydration التى تحدث للبروتوبلازم وإغلاق الثغور ، فيؤدى جفاف البروتوبلازم إلى التأثير على تركيبه الغروى ، ومن ثم تتأثر كل العمليات الحيوية التى تجرى فيه ، وخاصة النشاط الإنزيمى .

أما بالنسبة لإغلاق الثغور عند ذبول الأوراق وتأثير ذلك على معدل البناء الضوئى ، فإن هذه النظرية قد واجهتها تحديات كثيرة ؛ حيث وجد أن معدل البناء الضوئى يظل ـ فى بعض الحالات ـ مرتفعًا ، وبمعدله الطبيعى ، حتى تبدأ الأوراق فى الذبول ، كما لم يتأثر معدل نفاذية غاز ثانى أكسيد الكربون خلال الثغور فى أوراق الذرة الذابلة بدرجة ملحوظة (عن Devlin ١٩٧٥) .

هذا . . إلا أن نقص الرطوبة الأرضية أدى فى الطماطم إلى نقص كفاءة عملية البناء الضوئى ؛ وذلك بسبب التأثير السلبى لنقص الرطوبة الأرضية على قدرة كل من الثغور (stomatal conductance) ، وخلايا الميزوفيل(Mesophyll Conductance) على التوصيل ، ونقص الجهد الرطوبى فى النبات (Xu وآخرون ١٩٩٤) .

ومن المعروف أن زيادة الجهد الرطوبى فى النبات تؤدى إلى زيادة تمثيل حامض الأبسيسيك Abscisic Acid ، وهو هرمون ذو تأثير على الجهد الآسموزى للخلايا

الحارسة من خلال تأثيره على نفاذية الأغشية ؛ الأمر الذى يؤدى إلى انغلاق الثغور . كما أن حامض الأبسيسك يحفز إنتاج الإيثيلين فى أوراق وثمار عديد من النباتات ، ويثبط إنتاجه فى أنواع نباتية أخرى .

وقد وجد Basiouny وآخرون (١٩٩٤) أن كلاً من الشد الرطوبى (الجفاف) والتشبع الرطوبى (الغدق) أدى إلى زيادة تركيز حامض الأبسيسيك والإيثيلين فى نباتات الطماطم .

وسائل زيادة قدرة النباتات على تحمل الشد الرطوبى

يمكن زيادة قدرة النباتات على تحمل الشدّ الرطوبى بإحدى وسيلتين ، إما بتقليل معدل نتحها للماء ، وإما بتحفيز مزيد من النمو الجذرى لزيادة كفاءته فى امتصاص الماء .

ومن الوسائل التى اتبعت لتحقيق الهدف الأول ـ وهو خفض معدل النتح ـ ما يلى :

١ ـ استخدام مضادات النتح التى تكوّن غشاءً على الأسطح النباتية يمنع النتح أو يقلله .

٢ ـ استخدام المركبات الكيميائية التى تغلق الثغور جزئيا أوكليا .

٣ ـ استخدام مثبطات أو مانعات النمو التى تغير الشكل الظاهرى للنبات ؛ بتقليل حجم الأوراق وعددها ، ونسبة النمو الخضرى إلى النمو الجذرى ، وتقليل عدد الثغور فى وحدة المساحة من الأوراق ، أو تغيير النمو النباتى بما يناسب زيادة كفاءة الاستفادة من الماء المُتاح .

٤ ـ زيادة انعكاس الإشعاع الشمسى من الأسطح النباتية بالمعاملة بأحد المركبات المناسبة .

تُصنّع مضادات النتح المكونة للأغشية من بوليمرات polymers ؛ مثل شموع البولى فينيل polyvinyl waxes أو البوليثيلين polyethylene ، أو الفينيل أكريليت vinylacrylate . كما استخدمت كحولات مثل الهكساديكانول Hexadecanol .

وهذه المركبات تعمل على منع بخار الماء من ترك الأنسجة الداخلية بالأوراق ، ولكنها تقف حائلاً كذلك أمام تبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون . وتعمل هذه المركبات على خفض النتح بنسبة ٣٠ ٪ ـ ٥٠ ٪ عندما تكون تغطيتها للأسطح النباتية بنسبة ٥٠ ٪ .

كما تتوفر مضادات نتح تؤثر فى النشاط البنائى للنبات ، ويعيبها تأثيراتها الجانبية العديدة الأخرى . وقد استخدمت مركبات مماثلة لحامض الأبسيسيك أو ذات نشاط مضاد للسيتوكينينات . ومن المركبات الطبيعية المماثلة لحامض الأبسيسيك حامض الفاسيّك Phaseic acid ، و Dihydrophaseic acid ، وزانثوكسين Xanthoxin ، وفومى فوليول Vomifoliol .

ومن أمثلة مضادات السيتوكينينات مركب 3-methyl-7-pentylaminopyrazoli-(4,3-d)-pyrimidine الذى يمنع انفتاح الثغور .

كما وجد أن حامض الأبسيسيك ومضادات السيتوكينينات يعملان معا بكفاءة أكثر من أن يعمل كل منهما منفردا (تعمل تداؤبيا Synergistically) .

ومن المركبات التى استخدمت لتغيير الشكل الظاهرى للنباتات ـ بهدف تقليل النتح ـ كل من :

السيكوسل (CCC) ، وهو : Chlorocholine chloride .

AMO-1618، وهو : ammonium (5-hydroxycarvacryl) trimethylchloride piperidine hydrochloride .

CBBP ، وهو : 2,4 dichlorolenzyltributylphosphonium chloride .

SADH ، وهو : succinic acid 2,2-dimthylhydrazide .

يؤدى استعمال أى من هذه المركبات إلى تثبيط النمو ، كما أن بعضها يقلل مساحة الأوراق ، وكثافة الثغور ، وزيادة سمك الأوراق ، ونسب الجذور إلى النموات الخضرية (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

ومن أهم المركبات التى تتحكم فى حركة الثغور مثبطات التنفس ؛ مثل مركب phenyl mercuric acetate ، وبدرجة أقل : كل من : Atraxine ، و sodium azide ، و carbonyl cyanide . ويعتقد أن هذه المركبات تغير من نفاذية أغشية الخلايا الحارسة ؛ وبذا تمنعها من أن تصبح ممتلئة ومنتفخة turgid (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨) .

كما وجد أن طفرة البسلة « الذابلة » التى ينقصها حامض الأبسيسيك تكون بطيئة النمو ، وأقل وزنًا وأقل ارتفاعًا ، وأسرع ذبولاً تحت ظروف الجفاف ، وذات محتوى رطوبى أقل من نباتات البسلة العادية ، وقد ارتبطت هذه الأعراض بتغيرات غير طبيعية فى العلاقات المائية بالنبات (عن Bruijn وآخرين ١٩٩٣) .

ولمزيد من الاطلاع عن فسيولوجيا الشدّ الرطوبى فى النباتات . . يُراجع كل من Turner & Kramer (١٩٨٠) ، وAmerican Society for Horticultural Science (١٩٨١) .

مضادات النتح

تستخدم مضادات النتح Anti-transpirants ـ كما أسفلنا ـ بهدف زيادة مقاومة فقد الماء من الأسطح الورقية ، إما بتكوينها لحاجز فيزيائى (غشاء) ، وإما بتحفيزها إغلاق الثغور .

تستعمل المركبات المكونة للأغشية كمستحلبات مائية ؛ حيث ترش بها النباتات ، أو تغمس فيها الشتلات . وبعد تبخر المادة الحاملة (الماء) . . يتبقى غشاء من المادة مغطياً سطح الأوراق ، ومكونًا حاجزًا فيزيائيا يمنع ـ أو يخفض ـ فقد بخار الماء من الورقة ، كما يزيد الغشاء كثيرًا من مقاومة فقد الماء من خلال الثغور ، ولكن تأثيره يكون قليلا عندما تكون الثغور مغلقة . وتستخدم عديد من المركبات كمكونات للأغشية على الأسطح النباتية ؛ منها : السيليكون ، والبوليفينيل كلوريد ، وعديد من الشموع والكحولات الدهنية .

وقد وجد Ibrahim وآخرون (١٩٩٣) أن مضادات النتح المكونة للأغشية (مستحلب شمعى ، و epoxy - linseed oil emulsion بتركيز ١,٢٥ ٪ لأى منهما)

أدت، إلى زيادة محصول الطماطم والكوسة جوهريا ـ مقارنة بمعاملة الشاهد ـ ولكن مضاد النتح phenyl mercuric acetate (الذى يؤدى إلى انغلاق الثغور) ـ بتركيز ٠,٠١ مللى مولار ـ أنقص المحصول . وقد أدت جميع مضادات النتح المستعملة والمشار إليها إلى زيادة كفاءة استعمال النبات لمياه الرى .

أما المركبات التى تؤدى إلى انغلاق الثغور أو تثبيط انفتاحها فإنها إما أن تؤثر ـ بصورة غير مباشرة ـ من خلال عملها كمثبطات أيضية لبعض مراحل التنفس ؛ مثل phenylmercuric acetate (اختصارا : PMA) و Alkenylsuccinic acids ، وإما أن تؤثر بصورة مباشرة فى عمل الثغور ، كما فى حالة الهرمون الطبيعى حامض الأبسيسيك ، ومنظم النمو ٢ ، ٤ ـ د 2,4-D.

هذا . . ولا يجوز استعمال مركبات مثل PMA كمضادات للنتح فى المحاصيل التى تستعمل فى تغذية الإنسان ؛ مثل محاصيل الخضر ؛ لاحتوائها على الزئبق (عن McKee ١٩٨١) .

فسيولوجيا الاستجابة لارتفاع منسوب الماء الأرضى (ظروف الغدق)

يبلغ معدل انتشار الأكسجين فى الماء ٠,٠١ ٪ من معدل انتشاره فى الهواء ؛ ولذا ينخفض ـ كثيرا ـ معدل توفر الأكجسين للجذور فى الأراضى الغدقة . ويتوفر الهواء فى نحو ١٠ ٪ ـ ٣٠ ٪ من المسافات البينية بين حبيبات التربة عند السعة الحقلية ، ولكن هذه النسبة تنخفض ـ تدريجيا ـ بزيادة الرطوبة عن السعة الحقلية ، إلى أن ينعدم الهواء تماما عندما تكون التربة مشبعة بالماء ، وهى التى تعرف بالتربة الغدقة flooded أو التربة « المطبّلة » Water Logged ، وهى التى يرتفع فيها مستوى الماء الأرضى .

تأثير غدق التربة على النمو النباتى

يؤدى غدق التربة (تشبعها بالرطوبة لفترات طويلة) إلى إحداث التأثيرات التالية :

١ ـ نقص النمو النباتى الجذرى والقمى .

٢ ـ اصفرار الأوراق السفلى للنبات .

٣ ـ ظهور انحناء لأسفل epinasty واضح بأنصال الأوراق .

٤ ـ تكون جذور عرضية فى بعض النباتات ، كما فى الطماطم .

٥ ـ ذبول الأوراق ، مع إغلاق جزئى أو كلّى للثغور .

٦ ـ نقص إنتاج المادة الجافة ، وضَعف المحصول .

وأول ما يصاحب هـذه الأعـراض زيادة فى إنتاج الإيثيلين فى سيقان وأوراق النباتات .

وربما يرجع التضخم الذى يلاحظ أحيانًا بقواعد السيقان وتكوّن الجذور العرضية إلى الإيثيلين . كما لوحظ أن البرولين proline الحر (غير البروتينى) يزداد تركيزه فى النباتات المعرضة لظروف الغدق (Kuo & Chen ١٩٨٠) .

وأهم ما يميز النباتات التى تعانى ارتفاعً منسوب الماء الأرضى هو اتجاه نمو أعناق الأوراق لأسفل ، وهى الحالة المعروفة باسم epinasty . وترجع هذه الظاهرة إلى زيادة نمو الخلايا على السطح العلوى لأعناق الأوراق ، عنه على السطح السفلى . وهذه الظاهرة لا تكون مصاحبة بذبول النباتات ؛ لأنها ـ أساساً ـ ظاهرة نمو يلزم معها أن تكون الخلايا منتفخة turgid وطبيعية .

ومن المعروف أن تعرض النباتات للإيثيلين يُحْدِثُ أعراض الـ epinasty ، حتى لو كان التعرض لتركيزات منخفضة جدا . وقد أوضحت الدراسات أن مستوى الإيثيلين فى النباتات التى تعانى ارتفاع منسوب الماء الأرضى يزيد عما هو فى النباتات التى تنمو فى ظروف طبيعية . كذلك وجد أن مثبطات فعل الإيثيلين (مثل أيونات الفضة ، ومشتقات البنزوثياديازول benzothiadizol) تمنع حدوث الـ epinasty عند التعرض للغدق . وقد لوحظ أن معاملة نباتات الطماطم بالـ ethephon مع ماء الرى قد أحدثت تأثيراً مماثلاً لتأثير الغدق (Bradford & Yang ١٩٨١) .

ويستدل من دراسـات Singh وآخريـن (١٩٩١) ـ على الفاصوليا ـ على أن تعريـض النباتات للغـدق ـ ولو لمـدة يوم واحد ـ يقلل معدل البناء الضوئـى ، وينقـص الـوزن الجـاف للنبـات ، ويتوقف مدى الانخفاض فيهما على مدة التعرض للغدق .

الأساس الفسيولوجى لأعراض غدق التربة على النباتات

إن السبب الأساسى لجميع الأعراض التى يحدثها غدق التربة فى النباتات هو سرعة نفاذ الأوكسجين الموجود فى التربة (سواء منه المحتجز ضمن الهواء فى المسافات الضيقة بين حبيبات التربة ، أم الذائب فى الماء) ؛ وذلك بسبب تنفس جذور النباتات وكائنات التربة الدقيقة .

ونظراً لصعوبة انتشار أوكسجين الهواء الجوى فى الأراضى الغدقة ؛ لذا . . فإن تجديد أوكسجين التربة ـ فى هذه الظروف ـ لا يتم بالكفاءة اللازمة . ويترتب على ذلك إجبار الجذور على أن تتحول من التنفس الهوائى إلى التنفس اللاهوائى ؛ الأمر الذى يؤدى إلى اختلال النشاط الأيضى ، ونقص إنتاج الـ ATP ، مع تراكم نواتج التنفس اللاهوائى السامة ، وسرعة استهلاك المركبات العضوية .

ويتبين من دراسات Bolton & Erickson (١٩٧٠) ـ على الطماطم ـ أن تعريض النباتات للغدق يؤدى إلى زيادة تركيز الكحول الإيثيلى فى أوعية الخشب ، وأن تركيز الكحول كان متناسبًا مع شدة النقص فى الأكسجين الذى تتعرض له الجذور من جَرّاء الغدق .

ويؤدى نقص الطاقة الميسرة للجذور إلى نقص امتصاص الماء والعناصر الغذائية وانتقالها فى النبات . كما يؤثر اختلال النشاط الأيضى فى الجذور ـ سلبيا ـ على التوازن الهرمونى فى النمو القمى ، وعلى تمثيل الجبريللينات والسيتوكينينات وانتقالها فى الجذور ، كذلك يزيد تركيز الأوكسين فى سيقان النباتات ؛ نتيجة لعدم انتقاله إلى الجذور ، أو بسبب تثبيط نشاط إنزيم IAA-oxidase فى السيقان .

ولعل من أبرز التغيرات الهرمونية ـ التى تحدث فى النباتات تحت ظروف الغدق ـ الزيادة الكبيرة فى تركيز الإيثيلين . وقد تبين أن تركيز مركب1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (يكتب اختصارا : ACC) يزيد فى الطماطم تحت ظروف الغدق ، وهو الذى يتحول فى النباتات إلى إثيلين ، بينما يقل أو يثبط تحوله إلى إيثيلين فى الظروف الهوائية ؛ لذا . . يعتقد أنه يتراكم فى الجذور تحت ظروف الغدق ، ثم ينقل إلى النموات الخضرية (التى يتوفر لها الأكسجين) ، ليتحول فيها إلى إيثيلين .

ويعد الإيثيلين هو المسئول عن اتجاه أعناق الأوراق إلى أسفل Epinasty تحت ظروف الغدق .

وقد تبين من دراسات Bradford & Dilley (١٩٧٨) ـ على الطماطم ـ أن التأثير الأولى والأساسى للغدق هو حجب الأكسجين عن الجذور ؛ الأمر الذى يكون كافياً لزيادة إنتاج الإيثيلين فى النموات الخضرية . وقد أدت معاملة النباتات بنترات الفضة ـ وهى مثبط لفعل الإيثيلين ـ قبل تعريضها للغدق إلى منع ظهور حالة التواء أعناق الأوراق إلى أسفل (حالة الـ Epinasty) تماما ؛ الأمر الذى يبرهن على أن الإيثيلين هو المسئول عن الأعراض التى تظهر عند تعرض النباتات لحالة الغدق .

كذلك يؤدى التنفس اللاهوائى إلى زيادة تركيز بعض العناصر ـ مثل الحديد والمنجنيز ـ إلى مستويات سامة (بسبب خفض التنفس اللاهوائى لـ pH التربة) ، وتراكم بعض الأحماض العضوية (مثل حامض الخليك ، والبروبيونيك ، والبيوتيرك) ، والمركبات الفينولية (مثل para-hydroxybenzoic ، و para-coumaric) ، 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 النترات من التربة وتُفْقَد ؛ بسبب كثرة محتواها الرطوبى ؛ ويترتب على ذلك افتقار النباتات إلى النيتروجين وظهور أعراض نقصه .