الفصل الرابع

المحاليل المغذية

المحاليل المغذية Nutrient Solutions هى محاليل تحتوى على العناصر الغذائية اللازمة للنمو النباتى، وتستخدم فى رى نباتات جميع المزارع اللاأرضية (المائية وغير المائية) ، بدلاً من الماء العادى . وتقترب أغلب المحاليل المغذية فى تركيبها من محلول هوجلاند Hoagland's Solution .

ولا يوجد محلول مغذٍ واحد يمكن أن يقال إنه الأفضل ؛ فكل محلولٍ يصلح فى ظروف خاصة، إلاّ أن هناك شروطًا عامةً يجب أن تتوفر فى المحاليل المغذية تتعلق بنوعية الماء المستعمل فى تحضيرها وتركيز العناصر المختلفة بها وخصائصها من حيث الـ pH ، ودرجة التوصيل الكهربائى (EC) ، والضغط الأسموزى . . . إلخ ، وهذا ما سنتناوله بالشرح فى هذا الفصل .

خصائص الماء المستخدم فى تحضير المحاليل المغذية

يجب أن يكون الماء المستخدم فى تحضير المحاليل المغذية قليل الملوحة . . فيستبعد الماء الذى تزيد درجة توصيله الكهربائى عن ٧٠٠ ميكروموز ، ويفضل ألا تزيد نسبة كلوريد الصوديوم به عن ٥٠ جزءًا فى المليون ، مع أخذ التركيز الكلى للأملاح فى الحسبان . ويمكن عند الضرورة استعمال الماء الذى يصل فيه تركيز الأملاح إلى ٠,٤ ضغط جوى .

ويمكن استعمال الماء العسر قليلاً فى تحضير المحاليل المغذية، وهو الماء الجوفى الذى يمر على طبقاتٍ جيريةٍ ؛ فيحتوى ـ بالتالى ـ على تركيزاتٍ عاليةٍ من كربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنسيوم . ويعبر عن عسر الماء بمحتواه من أيون الكربونات HCO_3^- ، لكن مع زيادة عسر الماء يزداد الـ pH ، وتصبح بعض الأيونات مثل

الحديد غير ميسرة ، وقد يزداد محتواه من أيونات الكالسيوم والمغنسيوم عن المستوى المناسب للنمو النباتى . وفى هذه الحالة يجب عدم استعماله فى تحضير المحاليل المغذية .

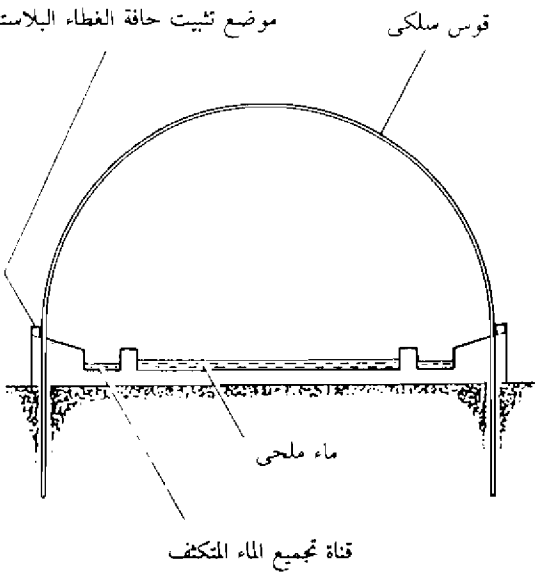
ويمكن عند الضرورة التخلص من الكاتيونات والأنيونات المسببة لعسر الماء بإمرار الماء أولاً فى مرشحات مشبعة بالأيدورجين الذى يحل محل كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم ، ثم يمر على مرشحات أخرى مشبعة بالأيدروكسيد الذى يحل محل أنيونات الكربون والكبريتات والكلوريد . وتعرف هذه العملية باسم Ionization ، ويعرف الماء الناتج باسم Deionized Water ولا تؤدى هذه العملية إلى التخلص من أيون البورون .

ويمكن عادة استخدام ماء الشرب فى تحضير المحاليل المغذية ، إلاّ أن ماء الشرب العسر المعامل بالصوديوم ـ ليحل محل كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم لجعله غير عسر (soft) ـ لايصلح لتحضير المحاليل المغذية لزيادة محتواه من عنصر الصوديوم.

وعندما لا تتوافر المياه السطحية المناسبة لتحضير المحاليل المغذية ، أو عندما تكون المياه الجوفية عاليَة الملوحة ، فإنه يمكن تحلية مياه البحر أو المياه الجوفية الشديدة الملوحة .

١ ـ تقطير المياه بالطاقة الشمسية Solar Distillation :

وأبسط الطرق لتحقيق ذلك هى باستعمال الأنفاق البلاستيكية بالكيفية المبينة فى شكل (٤ ـ ١) . تكون قاعدة النفق عريضةً ، وتملأ بالماء الملحى ، يغطى النفق بشريحة من البوليثيلين المعامل لتحمّل الأشعة فوق النفسجية ، والتى تستند على أقواسٍ سلكية . تؤدى الطاقة الشمسية إلى تبخر الماء ، ليتكثف على السطح الداخلى لغطاء البوليثيلين ، ثم لتنزلق قطراته ، وتتجمع فى مجريين جانبيين منحدرين ؛ ليصل بخار الماء المتكثف فى نهاية الأمر إلى خزانٍ خاصٍّ معدٌّ لهذا الغرض . تُناسب هذه الطريقة المناطق الحارة ، ويلزم معها معاملة السطح الداخلى للغطاء البلاستيكى بمادةٍ تقلل التوتر السطحى لقطرات الماء المتكثفة ؛ بحيث تنزلق سريعًا أولاً بأول . يعيب هذا النظام قلة كمية المياه المتكثفة التى تنتج منه .



شكل (٤ ـ ١) : تقطير المياه بالطاقة الشمسية فى الأنفاق البلاستيكية .

٢ ـ استعمال أجهزة التقطير الكهربائية : تعمل هذه الأجهزة بكفاءة عالية ، وتنتج ماء نقيا بكميات كبيرة ، ولكن تكلفتها الإنشائية والتشغيلية عالية . يعتمد عمل هذه الأجهزة على تبخير الماء ـ تحت ضغطٍ منخفضٍ ـ على حرارة تقل عن ٥٠°م .

٣ ـ التحلية بخاصية الأسموزية العكسية Reverse Osmosis :

عندما يُفصل محلولان مائيان مختلفان فى ضغطيهما الأسموزى ـ كلاهما عن الآخر ـ بغشاء شبه منفذ (غشاء منفذ للمادة المُذيبة وغير منفذ للأملاح المُذابة) ، فإن الماء يمر من المحلول ذى التركيز الملحى المنخفض ـ من خلال الغشاء ـ إلى المحلول ذى التركيز الملحى المرتفع . وإلى أن يتساوى تركيز الملح على جانبى الغشاء فإنه يوجد فرق فى الضغط الأسموزى عبره . ويعتمد مدى هذا الضغط على الفرق بين تركيزى المحلولين . وإذا ما عُرِضَ المحلول ذو التركيز الملحى المرتفع لضغطٍ فيزيائيٍ يزيد على فرق الضغط الأسموزى بين المحلولين ، فإن الماء يتحرك عبر الغشاء شبه المنفذ فى الاتجاه العكسى (أى من المحلول ذى التركيز الملحى المرتفع إلى

المحلول ذى التركيز الملحى المنخفض) . ونظراً لأن الضغط الفيزيائى يعكس حركة الماء التى تحدثها الخاصية الأسموزية ؛ لذا . . فإن هذه العملية تُعرف باسم «الأسموزية العكسية » . ويستعمل لهذا الغرض ـ عادةً ـ غشاء شبه منفذ يصنع من خلات السيليلوز أو من نوع من النايلون يعرف باسم « بولى أمايد polyamide » .

هذا . . وينتج عن هذه العملية محلولان ، يعرف أحدهما باسم « المحلول النافذ Permeate » ، وهو عذب نسبيا، ويحتوى على ٥٪ ـ ١٠ ٪ من نسبة الأملاح الأصلية الموجودة فى الماء الذى تتم تحليته ، بينما يعرف الثانى باسم « المحلول الملحى المركز Concentrate » وهو شديد الملوحة .

٤ ـ نزع الأيونات Deionisation :

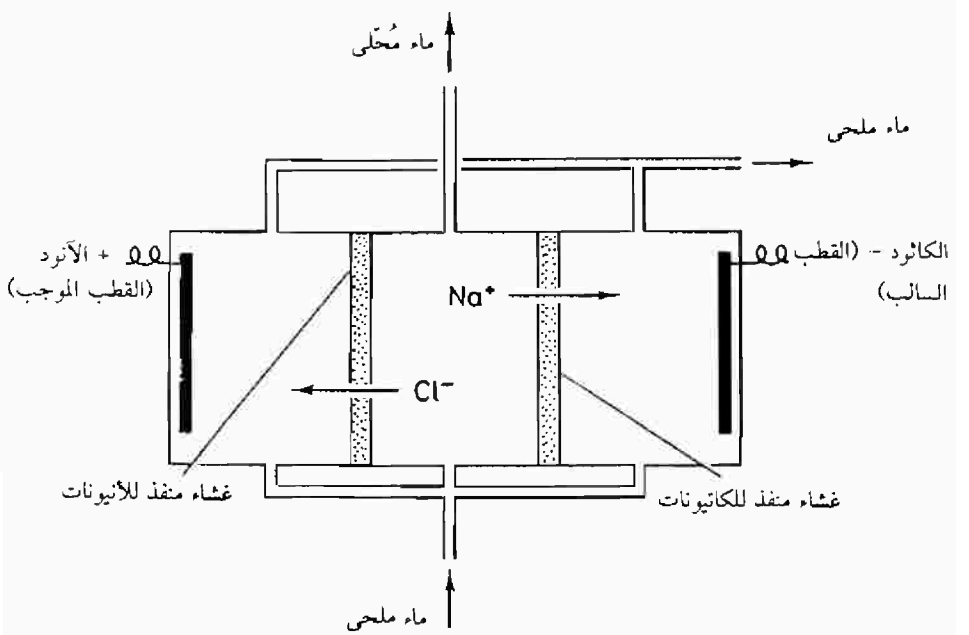
يتم فى هذه الطريقة إزالة الأيونات من الماء ، على عكس طريقة التقطير التى يتم فيها سحب الماء من الأملاح الذائبة . ويجرى ذلك باستعمال أعمدة Columns (أسطوانات) خاصة يحدث فيها تبادل للأيونات ؛ حيث يتم فى بعضها تبادل الكاتيونات مع أيون الأيدروجين ، بينما يتم فى بعضها الآخر تبادل الأنيونات مع أيون الهيدروكسيل ، وعندما تستبدل بجميع الأيونات من هذه الأعمدة أيونات الماء الملحى فإنه يتم تنشيطها من جديد بإمرار محلول مركز من حامض ـ أو قلوى ـ من خلالها ، حسب نوع العمود ؛ حيث يؤدى ذلك إلى إزالة الصوديوم وأية كاتيونات أخرى من أحد الأعمدة ، وإزالة الكلورين وأية أنيونات أخرى من الأعمدة الأخرى وإحلال أيونات الأيدروجين وأيونات الهيدروكسيل بدلاً منهما على التوالى .

يمكن لهذه الأجهزة إنتاج كميات من المياه المنزوع الأيونات تصل إلى ٩٠٠٠ لتر فى الساعة ، وتتوقف تكلفتها على تركيز الأملاح التى توجد فى الماء الذى يُراد تحليته . ويفضل إتباع هذه الوسيلة فى تحلية الماء عندما تقل نسبة الأملاح فيه عن ٨٠٠٠ جزء فى المليون .

٥ ـ الفصل الكهربائى للأيونات (الديلزة الكهربائية) Electrodialysis :

« الديلزة Dialysis » هى خاصية فصل المواد فى المحاليل بالاعتماد على غشاء اختيارى النفاذية يسمح بنفاذ مواد ذائبة معينة من خلاله، ويمنع مرور مواد أخرى ذائبة . أما التحليل الكهربائىElectrolysis فهو الخاصية التى يمكن ملاحظتها عند

مرور تيار كهربائى خلال محلولٍ مائيٍّ ؛ حيث يعمل المحلول على توصيل التيار الكهربائى من القطب الموجب anode إلى القطب السالب cathode ، وتتحرك أثناء ذلك الكاتيونات ـ خلال الماء ـ إلى القطب السالب ، بينما تتحرك الأنيونات تجاه القطب الموجب ، ويسمح الجمع بين خاصيتى الديلزة والتحليل الكهربائى ـ فى الديلزة الكهربائية ـ بتحليه المياه الملحية ؛ حيث يقسم الحوض الذى يحدث فيه التحلل الكهربائى إلى ثلاث حجرات . وبموجب هذا التقسيم تفصل الحجرة الوسيطة عن الكاثود بغشاءٍ اختيارى النفاذية يسمح بمرور أيون الصوديوم ويمنع مرور أيون الكلور ، بينما تفصل هذه الحجرة عن الآنود ـ من الجانب الآخر ـ بغشاءٍ آخر اختيارى النفاذية كذلك ولكنه يسمح بمرور أيون الكلورين ، بينما يمنع مرور أيون الصوديوم . ويحدث نتيجة ذلك تحرك أيونى الصوديوم والكلور ـ من الحجرة الوسطية ـ نحو الكاثود والآنود ، على التوالى ؛ ليصبح الماء فى الحجرة الوسطية منخفضًا كثيراً فى محتواه من الأملاح (شكل ٤ ـ ٢) (عن Cooper ١٩٧٩) .



شكل (٤ ـ ٢) : عملية « الديلزة » الكهربائية Electrodialysis .

التركيز الكلى للأملاح فى المحاليل المغذية

مصادر الأملاح . ومستواها المناسب . وأضرار زيادتها

يوجد بالمحاليل المغذية مصدران للأملاح ؛ هما : الأسمدة المذابة ، والأملاح الموجودة أصلاً فى الماء المستعمل فى تحضير المحلول المغذى. وكلما انخفضت نسبة الأملاح فى الماء، أمكن زيادة تركيز الأسمدة ؛ لأن التركيز الكلى للأملاح يجب ألا يزيد على حدٍّ معين يقدر فى المتوسط بنحو ٧, ٠ ضغط جوى. وتؤدى زيادة التركيز الكلى للأملاح على ذلك إلى نقص النمو النباتى تدريجيا إلى أن يتوقف ، ثم تموت النباتات بسبب عدم استطاعتها الحصول على حاجتها من الماء عند زيادة الضغط الأسموزى عن الحد المناسب للنمو النباتى . كما تصاب الطماطم بتعفن الطرف الزهرى ، وتصبح أوراق الخس صلبة القوام ، وحوافها ملتفة ، كذلك فإن نقص التركيز الكلى للأملاح عن المستوى المناسب يعنى انخفاض تركيز العناصر الغذائية الميسرة لامتصاص النبات عما هو ضرورى للنمو الجيد .

ويتوقف التركيز الكلى المناسب للأملاح بالمحلول المغذى على درجة الحرارة ، فيفضل أن يكون الضغط الأسموزى حوالى ٥, ٠ صيفًا ، و ٠, ١ شتاءً ؛ وذلك بسبب زيادة النتح عند ارتفاع درجة الحرارة خلال الصيف . وعمومًا . . يقل الضغط الأسموزى المناسب فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية ، عنه فى المناطق الباردة (Jones ١٩٨٢) .

وقد درس Nieman (١٩٦٢) تأثير الضغط الأسموزى للمحلول المغذى على النمو الخضرى لعددٍ من الخضروات ، واستخدم الباحث محلولاً مغذياً قياسيا يبلغ ضغطه الأسموزى ٤, ٠ ضغط جوى ، ثم استخدم كلوريد الصوديوم لتوصيل الضغط الأسموزى إلى ١, ٤ و ٢, ٤ و ٣, ٤ و ٤, ٤ فى المعاملات المختلفة . وأُجريت الدراسة فى مزرعة حصى gravel culture .

ويتضح من النتائج المبينة فى جدول (٤- ١) أن بعض الخضروات ـ كالبنجر ، والسبانخ ـ استفادت من إضافة كلوريد الصوديوم إلى المحلول المغذى ، حتى وصل ضغطه الأسموزى إلى ٢, ٤ ضغط جوى ، وهذه المحاصيل معروفة بمقدرتها العالية

على تحمل الملوحة . كما استفاد كل من اللفت ، والكرنب بزيادة الضغط الأسموزى إلى ١,٤ ضغط جوى . أما باقى الخضر التى درست ، فقد تأثر نموها سلبيا بزيادة الضغط الأسموزى إلى ١,٤ ضغط جوى ، واستمر التدهور فى نموها بزيادة الملوحة عن ذلك .

جدول (٤ ـ ١) : تأثير الضغط الأسموزى للمحلول المغذى على النمو الخضرى لعدد من محاصيل الخضر فى مزارع الحصى .

المحصول	وزن النمو القمى (كنسبة مئوية من الوزن فى المحلول الغذائى القياسى) عندما كان الضغط الأسموزى			
	١,٤	٢,٤	٣,٤	٤,٤
البنجر	١٠٧	١١٩		٩٦
السبانخ	٩٠	١٢٩	١٢١	٨٨
اللفت	١١٣	١٠١	٩٨	٨١
الكرنب	١٤٤	٩٥	٩٦	٥٢
الطماطم	٩١	٧٤	٧٧	٧٢
المسترد	٩٥	٦٩	٨٠	٥١
الخس	٦٨	٦٠	٦٥	٥٢
الفجل	٩١	٦٨	٥٤	٣٨
الفلفل	٦٨	٦٤	٥٨	٣٣
الفاصوليا	٨٨	٥٥	٢٢	١٦
البصل	٧٧	٣٩	٣٩	٢٨
البسلة	٧٧	٥٣	(*)	(*)

(*) موت النباتات بسبب زيادة الملوحة .

كما أظهرت دراسات Xu وآخرين (١٩٩٤) على الطماطم فى مزرعة لاأرضية أساسها البيت موس أن زيادة التركيز الكلى للأملاح فى المحلول المغذى لتصل درجة توصيله الكهربائى (EC) إلى ٤,٥ مللى موز / سم ـ مقارنةً بـ EC ٢,٣ مللى موز / سم ـ أدت إلى نقص الجهد المائى للأوراق water potential ؛ الأمر الذى ترتب عليه نقص معدل البناء الضوئى فيها .

كذلك حصل Ohta وآخرون (١٩٩٤) على نتائج مماثلة ؛ حيث أدت مضاعفة تركيز المحلول المغذى القياسى فى مزرعةٍ مائيةٍ إلى نقص الجهد المائى لأوراق الطماطم (من الصنف Sun Cherry ذى الثمار الكريزية) ، وكان ذلك مصاحبًا بنقصٍ مماثلٍ فى كلٍّ من وزن الثمرة وجهدها المائى ، وجهدها الأسموزى ، مع زيادة محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية .

التوصيل الكهربائى كمقياس لتركيز الأملاح فى المحاليل المغذية

تعتمد درجة توصيل المحاليل للتيار الكهربائى على محتواها من الأملاح ؛ حيث تزداد قدرتها على توصيل الكهرباء كلما ازداد محتواها من مختلف الأملاح. ويُعبّر عن التوصيل الكهربائى Electrical Conductivity (اختصارًا : EC) ـ عادةً ـ بالملى سيمنز / سم millisiemens per centimeter اختصارًا : mS / cm) ، علمًا بأن السيمنز هى وحدات التوصيل الكهربائى فى النظام الدولى للوحدات ؛ وهى تعادل مقلوب أوهم ohm واحد (ومقلوب الأوهم هو المو، أى إن قراءة التوصيل الكهربائى بالملى سيمنز / سم تعادل القراءة نفسها بالمللى موز / سم millimhos / cm، أو mho / cm وقد تكون قراءة جهاز التوصيل الكهربائى بالميكروسيمنز / سم µS / cm .

هذا . . إلا أن درجة التوصيل الكهربائى لمحلولٍ ما لا تعتمد فقط على محتواه من الأملاح ، ولكن كذلك على تركيز كل ملحٍ منها ؛ لأن بعض الأملاح أكثر قدرةً على التوصيل الكهربائى من غيرها . فمثلاً . . توصّل كبريتات الأمونيوم الكهرباء بمقدار ضعف توصيل نترات الكالسيوم لها، وأكثر من ثلاثة أمثال توصيل كبريتات المغنسيوم ، بينما لا توصل اليوريا الكهرباء على الإطلاق ، ولا تكّون أيونات النترات علاقةً وثيقةً بالتوصيل الكهربائى كما تفعل أيونات البوتاسيوم . ويعنى ذلك أنه كلما زادت نسبة النيتروجين إلى البوتاسيوم فى المحلول المغذى، انخفضت قدرته على التوصيل الكهربائى .

ويتضح تباين مختلف الأملاح فى قدرتها على التوصيل الكهربائى مما يلى :

المركب السمادى	التوصيل الكهربائى EC لمحلول بتركيز ٠,٢ ٪ فى الماء المقطر (mMho)
نترات الكالسيوم	٢,٠
نترات البوتاسيوم	٢,٥
نترات الأمونيوم	٢,٩
كبريتات الأمونيوم	٣,٤
كبريتات البوتاسيوم	٢,٤
كبريتات المغنسيوم (٧ جزيئات ماء تبلور)	١,٢
كبريتات المنجنيز (٤ جزيئات ماء تبلور)	١,٥٥
فوسفات أحادى الصوديوم NaH_2PO_4	٠,٩
فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4	١,٣
حامض النيتريك	٤,٨
حامض الفوسفوريك	١,٨

كما يجب أن تؤخذ فى الحسبان نوعية الأملاح التى تتواجد فى المياه المستخدمة فى تحضير المحاليل المغذية ؛ حيث إنها تتباين كثيراً من موقع لآخر .

كذلك تتأثر درجة التوصيل الكهربائى للمحاليل بدرجة الحرارة التى يُجْرى عنـدها القياس ؛ ولذا . . يتعين تصحيح القراءة ـ تبعًا لدرجة حرارة المحلول ـ بضـرب القـراءة المتحصل عليها فى معامل تصحيح خاصٍّ كما يلى (عن Resh ١٩٨٥) :

الحرارة (مْ)	معامل التصحيح	الحرارة (مْ)	معامل التصحيح
٥	١,٦١٣	٢٦	٠,٩٧٩
١٠	١,٤١١	٢٧	٠,٩٦٠
١٥	١,٢٤٧	٢٨	٠,٩٤٣

الحرارة (مْ)	معامل التصحيح	الحرارة (مْ)	معامل التصحيح
١٦	١,٢١١	٢٩	٠,٩٢٥
١٧	١,١٨٩	٣٠	٠,٩٠٧
١٨	١,١٦٣	٣١	٠,٩٨٠
١٩	١,١٣٦	٣٢	٠,٨٧٣
٢٠	١,١١٢	٣٣	٠,٨٥٨
٢١	١,٠٨٧	٣٤	٠,٨٤٣
٢٢	١,٠٦٤	٣٥	٠,٨٢٩
٢٣	١,٠٤٣	٤٠	٠,٧٦٣
٢٤	١,٠٢٠	٤٥	٠,٧٠٥
٢٥	١,٠٠٠		

ويمكن التعبير عن تركيز الأملاح فى المحلول المغذى ـ بعد قياس درجة توصيله الكهربائى ـ بأيّ من الطرق التالية :

١ ـ تركيز الأملاح بالملى مكافئ / لتر = الـ EC بالمللى موز / سم × ١٠ .

٢ ـ تركيز الأملاح بالجزء فى المليون = الـ EC بالمللى موز / سم × ٦٤٠ .

٣ ـ تركيز الأملاح كنسبة مئوية = الـ EC بالمللى موز / سم × ٠,٠٦٤ .

٤ ـ تركيز الأملاح بالضغط الجوى = الـ EC بالمللى موز / سم × ٠,٣٦ .

التركيز المناسب من مختلف العناصر فى المحاليل المغذية

التركيز المناسب والتوازن الايونى

يجب أن يحتوى المحلول المغذى على كافة العناصر الغذائية ، وبالتركيز المناسب للنمو النباتى ، على أن تكون العناصر المغذية الكبرى فى حالة توازن أيونى فيما بينها ، ويوضح جدول (٤ ـ ٢) النسبة المئوية المناسبة والمجال المناسب لهذه النسبة لكل من الأيونات الستة الرئيسية فى المحلول المغذى ، على أساس أن مجموع نسب الأنيونات (النترات والفوسفات والكبريتات) = مجموع نسب الكاتيونات (البوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم) = ١٠٠ ٪ . تحقق هذه النسب التوازن المطلوب بين الأيونات والكاتيونات الرئيسية . أما الصوديوم ، فإنه لا يعد

من العناصر المغذية الضرورية ، وأما بقية العناصر، فإنها توجد فى المحاليل المغذية بتركيزات منخفضة لا تؤثر على التوازن الأيونى بها .

ويمكن تحضير محلول مغذّ يحتوى على التوازن الأيونى المطلوب بإذابة كميات المركبات المبينة فى جدول (٤ ـ ٣) فى لتر ماء .

جدول (٤ ـ ٢) : النسبة المئوية المناسبة والمجال المناسب للأيونات الستة الرئيسية فى المحلول المغذى .

	الأيون	النسبة المئوية	المجال الملائم للنسبة المناسبة
الأنيونات	NO_3^-	٦٠	٧٠ ـ ٥٠
	$H_2PO_4^{--}$	٥	١٠ ـ ٣
	SO_4^{--}	٣٥	٤٥ ـ ٢٥
الكاتيونات	K^+	٣٥	٤٠ ـ ٣٠
	Ca^{++}	٤٥	٥٥ ـ ٣٥
	Mg^{++}	٢٠	٣٠ ـ ١٥

جدول (٤ ـ ٣) : كميات المركبات اللازمة لتحضير محلول مغذّ فى حالة توازن أيونى بالصورة المبينة فى جدول (٤ ـ ٢) .

المركب	الكمية (ملليجرام / لتر ماء)
فوسفات البوتاسيوم	١٣٦
نترات الكالسيوم	١٠٦٢
كبريتات المغنسيوم	٤٩٢
نترات البوتاسيوم	٤٩٣
كبريتات البوتاسيوم	٢٥٢
أيدروكسيد البوتاسيوم	٢٢٤

هذا . . ويُبين جدول (٤ ـ ٤) المجال المناسب لتركيز مختلف العناصر فى المحاليل المغذية . ويتضح من الجدول أن العناصر الكبرى ـ وهى : النيتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنسيوم ـ توجد بأعلى تركيز ، كما يوجد الصوديوم بصورة طبيعية فى الماء المستخدم فى تحضير المحاليل المغذية . وعلى الرغم من أن الحد الأقصى المسموح به يصل إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون ، إلاّ أن التركيز المناسب يجب أن يكون عند الحد المُبين ، وهو ١٥٠ جزءًا فى المليون . أما العناصر المغذية الصغرى (أو الدقيقة) وهى : الحديد ، والبورون ، والمنجنيز ، والزنك ، والنحاس ، والموليبدنم ، فإن تركيزاتها تكون منخفضةً كثيرًا ، وأقلها الموليبدنم الذى قد يصل تركيزه فى المحاليل المغذية إلى ٠,٠٠١ جزءًا فى المليون (Douglas ١٩٨٥) ويُبين الجدول نفسه متوسط التركيز المناسب لمختلف العناصر الغذائية فى المحاليل المغذية ، نقلاً عن مصدر آخر (Jones ١٩٨٢) . ويلاحظ أن التركيزات المناسبة تميل لأن تكون فى جانب الحدود الدنيا للمجالات المناسبة ، كما تقل عنها فى حالات العناصر الدقيقة . وربما كان السبب أن الأرقام المبينة للتركيز المناسب ، خاصة بالمزارع المائية التى لا توجد فيها بيئة صلبة لنمو الجذور ، وإنما تكون الجذور فيها مغمورةً فى المحلول المغذى .

وحاليًا . . تعتبر ثمانية عناصر صغرى ضرورية للنباتات الراقية ؛ وهى : الحديد ، والزنك ، والمنجنيز ، والنحاس ، والنيكل ، والبورون ، والموليبدنم ، والكلور (عن Welch ١٩٩٥) ، وقد ورد بيانها فى جدول (٤ ـ ٤) باستثناء عنصر النيكل الذى يتوفر كشوائب دقيقة تكفى حاجة النبات ، وعنصر الكلور الذى يتوفر كشوائب ، وضمن تركيب بعض الأسمدة ، وفى ملح كلوريد الصوديوم الذى لا تخلو منه مياه الرى .

ويتبين من دراسات Newton & Ramli Abdullah (١٩٩٣) أن نمو نباتات الطماطم والخيار فى مزارع تقنية الغشاء المغذى يتناسب طرديا مع محتوى النباتات من الحديد ، علمًا بأن أعلى مستوى من الحديد فى النباتات كان فى المعاملة التى أضيف فيها الحديد فى صورة مخلبية (Fe-EDTA) مقارنةً بإضافته فى صورة كبريتات الحديدوز ، أو كلوريد الحديديك .

جدول (٤ ـ ٤) : المدى المناسب لتركيز مختلف العناصر فى المحاليل المغذية .

العنصر	التركيز المناسب (أ) (جزء فى المليون)	المدى المناسب لتركيز العنصر (ب) (جزء فى المليون)
النيتروجين	١٥٠	١٥٠ ـ ٣٠٠
الفوسفور	٥٥	٥٠ ـ ١٠٠
البوتاسيوم	١٧٥	١٠٠ ـ ٤٠٠
الكالسيوم	١٠٥	٣٠٠ ـ ٥٠٠
المغنسيوم	٩٠	٥٠ ـ ١٠٠
الكبريت	١٢٥	٢٠٠ ـ ١٠٠٠
الصوديوم		١٥٠ ـ ١٠٠٠
الحديد	١,٠	٢ ـ ١٠
البورون	٠,٠٠٨	٠,٥ ـ ٥,٠
المنجنيز	٠,٣٦	٠,٥ ـ ٥,٠
الزنك	٠,٠٤٦	٠,٥ ـ ١,٠
النحاس	٠,٠٢٦	٠,١ ـ ٠,٥
الموليبدنم	٠,٠٠١	٠,٠٠١ ـ ٠,٠٠٢

وتجدر الإشارة إلى أن جميع الخضروات ـ باستثناء الذرة السكرية ـ يكون نموها أفضل عند استعمال النترات No_3^- - كمصدر للنيتروجين ـ مقارنةً بالأمونيوم NH_4^+ ، فى المزارع المائية (وليس بالضرورة فى الزراعات الأرضية العادية) ، ولكن عنصرى البوتاسيوم والكالسيوم يخففان من التأثير السلبى للأمونيوم . وعلى الرغم من ذلك . . يفضل استعمال الأمونيوم كمصدر للآزوت تحت ظروف الإضاءة الضعيفة ، وعند زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى هواء البيت (عن Kana-hama ١٩٩٤) ، وعندما يكون الماء المستخدم فى تحضير المحاليل المغذية قلوى التأثير .

ويستدل من دراسات David وآخرين (١٩٩٤) على الطماطم أن إضافة حامض

الهيوميك Humic Acid - بتركيز ١٢٨٠ جزءًا فى المليون إلى محلول مغذٍ محدود فى محتواه من العناصر الضرورية - أدت إلى زيادة تركيز كلٍ من الفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنسيوم ، والحديد ، والمنجنيز ، والزنك فى النموات الخضرية ، والنيتروجين ، والكالسيوم ، والزنك ، والنحاس فى الجذور ، مع زيادة الوزنين الطازج والجاف للجذور ، ولم يكن مرد تلك الزيادات إلى ما أضافه حامض الهيوميك من عناصر إلى المحلول المغذى ، ولا إلى إحداثه لتغيير فى الرقم الأيدروجينى للمحلول .

العوامل المؤثرة على اختيار التركيز المناسب للعناصر فى المحاليل المغذية

يتأثر التركيز المناسب للعناصر الضرورية للنبات فى المحاليل المغذية بالعوامل التالية :

١ - درجة الحرارة ، وشدة الإضاءة :

فيزداد تركيز النيتروجين فى الجو الحار وتحت ظروف الإضاءة القوية ، عنه فى الجو البارد ، أو تحت ظروف الإضاءة الضعيفة . كما تفضل زيادة تركيز البوتاسيوم فى الجو الملبد بالغيوم ومضاعفته إذا استمر الجو على هذه الحال لفترة طويلة . وعمومًا . . يمكن زيادة تركيز المحاليل المغذية إلى ٢ - ٤ أضعاف التركيزات الموصى بها فى الإضاءة المنخفضة ، أو إذا أُريدت أقلمة الشتلات ، بينما يجب أن تكون التركيزات فى الحدود الموصى بها أو نصفها فى الإضاءة القوية ؛ نظرًا لزيادة النتح تحت هذه الظروف .

٢ - نوع المزرعة اللاأرضية :

إذ تتوقف التركيزات المناسبة لمختلف العناصر الغذائية على نوع المزرعة المستعملة .

٣ - المحصول المزروع :

فيزداد تركيز النيتروجين فى المحاليل الورقية (كالخس) عنه فى مزراع الطماطم أو الخيار .

٤ ـ مرحلة النمو النباتى :

فكثيراً ما تجهز محاليل مغذية بتركيزاتٍ مختلفةٍ لمراحل النمو المختلفة ، ويكون اختلاف هذه المحاليل فى تركيز العناصر الستة الكبرى فقط ، بينما يظل تركيز العناصر الستة الصغرى ثابتًا دون تغيير .

فتستعمل فى تغذية الطماطم ثلاثة محاليل ؛ هى : (أ) ويبلغ تركيزه ثلث التركيز الكامل ، ويستعمل فى مرحلة نمو البادرات من الورقة الحقيقية (بعمر ١٠ ـ ١٣ يومًا) ؛ حتى يصل طول النبات إلى نحو ٣٥ ـ ٤٠ سم ، و(ب) ويبلغ تركيزه ثلثى التركيز الكامل ، ويستعمل بعد ذلك حتى يصل طول النبات إلى ٦٠ سم عندما تكون الثمار الأولى بقطر ٠,٥ ـ ١,٠ سم ، و (جـ) وهو بالتركيز الكامل ، ويستعمل بعد ذلك حتى نهاية عمر النبات .

ويستعمل فى الخيار محلولان ؛ هما : (أ) ويبلغ تركيزه نصف التركيز الكامل ، ويستعمل حتى مرحلة عقد الثمرة الأولى على النبات ، و (ب) وهو بالتركيز الكامل ، ويستعمل بعد ذلك حتى نهاية عمر النبات .

كما يستعمل فى الخضر الورقية محلولان أيضًا ؛ هما : (أ) وتركيزه نحو ثلثى التركيز الكامل ، ويستعمل إلى أن تكون النباتات بعمر ثلاثة أسابيع ، و(ب) وهو بالتركيز الكامل ، ويستعمل بعد ذلك (Resh ١٩٨٥) .

ويستدل من مختلف الدراسات أن النباتات تنمو بصورةٍ جيدةٍ فى مدى واسعٍ من تركيزات مختلف العناصر فى المحاليل المغذية ، شريطة استمرار تركيز كل عنصرٍ بين حدّى النقص والسميّة . فمثلاً . . لم يتأثر نمو نباتات الطماطم بتغيير تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى بين ٢٠ و ٣٢٠ جزءًا فى المليون . ويستدل من ذلك على عدم الحاجة إلى قياس تركيز مختلف العناصر دوريا لتعديله ؛ حيث يكفى قياس درجة التوصيل الكهربائى للمحول المغذى لتعرف مدى استنفاذ النباتات للعناصر .

وتحقق هذه الطريقة أهدافها بصورةٍ عمليةٍ عندما يُستَعمل فى تحضير المحلول المغذى مخلوط معد سلفًا من مختلف العناصر ، أو سماد تجارى خاص بمحصولٍ معينٍ لاستعماله فى نوعياتٍ معينةٍ من المزارع تحت ظروف خاصة . ففى هذه الحالة تتماشى نِسَبُ العناصر المضافة مع نِسَبِ العناصر التى تمتصها النباتات من المحلول المغذى ، وتكفى قراءة درجة التوصيل الكهربائى للمحلول لتحديد كمية السماد التى تنبغى إضافتها إليه لإعادتها إلى ما كانت عليه ابتداء . أما إذا أضيفت العناصر كل على حدةٍ ، فإن تركيز بعضها قد يزاد إلى درجَة السمية ، بينما قد ينخفض تركيز بعضها الآخر عن المستوى الحرج للنمو النباتى .

لكن ينبغى التأكيد على أن ذلك الأمر ينطبق ـ فقط ـ على الحالات التى يكون فيها تركيز العناصر فى المحاليل المغذية المستعملة مماثلاً لمعدلات امتصاص النباتات من كل عنصر منها، وبغير ذلك فإن تعويض النقص الذى يحدث فى حجم المحلول المغذى بكمياتٍ إضافيةٍ منه يؤدى ـ تدريجيا ـ إلى زيادة تركيز بعض العناصر فى المحلول المغذى إلى درجة السمية ، بينما قد ينخفض تركيز بعضها الآخر عن المستوى الحرج للنمو النباتى .

ولتجنب حدوث هذه الحالات التى قد تقضى على المزرعة المائية . . يفضل تغيير المحلول المغذى المستعمل كليا بعد نحو ٣ أسابيع من الاستعمال (المصاحب بإضافاتٍ من المحلول المغذى تبعًا لقراءة التوصيل الكهربائى) ، تنخفض إلى نحو أسبوعٍ واحدٍ فقط فى النباتات البالغة القوية النمو .

اضرار نقص العناصر او زيادة تركيزها عن المستويات الحرجة للنمو النباتى

ليس من بين أهداف هذا الكتاب استعراض العناصر الغذائية الضرورية وتأثيرها على نمو وتطور النباتات ؛ فذلك أمر تناولناه بالتفصيل فى كتاب « أساسيات وفسيولوجيا الخضر (حسن ١٩٩٧أ) » . ونكتفى فى هذا المقام بتقديم عرضٍ موجزٍ لأعراض نقص مختلف العناصر ، وكذلك أعراض التسمم بها .

أعراض نقص العناصر

أولاً : العناصر الكبرى :

١ ـ النيتروجين :

يودى نقص العنصر إلى ظهور لونٍ أصفر متجانس يشمل كل الورقة فى النباتات ذات الفلقتين ، بينما يكون الاصفرار فى وسط نصل الورقة فقط ، مع بقاء حوافها خضراء اللون فى ذوات الفلقة الواحدة . وتظهر الأعراض فى كلتيهما على الأوراق السفلى أولاً فالتى تليها . . . وهكذا . ويكون نمو النباتات بطيئًا ومتقزمًا ، ثم يصبح النبات متخشبًا ، وتكون جميع الأعضاء النباتية أصغر حجمًا من نظيراتها فى النباتات التى لا تعانى نقص النيتروجين.

٢ ـ الفوسفور :

يؤدى نقص الفوسفور فى النباتات ذوات الفلقتين إلى ظهور لونٍ أحمر أو أرجوانيٍّ على العروق الرئيسية بأنصال الأوراق ـ خاصة على الجانب السفلى للورقة - وأعناق الأوراق ، والسيقان ، بينما تبقى العروق الحديثة فى الأوراق خضراء اللون ، إلا فى حالات النقص الشديد ؛ حيث تكتسب ـ هى الأخرى ـ لونًا أرجوانيا . أما فى ذوات الفلقة الواحدة ، فإن نقص العنصر يؤدى إلى ظهور لونٍ أحمر أو أرجوانيٍّ فى مناطق مختلفةٍ من الورقة. وفى كلتيهما . . يكون ظهور الأعراض على الأوراق السفلى أولاً ، فالتى تليها . . . وهكذا . وعمومًا . . يكون النمو النباتى بطيئًا ، ويتأخر النضج فى حالات نقص العنصر .

٣ ـ البوتاسيوم :

تظهر أعراض نقص العنصر على الأوراق المسنة أولاً ، وتكون فى ذوات الفلقتين فى صورة اصفرارٍ خفيفٍ على حواف الأوراق ، يتبعه تقدم الاصفرار على امتداد العروق ، ثم يتغير لون الحواف إلى اللون الرمادى ، ثم إلى اللون البنى القاتم .

وفى ذوات الفلقة الواحدة يبدأ الاصفرار من قمة الورقة ، ثم يمتد إلى أسفل عبر الحواف ، بينما يبقى مركز الورقة أخضر اللون . ويصاحب نقص العنصر عدم تجانس نضج الثمار وضعف قدرتها على التخزين .

٤ ـ الكالسيوم :

تبدو الأوراق الحديثة بلونٍ أخضر باهت ، ثم تظهر عليها بقع متحللة ، وتلتف حوافها إلى أسفل . وتكون حواف الأوراق الحديثة ـ أحيانًا ـ متموجة وغير منتظمة النمو ، كما يكون النبات متخشبًا ومتقزمًا . ويصاحب نقص العنصر ظهور عديد من العيوب الفسيولوجية ؛ مثل تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم والفلفل .

٥ ـ المغنيسيوم :

يظهر اصفرار بين العروق فى الأوراق السفلى للنبات ، ثم يتغير لون هذه الأنسجة ـ تدريجيا ـ إلى اللون البنى ، بينما تبقى العروق خضراء اللون . وتكون بداية ظهور الأعراض فى حواف الورقة ، ثم تتجه ـ تدريجيا ـ نحو مركزها . كما يؤدى نقص العنصر إلى تأخر الإزهار .

٦ ـ الكبريت :

تبدو الأوراق الحديثة صفراء اللون ، ويكون الاصفرار أكثر وضوحًا فى عروق الورقة ، كما تظهر مناطق ميتة قرمزية اللون عند قواعد الأوراق .

ثانيًا : العناصر النادرة :

إن طبيعة المزارع اللاأرضية تجعل من الممكن أن تظهر فيها أعراض نقص بعض العناصر النادرة بصورةٍ أكثر وضوحًا مما فى الزراعات الحقلية ؛ نظرًا لأن التربة نادرًا ما تكون خاليةً تمامًا من الصور الميسرة من هذه العناصر ، بينما قد يحدث ذلك فى المزارع المائية أحياناً .

ومن أهم أعراض نقص العناصر النادرة ، خاصة الأعراض التى تكثر فى المزارع المائية ما يلى :

١ ـ الحديد :

يظهر لون أصفر بين العروق فى الأوراق العليا . ومع استمرار نقص العنصر يتحول لون الأنسجة بين العروق إلى اللون الأبيض العاجى ، بينما تبقى العروق خضراء اللون .

٣ ـ الزنك :

يظهر اصفرار بين العروق فى الأوراق ، بينما تبقى العروق خضراء اللون ، وتكون الأوراق صغيرةً ، وضيقةً ، ومشوهةً ، ومتزاحمةً على أفرع قصيرة ، والسيقان متقزمة .

٤ ـ النحاس :

يؤدى نقص العنصر إلى ظهور اصفرارٍ وشحوبٍ وبهتانٍ فى لون الأوراق ، يتبعه فقدان اللون الأخضر كليةً فى قمة الأوراق ، فتبدو وكأنها محترقة . ويؤدى نقص النحاس الميسر للامتصاص عن نصف جزءٍ فى المليون إلى تفلق ثمار الطماطم ـ أحيانًا ـ فى الجو الحار .

٥ ـ البورون :

يسبب نقص العنصر انهيارًا فى الأنسجة الميرستيمية النشطة فى الانقسام ، وهى القمم النامية ومناطق الكامبيوم ؛ فتموت القمم النامية ، وتتشوه الأوراق الحديثة ، وتظهر بقع بنية أو سوداء فلينية فى أعضاء التخزين ، ولكن أكثر الأعراض شيوعًا هى التفاف حواف الأوراق الصغيرة . وتكون سيقان النباتات التى تعانى نقص العنصر سهلة التكسر .

كما يؤدى نقص البورون إلى ظهور تشققاتٍ دائريةٍ دقيقةٍ وسطحيةٍ جدا فى جلد ثمار الطماطم حول الأكتاف، وقد تظهر تشققات طوليةٍ مماثلةٍ فى ثمار الفلفل تكون واضحةً بصفةٍ خاصةٍ فى الصنف جالابينو Jalapeno .

٦ ـ المنجنيز :

يظهر اصفرار بين العروق فى الأوراق الحديثة للنبات ، ويلى ذلك ظهور بقعٍ صغيرةٍ ميتةٍ ومتحللةٍ على امتداد وسط الورقة ، بينما تبقى العروق خضراء اللون.

٧ ـ الموليبدنم :

يؤدى نقص العنصر إلى تشوه الأوراق الحديثة ـ حيث لا ينمو نصل الورقة بصورةٍ منتظمةٍ ـ مع موت البرعم الطرفى ، وتقزم النمو .

أعراض التسمم الناشىء عند زيادة تركيز العناصر

لا تختلف أعراض التسمم النباتى الناشئة عن زيادة تركيز العناصر الغذائية فى المزارع اللاأرضية عما فى المزارع الحقلية ، إلاّ أن طبيعة المزارع اللاأرضية واعتمادها على محاليل مغذية يتم تحضيرها أولاً بأول يزيد من احتمالات ظهور حالات التسمم النباتى بها؛ بسبب عامل الخطأ الإنسانى الذى قد يحدث فى تحضير المحاليل المغذية، أو عند تعديل تركيز العناصر فى الحالات التى يستمر فيها استعمال المحاليل نفسها لعدة أسابيع .

هذا . . ولا تظهر أعراض التسمم إلاّ بعد زيادة تركيز الأملاح السمادية إلى أكثر من ثلاثة إلى أربعة أضعاف التركيز المناسب . أما قبل ذلك، فـإن الأعراض لا تتعدى ظهور علامات التقسية أو الأقلمة على النباتات على شكل تقزمٍ وتخشبٍ فى النمو ، مع تلون الأوراق باللون الأخضر القاتم .

ومما تجدر الإشارة إليه أن النباتات تتحمل الزيادة فى تركيز عنصرٍ ما عندما تكون بقية العناصر متوفرةً بالتركيزات المناسبة بدرجةٍ أكبر مما لو كان هناك نقص فى بعض هذه العناصر . وكمثالٍ على ذلك . . نجد أن الطماطم تتحمل زيادة تركيز عنصر النحاس حتى جزءٍ واحدٍ فى المليون عندما تتوفر العناصر الأخرى بالقدر المناسب ، بينما تظهر أعراض التسمم بالنحاس عند تركيز ٠,٢ جزءًا فى المليون إن كان هناك نقص فى العناصر الأخرى .

ومن أهم أعراض التسمم النباتى التى تنشأ عن زيادة تركيز العناصر فى المحاليل المغذية ما يلى :

١ ـ تؤدى زيادة تركيز النيتروجين النتراتى فى المراحل الأولى من نمو نباتات الطماطم (حتى ما قبل مرحلة عقد الثمار) إلى وقف امتصاص عنصر البورون ،

وموت القمة النامية ، وقصر السيقان بوضوح ، وتصخم الأزهار ، مع قلة أو انعدام تكوُّن حبوب اللقاح بها (Larsen ١٩٨٢) .

٢ ـ تؤدى زيادة عنصر الفوسفور إلى ترسيب الحديد ، وظهور أعراض نقصه .

٣ ـ يؤثر البوتاسيوم والكالسيوم كل منهما فى الآخر ، فتؤدى زيادة الكالسيوم إلى ظهور أعراض نقص البوتاسيوم ، والعكس صحيح .

٤ ـ تؤدى زيادة عنصر الحديد إلى الإضرار بالجذور ، وتقليل امتصاص المنجنيز ، وظهور أعراض نقصه ، كما قد يترسب الفوسفور ، وتظهر أعراض نقصه كذلك .

٥ ـ تظهر أعراض التسمم من البورون عند زيادة تركيزه عن ٢٠ جزءًا فى المليون، ويكون ذلك بظهور مناطق شفافة بأنسجة الأوراق على امتداد العروق لا تلبث أن تتحول إلى اللون البنى .

٦ ـ تظهر أعراض التسمم بالزنك على شكل تلونٍ بين العروق باللون الأصفر .

٧ ـ تظهر أعراض التسمم بالنحاس إذا زاد تركيزه عن جزءٍ واحدٍ فى المليون ، ويكون ذلك على شكل اصفرارٍ بين العروق ، مع تلون باقى أنسجة الورقة باللون الأخضر الفاتح .

أما عنصر الكبريت والكلور ، فإن النباتات تتحمل زيادة تركيزهما إلى حدٍّ كبيرٍ .

ولعلاج حالات زيادة تركيز الأملاح يجب خفض التركيز المستعمل ، أو تحضير محاليل مغذية أخرى ، أو غسل البيئة التى تنمو فيها الجذور بالماء لعدة أيام .

كما تعالج بعض الحالات الخاصة لزيادة العناصر كالتالى :

١ ـ تعالج زيادة تركيز البورون بإضافة سليكات الصوديوم إلى الماء المستخدم فى غسل بيئة نمو الجذور بمعدل ١٢ جم لكل ٤٥٠ لتر ماء .

٢ ـ تعالج زيادة تركيز عناصر الحديد ، والمنجنيز ، والزنك ؛ بمعاملة بيئة نمو الجذور بمحلول ١٠ ٪ حامض كبريتيك لمدة ٢٤ ساعة .

طرق التعبير عن تركيز العناصر فى المحاليل المغذية

يمكن التعبير عن تركيز العناصر فى المحاليل المغذية بإحدى الطرق التالية :

١ ـ بالجزء فى المليون (part per million ، واختصاراً : ppm) :

يحضر محلول بتركيز جزءٍ واحدٍ فى المليون بإذابة جرامٍ واحدٍ من المادة فى ١٠٠٠ لتر من الماء .

٢ ـ بالملى مولار (mM) :

يحضر محلول بتركيز مولار واحد 1M (أو 1 molar) بإذابة الوزن الجزيئى للمادة فى لترٍ من الماء . ويحضر محلول بتركيز واحد ملى مولار 1 mM بإذابة الوزن الجزيئى للمادة فى ١٠٠٠ لتر من الماء .

٣ ـ بالملى مكافىء / لتر (millequivalents / liter ، واختصاراً : me / 1) :

الوزن المكافىء بالجرام gram equivalent هو الوزن الجزيئى بالجرام مقسومًا على الشحنة valency (عدد الإليكترونات التى يمكن أن تفقد أو تكتسب فى المدار الخارجى للذرة) . فمثلاً .. الوزن المكافىء لملح كلوريد البوتاسيوم الذى يتكون من أيونات أحاديةٍ هما البوتاسيوم (K^+) والكلور(Cl^-) هو نفسه الوزن الجزيئى أو المول. أما ملح كبريتات البوتاسيوم(K_2SO_4) الذى يوجد به أيون ثنائى الشحنة هو الكبريتات(SO_4^{--}) ، فإن وزنه المكافىء يكون مساويًا لنصف وزنه الجزيئى .

وبناء على ما تقدم . فإن محلولين من كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم لهما التركيز نفسه بالملى مكافىء / لتر سيكون بكلٍّ منهما التركيز نفسه من البوتاسيوم ، لكن سيكون أيون الكلور فى أحدهما ضعف تركيز أيون الكبريتات فى الآخر .

ويفضل التعبير عن التركيز بالملى مكافىء / لتر عند الرغبة فى مقارنة تركيز عنصرٍ ما فى محاليل تحضر بإذابة أملاحٍ مختلفة فى شحنات الأيونات المكونة لها .

ولمزيدٍ من التوضيح .. فإن :

أ ـ الوزن المكافىء للعنصر يساوى وزنه الذرى مقسومًا على تكافئه . ويراعى أن العنصر الواحد قد يكون له أكثر من تكافؤ ؛ مثل الحديد (تكافؤ الحديدوز = ٢ ، بينما تكافؤ الحديديك = ٣) .

ب ـ الوزن المكافىء للحامض يساوى وزنه الجزيئى مقسومًا على عدد ما يحتويه من ذرات الأيدروجين (ذرة أيدروجين واحدة ـ مثلاً ـ فى حامض الأيدروكلوريك ، مقابل ذرتَىْ أيدروجين فى حامض الكبريتيك ، وثلاث ذرات فى حامض الفوسفوريك) .

جـ ـ الوزن المكافىء للقلوى يساوى وزنه الجزيئى مقسومًا على عدد ما يحتويه من مجموعات الأيدروكسيل (مجموعة أيدروكسيل واحدة ـ مثلاً ـ فى أيدروكسيد البوتاسيوم ، مقابل مجموعتَىْ أيدروكسيل فى أيدروكسيد الكالسيوم ، وثلاث مجموعات فى أيدروكسيد الحديديك) .

د ـ الوزن المكافىء للملح (المركب) يساوى وزنه الجزيئى مقسومًا على عدد ذرات القاعدة التى توجد فى الملح مضروبًا فى تكافئها . فمثلاً .. يكون :

الوزن المكافىء لفوسفات أحادى البوتاسيوم $= KH_2PO_4$ $= \frac{١٣٦}{١}$ = ١٣٦ جم .

الوزن المكافىء لفوسفات أحادى الكالسيوم $= CaHPO_4$ $= \frac{١٣٦}{٢}$ = ٦٨ جم .

الوزن المكافىء لفوسفات ثلاثى الكالسيوم $= Ca_3(PO_4)_2$ $= \frac{٣١٠}{٦}$ = ٥١,٧ جم .

٤ ـ بالضغط الأسموزى :

يعبر عن الضغط الأسموزى بوحدات الضغط الجوى ، علمًا بأن ١ ضغط جوى = ١٤,٧ رطلاً / بوصة مربعة = ١,٠٣٣ كجم / سم٢ (Resh ١٩٨٥ ، وحبيب وآخرون ١٩٩٣) .

الرقم الأيدروجينى (pH) للمحاليل المغذية

يتراوح الرقم الأيدروجينى المناسب للمحاليل المغذية (فى كلٍّ من النُظُم المغلقة التى يُعاد فيها ضخ المحاليل ، والنظم المفتوحة التى تستعمل فيها المحاليل المغذية مرةً واحدةً) من ٥,٨ إلى ٦,٣ ، وهو يتأثر بدرجةٍ كبيرةٍ بالتوازن بين أيونى النترات

NO_3^- ، والأمونيوم NH_4^+ . ويفضل دائمًا أن يكون النيتروجين الأمونيومى فى حدود ٢٥ ٪ من النيتروجين الكلى ، وألا يقل عن ١٠ ٪ .

ومع تواجد النيتروجين فى صورة نترات يرتفع pH المحلول المغذى تدريجيا ؛ بسبب امتصاص النباتات لأيون النترات ، واستبداله بأيون البيكربونات HCO_3 ، الذى يكوّن جزئ الكربونات ؛ الأمر الذى يؤدى إلى إزالة أيونات الأيدروجين ؛ وبذا . . يرتفع الـ pH.

ويؤثر pH المحاليل المغذية على امتصاص العناصر الدقيقة ؛ فيؤدى انخفاض الـ pH عن ٥ إلى زيادة امتصاص بعض العناصر إلى درجة السمية ، كما يؤدى ارتفاع الـ pH عن ٧,٥ إلى ترسيب الفوسفور ، والكالسيوم ، والمغنسيوم ، والحديد ، والمنجنيز ، وجعلهم فى صورة غير ميسرة لامتصاص النبات .

وتحدث أضرار شديدة لجذور النباتات إذا انخفض pH المحاليل المغذية عن ٤,٠ .

هذا . . ويلزم فى حالة المزارع اللاأرضية التى تستخدم فيها بيئات صلدة لنمو الجذور ـ وتستعاد فيها المحاليل المغذية لإعادة استعمالها من جديد ـ إمرار المحلول المغذى فى المزرعة لمدة ٥ ـ ١٠ دقائق بعد تحضيره ، ثم استعادته وقياس رقمه الأيدروجينى مرةً أخرى ، وتعديله إلى المجال المناسب إن لزم الأمر (Collins & Jensen ١٩٨٣) .

ومع استمرار استعمال المحلول المغذي يقاس رقمه الأيدروجيني يوميا ، ويعدل عند الضرورة إما بحامض الكبريتيك (أو النيتريك) ، وإما بأيدروكسيد الصوديوم (أو الأمونيوم) . وقد تجرى أتمتة عملية المحافظة على الرقم الأيدروجينى فى مجال معين (يكون عادة من ٦,٠ إلى ٦,٢) ؛ بحيث يجرى القياس ويتم إجراء التعديل اللازم تلقائيا أولاً بأول .

ويتم القياس اليدوى للرقم الأيدروجينى ـ يوميا ـ بأخذ عينة من خزان المحلول بعد إضافات الماء والعناصر المغذية إليه . ويجرى القياس إما باستعمال جهاز قياس الرقم الأيدروجينى pH meter ، وإما باستعمال دليل لونى يتغير لونه حسب الرقم الأيدروجينى فى مدى pH من ٥ إلى ٧ . يُضاف الدليل إلى عينة من المحلول المغذى ، ويقارن اللون بلوحات لونية قياسية توضح اللون فى مختلف مستويات الـ pH (Wilcox عن ١٩٨٢) .

خطوات تحضير المحاليل المغذية

الأمور التى تجب مراعاتها عند تحضير المحاليل المغذية

توجد أمور عامة تلزم مراعاتها عند تحضير المحاليل المغذية نوجزها فيما يلى :

١ ـ يفضل استعمال الأسمدة التجارية العادية كمصدرٍ للعناصر الأولية (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) لرخص ثمنها .

٢ ـ يفضل استعمال مساحيق الأسمدة ، مع تجنب استعمال الأسمدة المحببة granular لصعوبة إذابتها .

٣ ـ يمكن الاسترشاد بالقاعدة التالية عند تحضير محلول العناصر المغذية الكبرى (وهى : النيتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنسيوم ، والكبريت) : تستعمل نترات الكالسيوم كمصدر للكالسيوم ، كما أنها توفر جزءًا من الآزوت فى صورة نترات . وتضاف الاحتياجات المتبقية من النترات فى صورة نترات البوتاسيوم التى توفر أيضًا بعضًا من احتياجات البوتاسيوم . أما باقى البوتاسيوم اللازم ، فيمكن الحصول عليه من كبريتات البوتاسيوم التى توفر أيضًا بعض الكبريت . أما باقى الكبريت اللازم ، فيحصل عليه من أملاح الكبريتات الأخرى ؛ مثل كبريتات المغنسيوم التى يمكن استعمالها كمصدر للمغنسيوم .

٤ ـ تتبع الخطوات التالية عند وزن وإذابة الأملاح السمادية المختلفة فى حالة المزارع اللاأرضية التى تستعاد فيها المحاليل المغذية ويكرر استعمالها .

أ ـ توزن أملاح الأسمدة منفردة ، وترتب فى كومات على شرائح من البوليثيلين ؛ حتى لا يفقد منها شىء . ويجب أن يكون الوزن بدقةٍ ، وألا يتعدى الخطأ ± ٥ ٪ .

ب ـ يملأ خزان المحلول بالماء إلى ٩٠ ٪ من حجمه النهائى .

جـ ـ يذاب كل سماد منفردًا فى دلوٍ كبيرٍ به ماء ، ثم يفرغ السماد المذاب فى خزان المحلول مع التقليب ، ويكرر ذلك مع كل سماد . ويستعمل ماء ساخن بالنسبة للأملاح الصعبة الذوبان .

د ـ تذاب العناصر الصغرى أولاً ، ثم العناصر الكبرى .

هـ ـ يمكن فى التحضيرات الصغيرة خلط كل أملاح الكبريتات معًا ، وكذلك كل أملاح النترات ، وكل أملاح الفوسفات .

٥ ـ أما فى حالة المزارع اللاأرضية التى لا تستعاد فيها المحاليل المغذية المستعملة فى الرى ، فإنه يتم تحضير محاليل سمادية مركزة Stock Solutions من مختلف العناصر الغذائية ، تحقن فى مياه الرى بالقدر المناسب ؛ ليصبح ماء الرى محلولا سماديا مناسبًا للنمو النباتى . وقد تحضر كميات من المحاليل السمادية المركزة لاستعمالها ـ كذلك ـ فى تعديل تركيز المحاليل المغذية المستعملة فى النظم المغلقة .

ولتحضير المحاليل المركزة يجب أن تؤخذ فى الحسبان درجة ذوبان مختلف الأملاح ، والتفاعلات التى تحدث بينها ، والأملاح التى تنتج من تلك التفاعلات ودرجة ذوبانها . فإذا أذيبت الأملاح السمادية بتركيزات عالية ـ كما فى المحاليل المركزة ـ فإن الأملاح الجديدة التى تنتج من تفاعل الأملاح المذابة قد تكون قليلة الذوبان فى الماء ؛ مما يؤدى إلى ترسبها . وتجدر الإشارة إلى أن هذا الترسب لا يحدث فى المحاليل المغذية التى توجد فيها الأملاح السمادية بتركيزات منخفضة ؛ نظرًا لأن تكوّن الأملاح القليلة الذوبان يحدث فيها بكميات قليلة ؛ فتبقى ذائبةً فى المحلول المغذى ؛ لأن كمية الماء فيه كبيرة .

ولا شك أن أكثر الوسائل أمانًا لتجنب ترسيب الأملاح فى المحاليل المركزة هو بتحضير محلول مركز مستقل لكل عنصر ، ولكن ذلك غير عملىّ . ويتم ـ عادة ـ خلط معظم الأملاح معًا مع مراعاة ما يلى :

١ ـ عدم خلط نترات الكالسيوم - التى توجد بأعلى تركيز ـ مع كبريتات المغنسيوم ؛ حتى لا يؤدى ذلك إلى ترسب الكالسيوم فى صورة كبريتات الكالسيوم .

٢ ـ عمل محلول مركز من نترات الكالسيوم مع الحديد المخلبى فقط .

٣ ـ عمل محلول مركز من جميع الأملاح الأخرى معًا ، مع ملاحظة إذابة كبريتات النحاس أولاً فى كمية من الماء ، ثم إضافة المحلول الناتج إلى محلول بقية العناصر .

وقد تحضر ثلاثة محاليل سمادية مركزة ، يحتوى إحداها على نترات الكالسيوم والحديد المخلبى ، ويحتوى الثانى على بقية العناصر الكبرى ، بينما يحتوى الثالث على بقية العناصر الصغرى .

كما قد تحضر أربعة محاليلِ سماديةٍ مركزةٍ مختلفة خاصة بالعناصر الكبرى ، ومحلول قياسى خامس للحديد ، وسادس لباقى العناصر الدقيقة ، كما فى حالة تحضير محلول هوجلاند المغذى .

طريقة حساب الكميات اللازمة من مختلف الأسمدة لتحضير المحاليل المغذية

يمكن حساب الكميات اللازمة من الأملاح السمادية المختلفة لتحضير المحاليل المغذية ، كما فى المثال التالى :

إذا كان التركيز المطلوب للكالسيوم فى المحلول المغذى هو ٢٠٠ جزءٍ فى المليون ، فإنه يلزم ٢٠٠ ملليجرام كالسيوم فى كل لترٍ من الماء . فإذا علمنا أن كل ١٦٤ ملليجرام من نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ يوجد بها ٤٠ ملليجرام كالسيوم Ca (من واقع الوزن الجزيئى لنترات الكالسيوم ، والوزن الذرى للكالسيوم ، ومع فرض ١٠٠٪ نقاوة) ، فإن أول خطوةٍ تكون هى حساب كمية نترات الكالسيوم اللازمة للحصول على ٢٠٠ ملليجرام كالسيوم كالتالى :

١٦٤ ملليجرام نترات كالسيوم تعطى ٤٠ ملليجرام كالسيوم .

س ملليجرام نترات كالسيوم تعطى ٢٠٠ ملليجرام كالسيوم .

$$\therefore \text{س} = \frac{١٦٤ \times ٢٠٠}{٤٠} = ٨٢٠ \text{ ملليجرام نترات كالسيوم .}$$

فإذا أُذيب ٨٢٠ ملليجرام نترات كالسيوم فى لترٍ من الماء ، فإننا نحصل على كالسيوم بتركيز ٢٠٠ جزءٍ فى المليون .

وهذا بفرض أن ملح الكالسيوم المستعمل نقى تمامًا . فإن لم يكن كذلك (وهو الأمر الغالب) لزم إضافة المزيد من نترات الكالسيوم لتعويض النقص الناشىء عن عدم النقاوة . فمثلاً . . إذا كانت درجة نقاوة نترات الكالسيوم ٩٠ ٪ ، فإنه يجب

أن تكون الكمية المستعملة منها هى $\frac{١٠٠}{٩٠} \times ٨٢٠ = ٩١١$ ملليجرام . وبذلك . . فإنه عند إذابة ٩١١ ملليجرام من نترات الكالسيوم ذات نقاوة ٩٠ ٪ فى لتر من الماء ، فإنها تعطى كالسيوم بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون .

وطبيعى أن تلزم فى معظم الأحوال كميات أكبر من لتر من المحلول المغذى ، ويتطلب ذلك معرفة الاحتياجات المائية أولاً .

وعمومًا . . فإن س ملليجرام من المركب السمادى فى اللتر = س جم من المركب نفسه فى المتر المكعب .

أى إن الكمية التى تلزم من نترات الكالسيوم لكل مترٍ مكعبٍ من المحلول السمادى = ٩١١ جم .

ويمكن دمج الخطوات السابقة فى معادلةٍ واحدةٍ كالتالى :

$$W = \frac{CM}{A} \frac{100}{P} K$$

حيث إن :

W= الوزن اللازم من السماد معبرًا عنه بالجرام / م٣.

C = التركيز المطلوب من العنصر ، معبرًا عنه بالجزء فى المليون.

M = الوزن الجزيئى للسماد المستعمل.

A = الوزن الذرى للعنصر المطلوب.

P = نسبة نقاوة السماد المستعمل.

K = عامل التحويل من الملليجرام / لتر إلى الجرام / م٣

وفى المثال السابق نجد أن :

$$W = \frac{٢٠٠ \times ١٦٤}{٤٠} \times \frac{١٠٠}{٩٠} \times ١,٠ = ٩١١ \text{ جم / م}^٣$$

وإذا كان المركب المستعمل يحتوى على أكثر من عنصرٍ ضروريٍ للنبات (وتلك

هى الحالة الغالبة) ، فإنه يجب حساب الكميات التى تم تأمينها من العناصر الأخرى عندما تم توفير كافة الاحتياجات من العنصر الأول .

فنترات الكالسيوم التى استعملت تحتوى على كالسيوم ونيتروجين ؛ ولذلك . . فإن الخطوة التالية تكون حساب كمية النيتروجين التى أُضيفت بعدما وفرت كل احتياجات الكالسيوم كالتالى :

الكمية المضافة من النيتروجين =

$$\frac{١٤ \times ٢}{١٦٤} \times ٨٢٠ = ١٤٠ \text{ ملليجرام / لتر (جزء فى المليون) .}$$

وهذا الحساب يجب أن يتم مع استعمال نظام الجزء فى المليون كالتالى :

$$C_{E_2} = \frac{A_{E_2}}{M} \quad \frac{C_{E_1} M}{A_{E_1}} = \frac{A_{E_2} C_{E_1}}{A_{E_1}}$$

حيث إن

C_{E_1} = تركيز العنصر الأول المطلوب بالجزء فى المليون.

C_{E_2} = الجزء فى المليون المتوفر من العنصر الثانى المطلوب.

A_{E_1} = الوزن الذرى الكلى للعنصر الأول.

A_{E_2} = الوزن الذرى للعنصر الثانى.

M = الوزن الجزيئى للمادة المستعملة .

والخطوة التالية تكون هى حساب الكميات الإضافية من العنصر السمادى الثانى التى يلزم توفيرها من مركبٍ سماديٍّ آخر . فمثلاً . . إذا كان المطلوب ١٥٠ جزءًا فى المليون من الآزوت فى المحلول المغذى ، إذاً الكمية المتبقية اللازمة = ١٥٠ ـ ١٤٠ = ١٠ أجزاء فى المليون من الآزوت . وهذه الكمية يمكن الحصول عليها من نترات البوتاسيوم ، فتكون كمية نترات البوتاسيوم اللازمة للحصول على ١٠ أجزاء فى المليون من النيتروجين هى:

$$W_{KNO_3} = \frac{C_N M_{KNO_3}}{A_N} \frac{100}{P} K$$

$$= \frac{10 \times 101}{14} \frac{100}{95} 1.0$$

$$= 75.9 \text{ g/ m}^2$$

أى حوالى ٧٦ جرامًا لكل مترٍ مكعبٍ ، وهكذا تستمر الحسابات بالطريقة نفسها لجميع العناصر الضرورية .

وإذا أدى توفير الاحتياجات من أحد العناصر إلى زيادة تركيز أحد العناصر الأخرى عن الحد المناسب ، فإنه يجب توفير احتياجات العنصر الثانى أولاً ، ثم استعمال سمادٍ آخر فى تأمين باقى الاحتياجات من العنصر الأول (Resh ١٩٨٥) .

ويتطلب إجراء حسابات كميات الأسمدة اللازمة معرفة الأوزان الذرية لمختلف العناصر التى تدخل ـ عادةً ـ فى تركيب المحاليل المغذية ، وهى كما يلى :

العنصر	رمزه	وزنه الذرى
الكربون	C	١٢,٠١
الأيدروجين	H	١,٠٠٨
الأوكسجين	O	١٦,٠٠
النيتروجين	N	١٤,٠١
الفوسفور	P	٣٠,٩٧
البوتاسيوم	K	٣٩,١٠
الكالسيوم	Ca	٤٠,٠٨
المغنيسيوم	Mg	٢٤,٣١
الكبريت	S	٣٢,٠٦
الحديد	Fe	٥٥,٨٥
البورون	B	١٠,٨١
النحاس	Cu	٦٣,٥٤
المنجنيز	Mn	٥٤,٩٤
الموليبدنم	Mo	٩٥,٩٤
الزنك	Zn	٦٥,٣٧
الكلورين	Cl	٣٥,٤٥
الصوديوم	Na	٢٢,٩٩
الألومنيوم	Al	٢٦,٩٨
السيلنيم	Se	٧٨,٩٦
السيليكون	Si	٢٨,٠٩

الأسمدة التى يشيع استخدامها فى تحضير المحاليل المغذية

يتضمن جدول (٤ ـ ٥) قائمةً بأسماء أهم الأسمدة المستخدمة فى تحضير المحاليل المغذية ، مع بيان الاسم التجارى ، والتركيب الكيميائى ، والوزن الجزيئى لكلٍّ منها ، وكذلك العناصر الغذائية التى توجد بها ، ودرجة ذوبانها فى الماء، وتكلفتها . ويفيد هذا الجدول فى تخيُّر الأسمدة التى يمكن استعمالها كمصادر للعناصر المختلفة .

كما يبين جدول (٤ ـ ٦) كيفية حساب الكميات اللازمة من الأسمدة البسيطة إذا عرفت الكميات المطلوبة من العناصر أو العكس .

أما جدول (٤ ـ ٧) فإنه يعطى النسبة المئوية للنقاوة فى أهم الأسمدة التجارية المستخدمة كمصادر للعناصر الكبرى .

ولتسهيل العمليات الحسابية ، فإن جدول (٤ ـ ٨) يعطى الكمية اللازمة من الملح السمادى بالجرام لتحضير ١٠٠٠ لترٍ من المحلول المغذى بتركيز جزءٍ واحدٍ فى المليون من العنصر المعنى . ويشتمل الجدول على ٢١ سمادًا تعتبر أهم المصادر الشائعة لجميع العناصر الغذائية .

وتؤكد دراسات Wang (١٩٩٠) على الفلفل أن استعمال أيون الحديدوز كان أفضل من استعمال أيون الحديديك ؛ فقد كان الوزن الجاف الكلى للنباتات عند استعمال أيون الحديديك ٦٠ ٪ من وزنها عند استعمال أيون الحديدوز . كما كان لشحنة أيون الحديد تأثير مماثل على الوزن الطازج للنباتات وطول الجذور.

جدول (٤ ـ ٥) : أهم الأسمدة المستخدمة فى تحضير المحاليل المغذية .

الاسم التجارى للسماد ورمزه الكيميائى	الوزن الجزيئى	العناصر التى يوفرها	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	التكلفة	ملاحظات
		العناصر الكبرى			
نترات البوتاسيوم KNO_3	١٠١,١	K^+ NO_3^-	١ : ٤	منخفضة	سريع الذوبان رخيص الثمن
نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$	١٦٤,١	Ca^{++} $2(NO_3)^-$	١ : ١	متوسطة	(يتبع)

تابع جدول (٤ ـ ٥).

الاسم التجارى للسماد وزمزه الكيميائى	الوزن الجزيئى	العناصر التى يوفرها	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	التكلفة	ملاحظات
		تابع : العناصر الكبرى			
كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2\ SO_4$	١٣٢,٢	$2(NH_4^+)$ $SO4^{--}$	١ : ٢	متوسطة	
فوسفات الأمونيوم ثنائى الأيدروجين $NH_2H_2PO_4$	١١٥,٠	NH_4^+ H_2PO^-4	١ : ٤	متوسطة	لا تستخدم هذه المركبات إلا تحت ظروف الإضاءة الجيدة، أو لعلاج حالة نقص الأزوت
فوسفات الأمونيوم أحادى الأيدروجين $(NH_4)_2HPO_4$	١٣٢,١	$2(NH_4^+)$ HPO_4^{--}	١ : ٢	متوسطة	مثل السماد السابق
فوسفات البوتاسيوم الأحادية KH_2PO_4	١٣٦,١	$H_2PO_4^-$ K^+	١ : ٣	مرتفعة جدا	مثل السماد السابق
كلوريد البوتاسيوم KCl	٧٤,٥٥	K^+ Cl^-	١ : ٣	مرتفعة	يستعمل لعلاج حالات نقص البوتاسيوم ، وعندما تقل نسبة كلوريد الصوديوم فى الماء
كبريتات البوتاسيوم $K_2\ SO_4$	١٧٤,٣	$2K^+$ SO_4^{--}	١ : ١٥	منخفضة	تجب إذابته فى الماء الساخن
فوسفات أحادى الكالسيوم $Ca\ (H_2PO_4)_2\ H_2O$	٢٥٢,١	$2H_2PO_4^-$ Ca^{++}	١ : ٦٠	منخفضة	
سوبر فوسفات ثلاثى $CaH_4(PO_4)_2$	يختلف	Ca^{++} $2PO_4^{--}$	١ : ٣٠٠	منخفضة	لا يستخدم غالبا لضعف ذوبانه فى الماء
كبريتات المغنسيوم $MgSO_47H_2\ O$	٢٤٦,٥	Mg^{++} SO_4^{--}	١ : ٢	منخفضة	
كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$	٢١٩,١	Ca^{++} $2Cl^-$	١ : ١	مرتفعة	يستعمل لعلاج حالات نقص الكالسيوم ، وعندما تقل نسبة كلوريد الصوديوم فى الماء

تابع جدول (٤ ـ ٥).

الاسم التجارى للسماد وزمزه الكيميائى	الوزن الجزيئى	العناصر التى يوفرها	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	التكلفة	ملاحظات
تابع : العناصر الكبرى					
حامض الفوسفوريك H_3PO_4	٩٨,٠	PO_4^{---}	حامض مركز		يستعمل ـ خاصة ـ لعلاج نقص الفوسفور
العناصر الصغرى					
كبريتات الحديدوز $FeSO_4\ 7H_2O$	٢٧٨,٠	Fe^{++} SO_4^{--}	١ : ٤		
كلوريد الحديديك $FeCl_36H_2O$	٢٧٠,٣	F^{+++} $3Cl^-$	١ : ٢		
حديد مخلبى Fe EDTA (١٠,٥ ٪ حديد)	٢٨٢,١	Fe^{++}	سريع الذوبان	مرتفعة	أفضل مصادر الحديد . يذاب فى الماء الساخن
حامض البوريك H_3BO_3	٦١,٨	B^{+++}	١ : ٢٠	مرتفعة	أفضل مصادر البورون . يذاب فى الماء الساخن
بوراكس أو تترابورات الصوديوم $Na_2B_4O_7\ 10H_2O$	٣٨١,٤	B^{+++}	١ : ٢٥		
كبريتات النحاس $CuSO_2\ 5H_2O$	٢٤٩,٧	Cu^{++} SO_4^{--}	١ : ٥	منخفضة	
كبريتات المنجنيز $MnSO_4\ 4H_2O$	٢٢٣,١	Mn^{++} SO_4^{--}	١ : ٢	منخفضة	
كلوريد المنجنيز $MnCl_24H_2$	١٩٧,٩	Mn^{++} $2Cl^-$	١ : ٢	منخفضة	
كبريتات الزنك $ZnSO_4\ 7H_2$	٢٨٧,٦	Zn^{++} SO_4^{--}	١ : ٣	منخفضة	
كلوريد الزنك $ZnCl_2$	١٣٦,٣	Zn^{++}	١ : ١,٥	منخفضة	
موليبدات الأمونيوم $(NH_4)_6\ Mo_7O_{24}$	١١٦٣,٩	$2Cl^-$ NH_4^+	١ : ٢,٣	مرتفعة نوعا	
زنك مخلبى ZnEDTA	٤٣١,٦	Mo^{+6}	سريع الذوبان	مرتفعة	
منجنيز مخلبى MnEDTA	٣٨١,٢	Zn^{++} Mn^{++}	سريع الذوبان	مرتفعة	

جدول (٤ ـ ٦) : طريقة حساب الكميات اللازمة من الأسمدة البسيطة إذا عرفت الكميات اللازمة من العناصر أو العكس (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

تضرب الكمية المطلوبة من		فى	للحصول على الكمية المطلوبة من	
الأمونيا -	Ammonia-NH_3	4.700	نترات الأمونيوم -	Ammonium nitrate-NH_4NO_3
الأمونيا -	Ammonia-NH_3	3.879	كبريتات الأمونيوم -	Ammonium sulfate-$(NH_4)_2SO_4$
الأمونيا -	Ammonia-NH_3	0.823	النيتروجين -	Nitrogen-N
نترات الأمونيوم -	Ammonium nitrate-NH_4NO_3	0.350	النيتروجين -	Nitrogen-N
كبريتات الأمونيوم -	Ammonium sulfate-$(NH_4)_2SO_4$	0.212	النيتروجين -	Nitrogen-N
البوراكس -	Borax-$Na_2B_4O_7.10H_2O$	0.114	البورون -	Boron-B
حامض البوريك -	Borie aeid-H_3BO_3	0.177	البورون -	Boron-B
البورون -	Boron-B	8.813	البوراكس -	Borax-$Na_2B_4O_7.10H_2O$
البورون -	Boron-B	5.716	حامض البوريك -	Boric aeid-H_3BO_3
الكالسيوم -	Calcium-Ca	1.399	أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO
الكالسيوم -	Calcium-Ca	2.498	كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$
الكالسيوم -	Calcium-Ca	1.849	أيدروكسيد الكالسيوم -	Calcium hydroxide-$Ca(OH)_2$
الكالسيوم -	Calcium-Ca	4.296	كبريتات الكالسيوم -	Calcium sulfate-$CaSO_4.2H_2O$ (gypsum)
كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$	0.400	الكالسيوم -	Calcium-Ca
كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$	0.741	أيدروكسيد الكالسيوم -	Calcium hydroxide-$Ca(OH)_2$
كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$	0.560	أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO
كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$	0403	أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO
كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-CaCO3	0.842	كربونات المغنيسيوم -	Magnesium carbonate-$MgCO_3$
إيدروكسيد الكالسيوم-	Calcium hydroxide-$Ca(OH)_2$	0.541	الكالسيوم -	Calcium-Ca
إيدروكسيد الكالسيوم-	Calcium hydroxide-$Ca(OH)_2$	1.351	كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$
إيدروكسيد الكالسيوم-	Calcium hydrocide-$Ca(OH)_2$	0.756	أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO
أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO	0.715	الكالسيوم -	Calcium-Ca
أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO	1.785	كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$
أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO	1.323	أيدروكسيد الكالسيوم -	Calcium hydroxide-$Ca(OH)_2$
أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO	3.071	كبريتات الكالسيوم -	Calcium sulfalte-$CaSO_4.2H_2O$ (gypsum)
الجبس -	Gypsum-$CaSO_4.2H_2O$	0.326	أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO

يتبع

تابع جدول (٤ ـ ٦) .

تضرب الكمية المطلوبة من		في	للحصول على الكمية المطلوبة من	
الجبس -	Gypsum-$CaSO_4 . 2H_2O$	0.186	الكبريت -	Sulfur-S
أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO	2.480	كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$
أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO	0.603	المغنيسيوم -	Magnesium-Mg
أوكسيد المغنيسيوم	Magnesia-MgO	2.092	كربونات المغنيسيوم	Magnesium carbonate-$MgCO_3$
أوكسيدالمغنيسيوم	Magnesia-MgO	2.986	كبريتات المغنيسيوم -	Nagnesium sulfate-$MgSO_4$
أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO	6.114	كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-$MgSO4 .7H_2 O$ (Epsom salts)
المغنيسيوم -	Magnesium-Mg	4.116	كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$
المغنيسيوم -	Magnesium-Mg	1.658	أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO
المغنيسيوم -	Magnesium-Mg	3.466	كربونات المغنيسيوم	Magnesium carbonate-$MgCO_3$
المغنيسيوم -	Magnesium-Mg	4.951	كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-$MgSO_4$
المغنيسيوم -	Magnesium-Mg	10.136	كبريتات المغنيسيوم -	Magnesum sulfate-$MgSO_4 7H_2 O$ (Epsom salts)
كربونات المغنيسيوم	Magnesium carbonate-$MgCO_3$	1.187	كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$
كربونات المغنيسيوم	Magnesium carbonate-$MgCO_3$	0.478	أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO
كربونات المغنيسيوم	Magnesium carbonate-$MgCO_3$	0.289	المغنيسيوم -	Magnesium-Mg
كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-MgSO4	0.335	أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO
كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-$MgSO_4$	0.202	المغنيسيوم -	Magnesium-Mg
كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-$MgSO_4 .7H_2O$ (Epsom salts)	0.164	أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO
كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-$MgSO_4 .7H_2O$ (Epsom salts)	0.099	المغنيسيوم -	Magnesium-Mg
المنجنيز -	Manganese-Mn	2.749	كبريتات المنجنيز -	Manganese(ous) sulfate-$MnSO_4$
المنجنيز -	Manganese-Mn	4.060	كبريتات المنجنيز -	Manganese(ous) sulfate-$MnSO_4 .4H_2O$
كبريتات المنجنيز -	Manganese(ous) sulfate-$MnSO_4$	0.364	المنجنيز -	Manganese-Mn
كبريتات المنجنيز -	Manganese(ous) sulfate-$MnSO_4 .4H_2O$	0.246	المنجنيز	Manganese-Mn
النترات -	Nitrate-NO_3	0.226	النيتروجين -	Nitrogen-N

يتبع

تابع جدول (٤ ـ ٦) .

تضرب الكمية المطلوبة من		فى	للحصول على الكمية المطلوبة من	
النيتروجين -	Nitrogen-N	1.216	الأمونيا -	Ammonia-NH_3
النيتروجين -	Nitrogen-N	2.856	نترات الأمونيوم -	Ammonium nitrate-NH_4NO_3
النيتروجين -	Nitrogen-N	4.716	كبريتات الأمونيوم -	Ammonium sulfate-$(NH_4)_2SO_4$
النيتروجين -	Nitrogen-N	4.426	النترات -	Nitrate-NO_3
النيتروجين -	Nitrogen-N	6.068	نترات الصوديوم	Sodium nitrate-$NaNO_3$
النيتروجين -	Nitrogen-N	6.250	البروتين -	Protein
خامس أوكسيد الفوسفور -	Phosphoric acid-P_2O_5	0.437	الفوسفور -	Phosphorus-P
الفوسفور -	Phosphorus-P	2.291	خامس أوكسيد الفوسفور -	Phosphoric acid-P_2O_5
أوكسيد البوتاسيوم -	Potash-K_2O	1.583	كلوريد البوتاسيوم -	Potassium chloride-KCl
أوكسيد البوتاسيوم -	Potash-K_2O	2.146	نترات البوتاسيوم -	Potassium nitrate-KNO_3
أوكسيد البوتاسيوم -	Potash-K_2O	0.830	البوتاسيوم -	Potassium-K
أوكسيد البوتاسيوم -	Potash-K_2O	1.850	كبريتات البوتاسيوم -	Potassium sulfate-K_2SO_4
البوتاسيوم -	Potassium-K	1.907	كلوريد البوتاسيوم -	Potassium chloride-KCl
البوتاسيوم -	Potassium-K	1.205	أوكسيد البوتاسيوم -	Potash-K_2O
البوتاسيوم -	Potassium-K	2.229	كبريتات البوتاسيوم -	Potassium sulfate-K_2SO_4
كلوريد البوتاسيوم -	Potassium chloride-KCl	0.632	أوكسيد البوتاسيوم -	Potash-K_2O
كلوريد البوتاسيوم -	Potassium chloride-KCl	0.524	البوتاسيوم -	Potassium-K
نترات البوتاسيوم -	Potassium nitrate-KNO_3	0.466	أوكسيد البوتاسيوم -	Potash-K_2O
نترات البوتاسيوم -	Potassium nitrate-KNO_3	0.387	البوتاسيوم	Potassium-K
كبريتات البوتاسيوم -	Potassium sulfate-K_2SO_4	0.540	أوكسيد البوتاسيوم -	Potash-K_2O
كبريتات البوتاسيوم -	Potassium sulfate-K_2SO_4	0.449	البوتاسيوم -	Potassium-K
نترات الصوديوم -	Sodium nitrate-$NaNo_3$	0.165	النيتروجين -	Nituogen-N
الكبريت	Sulfur-S	5.368	كبريتات الكالسيوم -	Calcium sulfate-$CaSO_4 .2H_2 O$ (gypsum)
الكبريت	Sulfur-S	2.497	ثالث أوكسيد الكبريت -	Sulfur trioxide-SO_3
الكبريت	Sulfur-S	3.059	حامض الكبريتيك -	Sulfuric acid-H_2SO_4
ثالث أوكسيد الكبريت -	Sulfur trioxide-SO_3	0.401	الكبريت -	Sulfur-S
حامض الكبريتيك -	Sulfuric acid-H_2SO_4	0.327	الكبريت -	Sulfur-S

جدول (٤ ـ ٧) : نسبة النقاوة فى بعض الأسمدة التجارية الهامة .

السـماد	النقاوة (٪)
فوسفات الأمونيوم	٩٨
كبريتات الأمونيوم	٩٤
نترات الأمونيوم النقية	٩٨
نترات البوتاسيوم	٩٥
نترات الكالسيوم	٩٠
فوسفات أحادى الكالسيوم	٩٢
كبريتات البوتاسيوم	٩٠(أ)
كلوريد البوتاسيوم	٩٥
كبريتات المغنيسيوم	٤٥
كلوريد الكالسيوم	٧٥
كبريتات الكالسيوم (الجبس)	٧٠
فوسفات أحادى الكالسيوم	٩٨

(أ) استبعد ماء التبلور عند حساب نسبة النقاوة .

جدول (٤ ـ ٨) : كمية السماد التى تلزم لتحضير محلول مغذ بتركيز جزء واحد فى المليون من العنصر الذى يوفره السماد .

السـماد وتحليله	العنصر الذى يوفره السماد	كمية السماد بالجرام اللازمة لتحضير ١٠٠٠ لتر من المحلول المغذى بتركيز جزء واحد فى المليون من العنصر المعنى
كبريتات الأمونيوم (٢١ ـ صفر ـ صفر)	نيتروجين	٤,٧٦
نترات الكالسيوم (١٥,٥ ـ صفر ـ صفر)	نيتروجين	٦,٤٥
	كالسيوم	٤,٧٠
نترات البوتاسيوم (١٣,٧٥ ـ صفر ـ ٣٦,٩)	نيتروجين	٧,٣٠
	بوتاسيوم	٢,٦٠
نترات الصوديوم (١٥,٥ ـ صفر ـ صفر)	نيتروجين	٦,٤٥

(يتبع)

تابع جدول (٤ ـ ٨).

السماد وتحليله	العنصر الذى يوفره السماد	كمية السماد بالجرام اللازمة لتحضير ١٠٠٠ لتر من المحلول المغذى بتركيز جزء واحد فى المليون من العنصر المعنى
اليوريا (٤٦ ـ صفر ـ صفر)	نيتروجين	٢,١٧
نتروفوسكا (١٥ ـ ٦,٥ ـ ٢١,٥)	نيتروجين	٦,٦٠
	فوسفور	١٥,٠٠
	بوتاسيوم	٨,٣٠
فوسفات أحادى البوتاسيوم (صفر ـ ٢٢,٥ ـ ٢٨)	بوتاسيوم	٣,٥٣
	فوسفور	٤,٤٥
كبريتات البوتاسيوم (صفر ـ صفر ـ ٤٣,٣)	بوتاسيوم	٢,٥٠
كلوريد البوتاسيوم (صفر ـ صفر ـ ٤٩,٨)	بوتاسيوم	٢,٠٥
فوسفات أحادى الكالسيوم (صفر ـ ٢٠,٨ ـ صفر)	فوسفور	٤,٧٨
فوسفات أحادى الأمونيوم (١١ ـ ٢٠,٨ ـ صفر)	فوسفور	٤,٧٨
كبريتات الكالسيوم (الجبس)	كالسيوم	٤,٨٠
حامض البوريك	بورون	٥,٦٤
كبريتات النحاس	نحاس	٣,٩٠
كبريتات الحديدوز	حديد	٥,٥٤
حديد مخلبى ٩ ٪	حديد	١١,١٠
كبريتات المنجنيز	منجنيز	٤,٠٥
كبريتات المنجنيز المهدرج (ملح إبسون)	منجنيز	١٠,٧٥
ثالث أكسيد الموليبدنم MoO_3	موليبدنم	١,٥٠
موليبدات الصوديوم	موليبدنم	٢,٥٦
كبريتات الزنك	زنك	٤,٤٢

أمثلة للمحاليل المغذية المستعملة تجاريا

تقترب معظم المحاليل المغذية فى تركيبيها من محاليل هوجلاند المغذية ؛ ولذا فسنبدأ بشرح طريقة تحضيرها بالتفصيل ، ثم نتابع ذكر أمثلةٍ للمحاليل الأخرى

المستعملة تجاريا . ولمزيد من أمثلة المحاليل المغذية ـ خلافًا لتلك المقدمة فى هذا الجزء ـ فإنه يمكن مراجعة Hewitt(١٩٦٦) و Douglas (١٩٨٥) .

محاليل هوجلاند المغذية

يوجد اثنان من محاليل هوجلاند المغذية Hogland's Nutrient Solutions يكون النيتروجين فى أحدهما نتراتى فقط، بينما يتوفر النيتروجين فى المحلول الثانى فى صورتيه النترانية والأمونيومية . ويحضران من تسعة محاليل قياسية standard stock solutions مختلفة. هذا . . وتحضر المحاليل القياسية ، كما فى جدول (٤ ـ ٩) ، بينما يحضر محلولا هوجلاند من هذه المحاليل القياسية ، كما هو مبين فى جدول (٤ ـ ١٠) ، وهى التى تستعمل فى تغذية النباتات (عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠) . ويقتصر استعمال محاليل هوجلاند غالبًا على دراسات فسيولوجيا النبات .

جدول (٤ ـ ٩) : طريقة تحضير المحاليل القياسية اللازمة لعمل محلولى هوجلاند (أ) ، (ب) .

رقم المحلول القياسى	المركب وتركيبه الكيميائى		الكمية اللازمة من المركب بالجرام لتحضير لتر من المحلول القياسى
١	نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2 .4 H_2 O$	٢٣٦,٢
٢	نترات البوتاسيوم	KNO_3	١٠١,١
٣	فوسفات أحادى البوتاسيوم	KH_2PO_4	١٣٦,١
٤	كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4 . 7 H_2 O$	٢٤٦,٥
٥	نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2 .4 H_2 O$	٢٣٦,٢
٦	فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2 PO_4$	١١٥,٠
٧	كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4 . 7H_2 O$	٢٤٦,٥
٨	حامض البوريك	H_3BO_3	٢,٨٦
	كلوريد المنجنيز	$MnCl_2 . 4H_2O$	١,٨١

تابع جدول (٤ ـ ٩).

رقم المحلول القياسى	المركب	وتركيبه الكيميائى	الكمية اللازمة من المركب بالجرام لتحضير لتر من المحلول القياسى
	كبريتات الزنك	$ZnSO_4 .7H_2O$	٠,٢٢
	كبريتات النحاس	$CuSO_4 . 5 H_2 O$	٠,٠٨
	حامض الموليبديك	$H_2 MoO_4 . H_2O$	٠,٠٢
٩	حديد مخلبى		ما يكفى من المادة لأن يكون تركيز الحديد فى المحلول القياسى ٠,١ ٪ (أ)

(أ) مثال : إذا استخدم التحضير التجارى Sequestrene 330 كمصدر للحديد ، فإنه يلزم منه ١٠ جم تذاب فى الماء لعمل لترٍ من محلول الحديد القياسى ؛ نظراً لاحتواء هذا المركب على الحديد بنسب ١٠ ٪ .

جدول (٤ ـ ١٠) : طريقة تحضير محلولى هوجلاند أ ، ب من المحاليل القياسية المبينة فى جدول (٤ ـ ٩) .

محلول هوجلاند (أ)	المحلول القياسى (يراجع جدول ٤ ـ ٩)	الكمية اللازمة بالمليلتر (مل) لتحضير لتر من المحلول المغذى
أ	١	٥
	٢	٥
	٣	١
	٤	٢
	٨	١
	٩	١
ب	٥	٤
	٢	٦
	٦	١
	٧	٢
	٨	١
	٩	١

(أ) لتحضير اى من المحلولين (أ) أو (ب) تضاف الكميات المبينة من المحاليل القياسية المختلفة إلى ٨٠٠ مل ماءً مقطراً ، ثم يكمل الحجم النهائى إلى لترٍ .

محلول هيوت المغذى

يحضر محلول هيوتّ Hewitt المغذى كما هو فى جدول (٤ ـ ١١) من الأملاح النقية والماء المقطر ، ويستخدم غالبًا فى دراسات فسيولوجيا النبات (Devlin ١٩٧٥) .

جدول (٤ ـ ١١) : الأملاح المستخدمة فى تحضير محلول هيوت المغذى وتركيزاتها به .

رقم المحلول القياسى			المركب		
			جم / لتر	جزء فى المليون	ملللى مول / لتر
نترات البوتاسيوم	KNO_3	م	٠,٥٠٥٠٠٠	البوتاسيوم = ١٩٥ النيتروجين = ٧٠	٥,٠
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2$	م م	٠,٨٢٠٠٠٠	الكالسيوم = ٢٠٠ النيتروجين = ١٤٠	٥,٠
فوسفات الصوديوم	$Na\ H_2PO_4 . 2H_2O$	م	٠,٢٠٨٠٠٠	الفوسفور = ٤١	١,٣٣
كبريتات المغنسيوم	$Mg\ SO_4 . 7H_2O$	م	٠,٣٦٩٠٠٠	المغنسيوم = ٢٤	٣,٠٠
سترات الحديديك		م	٠,٠٢٤٥٠٠	الحديد = ٥,٦	٠,١
كبريتات المنجنيز	$Mn\ SO_4$		٠,٠٠٢٢٣٠	المنجنيز = ٠,٥٥	٠,٠١
كبريتات النحاس	$Cu\ SO_4 . 5H_2O$		٠,٠٠٠٢٤٠	النحاس = ٠,٠٦٤	٠,٠٠١
كبريتات الزنك	$Zn\ SO_4 . 7H_2O$		٠,٠٠٠٢٩٦	الزنك = ٠,٠٦٥	٠,٠٠١
حامض البوريك	$H_3\ BO_3$		٠,٠٠١٨٦٠	البورون = ٠,٠٣٧	٠,٠٣٣
موليبدات الأمونيوم	$(NH_4)_6MO_7\ O_{24}.4H_2O$		٠,٠٠٠٠٣٥	الموليبدنم = ٠,٠١٩	٠,٠٠٠٢
كبريتات الكوبالت	$Co\ SO_4\ 7H_2O$		٠,٠٠٠٠٢٨	الكوبالت = ٠,٠٠٦	٠,٠٠٠١
كلوريد الصوديوم	NaCl		٠,٠٠٥٨٥٠	الكلور = ٣,٥٥	٠,٠١

محاليل مغذية متنوعة تحتوى على جميع العناصر الضرورية للنبات

من أمثلة المحاليل المغذية الكاملة التى استعملت فى مختلف أنحاء العالم ما يلى :

١ ـ فى كاليفورنيا يستعمل محلول مغذٍّ يقارب فى قوته نصف قوة محلول هوجلاند مع بعض التغيير ، ويحضر بإضافة لتر من محلولين قياسيين (١) ، (٢) إلى

٢٠٠ لترٍ من الماء . وتخزن المحاليل القياسية فى أوعيةٍ منفصلةٍ (يفضل أن تكون بلاستيكيةً أو مبطنةً بالبلاستيك) ؛ لتجنب ترسيب العناصر . وبرغم أنه يمكن تخزين المحاليل المركزة دون مشاكل ، إلا أنه يكتفى ـ عادةً ـ بتحضير كمياتٍ تكفى لعدة أسابيع فقط .

ويلزم لتحضير المحلول القياسى رقم (١) الكميات التالية من الأملاح ومحلول العناصر الدقيقة المركزة :

المركب	الكمية اللازمة لكل ٢٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم KNO_3	٩,٦ كجم
فوسفات البوتاسيوم $K H_2 PO_4$	٥,٥ كجم
كبريتات المغنسيوم $Mg SO_4 . 7H_2O$	٩,٦ كجم
محلول العناصر الدقيقة المركز	٢٠,٠ لتر

أما المحلول القياسى رقم (٢) ، فتستخدم فى تحضيره الكميات التالية من الأملاح :

المركب	الكمية اللازمة لكل ٢٠٠ لتر ماء
نترات الكالسيوم التجارية $Ca (NO_3)_2$	١٧,٤ كجم
حديد مخلبى (Sequestrene 330)	٩٠,٠ كجم

هذا . . ويضاف الحديد المخلبى إلى كميةٍ قليلةٍ من الماء قبل إضافته إلى محلول نترات الكالسيوم المركز . ويستخدم فى تحضير محلول العناصر الدقيقة المركز الكميات التالية من الأملاح :

المركب	الكمية اللازمة لكل ٢٠٠ لتر ماء
حامض البوريك $H_3 BO_3$	٥٤,٠
كبريتات المنجنيز $Mn SO_4 . H_2O$	٢٨,٠
كبريتات الزنك $Zn SO_4 . 7H_2O$	٤,٠
كبريتات النحاس $Cu SO_4 . 5H_2O$	١,٠
حامض الموليبديك $Mo O_3 . 2H_2O$	٠,٥

يذاب حامض الموليبديك أولاً فى ماء مغلىّ ، وتضاف الأملاح الأخرى إلى وعاء يتسع لعشرين لترًا ، وتقلب جيدًا فى نحو ١٢ لتر ماء ، ثم يضاف حامض البوريك المذاب ، ويكمل الوعاء ليصبح حجم المحلول ٢٠ لترًا .

وعند تحضير المحلول المغذى ، فإن المحلولين القياسيين (١) ، (٢) لا يضاف أحدهما إلى الآخر ، وإنما يضاف كل منهما منفردًا إلى الماء ، على أن تكون النسبة ١ محلول قياس رقم (١) : ١ محلول قياس رقم (٢) : ٢٠٠ ماء ، مع ملاحظة أن زيادة نسبة المحاليل القياسية عن ذلك تؤدى إلى ترسيب بعض العناصر . ويحتوى المحلول المغذى الناتج على العناصر المختلفة بالتركيزات المبينة فى جدول (٤ ـ ١٢) .

جدول (٤ ـ ١٢) : تركيز العناصر فى المحلول المغذى المستعمل فى كاليفورنيا .

العنصر	التركيز	
	بالجزء فى المليون	بالملى مكافئ / لتر
النيتروجين النيتراتى	١٠٣	٧,٥
الفوسفور (على صورة H_2PO_4)	٣٠	١,٠
البوتاسيوم	١٤٠	٣,٥
الكالسيوم	٨٣	٤,٠
المغنيسيوم	٢٤	٢,٠
الكبريت (على صورة (SO_4)	٣٢	٢,٠
الحديد	٢,٥	
البورون	٠,٢٥	
المنجنيز	٠,٢٥	
الزنك	٠,٠٢٥	
النحاس	٠,٠١	
الموليبدنم	٠,٠٠٥	

٢ ـ فى فلوريدا يستعمل محلول مغذٍ تستخدم فى تحضيره الكميات التالية من الأملاح (عن Douglas ١٩٨٥):

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم	٣٦٥
كبريتات الأمونيوم	٨٠
فوسفات أحادى الكالسيوم	١٧٠
كبريتات المغنيسيوم	١٦٠
كبريتات الكالسيوم	٩٠٠
مخلوط أملاح العناصر الدقيقة	١٨

ويحضر مخلوط أملاح العناصر الدقيقة بخلط الكميات التالية من الأملاح خلطًا جيدًا جدا .

المركب	الكمية بالجرام
كبريتات الحديد	١١٣
كبريتات المنجنيز	٧,٥
كبريتات النحاس	٣,٥
بوراكس(Sodium tetraborate)	٨٥
كبريتات الزنك	٣,٥

٣ ـ يستعمل فى تكساس ـ بنجاح ـ المحلول المغذى التالى (عن Wittwer & Honma ١٩٧٩):

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم	١٧٧
نترات الكالسيوم	٩٥١
كبريتات البوتاسيوم والمغنيسيوم	٤٤١
كبريتات البوتاسيوم	٣٤٣
حديد مخلبى (FeDTPA)	٣٢

(يتبع)

تابع ما سبق :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
حامض فوسفوريك (٧٥ ٪)	(١٠٦ مل)
كبريتات المنجنيز	٤,٠
حامض البوريك	٥,٨
كبريتات الزنك	١,٣
كبريتات النحاس	١,٣
حامض موليبديك	٠,١١

يبلغ تركيز العناصر فى هذا المحلول المغذى ـ بالجزء فى المليون ـ كما يلى :

النيتروجين	١٧٢	الحديد	٣
الفوسفور	٤١	البورون	١,٠
البوتاسيوم	٣٠٠	المنجنيز	١,٣
الكالسيوم	١٨٠	الزنك	٠,٣
المغنيسيوم	٤٨	النحاس	٠,٣
الكبريت	١٥٨	الموليبدنم	٠,٠٧

٤ ـ يستعمل فى انجلترا ـ بنجاح ـ مع الطماطم والخيار ـ المحلول المغذى التالى (عن Jones ١٩٨٢) :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم	٦٧٠
كبريتات المغنيسيوم	٣١١
نترات الكالسيوم	٩٩٠
فوسفات البوتاسيوم	١٤٠
حديد مخلبى	١٨,٢
كبريتات المنجنيز	٢,١

(يتبع)

تابع ما سبق :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
حامض البوريك	١,٨
كبريتات الزنك	٠,٢٦
كبريتات النحاس	٠,٢٦
موليبدات الأمونيوم	٠,٠٨

٥ ـ يستعمل فى مزارع الحصى فى اليابان محلولان ؛ أحدهما للخضر الثمرية ، والثانى للخضر الورقية ، ويحضران كما يلى :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
محلول الخضر الثمرية	
نترات البوتاسيوم	٨١٠
نترات الكالسيوم	٩٥٠
كبريتات المغنيسيوم	٥٠٠
فوسفات الأمونيوم	١٥٥
محلول الخضر الورقية	
نترات البوتاسيوم	٨١٠
نترات الأمونيوم	٣٢٠
كبريتات المغنيسيوم	٥٠٠
سوبر فوسفات مركز	٥٨٠

يضاف إلى كلٍّ من المخلوطين حديد مخلبى بتركيز ٣ أجزاء فى المليون ، وبورون بتركيز ٠,٥ جزءًا فى المليون .

٦ ـ يستعمل فى الكويت محلول مغذٍّ يحضر من الأملاح التالية :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
كبريتات المغنيسيوم	٣٣٩,٣٠
فوسفات أحادى الكالسيوم	١٢٨,٨٧
نترات الكالسيوم	٢٠٠٢,٠٠
نترات البوتاسيوم	٢٦٤,٠٠
كبريتات البوتاسيوم	١٨,٨٤
كلوريد الصوديوم	١٥٦,٦٠
حامض النيتريك المركز	١٣,٠٠ مل
حامض الأيدروكلوريك المركز	٢٠,٠٠ مل

ويمكن إحلال فوسفات أحادى البوتاسيوم بمعدل ١٣١,١٦٩ جم / ١٠٠٠ لتر ماءٍ محل فوسفات أحادى الكالسيوم .

وتضاف لما سبق العناصر الدقيقة بالمعدلات التالية :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
سترات الحديد والأمونيوم	١,٠٠
Ferric ammonium citrate	
كبريتات المنجنيز	٠,٥٠
كبريتات النحاس	٠,٠٥
كبريتات الزنك	٠,٠٥
مسحوق حامض البوريك	٠,٥٠
حامض الموليبديك	٠,٠١

٧ ـ يستعمل فى بولندا محلول مغذٍ يحضر من الأملاح التالية (عن Douglas ١٩٨٥) :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم	٦٠٠
نترات الكالسيوم	٧٠٠

تابع ما سبق :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
نترات الأمونيوم	١٠٠
سوبر فوسفات ثلاثى	٥٠٠
كبريتات المغنيسيوم	٢٥٠
كبريتات الحديد	١٢٠
حامض البوريك	٠,٦
كبريتات المنجنيز	٠,٦
كبريتات الزنك	٠,٦
كبريتات النحاس	٣,٠
موليبدات الأمونيوم	٠,٦

ويمكن زيادة حموضة هذا المحلول بإضافة حامض الفوسفوريك إليه بمعدل ١٠٠ مل لكل ١٠٠٠ لتر من المحلول المغذى . كذلك حذف نترات الأمونيوم شتاءً ، وزيادة كبريتات النحاس صيفًا ، وإضافة ٣٠٠ جم كبريتات بوتاسيوم فى الجو الملبد بالغيوم .

٨ ـ محلول جونسون Johnson المغذى (Johnson ١٩٨٥) :

يتكون محلول جونسون المغذى من المكونات التالية :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم	٢٥١
فوسفات أحادى البوتاسيوم	١٤٣
كبريتات المغنيسيوم	٢٥١
نترات الكالسيوم	٤٤٧
حديد مخلبى (FeDTPA)	٢٤
حامض بوريك	١,٣
كبريتات المنجنيز	٠,٨
كبريتات الزنك	٠,١
كبريتات النحاس	٠,٠٣
حامض موليبديك	٠,٠١٣

يبلغ تركيز العناصر فى هذا المحلول المغذى ـ بالجزء فى المليون ـ كما يلى :

النيتروجين	١٠٥	الحديد	٢,٣
الفوسفور	٣٣	البورون	٠,٢٣
البوتاسيوم	١٣٨	المنجنيز	٠,٢٦
الكالسيوم	٨٥	الزنك	٠,٠٢٤
المغنيسيوم	٢٥	النحاس	٠,٠١
الكبريت	٣٣	الموليبدنم	٠,٠٠٧

٩ ـ محلول جنسن Jensen المغذى (عن Wittwer & Honma ١٩٧٩) :

يتكون محلول جنسن المغذى من المكونات التالية :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
كبريتات المغنيسيوم	٤٩٤
فوسفات أحادى البوتاسيوم	٢٧٢
نترات البوتاسيوم	٢٠٣
نترات الكالسيوم	٥٠٠
حديد مخلبى (FeDTPA)	٢٥,٤
حامض بوريك	٢,٦
كلوريد المنجنيز	٢,٤
كلوريد النحاس	٠,١٣
حامض الموليبديك	٠,٠٥
كبريتات الزنك	٠,٤

يبلغ تركيز العناصر فى هذا المحلول المغذى ـ بالجزء فى المليون ـ كما يلى :

النيتروجين	١٠٦	الحديد	٣,٨
الفوسفور	٦٢	البورون	٠,٤٦
البوتاسيوم	١٥٦	المنجنيز	٠,٨١
الكالسيوم	٩٣	الزنك	٠,٠٩
المغنيسيوم	٤٨	النحاس	٠,٠٥
الكبريت	٦٤	الموليبدنم	٠,٠٣

١٠ ـ محلول كوبر Cooper المغذى (عن Johnson ١٩٨٥) :

يتكون محلول كوبر المغذى من المكونات التالية :

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم	٥٨٤
كبريتات المغنيسيوم	٥١٨
نترات الكالسيوم	١٠٠٤
فوسفات أحادى البوتاسيوم	٢٦٢
حديد مخلبى (FeEDTA)	٧٩
كبريتات المنجنيز	٦,١
حامض البوريك	١,٦
كبريتات النحاس	٠,٤
كبريتات الزنك	٠,٤٥
موليبدات الأمونيوم	٠,٣٧

يبلغ تركيز العناصر فى هذا المحلول المغذى ـ بالجزء فى المليون ـ كما يلى :

النيتروجين	٢٣٦	الحديد	١٢
الفوسفور	٦٠	البورون	٠,٣
البوتاسيوم	٣٠٠	المنجنيز	٢,٠
الكالسيوم	١٨٥	الزنك	٠,١
المغنيسيوم	٥٠	النحاس	٠,١
الكبريت	٦٨	المولبيدنم	٠,٢

محاليل مغذية تحتوى على العناصر الكبرى فقط

تستعمل فى تحضير هذه المحاليل الدرجات التجارية من الأسمدة ، وهى التى تتوفر فيها العناصر الدقيقة فى صورة شوائب . وتتشابه هذه المحاليل بعضها مع بعضٍ إلى حدٍّ كبيرٍ (عن Turner & Henry ١٩٣٩) :

المحلول والأملاح المستعملة فى تحضيره	كمية الملح (جم / ١٠٠٠ لتر ماء)	تركيز الملح (ملى مول)
محلول رقم (١)		
كبريتات المغنيسيوم	٢٦٠	١,٠
سوبر فوسفات ثلاثى	٣١٠	١,٠
نترات البوتاسيوم	٨٨٠	٨,٠
كبريتات الأمونيوم	٢٨٠	٢,٠
محلول رقم (٢)		
كبريتات المغنيسيوم	٦٥	٠,٥
سوبر فوسفات ثلاثى	١٥٥	٠,٥
نترات البوتاسيوم	١١٠٠	١٠,٠
كبريتات الكالسيوم (الزراعى)	٧٦٠	٤,٠
كبريتات الأمونيوم	١٤٠	١,٠
محلول رقم (٣)		
كبريتات المغنسيوم	٥٢٠	٤,٠
سوبر فوسفات ثلاثى	٦٢٠	٢,٠
نترات البوتاسيوم	٦٦٠	٦,٠
نترات الكالسيوم	٧٢٠	٤,٠
كبريتات الأمونيوم	٧٠	٠,٥
محلول رقم (٤)		
كبريتات المغنيسيوم	٦٥	٠,٥
سوبر فوسفات ثلاثى	١٥٥	٠,٥
نترات البوتاسيوم	٦٦٠	٦,٠
نترات الكالسيوم	٧٢٠	٤,٠
كبريتات الأمونيوم	١٦٠	٢,٠

(يتبع)

تابع ما سبق :

المحلول والأملاح المستعملة في تحضيره	كمية الملح (جم / ١٠٠٠ لتر ماء)
محلول رقم (٥)	
نترات البوتاسيوم	٦٧٢
كبريتات الأمونيوم	١٦٨
كبريتات المغنيسيوم	٥٦
فوسفات أحادى الكالسيوم	١١٢
نترات الكالسيوم	١١٢
كبريتات الحديدوز	٣ ملاعق كبيرة
كبريتات المنجنيز (محلول ١ ٪)	٣٠٠ مل

محاليل مغذية تستعمل تجاريا مع محاصيل خاصة وفى مراحل معينة من نموها

يبين جدول (٤ ـ ١٣) طريقة تحضير أربعة محاليل مغذية هى : (أ) ، (ب) ، (جـ) ، (د) تستخدم فى الأغراض التالية :

١ ـ يستعمل المحلول (أ) فى تغذية الطماطم من مرحلة البادرة حتى مرحلة عقد الثمار الأولى على النبات .

٢ ـ يستعمل المحلول (ب) فى تغذية الطماطم من مرحلة عقد الثمار الأولى حتى نهاية المحصول .

٣ ـ يستعمل المحلول (جـ) فى تغذية الخيار من مرحلة البادرة حتى مرحلة عقد الثمار الأولى .

كما يستخدم أيضًا بالتركيب نفسه فى تغذية الخضر الأخرى غير الورقية ، وللخضر الورقية بعد زيادة مستوى النيتروجين به من ١١٤ إلى ٢٠٠ جزء فى المليون .

٤ ـ يستعمل المحلول (د) فى تغذية الخيار من مرحلة عقد الثمار الأولى إلى نهاية المحصول . هذا . . ويُبين جدول (٤ ـ ١٤) طريقة تحضير محلول العناصر

الدقيقة الذى يضاف بمعدل ١٥٠ مل لكل ١٠٠٠ لتر من أيّ من المحاليل الأربعة السابقة الذكر (عن Collins & Jensen ١٩٨٣) .

جدول (٤ ـ ١٣) : طريقة تحضير محاليل مغذية خاصة بمحاصيل محددة فى مراحل معينة من نموها (أ) .

المركب السمادى (الدرجة التجارية) وتركيبه الكيمائى وتحليله (K - P - N)	المحلول والتركيز							
	(أ)		(ب)		(جـ)		(د)	
	جزء فى المليون	جم/١٠٠٠ لتر	جزء فى المليون	جم/١٠٠٠ لتر	جزء فى المليون	جم/١٠٠٠ لتر	جزء فى المليون	جم/١٠٠٠ لتر
كبريتات المغنيسيوم (ملح إبسوم) $Mg\ SO_4 . 7H_2O$	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg	٥٠٠
فوسفات أحادى البوتاسيوم (صفر ـ ٢٢,٥ ـ ٢٨) $KH_2\ PO_4$	٧٧ K ٦٢ P	٢٧٠	٧٧ K ٦٢ P	٢٧٠	٧٧ K ٦٢ P	٢٧٠	٧٧ K ٦٢ P	٢٧٠
نترات البوتاسيوم (١٣,٧٥ ـ صفر ـ ٣٦,٩)	٧٧ K ٢٨ N	٢٠٠	٧٧ K ٢٨ N	٢٠٠	٧٧ K ٢٨ N	٢٠٠	٧٧ K ٢٨ N	٢٠٠
كبريتات البوتاسيوم (ب) (صفر ـ صفر ـ ٤٣,٣) $K_2\ SO_4$	٤٥ K	١٠٠	٤٥ K	١٠٠	—	—	—	—
نترات الكالسيوم (١٥,٥ ـ صفر ـ صفر) $Ca\ (NO_3)_2$	٨٥ N ١٢٢ Ca	٥٠٠	١١٦ N ١٦٥ Ca	٦٨٠	١١٦ N ١٦٥ Ca	٦٨٠	٢٣٢ N ٣٣٠ Ca	١٣٥٧
حديد مخلبى (جـ) Sequestrene 330	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	٢٥
محلول العناصر الدقيقة (د)	—	١٥٠ مل	—	١٥٠ مل	—	١٥٠ مل	—	١٥٠ مل

(أ) انظر متن الكتاب بخصوص استعمالات هذه المحاليل .

(ب) استعمال كبريتات البوتاسيوم اختيارى .

(جـ) قد يتطلب الأمر زيادة تركيز الحديد إلى ٥ أجزاء فى المليون إذا كان وسط الزراعة جيريا .

(د) انظر جدول (٤ ـ ١٤) بخصوص طريقة تحضير محلول العناصر الدقيقة .

جدول (٤ ـ ١٤) : طريقة إعداد محلول العناصر الدقيقة الذى يستخدم فى تحضير المحاليل المغذية المبينة فى جدول (٤ ـ ١٣) .

الملح ورمزه الكيميائى	العنصر الذى يوفره الملح	تركيز العنصر بالجزء فى المليون فى المحاليل النهائية (المبينة فى جدول ٤ ـ ١٣) (أ)	عدد جرامات الملح فى مخلوط أملاح العناصر الدقيقة (ب)
حامض البوريك H_3BO_3	البورون	٠,٤٤	٧,٥٠
كلوريد المنجنيز $Mn\ Cl_2.4H_2O$	المنجنيز	٠,٦٢	٦,٧٥
كلوريد النحاس $Cu\ Cl_2.2H_2O$	النحاس	٠,٠٥	٠,٣٧
أكسيد الموليبدنم MoO_3	الموليبدنم	٠,٠٣	٠,١٥
كبريتات الزنك $Zn\ SO4.7H_2O$	الزنك	٠,٠٩	١,١٨

(أ) يضاف محلول العناصر الدقيقة إلى المحاليل المغذية المبينة فى جدول (٤ ـ ١٣) بنسبة ١٥٠ مل منه لكل ١٠٠٠ لترٍ من المحاليل المغذية .

(ب) يحتوى المخلوط على ١٥,٩٥ جرامًا من الأملاح التى تضاف إلى ٤٠٠ مل ماء ، وتقلب جيدًا مع التسخين ، ثم يعدل حجم محلول العناصر الدقيقة بعد أن يبرد إلى ٤٥٠ مل بإضافة الماء إليه .