

الفصل الثامن

العوامل الأرضية وتأثيرها على نباتات الخضر

نتناول في هذا الفصل دراسة تأثير بعض العوامل الأرضية على نمو نباتات الخضر . أما دراسة هذه العوامل ذاتها ، فإنها تدخل في نطاق علم الأراضي ؛ لذا . . . فإننا نكتفى هنا بإعطاء فكرة مبسطة عنها ؛ ليتمكن 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 في إنتاج الخضر .

أنواع الأراضي ومكوناتها

الأراضي إما أن تكون معدنية ، وإما أن تكون عضوية . والأراضي المعدنية هي التي يقل محتواها من المادة العضوية عن ٢٠ ٪ .

الأراضي المعدنية

تقسم الأراضي المعدنية حسب محتواها من الرمل ، والغرين (أو السلت) ، والطين - وهو ما يعرف بالتحليل الميكانيكي للتربة إلى ثلاثة أقسام رئيسية ؛ هي الأراضي الرملية Sandy ، والطينية (أو الصفراء) Loamy ، والطينية Clayey . وينقسم كل قسم رئيسي منها - بدوره - إلى عدة أقسام فرعية حسب قوامها texture ، الذي يتوقف على تحليلها الميكانيكي .

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

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

الأراضي العضوية

تُعرف الأراضي العضوية بأنها تلك التي تحتوي على ٢٠ ٪ على الأقل مادة عضوية ، ويشترط أن يكون سمك طبقة التربة المحتوية على هذه النسبة من المادة العضوية ٣٠ سم على الأقل . هذا . وتتكون الأراضي العضوية من بقايا نباتية في درجات مختلفة من التحلل (Davis & Lucas ١٩٥٩) .

ويطلق على الأراضي التي تحتوي على نسبة مرتفعة جدا من المادة العضوية اسم مك Muck ، أو بيت Peat ، ومن الأخيرة يستخرج البيت موس المستخدم في الأغراض الزراعية ، وهو عبارة عن بقايا نباتية لم يكتمل تحللها ، ويمكن ملاحظة معالم المادة العضوية المتحللة فيها . أما المك ، فيكون التحلل قد تقدم فيها إلى درجة يصعب معها تحديد معالم المادة العضوية المتحللة . وتتحول الأراضي «البيت» إلى «مك» عند تحسين الصرف فيها واستخدامها في الزراعة .

خصائص الأراضي العضوية

من أهم خصائص الأراضي العضوية ما يلي :

- ١ - يكون لونها بنيا أو أسود ، وكلما تقدمت درجة تحللها كان لونها أكثر دكنة .
- ٢ - ذات قدرة عالية على الاحتفاظ بالرطوبة .
- ٣ - غنية بالأزوت ؛ فتحوي على ١,٥ - ٢,٥ ٪ أو أكثر نيتروجيناً على أساس الوزن الجاف .
- ٤ - فقيرة في العناصر المعدنية ، وخاصة البوتاسيوم ، وقد تكون فقيرة في محتواها من الفوسفور ، كما تكون فقيرة غالباً في محتواها من العناصر الدقيقة .

محتوى التربة من الكائنات الحية

تزخر التربة بأعداد هائلة من الكائنات الدقيقة التي تعيش فيها من مختلف الأنواع النباتية والحيوانية . ويتوقف أعداد تلك الكائنات على محتوى التربة من المادة العضوية الطازجة التي 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 التي 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 ذُكر أن المتر المربع الواحد من الأراضى الزراعية الخصبة يحتوى على حوالى 3×10^{14} (٣٠٠ جم) من الخلايا البكتيرية ، و ٤٠٠ جم من الفطريات ، و 5×10^8 (٣٨ جم) من البروتوزوا ، و 1×10^7 (١٢ جم) من الديدان . ولحسن الحظ فإن معظم هذه الكائنات لا تكون متطفلة على النباتات (عن Huang ١٩٨٥) .

التحليل الميكانيكى للتربة وقوامها

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

من كل من الرمل ، والسلت ، والطين . ولكن تعريف هذه المكونات - الذى يعتمد على تحديد قطر حبيباتها - 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 - ١) مقارنةً بين أقطار حبيبات مختلف مكونات التربة فى كل نظام منها (عن White ١٩٨٧) .

النظام الدولى

حصى	رمل خشن	رمل ناعم	غرين (سلت)	طين
٢,٠	٠,٢	٠,٠٢	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠٢

النظام الأمريكى

حصى	رمل خشن جداً	رمل خشن	رمل متوسط	رمل ناعم	غرين	طين
٢,٠	١,٠	٠,٥	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠٠٥	٠,٠٠٠٢

النظام الإنجليزى

احجار	رمل خشن	رمل متوسط	رمل ناعم	غرين	طين
٢,٠	٠,٦	٠,٢	٠,٠٦	٠,٠٠٦	٠,٠٠٠٢

قطر الحبيبة (مم) (المقياس لوغاريتمى)

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

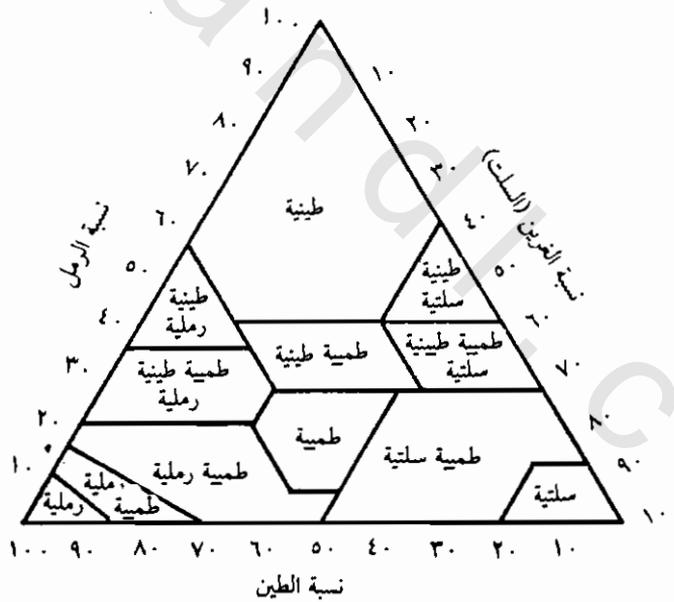
هذا . . . وتقسم المجموعات الرئيسية للأراضى - تبعاً لمكوناتها الفعلية من الرمل والسلت والطين - إلى الأقسام الفرعية التالية :

١ - 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 الطميية Sandy Loam وغيرهما .

٢ - الأراضي الطينية (الدقيقة القوام Fine Textured ، أو الثقيلة Heavy Soils) :
 هي تلك التي تحتوى على ٣٥ ٪ على الأقل - وفي معظم التقسيمات ٤٠ ٪ على الأقل - من الطين ، ومنها الأراضي الرملية الطينية Sandy Clay ، والغرينية الطينية Silty Caly وغيرها . وتجدر الإشارة إلى أن الأراضي الطينية الرملية تحتوى على رمل أكثر من الطين ، وكذلك الحال بالنسبة للأراضي الغرينية التي تحتوى على سلت أكثر من الطين .

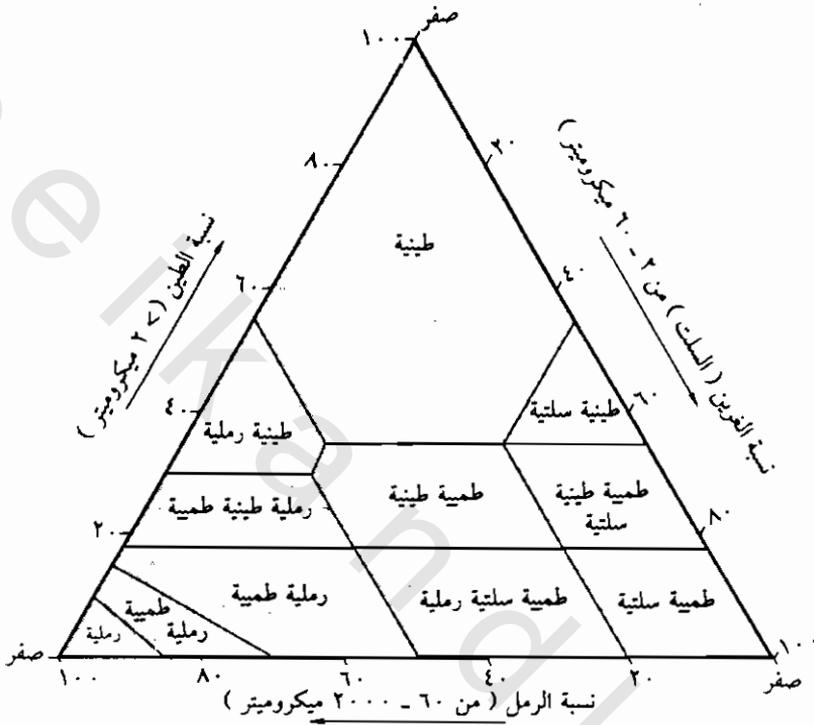
٣ - الأراضي الصفراء أو الطميية Loams (المتوسطة القوام Medium Textured) :
 هي أراضٍ تحتوى على الرمل ، والسلت ، والطين بنسب تجعلها وسطاً في صفاتها ، وتدخل تحتها أجود الأراضي الزراعية ، ومنها الأراضي الغرينية الطميية Silt Loams ، والطميية الطينية الغرينية Silty Clay Loams ، والطينية الطميية Clay Loams وغيرهم (Buckman & Brady ١٩٦٠) .

ويبين شكلاً (٨ - ٢ ، و ٨ - ٣) نسبة كل من : الرمل ، والسلت ، والطين في



شكل (٨ - ٢) : نسبة الطين (أقل من ٠,٠٢ مم) ، والسلت (٠,٠٢ - ٠,٠٥ مم) ، والرمل (٠,٠٥ - ٢,٠ مم) في التقسيمات الرئيسية لأنواع الأراضي تبعاً للنظام الأمريكي (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

الأنواع المختلفة من الأراضي تبعاً للنظامين الأمريكي ، والإنجليزي على التوالي ،
 علماً بأن قطر حبيبات مختلف مكونات التربة يختلف في النظامين كما سبق بيانه في
 شكل (٨ - ١) .



شكل (٨ - ٣) : نسبة الطين (أقل من ٠,٠٠٢ مم) ، والسلت (٠,٠٠٢ - ٠,٠٦ مم) ، والرمل (٠,٠٦ - ٢,٠ مم) في التقسيمات الرئيسية لأنواع الأراضي تبعاً للنظام الإنجليزي (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 - من الأحجام المختلفة - في الجرام ، ومساحة أسطح تلك
 الحبيبات ؛ كما في جدول (٨ - ١) .

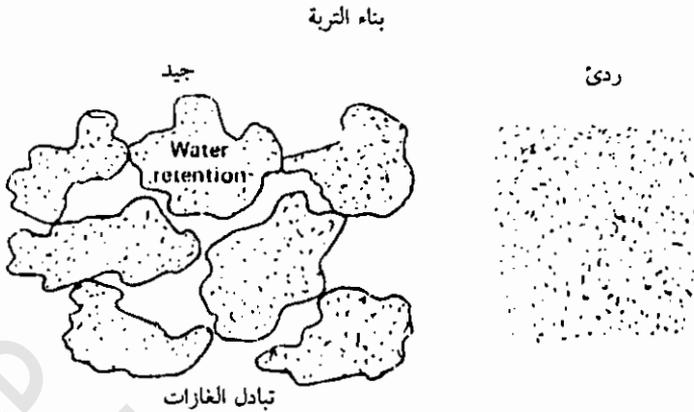
جدول (٨ - ١) : قطر مختلف مكونات التربة ، وأعدادها في الجرام الواحد ، ومساحة أسطحها .

المساحة المسطحة (بالم ^٢)	عدد الحبيبات في الجرام	القطر بالمليمتر حسب النظام الأمريكى	الحبيبة
١١	٩٠	١,٠٠ - ٢,٠٠	رمل خشن جدا
٢٣	٧٢٠	٠,٥٠ - ١,٠٠	رمل خشن
٤٥	٥٧٠٠	٠,٢٥ - ٠,٥٠	رمل متوسط
٩١	٤٦٠٠٠	٠,١٠ - ٠,٢٥	رمل ناعم
٢٢٧	٧٢٢٠٠٠	٠,٠٥ - ٠,١٠	رمل ناعم جدا
٤٥٤	٥٧٧٦٠٠٠	٠,٠٠٢ - ٠,٠٥	سلت
٨ ٠٠٠ ٠٠٠	٩٠٢٦٠٨٥٣ ٠٠٠	٠,٠٠٢ >	طين

بناء التربة وتحبيبا

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 الأراضي 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 حجماً ويمكن رؤيتها (شكل ٨ - ٤) .



شكل (٨ - 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 - تربة ذات حبيبات مفردة *Single Grained* ، كما في الأراضي الرملية ؛ حيث تبقى كل حبة مفردة .
- ٢ - متكتلة *Massive* : وهى الأراضي الغنية بالطين ، والتي 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 بالتحبيب *Granulation* تكتل حبيبات الطين معا لتكون تجمعات أكبر حجما ؛ ولذلك أهمية كبيرة فى زيادة مسامية التربة ، وتحسين التهوية بها . ويزداد تحبيب التربة *Granulation* بفعل العوامل الآتية :

- ١ - زيادة نسبة المادة العضوية فى التربة ؛ لأن حبيبات الطين تلتصق معاً بواسطة مادة الدبال Humus الناتجة من تحلل المادة العضوية ، وبذلك تتكون تجمعات الطين .
- ٢ - زيادة 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 للصدويم تأثيراً مخالفاً لتأثير الكالسيوم ؛ إذ يعمل على تلاصق حبيبات الطين بعضها مع بعض ببطء ويتناسق ، بحيث تكون الفراغات بينها قليلة جداً (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 - قوام التربة : تزيد المسامية فى الأراضى الخشنة القوام (مثل الرملية) عنه فى الأراضى الطينية ، والصفراء الطينية .
- ٢ - تجمعات التربة Soil Aggregates : تزيد المسامية مع زيادة هذه التجمعات .
- ٣ - كثرة عمليات العزيق والحرق 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 مثلاً وجود كرة قطرها ٢,٥ سم ، فإن حجمها يكون ٨,٥٨٨٣٦ سم^٣ . فإذا وضعت في مكعب طول ضلعه ٢,٥ سم ، فإنه يتبقى حولها فراغ قدره ٧,٨٠١٦٤ سم^٣ . ومعنى ذلك أن ٤٧,٦ ٪ من المكعب فراغ ، والباقي قدره ٥٢,٤ ٪ - تشغله الكرة . وينطبق ذلك على أية حالة تكون للمادة المألثة 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 في 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 غالباً بالماء الذي لا يتحرك فيها إلا بالخاصية الشعرية ، وما هو كبير macropores ؛ حيث يتحرك الماء فيها بالجاذبية الأرضية ، وتكون غالباً ممتلئة بالهواء . وأفضل الأراضى هي التى تكون المسام فيها موزعة بالتساوى بين الحجم الصغير الذى يشغله الماء ، والحجم الكبير الذى يشغله الهواء .

طريقة حساب نسبة الفراغات فى التربة

ت حسب 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 .

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —————

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

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

نفاذية التربة

تعرف درجة نفاذية التربة Infiltration rate بأنها سرعة نفاذيتها للماء خلال فترة زمنية معينة . فلو فرض وأضيف 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 - أساسا - على مدى مساميتها ؛ ولذا . . فإن نفاذية التربة تتأثر بالعوامل التالية :

- ١ - قوام التربة : تزداد درجة النفاذية فى الأراضي الرملية ، عنها فى الأراضي الثقيلة ، وتقسم الأراضي حسب درجة نفاذيتها إلى أربعة أقسام ؛ كما يلى :
- أ - أراضي ذات نفاذية عالية جدا (أكثر من ١٠٠ ملليمتر/ساعة) وتشمل : الأراضي الرملية الخشنة ، والطينية الخشنة ، والطينية الرملية .
- ب - أراضي ذات نفاذية عالية (من ٢٠ - ١٠٠ ملليمتر/ساعة) ؛ وتشمل : الأراضي الرملية الطميية ، والرملية الناعمة الطميية ، والطينية الرملية الناعمة .
- ج - أراضي ذات نفاذية متوسطة (من ٥ - ٢٠ ملليمتر/ساعة) ؛ وتشمل : الأراضي الطميية ، والسلتية الطميية ، والطينية الطميية .
- د - أراضي ذات نفاذية منخفضة (أقل من ٥ ملليمتر/ساعة) ؛ وتشمل : الأراضي الطينية ، والسلتية الطينية ، والرملية الطينية (Fordham & Biggs ، ١٩٨٥) .

٢ - تجمعات حبيبات التربة : إذ إن المسافة بين هذه التجمعات هي التي يمر خلالها الماء بالجاذبية الأرضية .

٣ - درجة انضغاط التربة .

٤ - الفترة بين الريات : فترداد النفاذية بزيادة الفترة بين الريات .

انضغاط التربة وتأثيره على النمو النباتي فيها

يؤدي 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 حرثها أو عزيقها قبل أن تصبح «مستحثة» ؛ أي قبل أن تنخفض رطوبتها - عقب الري أو المطر الغزير - إلى نحو ٥٠٪ من رطوبتها عند السعة الحقلية ، وعند كثرة عزيق التربة وخدمتها وهي جافة ؛ الأمر الذي قد يفتت تجمعات التربة .

ويتبين من دراسات Tu & Buttery (١٩٨٨) وجود علاقة عكسية بين شدة انضغاط التربة وبين كل من الوزن الكلي للمجموع الجذري ، والنمو الخضري ، والمساحة الكلية للأوراق في كل من الفاصوليا وفول الصويا .

ومن السمات المميزة للنمو النباتي في الأراضي المنضغطة : ضعف النمو الخضري والنمو الجذري ، وظهور أعراض الشد الرطوبي ، ونقص العناصر بسبب ضعف النمو الجذري ، ونقص المحصول . كما تزيد الإصابة بأمراض الجذور ؛ بسبب سوء تهوية التربة وضعف نفاذيتها للماء (عن Aljibury وآخرين ١٩٨٢) .

يضعف النمو الجذري - بشدة - في الأراضي المنضغطة عندما تزيد قراءة مقاومة التربة لجهاز ال Penetrometer عن ٢,٠ ميجا باسكال MPa . ويرجع ذلك - عندما تكون التربة قليلة الرطوبة - إلى عدم توفر ضغط امتلاء Turger Pressure كافٍ في خلايا الجذر للتغلب على المقاومة الميكانيكية للتربة . كما يرجع ضعف النمو الجذري في الأراضي المنضغطة - حينما تكون رطوبتها عالية - 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 - بزيادة معدلات الري - يؤدي إلى زيادة نشاط البكتيريا اللاهوائية التى تحول الأزوت المتوفر فى التربة - والميسر لامتصاص النبات - إلى نيتروجين غازى لا يستفيد منه النبات .

وقد توصل بعض الباحثين إلى أن محدودية النمو الجذرى فى الأراضى المنضغطة ربما تسبب فى إنتاج هرمونات معينة - فى الجذور - 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 - عادة - بين ٢٠ ٪ و ٥٠ ٪ فى المحاصيل الحقلية ، وبلغ - فى المتوسط - 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 تعرضاً 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 - الأراضى الثقيلة :

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

- ب - يكون الحرث عميقاً لتحسين التهوية .
ج - يكون الري بطيئاً ؛ لأن الأراضي الثقيلة تحتفظ بكميات كبيرة من الماء .
د - تطول المدة بين الريات .
هـ - تلزم العناية بالصرف .
و - يلزم الري الخفيف قبل الإنبات إذا تشققت التربة حتى لا تنقطع الجذور .
- ٢ - الأراضي الخفيفة :
- أ - يكون الحرث سطوحياً ؛ لأن التربة مفككة بطبيعتها ، مع تزييف الأرض جيداً لزيادة انضغاط التربة .
ب - لا تزرع إلا بالطريقة العفير ؛ أى زراعة البذور الجافة فى أرضٍ جافةٍ ، ثم الري .

- ج - يكون الري سريعاً .
د - تقصر المدة بين الريات (مرسى وآخرون ١٩٥٩) .
- ٣ - الأراضي العضوية :
- أ - يجب ضغط التربة قبل الزراعة لتشجيع حركة الماء بالخاصية الشعرية .
ب - يجب جعل مستوى الماء الأرضى على بعد ٦٠ - ١٢٠ سم من سطح التربة ؛ وذلك لمد النباتات بحاجتها من الماء ، ولتقليل التعرية قد الإمكان .
ج - تلزم زيادة التمسيد البوتاسى بها .
د - تلزم حمايتها من التعرية بالرياح .

تأثير نوع وقوام التربة على محاصيل الخضر

- يتأثر إنتاج الخضر بنوع وقوام التربة على النحو التالى :
- ١ - تعتبر الأراضي الرملية أنسب الأراضي لإنتاج محصول مبكر ، لكن المحصول يكون عادة منخفضاً فيها ؛ لعدم مقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة .

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

٣ - تعتبر الأراضي الطميية السلتية أنسب أنواع الأراضي لزراعة محاصيل الخضر عندما يكون الهدف هو إنتاج محصول غزير ولا يهم التبيكير في النضج .

٤ - من أبرز عيوب الأراضي السلتية تكوين طبقة سطحية تسمى بالقشرة . هذه الطبقة تتصلب عند جفاف التربة ولا تتفتت ، وتعوق إنبات بذور الخضر ؛ حيث تبطن 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 منتظماً . ويمكن تجنب هذه المشكلة ، إما بجعل سطح التربة رطباً بصفة دائمة برذاذ خفيف من الماء ، وإما برش سطح التربة على خطوط الزراعة بمحلول ١ ٪ من زائحات السيليلوز Cellulose Xanthate . تعطى هذه المعاملة نتائج جيدة ، دون أن تضر بالبادرات ؛ نظراً لسرعة ادمصاص المركب على سطح حبيبات التربة .

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

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

استغلال الأراضي الرملية في إنتاج الخضر

تعتبر النفاذية العالية من أهم عيوب الأراضي الرملية الخشنة القوام ؛ فهي لا تحتفظ بالرطوبة عقب الري ، بل يرشح منها ماء الري بسرعة كبيرة إلى باطن الأرض ، وفي ذلك إهدار كبير لمياه الري ، وزيادة في 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 - 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 - يجب أن تتبع فيها طرق الرى التى توفر كثيراً من كمية المياه المستخدمة ؛ مثل : الرى بالرش ، أو بالتنقيط .

٣ - يفيد خلط الطبقة السطحية من التربة فى هذه الأراضى بمركبات محبة للماء - وذات قدرة عالية على الاحتفاظ بالرطوبة - 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 المستحلبة	البوليميرات الذائبة
Bitumen	Polyvinyl alcohol (PVA)
Polyvinylacetate (PVAc)	Polyacrylamide (PAM)
Polyurethane	Polyethyleneglycol (PEG)

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

أ - أجروسوك Agrosok : إنتاج Chem. Discoveries بانجلترا ، ويمتص حتى ٣٠ ضعف وزنه من الماء . تنتج نفس الشركة مركب إيروسل Erosel الذى يخلط بالطبقة السطحية من التربة لتحسين إنبات البذور .

ب - جالشاكى Jalshakti : منتج هندى يمتص حتى ١٠٠ ضعف وزنه من الماء .

- ج - هموزورب Homosorb : يمتص حتى ١٥٠ ضعف وزنه من الماء .
د - برودليف بي ٤ Broadleaf P4 : إنتاج Agr. Polymers بالإنجلترا ، ويمتص حتى ٤٠٠ ضعف وزنه من الماء .
هـ - أكواستور Aguastore : إنتاج شركة Cyanamid ، ويمتص حتى ٥٠٠ ضعف وزنه من الماء .

تتميز هذه المركبات بما يلي :

- أ - تمتص مياه الأمطار فلا تفقد بالتبخير ، ومياه الري فلا تفقد بالرشح .
ب - تحسن تهوية التربة .
ج - لا تتحلل في التربة ، وتكفي معاملة واحدة منها .
تفيد هذه المركبات في تقليل صدمة الشتل ، وزيادة كفاءة استخدام المياه ، وتحسين النمو النباتي ، وزيادة المحصول .

تخلط هذه المركبات بالتربة إلى العمق المناسب - الذي تنتشر فيه الجذور - إما يدويا ، وإما آليا . فمثلا . . يخلط الأجرسوك بالطبقة السطحية من التربة حتى عمق ١٠ سم . ويكفي 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 هموزورب فيستخدم بمعدل ١٥ - 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 في أصص الزراعة ، ويبقى هذا الماء ميسراً لاستعمال النبات ، وربما يفيد في 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 الري ؛ لأنها لم تؤثر على مجموع الماء المفقود بكل من التتح والتبخر السطحي ، وأن إطالة الفترة بين الريات يستلزم - بدايةً - زيادة كمية مياه الري المضافة للوصول بالرطوبة إلى السعة الحقلية .

ويستفاد من هذه الدراسة - التى أجريت فى الأصص - أن هذه البوليمرات إذا استخدمت فى الزراعات الحقلية يمكن أن تفيد فى الأراضي الرملية الخشنة ؛ حيث يمكن إعطاء ريات غزيرة على فترات متباعدة دون تعرض ماء الري للفقْد بالرشح .

٤ - يفيد مع الأراضي 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 الأسفلتي تحت سطح التربة بنحو ٦٠ - ٩٠ سم بواسطة آلة خاصة لذلك ؛ بحيث تتكون على هذا العمق طبقة مستمرة من الأسفلت بسُمك نحو ٣ مم . ويؤدى استخدام هذه الحواجز الأسفلتية إلى احتفاظ الأرض بالرطوبة وزيادة المحصول .

٥ - تستجيب الأراضي الرملية - بشدة - للتسميد العضوى الجيد ، الذى يفيد فيما يلى :

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

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

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

د - كما يعمل الدبال على زيادة احتفاظ التربة بالرطوبة .

هـ - ويفيد الدبال كثيرا - كذلك - فى تقليل رشح الأسمدة مع مياه الصرف ؛
بادمصاهه 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 - سواء أكانت غرويات الطين ، أم الغرويات العضوية -
شحنات سالبة بكثرة ، وتزداد أعداد الشحنات السالبة على الغرويات العضوية كلما
ازدادت درجة تحللها . هذه الشحنات السالبة تجذب إليها الكاتيونات المختلفة ؛ مثل :
الكالسيوم ، والبوتاسيوم ، والمغنيسيوم ، 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 - ٢) السعة التبادلية الكاتيونية لمختلف مكونات التربة وفى
مختلف أنواع الأراضى (عن Archer ١٩٨٥) .

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

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

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

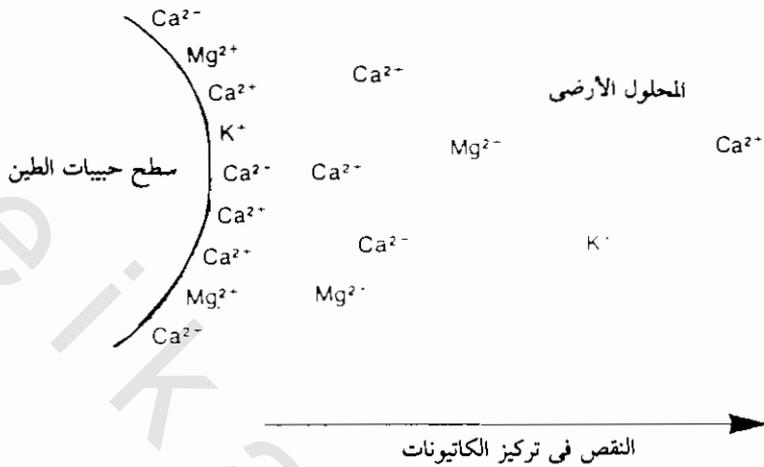
السعة التبادلية الكاتيونية = (النسبة المئوية للمادة العضوية فى التربة \times ٢) +
(النسبة المئوية للطين فى التربة \times ١/٢) .

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 كثيراً إضافة الأسمدة العضوية إلى هذه الأراضى - خاصة فى خطوط الزراعة - حيث تُحدث تلك الأسمدة زيادة ملموسة فى كل من السعة التبادلية الكاتيونية ، وقدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة فى منطقة نمو الجذور .

التبادل الكاتيوني

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

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



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

وفى هذا النظام يوجد - دوماً - تبادل بين الكاتيونات 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 الكاتيوني ، فإن توزيع الكاتيونات يقل تدريجياً من المحلول الأرضى الحر باتجاه سطح غرويات التربة .

ويمكن لأى كاتيون أن يحل محل أى كاتيون آخر من المحلول الأرضى الحر . فمثلاً . . يمكن لأيون كالسيوم Ca^{++} أن يحل محل 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 كاتيون ما فى التربة بالتسميد فإنه يميل إلى التبادل مع الكاتيونات المدمصة بالفعل إلى

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

وتتوقف كفاءة الكاتيون في أن يحل محل الكاتيونات الأخرى على العوامل

التالية :

١ - التركيز النسبي للكاتيون في المحلول الأرضي ، ويخضع ذلك لقانون فعل

الكتلة mass action .

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

٣ - سرعة تحرك الكاتيون أو درجة نشاطه ، ويتوقف ذلك على حجم الكاتيون ،

فكلما كان حجمه صغيراً ، ازدادات كفاءته ، فتكون الكفاءة أعلى ما يمكن في

الليثيوم Li^+ ، وأقل في الصوديوم Na^+ ، ثم البوتاسيوم K^+ ، ثم الروبيديوم Rb^+ ؛

لأن الحجم يزداد حسب الترتيب السابق ، لكن يجب أن تؤخذ درجة التشبع

المائي Hydration في 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 المائي في الصوديوم عنه في البوتاسيوم .

وعلى ذلك . . نجد أن الكاتيونات السابقة يعاد ترتيبها هكذا حسب كفاءتها في

الإحلال محل بعضها البعض : Rb^+ ، ثم K^+ ، ثم Na^+ ، ثم Li^+ . وإذا ما أخذت

الكاتيونات المختلفة في الحسبان ، فإنه يمكن ترتيبها تنازلياً حسب مقدرتها على

الإحلال محل بعضها البعض على سطح غرويات التربة كالتالي :

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

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

← ليثيوم Li^+ .

النسبة المئوية للتشبع القاعدي وأهميته

النسبة المئوية للتشبع القاعدي Percent Base Saturation هي النسبة المئوية للقواعد المتبادلة (Na^{++} , Mn^{++} , Mg^{++} , K^{+} , Ca^{++} . . . إلخ) من السعة التبادلية الكلية ، أما الباقي ، فيكون أيديروجينياً . فلو كانت السعة التبادلية ٢٠ مللي مكافئ لكل ١٠٠ جم من التربة الجافة ، وكان الأيديروجين المتبادل ٤ مللي مكافئ لكل ١٠٠ جم ، فإن ذلك يعني أن نسبة التشبع القاعدي تساوي ٨٠ % .

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

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

ادمصاص الأنيونات

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

وتساعد بعض التفاعلات الكيميائية في التربة - وخاصة تفاعلات الفوسفات - في الإبقاء على بعض الأنيونات لاستعمال النبات .

كلب (او خلب) العناصر

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

الرقم الايدروجينى ، او تفاعل التربة واهميته

تعريف الرقم الايدروجينى للتربة

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

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

يرتفع pH الاراضى الصحراوية - دائماً - عن ٨,٠ ؛ حيث يتراوح - غالباً - بين ٨,٥ و ٨,٠ ، بينما يصل الرقم إلى ٩,٠ فى الاراضى الجيرية .

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

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —————

وتجدر الإشارة إلى أن pH التربة يتوقف على تركيز الأملاح في المحلول الأرضي ، وعلى تركيز غاز ثاني 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 الأراضي ذات قدرة تنظيمية عالية Highly Bufferd ضد التغير في الـ pH ، ويرجع ذلك إلى العوامل التالية :

١ - توفر أملاح الكربونات والفوسفات والأملاح الأخرى فيها .

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

ولكن يمكن رفع الرقم الأيدروجيني (pH) في الأراضي الحامضية بإضافة الحجر الجيري limestone (كربونات الكالسيوم) ، أو الحجر الجيري الدولوميتي dolomitic lime (كربونات الكالسيوم والمغنسيوم) ، أو أكسيد الجير (أكسيد الكالسيوم) . كما يمكن خفض الرقم الأيدروجيني في الأراضي القلوية بإضافة الكبريت أو الجبس الزراعي (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 سنوياً عن إضافة كميات كبيرة كل عدة سنوات (Lorenz & Maynard ١٩٨٠) . وتتناول 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 الأيدروجيني (pH) . ففي الأراضي الشديدة الحموضة (pH حوالى ٤) يقل الكالسيوم والمغنسيوم المدمص على سطح حبيبات التربة ، ويزداد ذوبان الألومنيوم والحديد والمنجنيز واليورون ، ويقل ذوبان الموليبدنم ، كما تزداد فرصة وجود المواد العضوية السامة غير المتحللة ، وبالتأكيد يقل تيسر النيتروجين والفوسفور . وفى الأراضي القلوية (pH حوالى ٧,٥)

يتوفر الكالسيوم النشط بكثرة ، وكذلك المغنسيوم والموليبدينم ، ولا يوجد أى ألومنيوم بتركيزات سامة ، كما يتوفر النيتروجين . ولو كان الـ pH عالياً بدرجة كبيرة ، فإنه يقل تيسر الحديد والمنجنيز ، والنحاس ، والزنك ، والفوسفور ، والبرون . 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

٦ - ٨) .



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

١ - يتوفر النيتروجين بكثرة فى مدى pH ٦ - ٨ ، ويقل بزيادة 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 - يتوفر البوتاسيوم والكبريت فى صورة صالحة للامتصاص فى الأراضى القلوية ، وكذلك فى الأراضى الحامضية حتى pH ٦ ؛ حيث يقل مستواهما تدريجيا ، وتصبح

الكميات الصالحة لامتناس النبات منها ضئيلة جدا ، مع انخفاض رقم ال pH عن ٥,٥ .

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

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

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

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

٧ - يزداد توفر الحديد إلى درجة السمية مع انخفاض ال pH ، إلا أن مستواه يقل تدريجيا مع ارتفاع ال pH عن ٦ ، ويصبح النقص ملحوظاً مع ارتفاع ال pH حتى ٧ ، وحرراً بعد ٧,٥ .

٨ - يقل تيسر المنجنيز مع ارتفاع ال pH عن ٦,٥ ، ويصبح مستواه حرراً بعد pH ٧,٥ ؛ حيث يقل تيسره بشدة بعد ذلك .

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

١٠ - يقل تيسر النحاس والزنك تدريجياً ويبطئ مع ارتفاع الـ pH عن ٧ ، ويكون النقص واضحاً عند pH ٨ وحرجا بعد pH ٨,٥ .

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

ويمكن القول أن الـ 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 الحدرضة ، ويتراوح بين ٦ ، و ٦,٨ .

ويمكن إيجاز ما سبق بيانه بشأن تأثير التربة على تيسر العناصر بها فى أن معظم العناصر الدقيقة - كالحديد ، والمنجنيز ، والنحاس ، والزنك ، والبورون - تثبت فى صورة غير صالحة لاستعمال النبات فى الأراضى القلوية . كما يقل - أيضاً - 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 عموماً .

تأثير pH التربة على محاصيل الخضر

ترجع أهمية pH التربة إلى العوامل الآتية :

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

٢ - 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 - يؤثر pH التربة على انتشار بعض الأمراض ، مثل مرض تتألل جذور الصليبيات الذى يشتد فى الأراضى الحامضية ، ولا يظهر فى pH ٧,٢ - 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 *Aphanomyces 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 أيديروجينى 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 - ٣) .

تنمو نباتات المجموعة الأولى فى جدول (٨ - 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 - ٨ ، ويكون أفضل نمو لها فى pH من ٦ - ٦,٨ .

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

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

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 أيضاً فى التربة بفعل العوامل
الآتية :

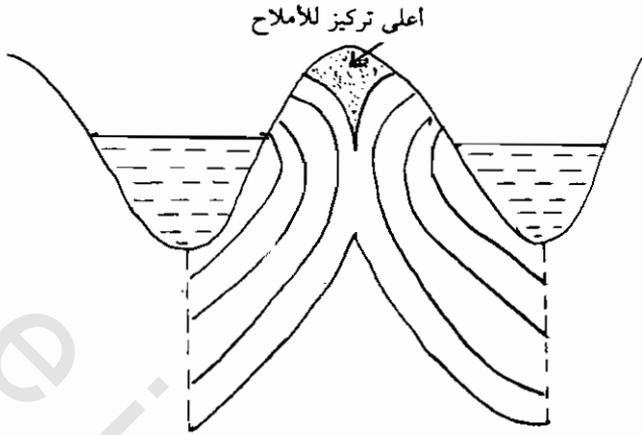
١ - مع ماء الرى . . فهما كانت عذوبة الماء المستخدم فى الرى ، فإنه يحتوى
على أملاح تتراوح كميتها عادة بين ٠,١ و ٥,٠ أطنان لكل ٣٠ سم - فدان من ماء
الرى . ويمكن لهذه الأملاح أن تتراكم فى التربة إن لم يتوفر لها نظام صرف جيد .
وتتأثر سرعة تراكم الأملاح التى تصل إلى التربة بهذه الطريقة بالعوامل الآتية :

أ - درجة ملوحة الماء المستخدم فى الري .
ب - كمية الماء المستخدم فى الري . ففى حالة نقص المياه لا يكون الري 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 الري فى الموسم الواحد إلى 3600 م^3 للفدان (متوسط 20 م^3 للفدان يوميا بالتنقيط $30 \times$ يوماً شهرياً $6 \times$ شهور لموسم النمو) ؛ أى إن كمية الأملاح المضافة إلى الفدان - مع ماء الري فى الموسم الواحد - تتراوح بين 9 و 0.9 طناً (عند استخدام مياه عذبة تبلغ نسبة الأملاح فيها 250 جزءاً فى المليون) و 9 أطنان للفدان (عند استخدام مياه تبلغ نسبة الأملاح فيها 2500 جزء فى المليون) .

٢ - عند ارتفاع منسوب الماء الأرضى ، فمن جهة يكون الصرف رديئاً ، ومن جهة أخرى . . . يؤدي منسوب الماء الأرضى المرتفع إلى ارتفاع الماء إلى سطح التربة بالخاصية الشعرية وتبخره ، تاركاً 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 - ٧) ، ويكون تركيز الملوحة فى هذه الأماكن 5 - 10 أضعاف تركيزها فى التربة بوجه عام (Allison ١٩٦٤) .

والوسيلة الوحيدة الفعالة لإصلاح الأراضي 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 (٧-٨): نظام تراكم الأملاح فى حالة الزراعة على خطوط (خبوب) مع اتباع طريقة الري بالغمر .

طرق تقدير ملوحة التربة

يُعبّر عن ملوحة التربة إما بالجزء فى المليون (ppm) ، وإما بالمللى مكافئ/لتر (meq/l) ، وإما بدرجة التوصيل الكهربائى (EC) ، وتميز بالمللى موز/سم (millimhos / cm) ، أو بالميكروموز/سم (micromohs / cm) عند ٢٥ م ، أو تُميز - حسب النظام الدولى لوحدات القياس - بالمللى سيمنز/سم (mS / cm) عند ٢٥ م .

ويمكن التحويل من وحدة قياس إلى أخرى كما يلى :

$$\text{مللى موز سم} = EC \times 310 \text{ فى حرارة } 25 \text{ م} .$$

$$\text{ميكروموز سم} = EC \times 610 \text{ فى حرارة } 25 \text{ م} .$$

$$EC \times 310 = 640 \text{ جزءاً فى المليون} = 10 \text{ مللى مكافئ / لتر تقريبا} .$$

وأكثر الطرق شيوعاً لتقدير ملوحة التربة هي طريقة المستخلص المشبع Saturation Extract Method ، ويعبر فيها عن الملوحة بدرجة التوصيل الكهربائي للمستخلص المشبع للتربة ، والذي يعبر عنه بالملي موز / سم في درجة ٢٥ م . وتتلخص هذه الطريقة في 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 التميرين . ويلى ذلك سحب كمية كافية من المستخلص بواسطة مرشح تحت تفريغ لتقدير درجة توصيلها الكهربائي .

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

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

ويتعين تصحيح قراءة التوصيل الكهربائي EC إذا اختلفت درجة الحرارة التي أُجريت عندها القياس عن ٢٥ م . ويتم ذلك بضرب القراءة المشاهدة في معامل التصحيح المقابل لدرجة الحرارة التي سُجِّلت عندها القراءة ، كما في جدول (٨ - ٤) .

جدول (٨ - ٤) : معامل التصحيح لقراءة درجة التوصيل الكهربائي (EC) عند اختلاف درجة الحرارة التي يجرى عندها القياس عند ٢٥ م (عن Resh ١٩٨٥) .

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

التأثيرات الصارّة لارتفاع ملوحة التربة

١ - نجد في الأراضي العادية أن الكالسيوم والمغنسيوم يكونان 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 الأراضي الملحية - التى تزيد فيها نسبة تركيز أيون الصوديوم على نصف الكاتيونات الذائبة الكلية - يكون أيون الصوديوم هو الكاتيون الوحيد تقريباً فى المحلول الأرضى ؛ ومن ثم يكون هو الكاتيون الأساسى المدمص على غرويات التربة (Allison ١٩٦٤) .

ويترتب على ذلك ما يلى :

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

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

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

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

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

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

٣ - نقص المحصول :

بالرغم من تأثير الأنواع النباتية - سلبياً - بارتفاع تركيز الأملاح في مياه الري إلا أنها تتباين في مدى هذا التأثير . ويقدر مدى تأثير المحصول بتركيز الأملاح بالمعادلة التالية :

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

حيث إن :

$Y =$ المحصول النسبي .

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

$A =$ الحد الأدنى للملوحة الذي ينخفض بعده المحصول .

$EC_e =$ درجة التوصيل للكهربائي لمستخلص التربة المشبع مقدرًا بالمللي موز/سم عند ٢٥ م (عن Ponnampurama ١٩٨٢) .

وتجدر الإشارة إلى أن العلاقة بين تركيز الأملاح والمحصول تكون غالباً غير خطية ؛ حيث تتبع منحنى «سيجمويد» معكوساً تظهر به زيادة صغيرة - ولكنها معنوية - في المحصول في تراكيز الملوحة المنخفضة (عن Shannon ١٩٨٥) .

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

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

حيث إن :

Y : المحصول النسبي .

c : متوسط تركيز الأملاح في منطقة نمو الجذور .

c_{50} : متوسط تركيز الأملاح - في منطقة نمو الجذور - الذي يحدث عنده نقص قدره

٥٠ ٪ في المحصول .

تقسيم الخضر حسب تحملها للملوحة التربة

تفاوتت محاصيل الخضر كثيراً في مدى حساسيتها أو تحملها للملوحة التربة (سوف نوضح مظاهر أضرار الملوحة والأساس الفسيولوجي لذلك في موضع لاحق من هذا الفصل) ، ويتضح ذلك من جدول (٨ - ٥) الذي رتب فيه محاصيل الخضر تصاعدياً حسب تحملها للملوحة التربة ، مع مقارنتها بعدد من محاصيل الفاكهة ومحاصيل الحقل الهامة ؛ علماً بأن القيم المبيّنة في الجدول هي للاسترشاد بها فقط ، أما القيم الفعلية لتحمل الملوحة . فإنها تتوقف على الظروف الجوية ، والعوامل الأرضية ، والمعاملات الزراعية التي يُعطاهها المحصول (عن Mass ١٩٨٤) .

جدول (٨ - ٥) : الحد الأقصى للملوحة الذي يمكن أن تتحملة محاصيل الخضر المختلفة - مقارنة بعدد من الفاكهة والمحاصيل الحقلية - وتأثير زيادة الملوحة على ذلك في نموها .

المحصول	الحد الأقصى لمستوى الملوحة - النسبة المئوية للنقص في في مستخلص التربة المشبع - المحصول مع كل زيادة مقدارها الذي لا يحدث معه نقص في وحدة (EC _e) عن الحد الأقصى المحصول (EC _e) ^(أ) المناسب لمستوى الملوحة	النسبة المئوية للنقص في المحصول مع كل زيادة مقدارها الذي لا يحدث معه نقص في وحدة (EC _e) عن الحد الأقصى المحصول (EC _e) ^(أ) المناسب لمستوى الملوحة
محاصيل حساسة :		
الفاصوليا	١,٠	١٩
الجزر	١,٠	١٤
الفرولة	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	-	-

(تابع)

الحد الأقصى لمستوى الملوحة - النسبة المئوية للنقص في المحصول مع كل زيادة مقدارها الذى لا يحدث معه نقص في المحصول (EC _e) ^(١)	النسبة المئوية للنقص في المحصول مع كل زيادة مقدارها وحدة (EC _e) عن الحد الأقصى المناسب لمستوى الملوحة	المحصول
محاصيل متوسطة الحساسية :		
٠,٩	٩,٠	اللفت
١,٢	١٣	الفجل
١,٣	١٣	الحس
١,٥	٥,٧	البرسيم المصرى
١,٥	٩,٦	العنب (ب)
١,٥	١٤	الفلفل
١,٥	١١	البطاطا
١,٦	٩,٦	الفول الرومى
١,٧	١٢	الذرة
١,٧	١٢	الكتان
١,٧	١٢	البطاطس
١,٧	٥,٩	قصب السكر
١,٨	٩,٧	الكرنب
١,٨	٦,٢	الكرفس
٢,٠	٧,٣	البرسيم الحجازى
٢,٠	٧,٦	السبانخ
٢,٥	١١	اللويبا (علف)
٢,٥	١٣	الخيار
٢,٥	٩,٩	الطماطم
٢,٨	٩,٢	البروكولى

(تابع)

المحصول	الحد الأدنى لمستوى الملوحة - النسبة المئوية المنوية للنقص في المحصول مع كل زيادة مقدارها الذى لا يحدث معه نقص في المحصول (EC_e) ^(١)	النسبة المئوية المنوية للنقص في المحصول مع كل زيادة مقدارها الذى لا يحدث معه نقص في المحصول (EC_e) ^(١)
محاصيل متوسطة التحمل :		
حشيشة السودان	٢,٨	٤,٣
بنجر المائدة (ج)	٤,٠	٩,٠
الكوسة	٤,٧	٩,٤
اللويبا	٤,٩	١٢
فول الصويا	٥,٠	٢٠
القمح (ج)	٦,٠	٧,١
الذرة الرفيعة	٦,٨	١٦
محاصيل تتحمل الملوحة :		
الهلبيون	-	-
نخيل البلح	٤,٠	٣,٦
حشيشة برمودا	٦,٩	٦,٤
بنجر السكر (ج)	٧,٠	٥,٩
القطن	٧,٧	٥,٢
الشعير (ج)	٨,٠	٥,٠

أ - كل وحدة : ٦٤٠ جزءاً في المليون من الأملاح .

ب - قِيمَ تَحْمَلُ الملوحة على أساس النمو النباتي وليس المحصول .

ج - أقل تحملاً للملوحة أثناء إنبات البذور ونمو البادرات .

ويعطى جدول (٨ - ٦) بيانات أكثر تفصيلاً عن درجات التوصيل الكهربائي لكل من ماء الري EC_w ومستخلص التربة المشبع EC_e التي لا يحدث عندها أى نقص في

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

وقد وضعت تقديرات EC_e في جدول (٨ - ٦) على أساس أنها تصل - في طبقة التربة التي تشغلها الجذور - إلى نحو ١٥٠ ٪ من قيمة EC_w للمياه المستخدمة في الري .

جدول (٦-٨) : درجات التوصيل الكهربائي (ms / cm) لكل من ماء الري (EC_w) ومستخلص التربة المشبع (EC_e) - عند ٢٥ م - التي لا يحدث

عندها أي نقص في المحصول ، وتلك التي يحدث عندها نقص قدره ١٠ ٪ ، و ٢٥ ٪ ، و ٥٠ ٪. لمختلف محاصيل الخضر ، ونسبة التسرب الرطوبي (LR) اللازم في كل حالة ؛ ليتمكن التحكم في الملوحة عند المستوى المحدد .

المحصول	عدم حدوث نقص في المحصول			١٠ ٪ نقصاً في المحصول			٢٥ ٪ نقصاً في المحصول			٥٠ ٪ نقصاً في المحصول		
	EC_e	EC_w	LR	EC_e	EC_w	LR	EC_e	EC_w	LR	EC_e	EC_w	LR
البنجر	٩	٢,٧	٩	٩,٦	٦,٤	٢١	٥,١	٣,٤	١١	٦,٨	٤,٥	١٥
البرزنوكولي	٧	١,٩	١٠	٨,٢	٥,٥	٢٠	٣,٩	٢,٦	١٠	٥,٥	٣,٧	١٤
الطماطم	٧	١,٧	٩	٧,٦	٥,٠	٢٠	٣,٥	٢,٣	٩	٥,٠	٣,٤	١٤
الفارون	٥	١,٥	٨	٩,١	٦,٠	١٩	٣,٦	٢,٤	٨	٥,٧	٣,٨	١٢
الخيار	٨	١,٧	١١	٦,٣	٤,٢	٢١	٣,٣	٢,٢	١١	٤,٤	٢,٩	١٤
السيانخ	٤	١,٣	٧	٨,٦	٥,٧	١٩	٣,٣	٢,٢	٧	٥,٣	٣,٥	١٢
الكرنب	٥	١,٢	٨	٧,٠	٤,٦	١٩	٢,٨	١,٩	٨	٤,٤	٢,٩	١٢
البطاطس	٦	١,١	٩	٥,٩	٣,٩	٢٠	٢,٥	١,٧	٩	٣,٨	٢,٥	١٣
الذرة السكرية	٦	١,١	٩	٥,٩	٣,٩	٢٠	٢,٥	١,٧	٩	٣,٨	٢,٥	١٣
البطاطا	٥	١,٠	٨	٦,٠	٤,٠	١٩	٢,٤	١,٦	٨	٣,٨	٢,٥	١٢
الفلفل	٦	١,٠	٩	٥,١	٣,٤	٢٠	٢,٢	١,٥	٩	٣,٣	٢,٢	١٣
الحس	٥	-٠,٩	٨	٥,٢	٣,٤	١٩	٢,١	١,٤	٨	٣,٢	٢,١	١٢
الفجل	٤	-٠,٨	٧	٥,٠	٣,٤	١٩	٢,٠	١,٣	٧	٣,١	٢,١	١٢
البصل	٥	-٠,٨	٨	٤,٣	٢,٩	١٩	١,٨	١,٢	٨	٢,٨	١,٨	١٢
الجزر	٤	-٠,٧	٧	٤,٦	٣,١	١٩	١,٧	١,١	٧	٢,٨	١,٩	١٢
الفاصوليا	٥	-٠,٧	٨	٣,٦	٢,٤	١٨	١,٥	١,٠	٨	٢,٣	١,٥	١٢
الفرارة	٩	-٠,٧	١١	٢,٥	١,٧	٢١	١,٣	-٠,٩	١١	١,٨	١,٢	١٥

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

وسائل خفض الملوحة (او الحد من أضرارها

الغسيل السابق للزراعة

تحتاج الأراضى الشديدة الملوحة إلى الغسيل - قبل زراعتها بالخضر الحساسة للملوحة - بنحو ١٠٠٠ - ٢٠٠٠ م^٣ ماء للفدان ؛ ليتمكن 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 - ابتداء - 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 - كذلك - 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 :

$$Y = \frac{\text{درجة التوصيل الكهربائى المرغوب فيه لمستخلص التربة - درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى}}{\text{درجة التوصيل الكهربائى الأسمى للتربة - درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى}}$$

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

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

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 الري 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 :

$$\therefore Y = (3 - 2) / (5 - 2) = 0,33$$

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 ري ؛ أى ١٥٠٠ م^٣ 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 متجانساً ، وأنه قد يحدث بعض الجريان السطحي للماء . . لذا يراعى زيادة كمية المياه اللازمة المحسوبة للغسيل بمقدار ٢٥ ٪ ؛ الأمر الذى يعنى - فى مثالنا - إضافة ٢٠٠٠ م^٣ من الماء للهكتار ؛ أى ١٢٠ مم من الماء .

الغسيل أثناء النمو المحصولي

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

تعرف نسبة الزيادة في مياه الري (عما يلزم لحاجة المحصول) - التي تلزم لغسيل الأملاح المتراكمة - باسم عامل الغسيل ، وهي تتوقف على كل من : مدى ملوحة مياه الري ، ودرجة الملوحة التي يُراد المحافظة عليها في منطقة انتشار الجذور ، وهي التي 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 الكهربائي لمياه الري بالمللي موز/ سم .

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

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

= $2 \times$ درجة التوصيل الكهربائي لمستخلص التربة المشبع EC_e .

وكمثال . . إذا كانت $EC_w = 1$ و EC_e المرغوب في المحافظة عليها = $2,0$

$\therefore EC_{dw} = 2 \times 2 = 4,0$ مللي موز/ سم .

وإذا احتاج المحصول إلى 10 مم (= 100 م³ للهكتار) في كل رية :

$\therefore LR = 4 \div 1 = 4,25$.

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

ويلزم الاسترشاد بجدول (٨ - 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 الري ، مع احتمال تعرض النباتات للإصابة بأعفان الجذور (عن وزارة الزراعة ١٩٨٩) .

وتبعاً 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 - تفضل الزراعات الشتوية ؛ حيث يكون ضرر الأملاح عليها أقل مما هو فى الزراعات الصيفية .

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

٣ - تفضل زراعة المحاصيل الأكثر تحملاً للملوحة .

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

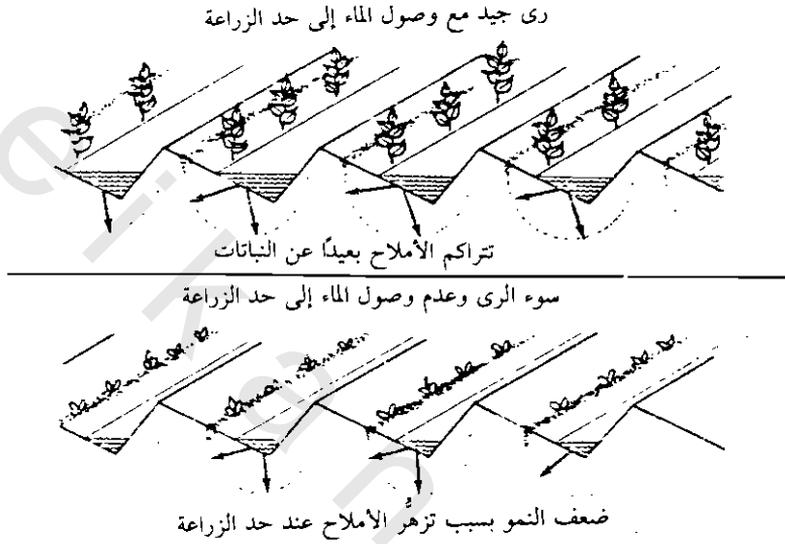
٥ - اتباع طريقة الري السطحى بالغمر مع الزراعة بأى من الطرق التالية :

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

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر

ب - في خطوط مفردة في منتصف مصاطب عريضة ، مع تنظيم الري بحيث تزهر الأملاح بعيداً عن النباتات (شكل ٨ - ٩) .

ج - في خطوط مزدوجة على جانبي مصاطب عريضة ، مع تنظيم الري بحيث يحدث تزهر الأملاح في منتصف المصاطب بعيداً عن النباتات (شكل ٨ - ١٠) (عن Mayberry ١٩٨٣) .



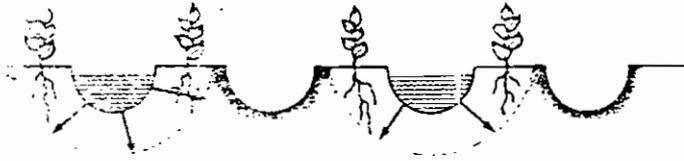
شكل (٨-٨) : تزهر الأملاح بعيداً عن حد الزراعة عندما تكون الزراعة على خطوط ، ويكون الري منتظماً .

المعاملات الكيميائية

أجريت محاولات لتحسين إنبات البذور في الأراضي الملحية بتعريضها لمعاملات خاصة قبل زراعتها ؛ ومن أمثلة ذلك ما يلي :

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

نظام جيد للرى يسمح بتراكم الأملاح فى قنوات الرى غير المستخدمة

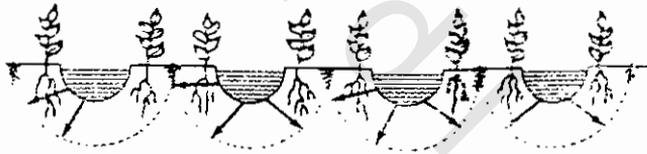


سوء الرى ؛ مما يسمح بتراكم الأملاح عند خط الزراعة

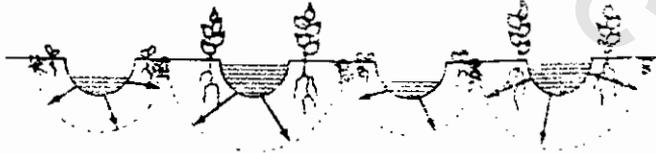


شكل (٨ - ٩) : تزهر الأملاح بعيداً عن النباتات عندما تكون الزراعة فى منتصف مصاطب عريضة ، ويكون الرى منتظماً .

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



سوء الرى ؛ مما يسمح بتراكم الأملاح عند بعض خطوط الزراعة



شكل (٨ - ١٠) : تزهر الأملاح بعيداً عن النباتات عندما تكون الزراعة فى خطوط مزدوجة على جانبي مصاطب عريضة ، ويكون الرى منتظماً .

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر

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

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

٥ - كما وجد أن بعض المركبات الطبيعية - مثل الكولين ، والبيتين betaine - 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 بالانواع المختلفة من الاراضى الملحية والقلوية وطرق اصلاحها

الاراضى الملحية

الاراضى الملحية Saline Soils هى الاراضى 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 :

$$\text{نسبة الصوديوم المتبادل} = \frac{\text{الصوديوم المتبادل (مللى مكافئ/١٠٠ جم تربة)}}{\text{السعة التبادلية الكاتيونية (مللى مكافئ/١٠٠ جم تربة)}} \times 100$$

يشكل الصوديوم الذائب في المحلول الأرضى في 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 في المحلول الأرضى . وأكثر الأنيونات الذائبة سيادة في 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 الماغنسيوم . ومن خصائص الأراضى الملحية أنها تكون مفككةً وعالية النفاذية . ويمكن التعرف عليها بتزهّر الأملاح على سطحها ، أو بظهور بقع ذات مظهر زيتى ، وخالية من النموّات النباتية بها .

ومن الطرق المؤقتة لإصلاح الأراضى الملحية ما يلى :

- ١ - قلب الطبقة السطحية بعمق فى التربة .
- ٢ - إزالة الطبقة السطحية الملحية بكشطها والتخلص منها .
- ٣ - معادلة تأثير بعض الأملاح بإضافة أملاح أخرى وأحماض .

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

١ - 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 - نفاذية جيدة للماء خلال التربة :

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

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —

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 - 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 أمراً صعباً فى الأراضى المنضغطة Compact والطينية .

٤ - توفير صرف جيد :

فبدون الصرف الجيد نجد أن استمرار الرى يؤدي إلى رفع مستوى الماء الأراضى تدريجياً ، ويتبع ذلك ارتفاع الماء بالخاصية الشعرية بين الريات ، ثم تبخره ، تاركا الأملاح لتتزهز على سطح التربة من جديد .

الأراضى 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 قليلاً .

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

يتشابه مظهر وخصائص هذه الأراضى مع الأراضى الملحية ، مادام الملح موجوداً 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 تدريجياً بالغسيل يتهدج بعض الصوديوم مكوناً أيدروكسيد الصوديوم ، وقد يتبع ذلك تكوّن

كميات صغيرة من كربونات الصوديوم بالتفاعل مع ثاني 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 الحرث .

ويمكن تلخيص أهم مشاكل الأراضي الصودية فيما يلي :

- ١ - ارتفاع الـ pH ذاته .
- ٢ - تثبيت عناصر الفوسفور ، والكالسيوم ، والحديد ، والزنك .
- ٣ - سمية البورون .
- ٤ - ضعف نفاذيتها للماء .
- ٥ - إعاقة نمو الجذور فيها .

وتقسم المحاصيل حسب تحملها للنمو في الأراضي الصودية كما يلي :

- ١ - محاصيل ذات قدرة على التحمل . . وتشمل البرسيم الحجازي ، والشعير ، وبنجر السكر ، وبنجر المائدة ، وحشيشة برمودا ، والقطن .
- ٢ - محاصيل متوسطة التحمل . . وتشمل الأرز ، والقمح ، والشوفان .
- ٣ - محاصيل حساسة . . وتشمل الفاصوليا ، والذرة ، وأشجار الفاكهة .

ولإصلاح الأراضي الصودية يلزم الغسيل ، مع إضافة الجبس الزراعي ، أو الكبريت لمعالجة الملوحة مع القلوية في آنٍ واحدٍ ؛ حيث يحل الكالسيوم محل الصوديوم المتبادل ، كما يلي :

الكبريت + أكسجين الهواء الجوى + ماء ← حامض كبريتيك .

حامض كبريتيك + كربونات كالسيوم بالتربة ← جبس (كبريتات كالسيوم) + ثاني أكسيد الكربون + ماء .

الجبس + الصوديوم في الأراضي 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 - بدلا من الكبريت - 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 توصيلها الكهربائى عن ٤ فى درجة حرار ٢٥ م . ويتراوح الـ pH فيها بين ٨,٥ و ١٠ . وتوجد هذه الأراضى - غالبا - 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 الأراضى 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 الأراضى 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 تكون كتلا (قلاقل) clods ، وقشرة صلبة crusts عند جفافها . ونجد أن المادة العضوية تنتشر وتوزع 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 . . وتُضارَّ كثيرٌ من النباتات بشدة عند زيادة القلوية فى التربة على $0.7, 0.7\% \text{HCO}_3$ والـ pH عن 8,7 ، وتموت معظم النباتات - تقريبا - فى pH أعلى من 9,5 . وتكون التربة قاحلة وقفراء عندما تصل نسبة الصوديوم المتبادل فيها إلى $25\% - 30\%$ ، وتكون غير صالحة للحراثة أو الرى .

الأراضى الجيرية

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

- ١ - تكوّن قشرة صلبة على سطح التربة تؤدى إلى تأخير الإنبات أو إعاقته .
 - ٢ - تتحول فوسفات أحادى وفوسفات ثنائى الكالسيوم إلى فوسفات ثلاثى الكالسيوم ، وهى صورة قليلة الذوبان جدا فى الماء .
 - ٣ - تتحول مركبات العناصر الصغرى الأكثر ذوباناً فى المحلول الأرضى إلى صورة الكربونات الأقل ذوباناً .
 - ٤ - يؤدى توفر الجير إلى تطاير وفقد الأمونيا من الأسمدة النشادرية .
 - ٥ - انتشار وجود الطبقات الجيرية الصماء تحت سطح التربة .
- وتنتشر الأراضى الجيرية فى مصر فى المواقع التالية :

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

وتعالج المشاكل الفيزيائية للأراضي الجيرية بحراثة طبقة تحت التربة لتقطيع الطبقات الصماء التي تمنع رشح الماء وانتشار الجذور . ويفضل لذلك استخدام المحارث الحفارة ، مع تجنب استعمال المحارث القلابة . كذلك يراعى الإكثار من التسميد العضوى ، مع إجراء الري « على الحامى » ؛ أى يكون غزيراً وسريعاً .

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

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

رفع pH الأراضي الحامضية

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

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

جدول (٨ - ٧) : كميات الحجر الجيري التي تلزم إضافتها للأنواع المختلفة من الأراضي لإحداث التعديل المطلوب في pH التربة .

عدد كيلو جرامات الحجر الجيري اللازمة للقدان في الأراضي						
التعديل المطلوب في pH التربة حتى عمق الحرث	الرملية sandy	الرملية الطميية sandy loam	الطينية الطميية loam	الصلتية الطميية silt loam	الطينية الطميية clay loam	المك (العضوية) muck
٤,٠ - ٦,٥٠	١٣٠٠	٢٥٠٠	٣٥٠٠	٤٢٠٠	٥٠٠٠	٩٥٠٠
٤,٥ - ٦,٥٠	١١٠٠	٢١٠٠	٢٩٠٠	٣٥٠٠	٤٢٠٠	٨١٠٠
٥,٠ - ٦,٥٠	٩٠٠	١٧٠٠	٢٣٠٠	٢٨٠٠	٣٣٠٠	٦٣٠٠
٥,٥ - ٦,٥٠	٦٠٠	١٣٠٠	١٧٠٠	٢٠٠٠	٢٣٠٠	٤٣٠٠
٦,٠ - ٦,٥٠	٣٠٠	٧٠٠	٩٠٠	١١٠٠	١٢٠٠	٢٢٠٠

وترجع مشاكل الأراضي الشديدة الحامضية إلى فقرها في عناصر الفوسفور ، والكالسيوم ، والمغنيسيوم ، والمولبدنم التي تثبت فيها ، وزيادة تركيز عنصرى الألومنيوم والمنجنيز بها إلى درجة السمية .

ومن أهم المحاصيل التي يمكنها النمو في الأراضي الحامضية : الأناناس ، والشاي ، والبن ، والأرز ، والكاسافا ، واللويبا ، والفول السوداني . ومن المحاصيل الحساسة لها الذرة ، و الذرة الرفيعة ، والقطن .

خفض pH الأراضي القلوية

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

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

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضرا

جدول (٨ - ٨) : كمية الكبريت التي تلزم إضافتها في الأنواع المختلفة من الأراضي لإحداث التعديل المطلوب في pH التربة .

الكمية التي تلزم إضافتها بالكيلو جرام للمقدان في الأراضي			
التعديل المطلوب في pH التربة حتى عمق الحرث	الطينية	الطينية	الرملية
٦,٥ - ٨,٥	١٥٠٠	١٢٥٠	١٠٠٠
٦,٥ - ٨,٠	١٠٠٠	٧٥٠	٦٠٠
٦,٥ - ٧,٥	٥٠٠	٤٠٠	٢٥٠
٦,٥ - ٧,٠	١٥٠	٧٥	٥٠

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

ويوفر الكبريت الكالسيوم بصورة غير مباشرة من خلال تفاعلين يحدثان في التربة : ففي البداية يتأكسد الكبريت إلى حامض كبريتيك ، ثم يتفاعل الحامض المتكون مع كربونات الكالسيوم التي توجد في التربة ليتكون الجبس .

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

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

أما الجبس الزراعى فإن الكميات التي تستخدم منه تحدد بمقدار الصوديوم المتبادل كما هو مبين في جدول (٨ - ٩) .

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

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

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

ويتعين عند الرغبة فى إصلاح الأراضى القلوية بإضافة الجبس إليها أن يكون
المحلول الجبسى مركزاً 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 -
وخاصة فى الأراضى الأقل قلوية - إضافة الجبس على فترات ليبقى تركيزه مرتفعاً فى
التربة لأطول فترة ممكنة .

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

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —————

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

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

- ١ - السعة التبادلية الكاتيونية لغرويات التربة .
- ٢ - نسبة الصوديوم المتبادل منسوباً إلى مجموع الكاتيونات الأخرى .
- ٣ - مدى الخفض المطلوب الوصول إليه فى نسبة الصوديوم المتبادل إلى مجموع الكاتيونات الأخرى .
- ٤ - العمق المطلوب الوصول إليه فى عملية إصلاح التربة .
- ٥ - نسبة نقاوة الجبس .

الصفات العامة المميزة للأراضي الزراعية فى مصر

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

جدول (٨ - ١٠) : صفات التربة فى الأراضي الصحراوية المصرية مقارنة بأراضي الوادى والدلتا .

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

مياه الري ونوعيتها

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

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

تقسيم مياه الرى حسب مستوى ملوحتها

تناسب درجة التوصيل الكهربائى لماء الرى تناسباً طردياً مع درجة ملوخته . وتقسم مياه الرى حسب درجة توصيلها الكهربائى (EC_w) إلى ست درجات كما يلى :

١ - الدرجة الأولى :

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين صفر و ٠,٢٥ مللى موز (صفر - ١٥٠ جزءاً 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 - الدرجة الثانية :

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين ٠,٢٥ و ٠,٧٥ مللى موز (١٥٠ - ٥٠٠ جزء 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 - الدرجة الثالثة :

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

٤ - الدرجة الرابعة :

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

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —————

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

٥ - الدرجة الخامسة :

تتراوح درجة توصيلها الكهربائى بين ٤,٠ و ٦,٠ مللى موز (من ٢٥٠٠ - 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 - ١٠٠ ضعف تركيزه فى ماء الرى حسب الحالة ، وفى 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 الأراضى 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 كبيرا من الأنواع النباتية يمكنه تحمل تركيز مرتفع للأملاح فى مياه الرى إذا كان المحلول الأراضى فى حالة توازن فسيولوجى ، كما فى ماء البحر .

تقسيم مياه الري حسب محتواها من الصوديوم

عندما تزيد نسبة الصوديوم إلى الكالسيوم والمغنسيوم $\left(\frac{Na}{Mg + Ca}\right)$ ، 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 $\left(\frac{100 \times Na}{K + Na + Mg + Ca}\right)$ ، مع التعبير عن كل التركيزات بالمللى مكافئ/لتر) . ومع زيادة الصوديوم فى ماء الري يزداد الصوديوم المتبادل فى التربة ، وتزداد مشاكل القلوية .

وتقسم مياه الري حسب محتواها من الصوديوم إلى أربعة أقسام :

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

٢ - 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 - مياه مرتفعة فى محتواها من الصوديوم: يؤدى استعمالها فى الري إلى تراكم الصوديوم بشدة فى معظم الأراضى التى لا تحتوى على الجبس . ويتطلب استعمالها عناية خاصة ؛ إذ يلزم توفير صرف جيد وغسيل جيد ، مع إضافة المادة العضوية لتحسين صفات التربة الطبيعية ، ويلزم أحياناً إضافة الجبس الزراعى لإحلال الكالسيوم محل الصوديوم على حبيبات الطين .

٤ - مياه مرتفعة جداً فى محتواها من الصوديوم: وهذه لا يمكن استعمالها فى الري إلا إذا كانت منخفضة فى محتواها من الأملاح الكلية؛ حيث يمكن تلافى أضرار

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضراوات —————
 الصوديوم باستخدام الجبس الزراعي والغسيل الجيد، كما يمكن إضافة الجبس الزراعي
 إلى ماء الري نفسه بطريقة آلية .

تقسيم مياه الري حسب محتواها من البورون

نظراً لتفاوت المحاصيل المختلفة في تحملها للبورون ، فإن مياه الري تقسم من حيث
 نوعيتها تقسيماً يأخذ في حسابه درجة حساسية المحاصيل للبورون كما في جدول (٨)
 - (١١) .

جدول (٨ - ١١) : تقسيم مياه الري حسب محتواها من البورون ومدى صلاحيتها لري المحاصيل المختلفة .

نوعية المياه ومدى صلاحيتها للري	الحد الأقصى لمحتوى المياه من البورون (بالجزء في المليون) بالنسبة للمحاصيل	الحساسية للبورون	المتوسطة التحمل للبورون	العالية التحمل للبورون
ممتازة	$0,33 >$	$0,67 >$	$1,00 >$	
جيدة	$0,33 - 0,67$	$0,67 - 1,33$	$1,00 - 2,00$	
مقبولة	$0,67 - 1,00$	$1,33 - 2,00$	$2,00 - 3,00$	
مشكوك في صلاحيتها	$1,00 - 1,25$	$2,00 - 2,50$	$3,00 - 3,75$	
غير صالحة	$1,25 <$	$2,50 <$	$3,75 <$	

وتقسم الخضروات - في الزراعات الحقلية - حسب تحملها للبورون في مياه الري
 إلى الأقسام التالية :

١ - خضروات حساسة للتركيزات المنخفضة التي تصل إلى $0,5 - 1,0$ جزءاً في
 المليون من البورون ، وتشمل : الفاصوليا - الطرطوفة .

٢ - خضروات متوسطة التحمل ، ويمكنها النمو في تركيزات تصل إلى $1 - 2$ جزء
 في المليون من البورون ؛ وتشمل : فاصوليا الليما - البطاطا - الفلفل - الطماطم -
 القرع العسلي - الذرة السكرية - البسلة - الفجل - البطاطس - الكرفس .

٣ - خضروات قادرة على تحمل تركيزات مرتفعة من البورون تصل إلى ٢ - ١٠ أجزاء في المليون ؛ وتشمل : الجزر - الخس - الكرنب - اللفت - البصل - الفول الرومى - القاوون - البنجر - 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 جزءاً 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 - عادة - على صورة تحلل فى قمة الأوراق وحوافها ، يتبعه ظهور انسحاق أو احتراق scorching فى مختلف أنسجة الورقة (عن Branson ١٩٨٣) .

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

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

فى مياه الرى

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

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

العنصر	للاستعمال باستمرار فى جميع أنواع الأراضى (بالجزء بالمليون)	للاستعمال لمدة ٢٠ عاما فى الأراضى الخفيفة ذات pH من ٦ - ٨,٥ (بالجزء بالمليون)
الألومنيوم	٥,٠	٢٠,٠
الزرنخ	٠,١٠	٢,٠
البرليليم	٠,١٠	٠,٥
البورون	٠,٧٥	١,٠ - ٢,٠
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 الري تزيد كثيراً عما سبق ، ولكنها تختلف من عنصر لآخر ، كما يلي (عن حبيب وآخرين ١٩٩٣) .

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

أما البيكربونات فإن حدها الأقصى المسموح به ٦ مللى مكافئ/لتر ، وتؤدي زيادتها على ذلك إلى حدوث بعض الترسبات فى مواسير الري ؛ حيث إنها - وكذلك الكربونات - ترسب الكالسيوم والمغنيسيوم فى صورة ملح كربونات العنصر ؛ كما يؤدي ذلك - تلقائيا - إلى زيادة النسبة المثوية للصدوديوم المتبادل .

كيفية الحكم على مدى صلاحية المياه للري

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

جدول (٨-١٣) : الاستدلال على مدى صلاحية المياه للري من نتائج تحاليلها .

مدى المشكلة			نوع المشكلة (أ)
شديدة	متزايدة	لا توجد	
الملوحة :			
أكثر من ٣,٠	٠,٧٥ - ٣,٠	أقل من ٠,٧٥	EC _w (مللى موز/ سم) أو
أكثر من ١٩٢٠	٤٨٠ - ١٩٢٠	أقل من ٤٨٠	TDS (مجم/ لتر أو جزء فى المليون)
سمية أيونات معينة لمحاصيل حساسة :			
(عند الري السطحي) :			
أكثر من ١٠	٢ - ١٠	أقل من ٢	الكلوريد (مللى مكافئ/ لتر)
أكثر من ٣٤٥	٧٠ - ٣٤٥	أقل من ٧٠	(مجم/ لتر)
١٠,٠ - ٢,٠	١,٠ - ٢,٠	١,٠	البورون (مجم/ لتر)
أكثر من ٩,٠	٩,٠ - ٣,٠	SAR أقل من ٣,٠	الصدوديوم (مقدرًا بالـ SAR)
(عند الري بالرش) :			
-	أكثر من ٣,٠	أقل من ٣,٠	الصدوديوم (مللى مكافئ/ لتر)
-	٧٠	أقل من ٧٠	(مجم/ لتر)
-	أكثر من ٣,٠	أقل من ٣,٠	الكلوريد (مللى مكافئ/ لتر)
-	١٠٠	أقل من ١٠٠	- (مجم/ لتر)
متنوعات			
أكثر من ٨,٥	١,٥ - ٨,٥	أقل من ١,٥	البيكربونات (مللى مكافئ/ لتر)
أكثر من ٥٢٠	٥٢٠ - ٤٠	أقل من ٤٠	(مجم لتر)
pH			
المدى الطبيعي : ٦,٥ - ٨,٤			

(أ) EC_w: درجة التوصيل الكهربائي Electrical Conductivity لماء الري مقدرًا بالديسي سيمنز لكل متر (dS/m) ، أو بالمللى موز لكل سنتيمتر (mmohs/cm) عند ٢٥ م .
TDS : المواد الصلبة الكلية الذائبة Total Dissolved Salts .
SAR : نسبة ادمصاص الصدوديوم Sodium Adsorption Ratio . إلى الكاتيونات الأخرى (الكالسيوم والمغنيسيوم) ، وهى تحسب - بالنسبة لماء الري بالمعادلة التالية :
$$SAR = Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2}$$
 حيث تمثل Na⁺ ، Ca⁺⁺ ، و Mg⁺⁺ تركيز هذه الأيونات بالمللى مكافئ/ لتر .

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —————

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

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

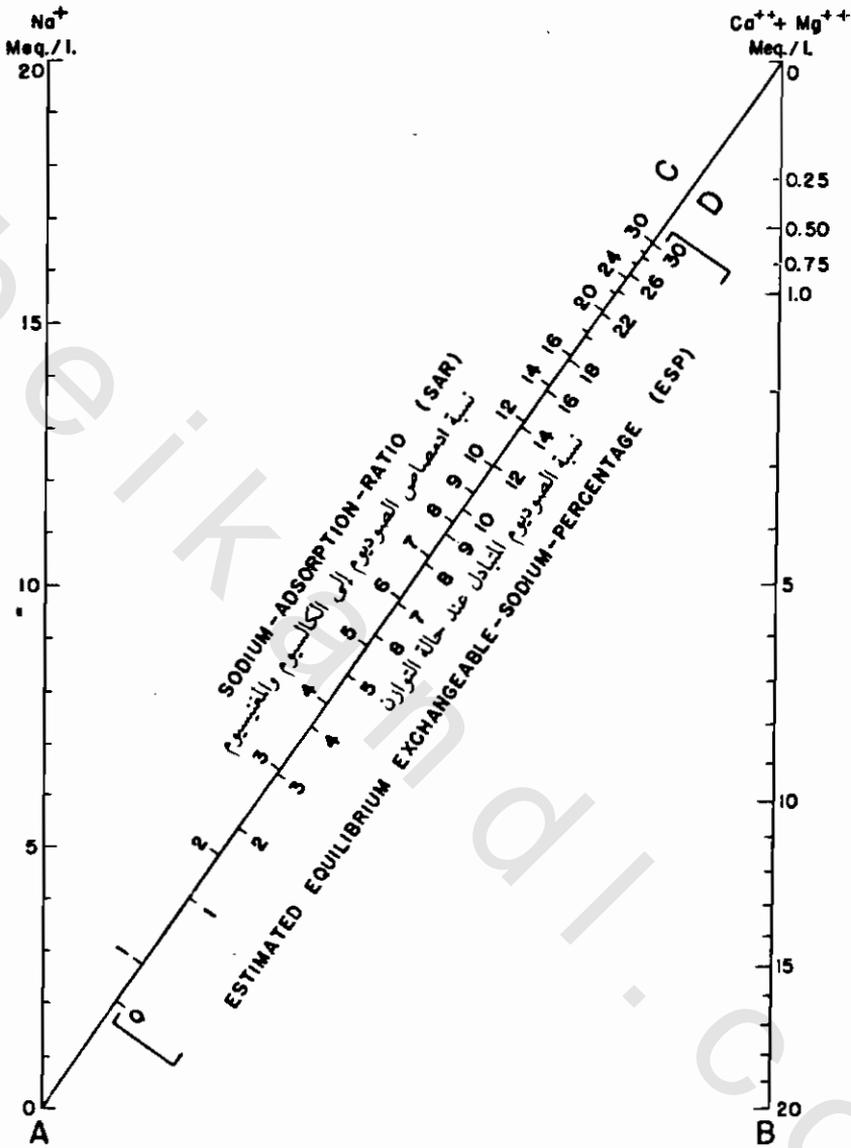
حيث تمثل Na^+ ، و Ca^{++} ، و Mg^{++} تركيز هذه الأيونات - فى ماء
الري - بالمللى مكافئ/لتر . وتبدو هذه العلاقة واضحة من شكل (٨ -
(١١) .

وقد قدرت قيم ESP المبنية فى الشكل من المعادلة التالية :

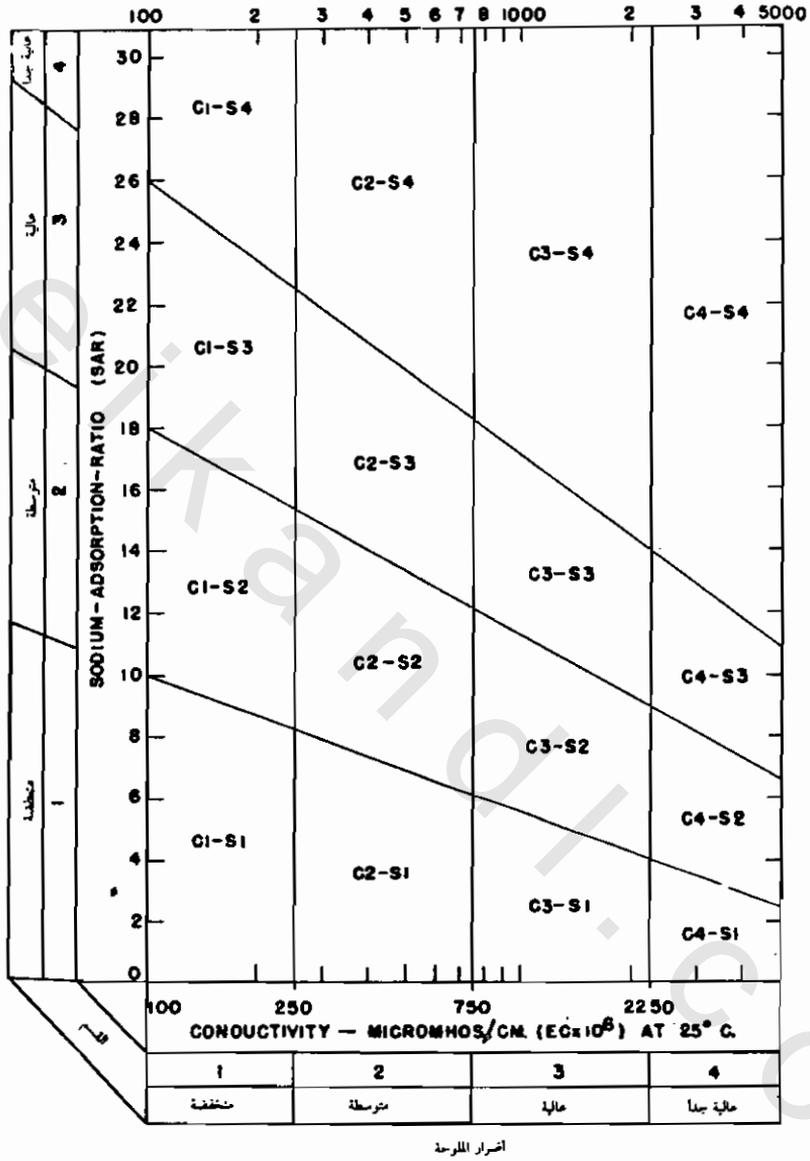
$$ESP = \frac{100 (- 0.0126 + 0.01475 SAR)}{1 + (- 0.0126 + 0.01475 SAR)}$$

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

ويفضل دائماً أخذ كل من قيمتى SAR ، و EC_w - ماء الري - فى الحسبان
عند تقرير مدى صلاحية استخدام تلك المياه فى الري . وتبعاً لذلك . . . فإن
مياه الري تقسم - حسب نوعيتها - إلى ١٦ قسماً تبعاً لمدى انخفاض أو ارتفاع
قيمتى SAR ، و EC_w كما هو مبين فى شكل (٨ - ١٢) .



شكل (٨ - ١١) كيفية تحديد قيمة SAR لماء الري ، وتقدير قيمة ESP المقابلة في التربة التي تكون في حالة توازن مع الماء المستخدم في الري .



استمرار الملوحة

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

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

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

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

فسولوجيا استجابة النباتات للملوحة التربة ومياه الري

مظاهر أضرار الملوحة على محاصيل الخضر

تباين أضرار الملوحة على النباتات - حسب تركيز الأملاح في التربة ومياه الري - كما يلي :

١ - في التركيزات الشديدة الارتفاع تموت النباتات بسبب سمية التركيزات العالية للأيونات المكونة للأملاح ، مع حدوث ارتفاع كبير في الضغط الأسموزي للمحلول الأرضي ؛ فتفشل البذور في الإنبات ، ولا يمكن للجذور امتصاص حاجة النباتات من الماء ، وخاصة عند ارتفاع معدل التتح .

٢ - في التركيزات المتوسطة إلى العالية من الأملاح قد تحترق الأوراق ويتوقف النمو ، وهو ضرر مباشر تحدته التركيزات المرتفعة لأيوني الصوديوم والكلور .

٣ - في التركيزات الخفيفة إلى المتوسطة من الأملاح تنخفض سرعة النمو النباتي ، كما يزداد سمك الأوراق ، وتزداد دكنة لونها الأخضر في بعض الأنواع النباتية .

٤ - عند استخدام المياه المرتفعة الملوحة في الري بالرش فإن الأوراق تمتص الأملاح ؛ مما يؤدي إلى احتراقها . ويتوقف مدى الضرر على درجة الحرارة (التي تؤثر في سرعة تبخر الماء وزيادة تركيز الأملاح) ، ومعدل امتصاص الأوراق للماء .

٥ - إلى جانب الأضرار الفسيولوجية المباشرة التي تقدم بيانها . فإن زيادة تركيز الأملاح يمكن أن تؤدي - كذلك - إلى زيادة الإصابة ببعض الأمراض ؛ مثل مرض عفن جذور فيتوفثورا في الطماطم الذي يسببه الفطر *Phthophora parasitica* (Swiecki & MacDonald ١٩٩١) .

الاساس الفسيولوجي لاضرار الملوحة

تظهر الآثار السلبية للملوحة العالية في ثلاثة جوانب كما يلي :

١ - بناء التربة Soil Structure :

تؤثر التركيزات العالية للأملاح - وخاصة عند زيادة نسبة ادمصاص الصوديوم إلى الكاتيونات الأخرى على سطح غرويات الطين - تأثيراً سيئاً على الصفات الفيزيائية للتربة ، حيث تشتت الحبيبات الصغيرة (المكونة للتجمعات الكبيرة) ، وتصبح مفردة ؛ الأمر الذي يقلل كثيراً من حجم مسام التربة ، ويضعف نفاذيتها للماء .

٢ - التفاعل بين التربة والجذور Soil/Root Interactions :

تجعل التركيزات العالية للأملاح في المحلول الأرضي امتصاص النبات للماء والعناصر أمراً صعباً ؛ بسبب زيادة الضغط الأسموزي للمحلول الأرضي ، والتنافس الكيميائي بين أيونات الأملاح وأيونات العناصر المغذية على الامتصاص ؛ مما يؤدي إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر .

٣ - داخل النبات :

تؤدي زيادة امتصاص النبات للأملاح إلى تواجدها بتركيزات عالية في أنسجة النبات بصورة عامة ، وفي السيتوبلازم ، والفجوات العصارية بصورة خاصة ؛ الأمر الذي يترتب عليه ما يلي :

أ - تثبيط النشاط الأيضى ، بالرغم من أن زيادة الملوحة تؤدي إلى زيادة المحتوى الكلوروفيللى للنبات .

ب - التضارب مع تمثيل البروتين .

ج - فقدان الخلايا للماء .

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

هـ - 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 معتدلاً (عن Yeo & Flowers ١٩٨٩ ، و Xu وآخرين ١٩٩٤) .

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

١ - 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 - 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 وضوحاً 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 تجدها تطبيقات زراعية ، كما يلى :

١ - تؤدي زيادة الملوحة إلى الحد من النمو الخضري فى الطماطم ؛ الأمر الذى يمكن الاستفادة منه فى زيادة العقد المبكر ، وخاصة فى ظروف الإضاءة الضعيفة .

كذلك فإن زيادة الملوحة في الوقت المناسب (في المزارع المائية) تفيد في الحد من النمو الخضري في الفراولة ؛ الأمر الذي يؤدي إلى اتجاه النبات نحو النمو الثمرى .

٢ - تؤدي الملوحة العالية - أحيانا - إلى جعل الثمار المنتجة أفضل مظهرًا وأكثر مقاومة للأضرار الميكانيكية (عن Awang وآخرين ١٩٩٣) .

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

٤ - من المعروف أن زيادة الملوحة تؤدي إلى زيادة نسبة المادة الجافة وتحسين النوعية ؛ بزيادة محتوى الثمار من السكريات والحموضة المعاكسة ؛ كما في الطماطم ، والفلفل ، والفراولة .

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

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

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

وفي الكرنب الصيني كان لمعاملة الملوحة تأثير قليل على المحصول، ولكنها أحدثت زيادة في معدل الإصابة باحترق حواف الأوراق .

٥ - من المعروف أن ثمار النباتات الأصيلية 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 مقيداً 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 للأملح - فى نهاية مرحلة تطورها - أدى إلى احمرار الثمار ونضجها جزئياً . وقد صاحب ذلك نقص فى وزن الثمار وصلابتها ، مع زيادة فى محتواها من المادة الجافة ، والحموضة المعاكسة ، والسكر ، وأيون الكالسيوم . ولكن لم يكن للملوحة تأثير على نشاط إنزيم بولى جلالاكتورونيز polygalacturonase ؛ الذى يخترق تماماً فى الثمار الأصيلية فى هذا الجين ، والذى يعد مسئولاً عن فقد ثمار الطماطم الطبيعية لصلابتها .

طبيعة تحمل الملوحة فى النباتات المحبة للملوحة

تنمو النباتات المحبة للملوحة - غالباً - فى بيئات تحتوى على كلوريد الصوديوم بتركيز ١٠٠ - ٢٥٠ مول/م^٣ (يحتوى ماء البحر على نحو ٥٠٠ مول كلوريد الصوديوم/م^٣) ، مع تواجد بعض الأيونات السامة الأخرى أحياناً . 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 - مرتبة حسب أهميتها - فيما يلى :

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

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —

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

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

ونجد في 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 من عليها بواسطة الندى أو ماء المطر .

٤ - 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 - فى المحاصيل الاقتصادية - مشكوك فيها (عن Rains ١٩٧٩) .

٥ - يمكن للنباتات أن تؤمن لنفسها توازناً أسموزياً Osmoregulation داخلها 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 منخفضاً أو متوسطاً . 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 الأسموزى فى الفجوات العصارية (Rains ١٩٨١) .

٦ - يعرف كثير من الأنواع النباتية - التى يرتبط تحملها للتركيزات العالية من كلوريد الصوديوم - 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
<u>Festuca rubra</u>	الكلور والصوديوم
القمح <u>Triticum aestivum</u>	الكلور والصوديوم
<u>Agropyron elongatum</u>	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 تأقلا مع الملوحة العالية .

التنظيم الأسموزى وأهميته

نجد أن معظم النباتات الشائبة الفلقة المحبة للملوحة halophytes عصيرية succulent ، و يتراكم فى فجواتها العسيرية 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 توازناً أسموزياً بين الفجوات والسيتوبلازم . . يتراكم بسيتوبلازم خلاياها تركيزات عالية جداً من المواد العضوية الذائبة organic solutes ؛ مثل البرولين proline ، والجليسين بيتين glycinebetaine ، والسوربتول sorbitol ، والجليسرول ، وحمض الأوكالسيك ، والبيتين betaine ، وغيرها حسب النوع النباتى . كما أن الأحماض العضوية ذات الشحنة السالبة - مثل حامض الأوكساليك - تعمل على إحداث توازن مع أيونات الصوديوم المتراكمة ذات الشحنة الموجبة ، ويعرف ذلك باسم التنظيم الأسموزى Osmoregulation .

ومن المعلوم أن نشاط عديد من الإنزيمات يتأثر سلباً بالمركبات الذائبة غير العضوية ، بينما يكون ضرر المركبات العضوية الذائبة معدوماً أو قليلاً فى التركيزات العالية .

وبالرغم من الدراسات العديدة التى أجريت على موضوع التنظيم الأسموزى 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 مصاحباً 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 شرطاً لا غنى عنه لتحمل الملوحة فى النباتات الراقية .

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

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

ومن المعلوم أن المركبات النيتروجينية - مثل البرولين - تنظم بكفاءة عالية عملية تخزين النيتروجين الضروري للنبات . ويعد البرولين مناسباً لتحقيق هذا الهدف ؛ لأنه نشط أسموزياً ، ومتوافق مع مكونات السيتوبلازم ، ويمكن أن يتحول بسهولة إلى حامض الجلوتامك ، وهو حامض أميني مركزي في عملية تنظيم تمثيل الأحماض الأمينية الأساسية الأخرى . وبذا . . فإن النبات المعرض للملوحة يمكنه استخدام البرولين كمخزون نيتروجيني ، وفي التنظيم الأسموزي (عن Rains ١٩٨١) .

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

كذلك فإن سكر المانيتول Mannitol - الذي يوجد في أكثر من ٧٠ نوعاً نباتياً - يزداد تراكمه في الظروف البيئية القاسية ، وخاصة ظروف زيادة الملوحة ، كما في الكرفس . كما وجد أن نباتات التبغ المحولة وراثياً - والمنقول إليها الجين المسئول عن تمثيل المانيتول من البكتيريا *Escherichi coli* - كانت أكثر تحملاً للملوحة من النباتات العادية غير القادرة على إنتاج المانيتول (عن Pharr وآخرين ١٩٩٥) .

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

ويبدو أنه توجد علاقة قوية بين نوع المركبات العضوية الذائبة التي تتراكم في السيتوبلازم في ظروف الملوحة العالية وبين الوضع التقسيمي ؛ كما هو موضح في جدول (٨ - ١٤) (عن Jones ١٩٨١) .

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر

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

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

كذلك تتراكم - فى السلالات التى تتحمل الملوحة ، عند تعرضها لظروف الملوحة العالية - أنواع مختلفة من البروتينات ، مثل البروتين المسمى أوزموتين Osmotin . وقد وجد Jain وآخرون (١٩٩٣) طرزاً محددة لتراكم البولى بيبتييدات 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 - فى النباتات المحبة للملوحة - قادرة 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 ، والتميز ضد أيونى الصوديوم والكلور عند امتصاص النبات للماء الملح من التربة . . كل ذلك يتطلب بذل طاقة ، تكون دائماً على حساب نمو النبات وقدرته الإنتاجية ؛ ولذا . . نجد أن النباتات الملحية تكون - دائماً - أقل نمواً 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 1979 Rains ، و Austin 1989) .

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 تدريجياً كلما بعد الماء عن سطح جوامد الأرض ، حتى يصل مقدار شد التربة للماء إلى $\frac{1}{3}$ ضغط جوى ، حينئذ لا يمكن لجوامد التربة شد الماء إليها ، فيتحرك إلى أسفل بفعل الجاذبية الأرضية .

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

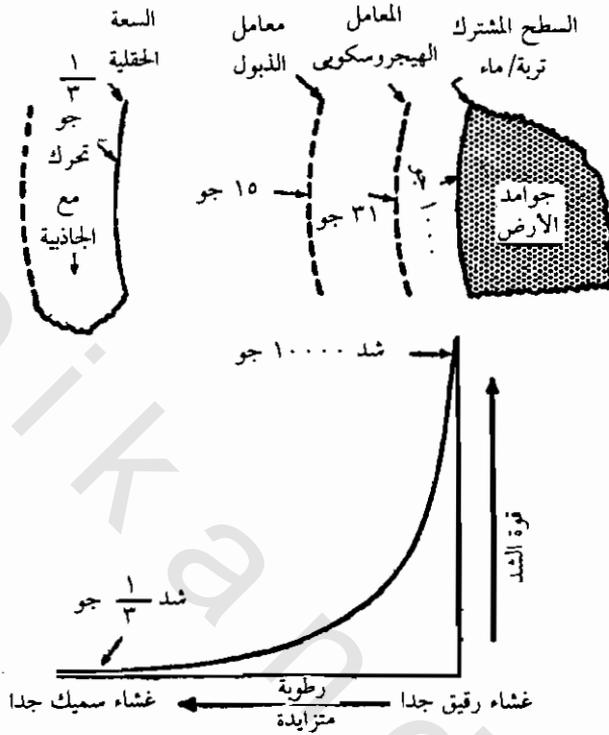
وفي البداية تكون كل مسام التربة مملوءة بالماء ، ومع تحرك الماء إلى أسفل في الفراغات الكبيرة بين تجمعات التربة تصبح هذه المسام مملوءة بالهواء ، بينما يبقى نصف المسام - وهي الموجودة داخل تجمعات التربة - مملوءاً بالماء الذي تحتفظ به التربة ضد الجاذبية الأرضية . فالتربة عند السعة الحقلية بها نصف المسام مملوءاً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

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

ويعرف الماء الميسر لامتناس النبات بأنه ذلك الجزء الذي تحتفظ به جوامد التربة بقوة شد تتراوح من $\frac{1}{3}$ إلى ١٥ ضغط جوى ؛ أى هو المحتوى المائى للتربة بين السعة الحقلية ومعامل الذبول .

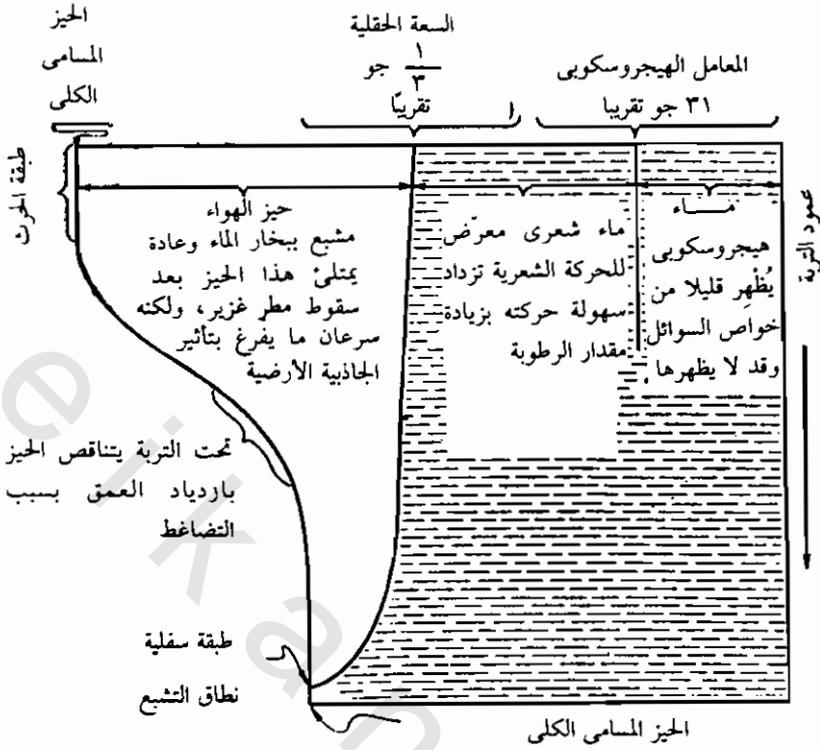
ومع استمرار جفاف التربة بعد ذلك بفعل التبخر يقل سمك الغشاء المائى الذى تحتفظ به التربة ، وتزداد قوة احتفاظها به ، حتى يصل مقدار شد التربة للغشاء المائى إلى ٣١ ضغط جوى ؛ حيث يصعب فقد الماء من التربة بالتبخر بعد ذلك تحت الظروف العادية . ويعرف هذا الحد بالمعامل الهيجروسكوبى ، كما يعرف الماء الذى تحتفظ به التربة حيثئذ 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 التي سبق شرحها فى شكل (٨ - ١٣) .



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

كما يبين شكل (٨ - ١٤) كيف أن الماء المحصور بين قوتى شد ٣١ وضغط جوى و ١/٣ ضغط جوى - أى ما بين المعامل الهيجروسكوبى والسعة الحقلية - 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 - ١٤) : المستويات المختلفة من الرطوبة الأرضية وتحرك الماء فى التربة (عن بكمان ويرادى ١٩٦٠) .

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

١ - الماء الهيجروسكوبى Hygroscopic Water :

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

٢ - الماء الشعري 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 - الماء الحر Gravitational Water :

هو الماء الزائد عن الماء الشعري والهجروسكوبي ، والذي 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 الأرضي حسب تسره للنبات كما يلي :

١ - ماء غير ميسر للنبات Unavailable Water .

٢ - ماء ميسر للنبات Available Water .

٣ - ماء زائد Superfluous Water أو الماء الحر .

يتصرف الماء الزائد سريعاً بعيداً عن منطقة الجذور عند توفر صرف جيد ، ويكون انصرافه بسرعة كبيرة فى الأراضى الرملية بالمقارنة بالأراضى الطينية ، فقد يستغرق ذلك يوماً واحداً 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 تفصيلاً .

السعة الحقلية . ونقطة الذبول الدائم . والماء الميسر

السعة الحقلية

السعة الحقلية Field Capacity هي النسبة المئوية للرطوبة المتبقية في التربة بعد صرف الماء الزائد الذي يتحرك بفعل الجاذبية الأرضية . وبرغم صعوبة تقدير السعة الحقلية لعدم وجود حد فاصل على المنحنى الذي يبين العلاقة بين النسبة المئوية للرطوبة في التربة مع الزمن ، إلا أنها تستعمل بكثرة للدلالة على كمية الماء الصالحة لاستعمال النبات في 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 - عادة - بعد يومين من الري الذي يكفى لبل التربة إلى العمق الذي يراد اختباره ، إلا أنه تجدر ملاحظة أن كثيرا من العوامل تؤثر على دقة التقدير ؛ مثل : درجة الحرارة ، وسرعة تبخر الماء من سطح التربة ، ومقدارالنمو النباتي ، 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 الري 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 أحيانٍ 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 الطينية ، و ١٧ ٪ فى الأراضى الطينية .

نقطة الذبول الدائم

نقطة الذبول الدائم Permanent Wilting Point هي 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 ،
والتي تشتد فيها الرياح الساخنة برغم توفر الرطوبة الأرضية ؛ حيث لا يستطيع النبات
امتصاص الرطوبة بالسرعة التي يفقدها بها ، ولكنه يستعيد حالته ليلاً أو فى المساء عند
انخفاض درجة الحرارة . وتختلف النسبة المثوية للرطوبة عند نقطة الذبول الدائم
حسب طبيعة النبات ، ودرجة الحرارة ، ودرجة تعمق الجذور .

ويصل النبات إلى حالة الذبول الدائم - عادة - بعد فترة تتراوح بين أسبوع وأربعة
أسابيع من الري فى الأراضي الرملية والطينية على التوالي ، 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 . وعموماً .
فالمعدل العام للشد الرطوبى عند نقطة الذبول الدائم هو ١٥ ضغط جوى . وعند هذه
النقطة يؤدي أى تغير - ولو كان طفيفاً - فى نسبة الرطوبة إلى إحداث تغيرات كبيرة فى
قوة الشد الرطوبى .

وتبلغ النسبة المثوية للرطوبة (على أساس الوزن الجاف) عند نقطة الذبول نحو
٢ ٪ فى الأراضي الرملية ، و ٥ ٪ فى الأراضي الطينية ، و ٨ ٪ فى الأراضي
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 المثوية للرطوبة عند السعة
الحقلية والنسبة المثوية 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
Water ، ويبلغ ٧٥ ٪ من الماء الميسر ، والباقى - وقدره ٢٥ ٪ - أقل تيسراً .

هذا . . . وتأثر نسبة الماء الميسر بالعوامل التالية :

١ - 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 - كمية الأملاح بالتربة حيث يقل الماء الميسر بزيادة الأملاح .

٣ - 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 - بسهولة - بالمعادلة التالية :

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

حيث إن :

. AWC = الماء الميسر Available Water Capacity

. FC = السعة الحقلية Field Capacity

. ASG = الكثافة النوعية الظاهرية للتربة Apparent Specific Gravity

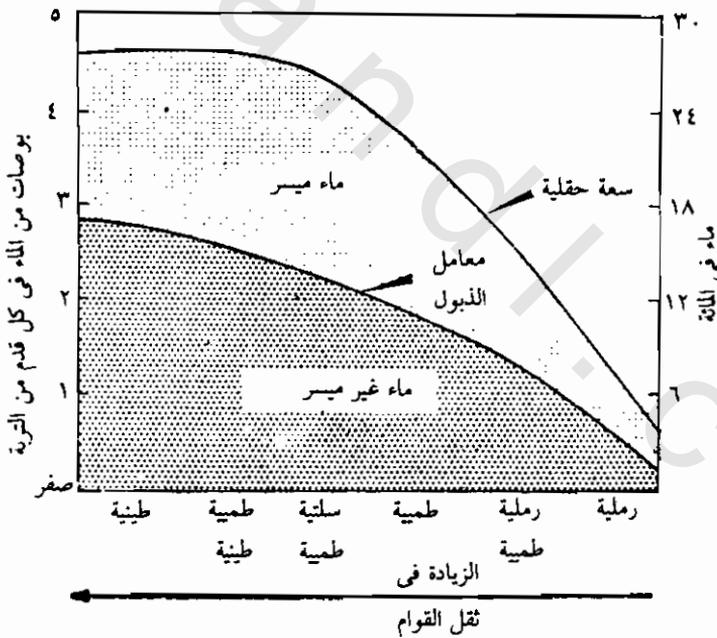
. D = عمق التربة Depth الذى تقدر فيه الرطوبة .

ويقدر الماء الميسر - عادة - 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 $1/12$ أو $0,83$. يمكن تحويلها حسب الرغبة إلى أى وحدة قياس ؛ فهي تساوى ١ بوصة/قدم ، أو ١ سم/١٢ سم ، 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 الأراضي 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 - ١٥) .



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

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —————

ويمكن القول إجمالاً إن نسبة الماء الميسر لامتصاص النبات (% من حجم التربة) تبلغ :

١ - أقل من ١٢,٥ % فى الأراضى : الرملية الخشنة Coarse Sand ، والرملية الخشنة الطميية Loamy Coarse Sand ، والطينية الرملية الخشنة Coarse Sandy loam .

٢ - من ١٢,٥ % إلى ٢٠ % فى الأراضى : الرملية الطميية Loamy Sand ، والطينية Clay ، والطينية الرملية Sandy Clay ، والطينية السلتية Silty Clay ، والطينية الطينية Clay Loam ، والطينية السلتية الطينية Silty Clay Loam ، والطينية Loam .

٣ - أكثر من ٢٠ % فى الأراضى : الطميية الرملية الناعمة جداً Very Fine Sandy Loam ، والطينية السلتية Silty Loam ، والبيت Fordham &) Peaty Soil (Biggs ١٩٨٥) .

ويبين جدول (٨ - ١٥) الخصائص المائية لبعض أنواع الأراضى ؛ متضمنة : نسبة الرطوبة - على أساس الوزن الجاف للتربة - 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 - كما تقاس كمية مياه الأمطار (بالسلم 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 .

المتوسط العام والمدى (بين قوسين) في الأراضي المختلفة القوام

الخاصية (أ)	الرملية	الرمليّة الطميية	الطميية	الطينية الطميية	الصلتية الطميية	الطينية
الوزن النوعي الظاهري (As)	١,٦٥	١,٥	١,٤٠	١,٣٥	١,٣٠	١,٢٥
Apparent . Spec . Grav .	(١,٨٠ - ١,٥٥)	(١,٦٠ - ١,٤٠)	(١,٥٠ - ١,٣٥)	(١,٤٠ - ١,٣٠)	(١,٣٥ - ١,٢٥)	(١,٣٠ - ١,٢٠)
السعة الحقلية FC (%)	٩	١٤	٢٢	٢٧	٣١	٣٥
Field Capacity	(١٢ - ٦)	(١٨ - ١٠)	(٢٦ - ١٨)	(٣١ - ٢٣)	(٣٥ - ٢٧)	(٣٩ - ٣١)
معامل الذبول PWP (%)	٤	٦	١٠	١٣	١٥	١٧
Permanent Wilt . Point	(٦ - ٢)	(٨ - ٤)	(١٢ - ٨)	(١٥ - ١١)	(١٧ - ١٣)	(١٩ - ١٥)
الماء اليسر:						
على أساس الوزن الجاف للتربة (%)	٥	٨	١٢	١٤	١٦	١٨
$P_w = FC - PWP$	(٦ - ٤)	(١٠ - ٦)	(١٤ - ١٠)	(١٦ - ١٢)	(١٨ - ١٤)	(٢٠ - ١٦)
على أساس حجم التربة (%)	٨	١٢	١٧	١٩	٢١	٢٣
$P_v = P_w A_s$	(١٠ - ٦)	(١٥ - ٩)	(٢٠ - ١٤)	(٢٢ - ١٦)	(٢٣ - ١٨)	(٢٥ - ٢٠)
على أساس سم / سم عمقا	٢,٥	٣,٥	٥	٥,٧٥	٦,٢٥	٦,٧٥
$d = \frac{P_w}{100} AsD$	(٣,٠ - ٢,١٠)	(٤,٥ - ٢,٧٥)	(٥,٧٥ - ٤,٢٥)	(٦,٥ - ٥,٠)	(٧,٠ - ٥,٥)	(٧,٥ - ٦,٠)
النفذية (سم / ساعة)	٥	٢,٥	١,٢٥	٠,٧٥	٠,٢٥	٠,٥
Infiltration	(٢٥ - ٢,٥)	(٧,٥ - ١,٢٥)	(٢,٠ - ٠,٧٥)	(١,٥ - ٠,٢٥)	(٠,٥ - ٠,٢٥)	(١,٠ - ٠,١٢٥)
المسامية (%)	٢٨	٤٣	٤٧	٤٩	٥١	٥٣
Total Pore Space	(٤٢ - ٢٢)	(٤٧ - ٤٠)	(٤٩ - ٤٣)	(٥١ - ٤٧)	(٥٣ - ٤٩)	(٥٥ - ٥١)

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

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

- ١ - محاصيل سطحية الجذور . . تشمل : الفاصوليا (٥٠ - ٧٠ سم) ، والبروكولى (٤٠ - ٦٠ سم) ، والكرنب (٤٠ - ٥٠ سم) ، والقنبيط (٣٠ - ٦٠ سم) ، والخس (٣٠ - ٥٠ سم) ، والبصل (٣٠ - ٥٠ سم) ، والبطاطس (٤٠ - ٦٠ سم) ، والأرز (٥٠ - ٧٠ سم) والسبانخ (٣٠ - ٥٠ سم) .
- ٢ - محاصيل ذات جذور متوسطة التعمق فى التربة . . وتشمل : الشعير (١٠٠ - ١٥٠ سم) ، والجزر (٥٠ - ١٠٠ سم) ، والبرسيم (٦٠ - ٩٠ سم) ، والباذنجان (٩٠ - ١٢٠ سم) ، والحبوب النجيلية الصغيرة (٩٠ - ١٥٠ سم) ، والبسلة (٦٠ - ١٠٠ سم) ، والفلفل (٥٠ - ١٠٠ سم) ، والبطاطا (١٠٠ - ١٥٠ سم) ، والطماطم (٧٠ - ١٥٠ سم) ، والبطيخ (١٠٠ - ١٥٠ سم) .
- ٣ - محاصيل متعمقة الجذور . . وتتضمن : البرسيم الحجازى (١٠٠ - ٢٠٠ سم) ، والقطن (١٠٠ - ١٧٠ سم) ، والفاكهة المتساقطة الأوراق (١٠٠ - ٢٠٠ سم) ، والذرة (١٠٠ - ٢٠٠ سم) ، والذرة الرفيعة (١٠٠ - ٢٠٠ سم) ، وقصب السكر (١٠٠ - ١٢٠ سم) .

هذا . . إلا أن امتصاص الجذور للماء لا يكون متساوياً على امتداد النمو الجذرى فى مختلف أعماق التربة ، ولكنه يقل تدريجياً ؛ حيث يبلغ استنفاد الجذور لما تحويه 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 استنفاد للماء يقدر بنحو ٥٠ ٪ من الماء الميسر للامتصاص فى التربة فى الحيز الذى ينتشر فيه المجموع الجذرى .

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

يمكن أن تحتفظ بها التربة وتكون ميسرة لامتصاص النبات في منطقة النمو الجذرى .
ويتوقف معدل الري - أو الفترة بين الريات - على سرعة استنفاد 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 يلي :

١ - نباتات محبة للرطوبة Hydrophytes :

وهي التي تعيش في الماء أو تحتاج إلى توفر الرطوبة الأرضية دائماً بكميات كبيرة ؛
ومن أمثلتها في محاصيل الخضر : القلقاس ، والكرسون المائي .

٢ - نباتات متوسطة في احتياجاتها إلى الماء Mesophytes :

وهي التي تتعرض للذبول إذا فقدت نحو ٢٥ ٪ من محتواها الرطوبي ، وتشمل
معظم النباتات المزروعة ؛ مثل : الطماطم ، والفلفل وغيرهما .

٣ - نباتات تتحمل ظروف الجفاف Xerophytes :

وهي التي لا تتعرض للذبول إلا بعد أن تفقد من ٥٠ - 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 الرطوبي لفترات أطول إذا قورنت بنباتات
الفاصوليا العادية وفول الصويا بسبب قدرتهما على الاحتفاظ بالرطوبة بأنسجتهما لفترة
أطول .

التغيرات الفسيولوجية المصاحبة للتغيرات في الرطوبة الأرضية

نوجز فيما يلي الحالة الفسيولوجية التي تكون عليها النباتات في المستويات المختلفة
من الرطوبة الأرضية :

أولاً : عندما تكون الرطوبة الأرضية مناسبة :

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

- ١ - تكون الخلايا متنفخة Turgid .
- ٢ - تكون الثغور مفتوحة .
- ٣ - ينفذ ثانى أكسيد الكربون بسرعة إلى الأوراق .
- ٤ - يكون معدل التمثيل الضوئى عالياً .
- ٥ - يكون معدل التنفس عادياً .
- ٦ - يتوفر كثير من المواد الكربوهيدراتية للنمو .

ثانياً : عندما تكون الرطوبة الأرضية أقل من اللازم :

يقبل حينئذ امتصاص الماء ، ويتبع ذلك ما يلى :

- ١ - يقل انتفاخ الخلايا الحارسة .
- ٢ - تقل مساحة الثغور .
- ٣ - يقل معدل تمثيل الغذاء ؛ وإن كان ذلك أمراً مشكوكاً فيه .
- ٤ - يقل النمو والمحصول ، وتعيش النباتات على الغذاء المخزن .
- ٥ - تقل المقاومة لأضرار البرودة فى حالة النباتات التى تبقى خلال فصل الشتاء .

ثالثاً : عندما توجد زيادة فى الرطوبة الأرضية :

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

- ١ - زيادة فى حجم الخلايا ، وزيادة طول النبات ، وتكون البادرات طويلة ورهيفة leggy .
- ٢ - ظهور تشققات النمو growth cracks ، كما فى الطماطم والبطاطا .

حالات الذبول الفسيولوجى

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

أولاً : 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 .

ثانياً : الذبول الناشئ عن زيادة ملوحة التربة :

يحدث نتيجة لزيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى ، كما يظهر أحياناً 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 .

ثالثاً : 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 .

رابعاً : الذبول الناشئ عن نقص الرطوبة الأرضية :

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

خامساً : الذبول الناشئ عن انخفاض درجة حرارة التربة :

يحدث ذلك عند انخفاض درجة حرارة التربة - بالرغم من توفر الرطوبة بها - خاصة وسط النهار عندما تكون الشمس ساطعة ؛ حيث يزداد النتح عن مقدرة النبات على امتصاص الرطوبة ؛ نظراً لأن الحرارة المنخفضة تؤدى إلى ما يلى :

- ١ - نقص الطاقة الحركية Kinetic energy للماء الأرضى .
 - ٢ - زيادة لزوجة الماء الأرضى .
 - ٣ - زيادة درجة التوتر السطحي للماء الأرضى .
وجميعها عوامل تقلل من حركة الماء فى التربة .
 - ٤ - نقص نفاذية خلايا النبات للماء .
 - ٥ - زيادة لزوجة بروتوبلازم الخلايا .
 - ٦ - نقص استطالة الجذور .
 - ٧ - نقص النشاط الحيوى لأنسجة الجذر .
وجميعها عوامل تقلل من امتصاص الجذور للماء .
- وأكثر الخضر تأثراً 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 - غالباً - من خلال حدوث نقص فى المساحة الورقية ، وخفض النشاط الأيضى ، وغير ذلك من الظواهر التى توصف مجتمعة باسم Cryptobiosis . وترتبط تلك الظواهر - عادة - 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 (Desiccation) ، 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 الآسوموزى لخلايا النبات بالقدر
 الذى يسمح باستمرار امتلائها (Cell Turger) ، وتوسعها (Cell Expansion) ، ونموها
 (عن Parsons 1979 ، و Hasegawa وآخرين 1984) .

معادلات تقدير المحصول تحت ظروف الجفاف

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

$$W = mT/E_0$$

حيث إن :

$$W = \text{المحصول البيولوجى} .$$

$$m = \text{ثابت خاص بالنبات} .$$

$$T = \text{النتح الخاص بالمحصول Crop Transpiration} .$$

$$E_0 = \text{التبخر السطحى والنتح الممكنان للمحصول Potential Evapotranspiration} .$$

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

أما المحصول الاقتصادي فيقدر بالمعادلة التالية :

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

حيث إن :

$EY =$ المحصول الاقتصادي .

$WUE =$ 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 الاقتصادي كنسبة مئوية من الوزن الجاف الكلى للنبات ، ويقدر بالمعادلة التالية :

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

علاقة العنظيم الآسوزى بعحمل الجفاف

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

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

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

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

٣ - هذا . . بينما تبط نشاط إنزيم Proline Oxidase - تحت ظروف الشد الرطوبي - بدرجة أعلى بكثير في الجذور منها في الأوراق .

ويتراكم البيتين Betaine - كذلك - بطريقة مماثلة للبرولين في ظروف الشد الرطوبي ، وهو يُصنَع من السيرين Serine (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

ارتباط درجة حرارة الأوراق بتحمل الجفاف

ترتبط درجة حرارة الأوراق - تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية - ارتباطاً وثيقاً بمعدل النتح ، الذى يكون - بدوره - دليلاً على مدى قدرة النبات على امتصاص الرطوبة اللازمة لاستمرار عملية النتح .

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

خاصية الشد الرطوبي

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 :

$$\Psi_p = \text{Turgor Potential} \text{ أو جهد امتلاء الخلايا .}$$

$$\Psi_\pi = \text{Osmatic Potential} \text{ أو الجهد الأسموزى .}$$

$$\Psi_m = \text{Matric Potential}$$

ينشأ الجهد الأسموزي عن طريق الأجسام الذائبة ، سواء أكانت جزيئات ، أم أيونات . وينشأ الـ *matric potential* نتيجة لالتصاق الماء بالأسطح ؛ حيث تكون جزيئات الماء أكثر انتظاماً وترتيباً ؛ معطية جزءاً 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 التي تحتفظ بالماء في نظام مغلق - مثل الفجوات العصارية - للقذف بجزيئات الماء . ويكون جهد الامتلاء - عادة - موجبا ، ويؤاوجه بالأغشية الخلوية أو الجدر الخلوية ، أو بالضغط الهيدروستاتيكي الذي ينشأ بسبب تأثير الجاذبية على أعمدة الماء في نسيج الخشب .

ويعد الحفاظ على خاصية امتلاء الخلايا بالماء *turgor* ضرورياً للنمو ، وإذا انخفض الامتلاء فإن أعراض الذبول قد تظهر على النباتات . ويعد جهد الامتلاء أول مكونات جهد الماء التي تتأثر بنقص الرطوبة الأرضية .

ومع فقدان الماء من التربة بالصرف ، أو بالتبخر السطحي ، أو بامتصاص الجذور له ، فإن استمرارية وجود الماء السائل - المتحرك في التربة - تقل تدريجياً إلى أن تتوقف ؛ فيبقى بعض الماء على سطح حبيبات التربة ، ويتحول بعضه الآخر إلى بخار ماء ينتشر في الفراغات التي توجد بين حبيبات التربة . ومع زيادة فقد الماء من التربة يصبح المتبقى منه أكثر التصاقاً على سطح حبيبات التربة . ويمكن القول إن جهد الماء *water potential* يقل تدريجياً إلى أن يصل إلى نقطة لا تتمكن عندها الجذور من امتصاص الماء لتعويض ما يفقد منه بالتتح ، أو يستنفذ في العمليات الحيوية الأخرى . وحينئذ قد يذبل النبات ولا يعود إلى حالته الطبيعية حتى لو أوقف التتح بوضع النبات في رطوبة نسبية عالية . وفي حالات كهذه يكون النبات قد ذبل بصورة دائمة ، وتكون الرطوبة الأرضية عند نقطة الذبول الدائم *Permanent Wilting Point* .

يتراوح الجهد المائي في التربة عند نقطة الذبول الدائم بين - ١,٠ و - ٢,٠ ميجاباسكال (*megapascals*) الميجاباسكال وحدة قياس للضغط تأخذ الرمز *MPa* وتعادل ١٠ ضغط جوى) . وعموماً فإن الجهد المائي في التربة يتراوح أثناء النمو النباتي من - ٠,٣ ميجاباسكال ونقطة الذبول الدائم (- ١,٥ ميجاباسكال) .

كيفية وصول الماء الأرضى إلى الجذور تحت ظروف الشد الرطوبى

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 :

$$V = K \frac{\text{change in total } \Psi_w \text{ in soil in cm H}_2\text{O}}{\text{change in depth or distance}}$$

حيث إن :

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

K = معامل التوصيل الهيدروليكي 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 ميغاباسكال فإن قيمة K تنخفض بسرعة إلى ١,٠ ٪ 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 matric potential فى الجهد المائى ، مقارنة بإسهام الجهد الأسموزى . وتحت هذه الظروف يصبح تحرك بخار الماء أمراً هاماً . 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 بيئياً ديناميكياً تزداد فيه

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر ———
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 - وخاصة النجيليات - مادة صمغية هلامية عند القلنسوة
المحيطة بالقمة النامية للجذر . وتتكون تلك المادة من معقد من عديدات التسكر التى
تتكاثر عليها البكتيريا ؛ مما يؤدي إلى تحلل القلنسوة الجذرية ؛ ليتكون غيرها . . .
وهكذا . ويؤدي 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 الشد الرطوبى

يمكن تقسيم درجات الشد الرطوبى كما يلى :

١ - شد بسيط mild stress :

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

٢ - شد معتدل Moderate Stress :

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

٣ - شد شديد Severe Stress :

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

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

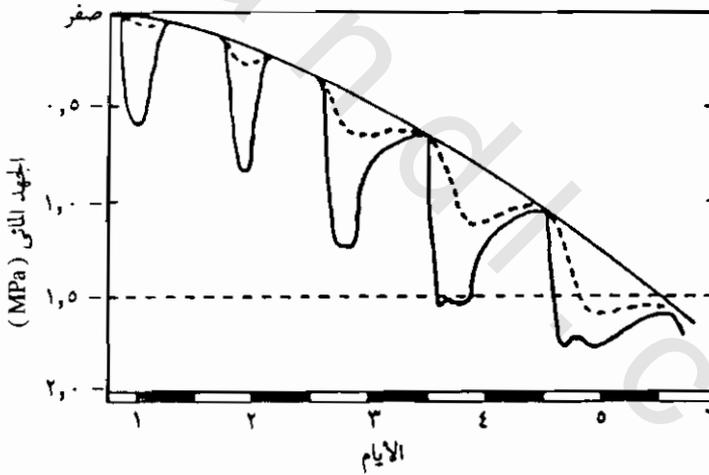
١ - الأنسجة الميرستيمية بفعل ما تقوم بتمثيله من مركبات خلوية ، وخاصة البروتين .

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

٣ - الأوراق بفعل ما تقوم بتصنيعه من غذاء .

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

يزداد الشدّ الرطوبى مع ازدياد النقص فى الرطوبة الأرضية كما أسلفنا . ويبين شكل (٨ - ١٦) تطور الشد الرطوبى فى نبات نام فى تربة مشبعة بالماء ثم تعرضت للجفاف التدريجى لمدة عدة أيام . نلاحظ فى الشكل وجود دورات يومية للتغيرات فى الجهد الرطوبى فى كل من الأوراق - التى تنتج أثناء النهار - والجذور ، بالإضافة إلى نقص مستمر فى الجهد الرطوبى فى التربة .



شكل (٨ - 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 في الجهد المائي بالنبات بسبب تأخر امتصاص الجذور للماء مقارنة بفتحها من الأوراق . وعند نقطة الذبول الدائم نجد أن الجهد المائي بالأوراق يكون أقل من الجهد المائي في التربة ؛ حيث لا يمكن للماء أن يتحرك إلى الجذور بالسرعة الكافية للتغلب على نقص الرطوبة في النبات ، حتى لو كانت الثغور مغلقة .

وتحدث الدورة اليومية للشد الرطوبي نتيجة للدورة اليومية للنتح . فعند انغلاق الثغور ليلاً يستمر امتصاص الماء من التربة . وفي بداية مرحلة الجفاف نجد أن نقص الماء في النبات - نتيجة للنتح نهاراً - يتم تعويضه في بداية فترة الظلام ، ولكن - مع تقدم حالة الجفاف - يصبح الماء الأرضي أقل تيسراً ، ويكون تعويض النقص في الماء في النبات أبطأ بصورة متزايدة إلى أن نصل إلى نقطة الذبول الدائم ، وهي التي لا يمكن عندها تعويض هذا النقص (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

العوامل المؤثرة في تأقلم النباتات على ظروف الشد الرطوبي

يتأثر مدى تأقلم النباتات على ظروف الشد الرطوبي بالعوامل التالية :

- ١ - سرعة تطور حالة الشد الرطوبي :
حيث يسمح نقص في الجهد المائي (قدره - ٠,١ إلى - ٠,٥ ميجاباسكال يوميا) بحدوث التأقلم ، بينما يكون الشد المائي أسرع من أن يحدث معه التأقلم إذا تراوح النقص في الجهد المائي بين - ١,٠ و - ١,٢ ميجاباسكال يوميا .
- ٢ - درجة الشد :
حيث يمكن الإبقاء على حالة الامتلاء الكامل full turgor في المراحل المبكرة من التعرض للشد الرطوبي ، ولكن تلك القدرة تقل مع استمرار حالة الشد .
- ٣ - العوامل البيئية :
يكون للعوامل المؤثرة على سرعة الجفاف - مثل الحرارة وشدة الإضاءة - دور مباشر ، بينما يكون للعوامل المؤثرة على معدل البناء الضوئي دور غير مباشر .
- ٤ - الاختلافات الوراثية بين الأصناف والأنواع النباتية .
- ٥ - 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 كثيراً 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 تأثراً حامض الأبسيسيك ، والسيتوكينينات ، والإيثيلين ، التى تتحكم فى التوازن المائى ، بينما يتأثر إندول حامض الخليك والجبريلينات بدرجة أقل .

١ - 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 - الجبريلينات :

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

٣ - الإيثيلين :

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

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

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

٤ - السيتوكينينات :

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

٥ - حامض الأبسيسيك :

يؤدى الشد الرطوبى إلى زيادة تركيز حامض الأبسيسيك . وقد وجد ذلك فى عديد من النباتات ؛ منها : الأفوكادو ، وعباد الشمس ، والفاصوليا ، والذاتورة ، والقمح . ويلعب الحامض دوراً هاماً فى التحكم فى فتح الثغور وانغلاقها ؛ حيث يمكن أن يؤدي إلى انغلاقها أو منع انفتاحها . ويظهر ذلك التأثير جلياً 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 الشد الرطوبى

تلعب ثلاثة هرمونات نباتية دوراً هاماً فى النبات أثناء تعرضه للشد الرطوبى . فنجد أن الشد الرطوبى يحدث 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 - الذى يمكن أن يحفز تمثيل الإيثيلين - ينخفض تركيزه ؛ الأمر الذى يزيد من حدة النقص فى تركيز الإيثيلين .

ويعد أحد أدوار حامض الأبسيسيك التأثير على نفاذية الأغشية الخلوية للخلايا الحارسة ؛ حيث تؤدي زيادة تركيزه - في ظروف الشد الرطوبي - إلى إغلاق الثغور جزئياً أو كلياً .

وقد يؤدي استمرار الشد الرطوبي لفترة طويلة إلى سقوط الأوراق . وفي حالات كهذه . . قد يكون تمثيل الإيثيلين هو أهم العمليات الحيوية ؛ حيث تؤدي زيادة تركيزه إلى نقص انتقال الأوكسين من نصل الورقة إلى طبقة الانفصال في عنق الورقة . ويؤدي سقوط الأوراق إلى نقص المساحة الورقية ؛ الأمر الذي يجعل النبات أكثر قدرة على إعادة أقلمة نفسه على ظروف الشد الرطوبي (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

تأثير الشد الرطوبي على عملية البناء الضوئي

تعتبر كمية الماء التي يحتاج إليها النبات في عملية البناء الضوئي قليلة جداً إذا ما قورنت بما يحتاج إليه النبات لاستمرار نموه ونشاطه البيولوجي . وعلى ذلك . . فإن عملية البناء الضوئي لا تتوقف عند نقص الرطوبة الأرضية بسبب التأثير المباشر لنقص الرطوبة ، وإنما يكون مرد ذلك إلى تأثيرات غير مباشرة ؛ منها حالة الجفاف hydration التي تحدث للبروتوبلازم وإغلاق الثغور ، فيؤدي جفاف البروتوبلازم إلى التأثير على تركيبه الغروي ، ومن ثم تتأثر كل العمليات الحيوية التي تجري فيه ، وخاصة النشاط الإنزيمي .

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

هذا . . إلا أن نقص الرطوبة الأرضية أدى في الظمائم إلى نقص كفاءة عملية البناء الضوئي ؛ وذلك بسبب التأثير السلبي لنقص الرطوبة الأرضية على قدرة كل من الثغور (stomatal conductance) ، وخلايا الميزوفيل (Mesophyll Conductance) على التوصيل ، ونقص الجهد الرطوبي في النبات (Xu وآخرون ١٩٩٤) .

ومن المعروف أن زيادة الجهد الرطوبي في النبات تؤدي إلى زيادة تمثيل حامض الأبسيسيك Abscisic Acid ، وهو هرمون ذو تأثير على الجهد الأسموزي للخلايا

العوامل الأرضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر —

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

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

وسائل زيادة قدرة النباتات على تحمل الشد الرطوبى

يمكن زيادة قدرة النباتات على تحمل الشد 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 - وهو خفض معدل النتح - ما يلى :

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

٢ - استخدام المركبات الكيميائية التى تغلق الثغور جزئياً أو كلياً .

٣ - استخدام مشبطات 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 المتاح .

٤ - 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 البوليثلين 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 وثنائى أكسيد الكربون . وتعمل هذه المركبات على خفض النتح بنسبة ٣٠٪ - ٥٠٪ عندما تكون تغطيتها للأسطح النباتية بنسبة ٥٠٪ .

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

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

كما وجد أن حامض الأبسيسيك ومضادات الستوكينينات يعملان معا بكفاءة أكثر من أن يعمل كل منهما منفردا (تعمل تداوياً Synergistically) .
ومن المركبات التى استخدمت لتغيير الشكل الظاهرى للنباتات - بهدف تقليل النتح - 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) .

العوامل الارضية وتأثيرها على نمو وتطور محاصيل الخضر

ومن أهم المركبات التي تتحكم في حركة الثغور مشبطات 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 » التي ينقصها حامض الأبسيسيك تكون بطيئة النمو ، وأقل وزناً وأقل ارتفاعاً ، وأسرع ذبولاً تحت ظروف الجفاف ، وذات محتوى رطوبى أقل من نباتات البسلة العادية ، وقد ارتبطت هذه الأعراض بتغيرات غير طبيعية في العلاقات المائية بالنبات (عن Bruijn وآخرين ١٩٩٣) .

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

مضادات التثح

تستخدم مضادات التثح Anti-transpirants - كما أسفلنا - بهدف زيادة مقاومة فقد الماء من الأسطح الورقية ، إما بتكوينها حاجز فيزيائى (غشاء) ، وإما بتحفيظها 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 ، ومكوناً حاجزاً فيزيائياً يمنع - أو يخفف - فقد بخار الماء من الورقة ، كما يزيد الغشاء كثيراً من مقاومة فقد الماء من خلال الثغور ، ولكن تأثيره يكون قليلاً 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 التثح المكونة للأغشية (مستحلب شمعى ، و epoxy - linseed oil emulsion بتركيز ١,٢٥ ٪ لآى منهما)

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

أما المركبات التى تؤدي إلى انغلاق الثغور أو تثبيط انفتاحها فإنها إما أن تؤثر - بصورة غير مباشرة - من خلال عملها كمثبطات أيضا 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 - D 2,4 .

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) .

فسولوجيا الاستجابة لارتفاع منسوب الماء الأرضى (ظروف الغدق)

يبلغ معدل انتشار الأكسجين فى الماء ٠,٠١ ٪ من معدل انتشاره فى الهواء ؛ ولذا ينخفض - كثيرا - معدل توفر الأكسجين للجذور فى الأراضى الغدقة . ويتوفر الهواء فى نحو ١٠ ٪ - ٣٠ ٪ من المسافات البينية بين حبيبات التربة عند السعة الحقلية ، ولكن هذه النسبة تنخفض - تدريجيا - بزيادة الرطوبة عن السعة الحقلية ، إلى أن يندم الهواء تماما عندما تكون التربة مشبعة بالماء ، وهى التى تعرف بالتربة الغدقة flooded أو التربة « المطبلة » 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 - نقص النمو النباتى الجذرى والقمى .
- ٢ - اصفرار الأوراق السفلى للنبات .
- ٣ - ظهور انحناء لأسفل epinasty واضح بأنصال الأوراق .

- ٤ - تكون جذور عرضية فى بعض النباتات ، كما فى الطماطم .
 - ٥ - ذبول الأوراق ، مع إغلاق جزئى أو كلى للشغور .
 - ٦ - نقص إنتاج المادة الجافة ، وضعف المحصول .
- وأول ما يصاحب هذه الأعراض زيادة فى إنتاج الإيثيلين فى سيقان وأوراق النباتات .

وربما يرجع التضخم الذى يلاحظ أحيانا بقواعد السيقان وتكون 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 ارتفاع 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 - أساساً - ظاهرة نمو يلزم معها أن تكون الخلايا منتفخة turgid وطبيعية .

ومن المعروف أن تعرض النباتات للإيثيلين يحدث 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 البنزوثيرياديازول benzothiadiazol) تمنع حدوث الـ epinasty عند التعرض للغدق . وقد لوحظ أن معاملة نباتات الطماطم بالـ ethephon مع ماء الري قد أحدثت تأثيراً مماثلاً لتأثير الغدق (Bradford & Yang ١٩٨١) .

ويستدل من دراسات Singh وآخرين (١٩٩١) - على الفاصوليا - على أن تعريض النباتات للغدق - ولو لمدة يوم واحد - يقلل معدل البناء الضوئى ، وينقص الوزن الجاف للنبات ، ويتوقف مدى الانخفاض فىهما على مدة التعرض للغدق .

الاساس الفسيولوجى لاعراض 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 - فى هذه الظروف - 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) - على الطماطم - أن تعريض النباتات للغدق يؤدى إلى زيادة تركيز الكحول الإيثيلى فى أوعية الخشب ، وأن تركيز الكحول كان متناسباً مع شدة النقص فى الأوكسجين الذى تتعرض له الجذور من جرّاء الغدق .

ويؤدى نقص الطاقة الميسرة للجذور إلى نقص امتصاص الماء والعناصر الغذائية وانتقالها فى النبات . كما يؤثر اختلال النشاط الأيضى فى الجذور - سلبياً - على التوازن الهرمونى فى النمو القمى ، وعلى تمثيل الجبريلينات والستوكينينات 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 - التى تحدث فى النباتات تحت ظروف الغدق - الزيادة الكبيرة فى تركيز الإيثيلين . وقد تبين أن تركيز مركب 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (يكتب اختصاراً : ACC) يزيد فى الطماطم تحت ظروف الغدق ، وهو الذى يتحول فى النباتات إلى إيثيلين ، بينما يقل أو يشبط تحوله إلى إيثيلين فى الظروف الهوائية ؛ لذا . . يعتقد أنه يتراكم فى الجذور تحت ظروف الغدق ، ثم ينقل إلى النموات الخضرية (التى يتوفر لها الأوكسجين) ، 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) - على الطماطم - أن التأثير الأولى والأساسى للغدق هو حجب الأكسجين عن الجذور ؛ الأمر الذى يكون كافياً لزيادة إنتاج الإيثيلين فى النموات الخضرية . وقد أدت معاملة النباتات بترات الفضة - وهى مثبت لفعال الإيثيلين - قبل تعريضها للغدق إلى منع ظهور حالة التواء أعناق الأوراق إلى أسفل (حالة الـ Epinasty) تماماً ؛ 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 - مثل الحديد والمنجنيز - 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 الأزوت العضوى (الموجود فى المادة العضوية والذى يعتمد عليه النبات كمصدر للنيتروجين) إلى الصورة الغازية ، فيما يعرف بالـ denitrification ، كما تغسل التترات من التربة وتُفقد ؛ بسبب كثرة محتواها الرطوبى ؛ ويترتب على ذلك افتقار النباتات إلى النيتروجين وظهور أعراض نقصه .