

## الفصل الرابع

# المحاليل المغذية

المحاليل المغذية Nutrient Solutions هي 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 مغذ واحد يمكن أن يقال إنه الأفضل ؛ فكل محلول يصلح فى ظروف خاصة، إلا أن هناك شروطاً 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 جزءاً فى المليون ، مع أخذ التركيز الكلى للأملاح فى الحسبان . ويمكن عند الضرورة استعمال الماء الذى يصل فيه تركيز الأملاح إلى ٤,٠ ضغط جوى .

ويمكن استعمال الماء العسر قليلاً فى تحضير المحاليل المغذية، وهو الماء الجوفى الذى يمر على طبقات جيرية ؛ فيحتوى - بالتالى - على تركيزات عالية من كربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنسيوم . ويعبر عن عسر الماء بمحتواه من أيون الكربونات  $\text{HCO}_3^-$  ، 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 .

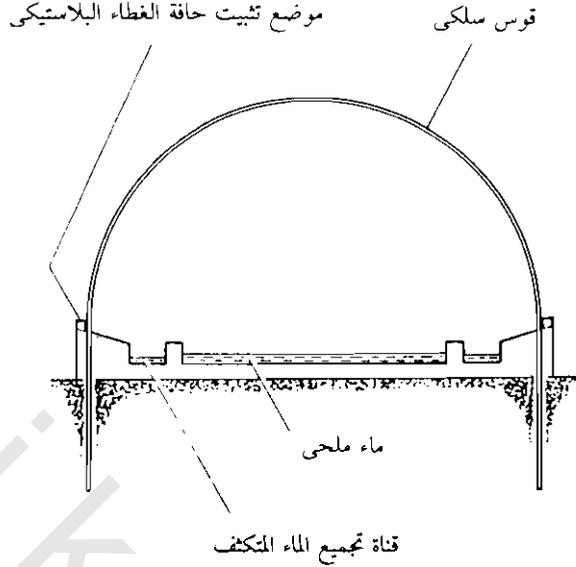
ويمكن عند الضرورة التخلص من الكاتيونات والأيونات المسببة لعسر الماء بإمرار الماء أولاً فى مرشحاتٍ مشبعةٍ بالأيدورجين الذى يحل محل كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم ، ثم يمر على مرشحاتٍ أخرى مشبعةٍ بالأيدروكسيد الذى يحل محل أنيونات الكربون والكبريتات والكلوريد . وتعرف هذه العملية باسم Ionization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

ويمكن عادة استخدام ماء الشرب فى تحضير المحاليل المغذية ، إلا أن ماء الشرب العسر المعامل بالصوديوم - ليحل محل كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم لجعله غير عسرٍ (soft) - لا يصلح لتحضير المحاليل المغذية لزيادة محتواه من عنصر الصوديوم .

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

#### ١ - تقطير المياه بالطاقة الشمسية Solar Distillation :

وأبسط الطرق لتحقيق ذلك هى باستعمال الأنفاق البلاستيكية بالكيفية المبينة فى شكل ( ٤ - ١ ) . تكون قاعدة النفق عريضةً ، ومُملأ بالماء المالح ، يغطى النفق بشريحة من البوليثلين المعامل لتحمل الأشعة فوق البنفسجية ، والتي تستند على أقواسٍ سلكية . تؤدى الطاقة الشمسية إلى تبخر الماء ، ليتكثف على السطح الداخلى لغطاء البوليثلين ، ثم تنزل قطراته ، وتتجمع فى مجرىين جانبيين منحدرين ؛ ليصل بخار الماء المتكثف فى نهاية الأمر إلى خزانٍ خاصٍ معدٌ لهذا الغرض . تُناسب هذه الطريقة المناطق الحارة ، ويلزم معها معاملة السطح الداخلى للغطاء البلاستيكى بمادةٍ تقلل التوتر السطحي لقطرات الماء المتكثفة ؛ بحيث تنزل سريعاً أولاً بأول . يعيب هذا النظام قلة كمية المياه المتكثفة التى تنتج منه .



شكل ( ٤ - ١ ) : تقطير المياه بالطاقة الشمسية في الأنفاق البلاستيكية .

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

### ٣ - التحلية بخاصية الأسموزية العكسية Reverse Osmosis :

عندما يُفصل محلولان مائيان مختلفان في ضغطيهما الأسموزي - كلاهما عن الآخر - بغشاء شبه منفذ ( غشاء منفذ للمادة المُذابة وغير منفذ للأملاح المُذابة ) ، فإن الماء يمر من المحلول ذي التركيز الملحي المنخفض - من خلال الغشاء - إلى المحلول ذي التركيز الملحي المرتفع . وإلى أن يتساوى تركيز الملح على جانبي الغشاء فإنه يوجد فرق في الضغط الأسموزي عبره . ويعتمد مدى هذا الضغط على الفرق بين تركيزي المحلولين . وإذا ما عُرِضَ المحلول ذو التركيز الملحي المرتفع لضغطٍ فيزيائيٍّ يزيد على فرق الضغط الأسموزي بين المحلولين ، فإن الماء يتحرك عبر الغشاء شبه المنفذ في الاتجاه العكسي ( أى من المحلول ذي التركيز الملحي المرتفع إلى

المحلول ذى التركيز الملحي المنخفض ) . ونظراً لأن الضغط الفيزيائي يعكس حركة الماء التي تحدثها الخاصية الأسموزية ؛ لذا . . فإن هذه العملية تُعرف باسم « الأسموزية العكسية » . ويستعمل لهذا الغرض - عادةً - غشاء شبه منفذ يصنع من خلاصات 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 نسبياً، ويحتوى على ٥٪ - ١٠٪ من نسبة الأملاح الأصلية الموجودة فى الماء الذى تتم تحليته ، بينما يعرف الثانى باسم « المحلول الملحي المركز Concentrate » وهو شديد الملوحة .

#### ٤ - نزع الأيونات Deionisation :

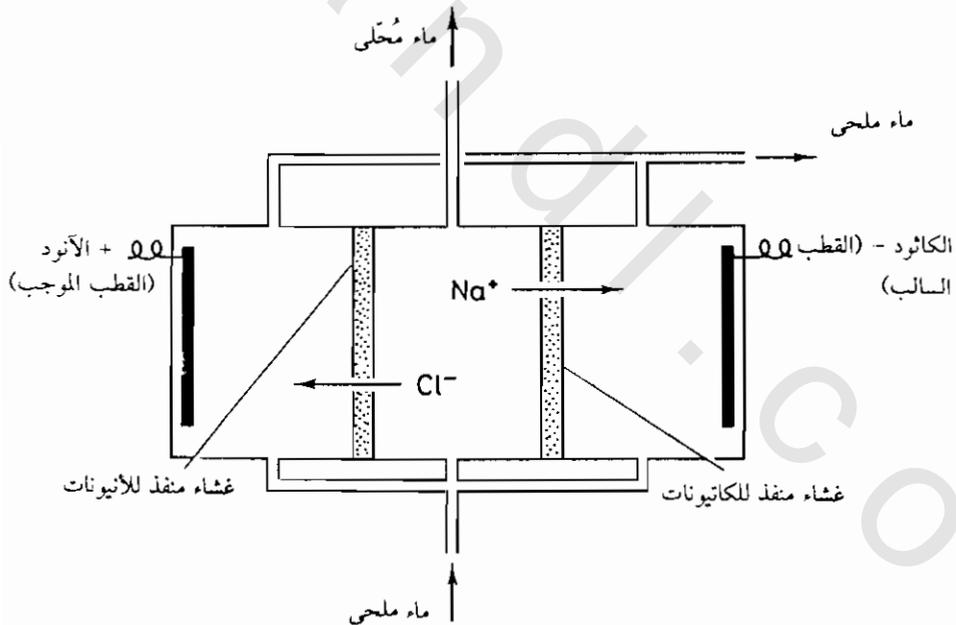
يتم فى هذه الطريقة إزالة الأيونات من الماء ، على عكس طريقة التقطير التى يتم فيها سحب الماء من الأملاح الذائبة . ويجرى ذلك باستعمال أعمدة Columns ( أسطوانات ) خاصة يحدث فيها تبادل للأيونات ؛ حيث يتم فى بعضها تبادل الكاتيونات مع أيون الأيدروجين ، بينما يتم فى بعضها الآخر تبادل الأنيونات مع أيون الهيدروكسيل ، وعندما تستبدل بجميع الأيونات من هذه الأعمدة أيونات الماء الملحي فإنه يتم تشييطها من جديد بإمرار محلول مركز من حامض - أو قلوي - 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 - الفصل الكهربائى للأيونات ( الديليزة الكهربائية ) Electrodialysis :

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

مرور تيار كهربائي خلال محلول مائي؛ حيث يعمل المحلول على توصيل التيار الكهربائي من القطب الموجب anode إلى القطب السالب cathode، وتتحرك أثناء ذلك الكاتيونات - خلال الماء - إلى القطب السالب، بينما تتحرك الأنيونات تجاه القطب الموجب، ويسمح الجمع بين خاصيتي الديليزة والتحليل الكهربائي - في الديليزة الكهربائية - بتعليه المياه الملحية؛ حيث يقسم الحوض الذي يحدث فيه التحلل الكهربائي إلى ثلاث حجرات. وبموجب هذا التقسيم تفصل الحجرة الوسطية عن الكاثود بغشاء اختياري النفاذية يسمح بمرور أيون الصوديوم ويمنع مرور أيون الكلور، بينما تفصل هذه الحجرة عن الأنود - من الجانب الآخر - بغشاء آخر اختياري النفاذية كذلك ولكنه يسمح بمرور أيون الكلورين، بينما يمنع مرور أيون الصوديوم. ويحدث نتيجة ذلك تحرك أيون الصوديوم والكلور - من الحجرة الوسطية - نحو الكاثود والأنود، على التوالي؛ ليصبح الماء في الحجرة الوسطية منخفضاً كثيراً في محتواه من الأملاح (شكل ٤ - ٢) (عن Cooper ١٩٧٩).



شكل (٤ - ٢): عملية «الديليزة» الكهربائية Electrodialysis.

## التركيز الكلى للأملاح فى المحاليل المغذية

### مصادر الأملاح ، ومستواها المناسب ، واضرار 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 حدٍ معين يقدر فى المتوسط بنحو ٠,٧ . ضغط جوى . وتؤدى زيادة التركيز الكلى للأملاح على ذلك إلى نقص النمو النباتى تدريجياً 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 ٠,٥ صيفاً ، و ١,٠ شتاءً ؛ وذلك بسبب زيادة التنح عند ارتفاع درجة الحرارة خلال الصيف . وعموماً . . 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 لعدد من الخضروات ، واستخدم الباحث محلولاً مغذياً قياسياً يبلغ ضغطه الأسموزى ٠,٤ ضغط جوى ، ثم استخدم كلوريد الصوديوم لتوصيل الضغط الأسموزى إلى ١,٤ و ٢,٤ و ٣,٤ و ٤,٤ فى المعاملات المختلفة . وأجريت الدراسة فى مزرعة حصى gravel culture .

ويتضح من النتائج المبينة فى جدول ( ٤ - ١ ) أن بعض الخضروات - كالبنجر ، والسبانخ - 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 - ١) : تأثير الضغط الأسموزى للمحلول المغذى على النمو الخضرى لعددٍ من محاصيل الخضر فى مزارع الحصى .

وزن النمو القمى ( كنسبة مئوية من الوزن فى المحلول الغذائى القياسى ) عندما كان الضغط الأسموزى				
المحصول	١,٤	٢,٤	٣,٤	٤,٤
البنجر	١٠٧	١١٩	٩٦	٨٨
السيانخ	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
القلقل	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 لأرضية أساسها البيت موس أن زيادة التركيز الكلى للأملاح فى المحلول المغذى لتصل درجة توصيله الكهربائى (EC) إلى ٤,٥ مللى موز / سم - مقارنةً بـ EC ٢,٣ مللى موز / سم - 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 مزرعة مائية إلى نقص الجهد المائى لأوراق الطماطم ( من الصنف Sun Cherry ذى الشمار الكريزية ) ، وكان ذلك مصاحباً بنقص مماثل فى كلٍ من وزن الثمرة وجهدها المائى ، وجهدها الأسموزى ، مع زيادة محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية .

### التوصيل الكهربائى كقياس 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 (اختصاراً : EC ) - عادةً - بالمللى سيمنز / سم millisiemens per centimeter (اختصاراً : mS / cm ) ، علماً بأن السيمنز هى وحدات التوصيل الكهربائى فى النظام الدولى للوحدات ؛ وهى تعادل مقلوب أوهم ohm واحد ( ومقلوب الأوهم هو الموه، أى إن قراءة التوصيل الكهربائى بالمللى سيمنز / سم تعادل القراءة نفسها بالمللى موز / سم mhos / cm ، أو mho / cm وقد تكون قراءة جهاز التوصيل الكهربائى بالميكروسيمنز / سم  $\mu\text{S} / \text{cm}$  .

هذا .. إلا أن درجة التوصيل الكهربائى لمحلولٍ ما لا تعتمد فقط على محتواه من الأملاح ، ولكن كذلك على تركيز كل ملح منها ؛ لأن بعض الأملاح أكثر قدرةً على التوصيل الكهربائى من غيرها . فمثلاً .. توصل كبريتات الأمونيوم الكهرباء بمقدار ضعف توصيل نترات الكالسيوم لها، وأكثر من ثلاثة أمثال توصيل كبريتات المغنسيوم ، بينما لا توصل اليوريا الكهرباء على الإطلاق ، ولا تكوّن 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 تبين مختلف الأملاح فى قدرتها على التوصيل الكهربائى مما يلى :

التوصيل الكهربائي EC لمحلول بتركيز ٠.٢ % فى الماء المقطر (mMho)	المركب السمادى
٢,٠	نترات الكالسيوم
٢,٥	نترات البوتاسيوم
٢,٩	نترات الامونيوم
٣,٤	كبريتات الامونيوم
٢,٤	كبريتات البوتاسيوم
١,٢	كبريتات المغنسيوم (٧ جزئيات ماء تبلور)
١,٥٥	كبريتات المنجنيز (٤ جزئيات ماء تبلور)
٠,٩	فوسفات احدى الصوديوم $\text{NaH}_2\text{PO}_4$
١,٣	فوسفات احدى البوتاسيوم $\text{KH}_2\text{PO}_4$
٤,٨	حامض النيتريك
١,٨	حامض الفوسفوريك

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 يُجرى عندها القياس ؛ ولذا .. يتعين تصحيح القراءة - تبعاً لدرجة حرارة المحلول - بضرب القراءة المتحصل عليها فى معامل تصحيح خاص كما يلى (عن Resh : ١٩٨٥) :

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

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

ويمكن التعبير عن تركيز الأملاح في المحلول المغذى - بعد قياس درجة توصيله الكهربائي - بأيّ من الطرق التالية :

- ١ - تركيز الأملاح بالمللي مكافئ / لتر = الـ EC بالمللي موز / سم × ١٠ .
- ٢ - تركيز الأملاح بالجزء في المليون = الـ EC بالمللي موز / سم × ٦٤٠ .
- ٣ - تركيز الأملاح كنسبة مئوية = الـ EC بالمللي موز / سم × ٠,٠٦٤ .
- ٤ - تركيز الأملاح بالضغط الجوي = الـ EC بالمللي موز / سم × ٠,٣٦ .

### التركيز المناسب من مختلف العناصر في المحاليل المغذية

#### التركيز المناسب والتوازن الأيوني

يجب أن يحتوى المحلول المغذى على كافة العناصر الغذائية ، وبالتكرير المناسب للنمو النباتي ، على أن تكون العناصر المغذية الكبرى في حالة توازن أيوني فيما بينها ، ويوضح جدول ( ٤ - ٢ ) النسبة المثوية المناسبة والمجال المناسب لهذه النسبة لكل من الأيونات الستة الرئيسية في 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 في المحاليل المغذية بتركيزات منخفضة لا تؤثر على التوازن الأيوني بها .

ويمكن تحضير محلول مغذٍ يحتوى على التوازن الأيوني المطلوب بإذابة كميات المركبات المبينة في جدول ( ٤ - ٣ ) في لتر ماء .

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

الأيون	النسبة المئوية	المجال الملائم للنسبة المناسبة
الأيونات		
$\text{NO}_3^-$	٦٠	٧٠ - ٥٠
$\text{H}_2\text{PO}_4^{--}$	٥	١٠ - ٣
$\text{SO}_4^{--}$	٣٥	٤٥ - ٢٥
الكاتيونات		
$\text{K}^+$	٣٥	٤٠ - ٣٠
$\text{Ca}^{++}$	٤٥	٥٥ - ٣٥
$\text{Mg}^{++}$	٢٠	٣٠ - ١٥

جدول ( ٤ - ٣ ) : كميات المركبات اللازمة لتحضير محلول مغذٍ في حالة توازن أيوني بالصورة المبينة في جدول ( ٤ - ٢ ) .

الكمية ( ملليجرام / لتر ماء )	المركب
١٣٦	فوسفات البوتاسيوم
١٠٠٦٢	نترات الكالسيوم
٤٩٢	كبريتات المغنسيوم
٤٩٣	نترات البوتاسيوم
٢٥٢	كبريتات البوتاسيوم
٢٢٤	أيدروكسيد البوتاسيوم

هذا . . . ويبين جدول ( ٤ - ٤ ) المجال المناسب لتركيز مختلف العناصر فى المحاليل المغذية . ويتضح من الجدول أن العناصر الكبرى - وهى : النيتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنسيوم - 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 ، إلا أن التركيز المناسب يجب أن يكون عند الحد المئين ، وهو ١٥٠ جزءاً فى المليون . أما العناصر المغذية الصغرى ( أو الدقيقة ) وهى : الحديد ، والبورون ، والمنجنيز ، والزنك ، والنحاس ، والمولبدنم ، فإن تركيزاتها تكون منخفضة كثيراً ، وأقلها المولبدنم الذى قد يصل تركيزه فى المحاليل المغذية إلى ٠.٠٠١ جزءاً فى المليون ( Douglas ١٩٨٥ ) ويبين 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 المينة للتركيز المناسب ، خاصة بالمزارع المائية التى لا توجد فيها بيئة صلبة لنمو الجذور ، وإنما تكون الجذور فيها مغمورة فى المحلول المغذى .

وحالياً . . . تعتبر ثمانية عناصر صغرى ضرورية للنباتات الراقية ؛ وهى : الحديد ، والزنك ، والمنجنيز ، والنحاس ، والنيكل ، والبورون ، والمولبدنم . والكلور ( عن Welch ١٩٩٥ ) ، وقد ورد بيانها فى جدول ( ٤ - 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 الري .

ويتبين من دراسات Newton & Ramli Abdullah ( ١٩٩٣ ) أن نمو نباتات الطماطم والخيار فى مزارع تقنية الغشاء المغذى يتناسب طردياً مع محتوى النباتات من الحديد ، علماً 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 الحديدىك .

جدول ( ٤ - ٤ ) : المدى المناسب لتركيز مختلف العناصر في المحاليل المغذية .

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

وتجدر الإشارة إلى أن جميع الخضروات - باستثناء الذرة السكرية - يكون نموها أفضل عند استعمال التترات  $\text{NO}_3^-$  - كمصدرٍ للنيتروجين - مقارنةً بالأمونيوم  $\text{NH}_4^+$  ، في المزارع المائية ( وليس بالضرورة في الزراعات الأرضية العادية ) ، ولكن عنصرى البوتاسيوم والكالسيوم يخففان من التأثير السلبى للأمونيوم . وعلى الرغم من ذلك .. يفضل استعمال الأمونيوم كمصدر للأزوت 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 قلوئى التأثير .

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

الهيوميك Humic Acid - بتركيز ١٢٨٠ جزءاً في المليون إلى محلول مغذٍ محدود في محتواه من العناصر الضرورية - أدت إلى زيادة تركيز كلٍّ من الفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنسيوم ، والحديد ، والمنجنيز ، والزنك في النموات الخضرية ، والنيتروجين ، والكالسيوم ، والزنك ، والنحاس في 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 في الرقم الأيروجيني للمحلول .

### العوامل المؤثرة على اختيار التركيز المناسب للعناصر في المحاليل المغذية

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

١ - درجة الحرارة ، وشدة الإضاءة :

فيزداد تركيز النيتروجين في الجو الحار وتحت ظروف الإضاءة القوية ، عنه في الجو البارد ، أو تحت ظروف الإضاءة الضعيفة . كما تفضل زيادة تركيز البوتاسيوم في الجو الملبد بالغيوم ومضاعفته إذا استمر الجو على هذه الحال لفترةٍ طويلةٍ . وعموماً . . يمكن زيادة تركيز المحاليل المغذية إلى ٢ - ٤ أضعاف التركيزات الموصى بها في الإضاءة المنخفضة ، أو إذا أريدت أقلمة الشتلات ، بينما يجب أن تكون التركيزات في الحدود الموصى بها أو نصفها في الإضاءة القوية ؛ نظراً لزيادة النتج تحت هذه الظروف .

٢ - نوع المزرعة اللاأرضية :

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

٣ - المحصول المزروع :

فيزداد تركيز النيتروجين في المحاليل الورقية ( كالخس ) عنه في مزارع الطماطم أو الخيار .

## ٤ - مرحلة النمو النباتي :

فكثيراً ما تجهز محاليل مغذية بتركيزات مختلفة لمراحل النمو المختلفة ، ويكون اختلاف هذه المحاليل فى تركيز العناصر الستة الكبرى فقط ، بينما يظل تركيز العناصر الستة الصغرى ثابتاً 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 - ١٣ يوماً ) ؛ حتى يصل طول النبات إلى نحو ٣٥ - ٤٠ سم ، و ( ب ) ويبلغ تركيزه ثلثي التركيز الكامل ، ويستعمل بعد ذلك حتى يصل طول النبات إلى ٦٠ سم عندما تكون الثمار الأولى بقطر ٠,٥ - ١,٠ سم ، و ( ج ) 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 أيضاً ؛ هما : ( أ ) وتركيزه نحو ثلثي 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 بصورة جيدة فى مدى واسع من تركيزات مختلف العناصر فى المحاليل المغذية ، شريطة استمرار تركيز كل عنصر بين حدى النقص والسمية . فمثلاً . . لم يتأثر نمو نباتات الطماطم بتغيير تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى بين ٢٠ و ٣٢٠ جزءاً فى المليون . ويستدل من ذلك على عدم الحاجة إلى قياس تركيز مختلف العناصر دورياً لتعديله ؛ حيث يكفى قياس درجة التوصيل الكهربائى للمحلول المغذى لتعرف مدى استنفاد النباتات للعناصر .

وتحقق هذه الطريقة أهدافها بصورة عملية عندما يُستعمل في تحضير المحلول المغذى مخلوط معد سلفاً من مختلف العناصر ، أو سماد تجارى خاص بمحصول معين لاستعماله فى نوعيات معينة من المزارع تحت ظروف خاصة . ففى هذه الحالة تتماشى نسب العناصر المضافة مع نسب 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 حدة ، فإن تركيز بعضها قد يزداد إلى درجة السمية ، بينما قد ينخفض تركيز بعضها الآخر عن المستوى الحرج للنمو النباتى .

لكن ينبغى التأكيد على أن ذلك الأمر ينطبق - فقط - 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 بكميات إضافية منه يؤدى - تدريجياً - 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 كلياً بعد نحو ٣ أسابيع من الاستعمال ( المصاحب بإضافات من المحلول المغذى تبعاً لقراءة التوصيل الكهربائى ) ، تنخفض إلى نحو أسبوع واحد فقط فى النباتات البالغة القوية النمو .

### **اضرار نقص العناصر أو 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 وفسولوجيا الخضمر ( حسن ١٩٩٧ ) » . ونكتفى فى هذا المقام بتقديم عرض موجز لأعراض نقص مختلف العناصر ، وكذلك أعراض التسمم بها .

## أعراض نقص العناصر

أولاً : العناصر الكبرى :

١ - النيتروجين :

يؤدى 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 كليهما على الأوراق السفلى أولاً فالتى تليها . . . وهكذا . ويكون نمو النباتات بطيئاً ومتقزماً ، ثم يصبح النبات متخشباً ، وتكون جميع الأعضاء النباتية أصغر حجماً من نظيراتها فى النباتات التى لا تعانى نقص النيتروجين .

٢ - الفوسفور :

يؤدى نقص الفوسفور فى النباتات ذوات الفلقتين إلى ظهور لونٍ أحمر أو أرجوانى على العروق الرئيسية بأنصال الأوراق - خاصة على الجانب السفلى للورقة - وأعناق الأوراق ، والسيقان ، بينما تبقى العروق الحديثة فى الأوراق خضراء اللون ، إلا فى حالات النقص الشديد ؛ حيث تكتسب - هى الأخرى - لوناً أرجوانياً . أما فى ذوات الفلقة الواحدة ، فإن نقص العنصر يؤدى إلى ظهور لونٍ أحمر أو أرجوانى فى مناطق مختلفة من الورقة . وفى كليهما . . يكون ظهور الأعراض على الأوراق السفلى أولاً ، فالتى تليها . . . وهكذا . وعموماً . . يكون النمو النباتى بطيئاً ، ويتأخر النضج فى حالات نقص العنصر .

٣ - 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 - الكالسيوم :

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

٥ - المغنيسيوم :

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

٦ - الكبريت :

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

ثانياً : العناصر النادرة :

إن طبيعة المزارع اللاأرضية تجعل من الممكن أن تظهر فيها أعراض نقص بعض العناصر النادرة بصورة أكثر وضوحاً مما فى الزراعات الحقلية ؛ نظراً لأن التربة نادراً ما تكون خالية تماماً 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 - الحديد :

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

## ٣ - الزنك :

يظهر اصفرار بين العروق في الأوراق ، بينما تبقى العروق خضراء اللون ، وتكون الأوراق صغيرة ، وضيقة ، ومشوهة ، ومتزاحمة على أفرع قصيرة ، والسيقان متقرمة .

## ٤ - النحاس :

يؤدي نقص العنصر إلى ظهور اصفرار وشحوب وبهتان في لون الأوراق ، يتبعه فقدان اللون الأخضر كلية في قمة الأوراق ، فتبدو وكأنها محترقة . ويؤدي نقص النحاس الميسر للامتصاص عن نصف جزء في المليون إلى تفلق ثمار الطماطم - أحياناً - في الجو الحار .

## ٥ - البورون :

يسبب نقص العنصر انهياراً في الأنسجة الميرستيمية النشطة في الانقسام ، وهي القمم النامية ومناطق الكامبيوم ؛ فتموت القمم النامية ، وتشوه الأوراق الحديثة ، وتظهر بقع بنية أو سوداء فلينية في أعضاء التخزين ، ولكن أكثر الأعراض شيوعاً هي التفاف حواف الأوراق الصغيرة . وتكون سيقان النباتات التي تعاني نقص العنصر سهلة التكسر .

كما يؤدي نقص البورون إلى ظهور تشققات دائرية دقيقة وسطحية جدا في جلد ثمار الطماطم حول الأكتاف، وقد تظهر تشققات طولية مائلة في ثمار الفلفل تكون واضحة بصفة خاصة في الصنف جالابينو Jalapeno .

## ٦ - المنجنيز :

يظهر اصفرار بين العروق في الأوراق الحديثة للنبات ، ويلى ذلك ظهور بقع صغيرة ميتة ومتحللة على امتداد وسط الورقة ، بينما تبقى العروق خضراء اللون .

## ٧ - المولبدنم :

يؤدي نقص العنصر إلى تشوه الأوراق الحديثة - حيث لا ينمو نصل الورقة بصورة منتظمة - مع موت البرعم الطرفي ، وتقزم النمو .

## أعراض التسمم الناشئ عند زيادة تركيز العناصر

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

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

ومما تجدر الإشارة إليه أن النباتات تتحمل الزيادة في تركيز عنصر ما عندما تكون بقية العناصر متوفرة بالتركيزات المناسبة بدرجة أكبر مما لو كان هناك نقص في بعض هذه العناصر . وكمثال على ذلك . . نجد أن الطماطم تتحمل زيادة تركيز عنصر النحاس حتى جزء واحد في المليون عندما تتوفر العناصر الأخرى بالقدر المناسب ، بينما تظهر أعراض التسمم بالنحاس عند تركيز ٠,٢ جزءاً في المليون إن كان هناك نقص في العناصر الأخرى .

ومن أهم أعراض التسمم النباتي التي تنشأ عن زيادة تركيز العناصر في المحاليل المغذية ما يلي :

١ - تؤدي زيادة تركيز النيتروجين التراتي في 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 تكوّن حبوب اللقاح بها ( Larsen ١٩٨٢ ) .

٢ - تؤدي زيادة عنصر الفوسفور إلى ترسيب الحديد ، وظهور أعراض نقصه .

٣ - يؤثر البوتاسيوم والكالسيوم كل منهما في الآخر ، فتؤدي زيادة الكالسيوم إلى ظهور أعراض نقص البوتاسيوم ، والعكس صحيح .

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

٥ - تظهر أعراض التسمم من البورون عند زيادة تركيزه عن ٢٠ جزءاً في المليون ، ويكون ذلك بظهور مناطق شفافة بأنسجة الأوراق على امتداد العروق لا تلبث أن تتحول إلى اللون البني .

٦ - تظهر أعراض التسمم بالزنك على شكل تلون بين العروق باللون الأصفر .

٧ - تظهر أعراض التسمم بالنحاس إذا زاد تركيزه عن جزء واحد في المليون ، ويكون ذلك على شكل اصفرار بين العروق ، مع تلون باقى أنسجة الورقة باللون الأخضر الفاتح .

أما عنصر الكبريت والكلور ، فإن النباتات تتحمل زيادة تركيزهما إلى حد كبير . ولعلاج حالات زيادة تركيز الأملاح يجب خفض التركيز المستعمل ، أو تحضير محاليل مغذية أخرى ، أو غسل البيئة التي تنمو فيها الجذور بالماء لعدة أيام .

كما تعالج بعض الحالات الخاصة لزيادة العناصر كالتالي :

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

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

### طرق التعبير عن تركيز العناصر في المحاليل المغذية

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

١ - بالجزء في المليون ( part per million ، واختصاراً : ppm ) :

يحضر محلول بتركيز جزء واحد في المليون بإذابة جرام واحد من المادة في ١٠٠٠ لتر من الماء .

٢ - بالملي مولار (mM) :

يحضر محلول بتركيز مولار واحد ( 1M أو 1 molar ) بإذابة الوزن الجزيئي للمادة في لتر من الماء . ويحضر محلول بتركيز واحد مللي مولار 1 mM بإذابة الوزن الجزيئي للمادة في ١٠٠٠ لتر من الماء .

٣ - بالملي مكافىء / لتر ( millequivalents / liter ، واختصاراً : me / 1 ) :

الوزن المكافىء بالجرام gram equivalent هو الوزن الجزيئي بالجرام مقسوماً على الشحنة valency ( عدد الإلكترونات التى يمكن أن تفقد أو تكتسب فى المدار الخارجى للذرة ) . فمثلاً . . الوزن المكافىء لملح كلوريد البوتاسيوم الذى يتكون من أيونات أحادية 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 مساوياً لنصف وزنه الجزيئى .

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

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

ولمزيد من التوضيح . . فإن :

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

ب - الوزن المكافىء للحمض يساوى وزنه الجزيئى مقسوماً على عدد ما يحتويه من ذرات الأيدروجين (ذرة أيدروجين واحدة - مثلاً - فى حامض الأيدروكلوريك ، مقابل ذرتى أيدروجين فى حامض الكبريتيك ، وثلاث ذرات فى حامض الفوسفوريك ) .

ج - الوزن المكافىء للقلوى يساوى وزنه الجزيئى مقسوماً على عدد ما يحتويه من مجموعات الأيدروكسيل ( مجموعة أيدروكسيل واحدة - مثلاً - فى أيدروكسيد البوتاسيوم ، مقابل مجموعتى أيدروكسيل فى أيدروكسيد الكالسيوم ، وثلاث مجموعات فى أيدروكسيد الحديدك ) .

د - الوزن المكافىء للملح ( المركب ) يساوى وزنه الجزيئى مقسوماً على عدد ذرات القاعدة التى توجد فى الملح مضروباً فى تكافئها . فمثلاً . . يكون :

$$\text{الوزن المكافىء لفوسفات أحادى البوتاسيوم} = \frac{136}{1} = \text{KH}_2\text{PO}_4 = 136 \text{ جم} .$$

$$\text{الوزن المكافىء لفوسفات أحادى الكالسيوم} = \frac{136}{2} = \text{CaHPO}_4 = 68 \text{ جم} .$$

$$\text{الوزن المكافىء لفوسفات ثلاثى الكالسيوم} = \frac{310}{6} = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 51,7 \text{ جم} .$$

٤ - بالضغط الأسموزى :

يعبر عن الضغط الأسموزى بوحدات الضغط الجوى ، علماً بأن ١ ضغط جوى = ١٤,٧ رطلاً / بوصة مربعة = ١,٠٣٣ كجم / سم<sup>٢</sup> ( ١٩٨٥ Resh ) ، وحبيب وآخرون ( ١٩٩٣ ) .

### الرقم الأيدروجينى (pH) للمحاليل المغذية

يتراوح الرقم الأيدروجينى المناسب للمحاليل المغذية (فى كلِّ من النظم المغلقة التى يُعاد فيها ضخ المحاليل ، والنظم المفتوحة التى تستعمل فيها المحاليل المغذية مرةً واحدةً ) من ٥,٨ إلى ٦,٣ ، وهو يتأثر بدرجة كبيرة بالتوازن بين أيونى الترات

$\text{NO}_3^-$  ، والأمونيوم  $\text{NH}_4^+$  . ويفضل دائماً أن يكون النيتروجين الأمونيومى فى حدود ٢٥ ٪ من النيتروجين الكلى ، وألا يقل عن ١٠ ٪ .

ومع تواجد النيتروجين فى صورة نترات يرتفع pH المحلول المغذى تدريجياً ؛ بسبب امتصاص النباتات لأيون النترات ، واستبداله بأيون البيكربونات  $\text{HCO}_3^-$  ، الذى يكون جزئ الكربونات ؛ الأمر الذى يؤدي 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 اللأرضية التى تستخدم فيها بيئات صلدة لنمو الجذور - وتستعاد فيها المحاليل المغذية لإعادة استعمالها من جديد - إمرار المحلول المغذى فى المزرعة لمدة ٥ - 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 الأيدروجينى يوميا ، ويعدل عند الضرورة إما بحامض الكبريتيك ( أو النيتريك ) ، وإما بأيديروكسيد 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 تلقائياً أولاً بأول .

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

## خطوات تحضير المحاليل المغذية

## الأمور التي يجب مراعاتها عند تحضير المحاليل المغذية

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

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

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

٣ - 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 جزءاً من الآزوت فى صورة نترات . وتضاف الاحتياجات المتبقية من النترات فى صورة نترات البوتاسيوم التى توفر أيضاً بعضاً من احتياجات البوتاسيوم . أما باقى البوتاسيوم اللازم ، فيمكن الحصول عليه من كبريتات البوتاسيوم التى توفر أيضاً بعض الكبريت . أما باقى الكبريت اللازم ، فيحصل عليه من أملاح الكبريتات الأخرى ؛ مثل كبريتات المغنسيوم التى يمكن استعمالها كمصدر للمغنسيوم .

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

أ - توزن أملاح الأسمدة منفردة ، وترتب فى كومات على شرائح من البوليثلين ؛ حتى لا يفقد منها شئ . ويجب أن يكون الوزن بدقة ، وألا يتعدى الخطأ  $\pm 0.5\%$  .

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

ج - يذاب كل سماد منفرداً 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 - تذاب العناصر الصغرى أولاً ، ثم العناصر الكبرى .
- هـ - يمكن فى التحضيرات الصغيرة خلط كل أملاح الكبريتات معاً ، وكذلك كل أملاح النترات ، وكل أملاح الفوسفات .
- و - أما فى حالة المزارع اللأرضية التى لا تستعاد فيها المحاليل المغذية المستعملة فى الرى ، فإنه يتم تحضير محاليل سمادية مركزة Stock Solutions من مختلف العناصر الغذائية ، تحقق فى مياه الرى بالقدر المناسب ؛ ليصبح ماء الرى محلولا سماديا مناسباً للنمو النباتى . وقد تحضر كميات من المحاليل السمادية المركزة لاستعمالها - كذلك - 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 أذيت الأملاح السمادية بتركيزات عالية - كما فى المحاليل المركزة - فإن الأملاح الجديدة التى تنتج من تفاعل الأملاح المذابة قد تكون قليلة الذوبان فى الماء ؛ مما يؤدى إلى ترسيبها . وتجدر الإشارة إلى أن هذا الترسيب لا يحدث فى المحاليل المغذية التى توجد فيها الأملاح السمادية بتركيزات منخفضة ؛ نظراً لأن تكون الأملاح قليلة الذوبان يحدث فيها بكميات قليلة ؛ فتبقى ذائبة فى المحلول المغذى ؛ لأن كمية الماء فيه كبيرة .
- ولا شك أن أكثر الوسائل أماناً لتجنب ترسيب الأملاح فى المحاليل المركزة هو بتحضير محلول مركز مستقل لكل عنصر ، ولكن ذلك غير عملى . ويتم - عادة - خلط معظم الأملاح معاً مع مراعاة ما يلى :
- ١ - عدم خلط نترات الكالسيوم - التى توجد بأعلى تركيز - مع كبريتات المغنسيوم ؛ حتى لا يؤدى ذلك إلى ترسيب الكالسيوم فى صورة كبريتات الكالسيوم .
  - ٢ - عمل محلول مركز من نترات الكالسيوم مع الحديد المخلب فقط .
  - ٣ - عمل محلول مركز من جميع الأملاح الأخرى معاً ، 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 المخليبي ، ويحتوى الثانى على بقية العناصر الكبرى ، بينما يحتوى الثالث على بقية العناصر الصغرى .

كما قد تحضر أربعة محاليل سمادية مركزة مختلفة خاصة بالعناصر الكبرى ، ومحلول قياسى خامس للحديد ، وسادس لباقي العناصر الدقيقة ، كما فى حالة تحضير محلول هوجلاند المغذى .

### طريقة حساب الكميات اللازمة من مختلف الاسمدة 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 جزء فى المليون ، فإنه يلزم ٢٠٠ ملليجرام كالسيوم فى كل لتر 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 خطوة 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 لتر من الماء ، فإننا نحصل على كالسيوم بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون .

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

أن تكون الكمية المستعملة منها هي  $100 \times 820 = 911$  ملليجرام . وبذلك . .  
فإنه عند إذابة 911 ملليجرام من نترات كالسيوم ذات نقاوة 90 % فى لتر من الماء ،  
فإنها تعطى كالسيوم بتركيز 200 جزء فى المليون .  
وطبيعى أن تلزم فى معظم الأحوال كميات أكبر من لتر من المحلول المغذى ،  
ويتطلب ذلك معرفة الاحتياجات المائية أولاً .

وعموماً . . فإن س ملليجرام من المركب السمدى فى اللتر = س جم من المركب  
نفسه فى المتر المكعب .

أى إن الكمية التى تلزم من نترات الكالسيوم لكل متر مكعب من المحلول  
السمدى = 911 جم .

ويمكن دمج الخطوات السابقة فى معادلة واحدة كالتالى :

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

حيث إن :

$W$  = الوزن اللازم من السماد معبراً عنه بالجرام / م<sup>3</sup> .

$C$  = التركيز المطلوب من العنصر ، معبراً 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 / م<sup>3</sup>

وفى المثال السابق نجد أن :

$$W = \frac{164 \times 200}{90} \times 100 \times \frac{100}{911} = 3 \text{ م}^3$$

وإذا كان المركب المستعمل يحتوى على أكثر من عنصرٍ ضروريٍّ 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 ونيروجين ؛ ولذلك . . فإن الخطوة التالية تكون حساب كمية النيتروجين التى أضيفت بعدما وفرت كل احتياجات الكالسيوم كالتالى :

الكمية المضافة من النيتروجين =

$$= \frac{14 \times 2}{164} \times 820 = 140 \text{ ملليجرام / لتر ( جزء فى المليون ) .}$$

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

$$C_{E2} = \frac{A_{E2}}{M} \frac{C_{E1} M}{A_{E1}} = \frac{A_{E2} C_{E1}}{A_{E1}}$$

حيث إن

$C_{E1}$  = تركيز العنصر الأول المطلوب بالجزء فى المليون .

$C_{E2}$  = الجزء فى المليون المتوفر من العنصر الثانى المطلوب .

$A_{E1}$  = الوزن الذرى الكلى للعنصر الأول .

$A_{E2}$  = الوزن الذرى للعنصر الثانى .

$M$  = الوزن الجزيئى للمادة المستعملة .

والخطوة التالية تكون هى حساب الكميات الإضافية من العنصر السمادى الثانى التى يلزم توفيرها من مركب سمادى آخر . فمثلاً . . إذا كان المطلوب ١٥٠ جزءاً فى المليون من الآزوت فى المحلول المغذى ، إذاً الكمية المتبقية اللازمة = ١٥٠ - 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 :

$$\begin{aligned}
 W_{KNO_3} &= \frac{C_N M_{KNO_3}}{A_N} \frac{100}{P} K \\
 &= \frac{10 \times 101}{14} \frac{100}{95} 1.0 \\
 &= 75.9 \text{ g/ m}^2
 \end{aligned}$$

أى حوالى ٧٦ جراماً لكل متر مكعب ، 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 سماد آخر فى تأمين باقى الاحتياجات من العنصر الأول ( Resh ١٩٨٥ ) . ويتطلب إجراء حسابات كميات الأسمدة اللازمة معرفة الأوزان الذرية لمختلف العناصر التى تدخل - عادةً - فى تركيب المحاليل المغذية ، وهى كما يلي :

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

### الاسمدة التي يشيع استخدامها في تحضير المحاليل المغذية

يتضمن جدول ( ٤ - ٥ ) قائمةً بأسماء أهم الأسمدة المستخدمة في تحضير المحاليل المغذية ، مع بيان الاسم التجاري ، والتركيب الكيميائي ، والوزن الجزيئي لكلٍ منها ، وكذلك العناصر الغذائية التي توجد بها ، ودرجة ذوبانها في الماء ، وتكلفتها . ويفيد هذا الجدول في تخير الأسمدة التي يمكن استعمالها كمصادر للعناصر المختلفة .

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

أما جدول ( ٤ - ٧ ) فإنه يعطى النسبة المثوية للتقاوة في أهم الأسمدة التجارية المستخدمة كمصادر للعناصر الكبرى .

ولتسهيل العمليات الحسابية ، فإن جدول ( ٤ - ٨ ) يعطى الكمية اللازمة من الملح السمادى بالجرام لتحضير ١٠٠٠ لترٍ من المحلول المغذي بتركيز جزء واحد في المليون من العنصر المعنى . ويشتمل الجدول على ٢١ سماداً تعتبر أهم المصادر الشائعة لجميع العناصر الغذائية .

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

جدول ( ٤ - ٥ ) : أهم الأسمدة المستخدمة في تحضير المحاليل المغذية .

ملاحظات	التكلفة	درجة الذوبان في الماء ( ملح : ماء )	العناصر التي يوفرها	الوزن الجزيئي	الاسم التجاري للسماد ورمزه الكيميائي
			العناصر الكبرى		
سريع الذوبان	منخفضة	٤ : ١	K <sup>+</sup>	١٠١,١	نترات البوتاسيوم
رخيص الثمن			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		KNO <sub>3</sub>
(بيع)	متوسطة	١ : ١	Ca <sup>++</sup>	١٦٤,١	نترات الكالسيوم
			2(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>		Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

ملاحظات	التكلفة	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	العناصر التى يوفرها	الوزن الجزئى	الاسم التجارى للسماد وزمزه الكيمائى
			تابع : العناصر الكبرى		
	متوسطة	٢ : ١	$2(\text{NH}_4^+)$ $\text{SO}_4^{--}$	١٣٢,٢	كبريتات الامونيوم $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$
هذه المركبات إلا تحت ظروف الإضاءة الجيدة، أو لعلاج حالة نقص الأزوت	متوسطة	٤ : ١	$\text{NH}_4^+$ $\text{H}_2\text{PO}_4^-$	١١٥,٠	فوسفات الامونيوم ثنائى الأيدروجين $\text{NH}_2\text{H}_2\text{PO}_4$
مثل السماد السابق	متوسطة	٢ : ١	$2(\text{NH}_4^+)$ $\text{HPO}_4^{--}$	١٣٢,١	فوسفات الامونيوم أحادى الأيدروجين $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
مثل السماد السابق	مرتفعة جدا	٣ : ١	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ $\text{K}^+$	١٣٦,١	فوسفات البوتاسيوم الأحادية $\text{KH}_2\text{PO}_4$
يستعمل لعلاج حالات نقص البوتاسيوم ، وعندما تقل نسبة كلوريد الصوديوم فى الماء	مرتفعة	٣ : ١	$\text{K}^+$ $\text{Cl}^-$	٧٤,٥٥	كلوريد البوتاسيوم $\text{KCl}$
تجب إذابته فى الماء الساخن	منخفضة	١٥ : ١	$2\text{K}^+$ $\text{SO}_4^{--}$	١٧٤,٣	كبريتات البوتاسيوم $\text{K}_2 \text{SO}_4$
	منخفضة	٦٠ : ١	$2\text{H}_2\text{PO}_4^-$ $\text{Ca}^{++}$	٢٥٢,١	فوسفات أحادى الكالسيوم $\text{Ca} (\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \text{H}_2\text{O}$
لا يستخدم غالبا لضعف ذوبانه فى الماء	منخفضة	٣٠٠ : ١	$\text{Ca}^{++}$ $2\text{PO}_4^{--}$	يختلف	سوبر فوسفات ثلاثى $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$
	منخفضة	٢ : ١	$\text{Mg}^{++}$ $\text{SO}_4^{--}$	٢٤٦,٥	كبريتات المغنسيوم $\text{MgSO}_4 7\text{H}_2 \text{O}$
يستعمل لعلاج حالات نقص الكالسيوم ، وعندما تقل نسبة كلوريد الصوديوم فى الماء	مرتفعة	١ : ١	$\text{Ca}^{++}$ $2\text{Cl}^-$	٢١٩,١	كلوريد الكالسيوم $\text{CaCl}_2$

تابع جدول (٤ - ٥).

ملاحظات	التكلفة	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	العناصر التى يوفرها	الوزن الجزئى	الاسم التجارى للسماذ وزمزه الكيمايى
تابع : العناصر الكبرى					
يستعمل - خاصة - لعلاج نقص الفوسفور		حامض مركز	PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	٩٨,٠	حامض الفوسفوريك H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
العناصر الصغرى					
		٤ : ١	Fe <sup>++</sup> SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	٢٧٨,٠	كبريتات الحديدوز FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O
		٢ : ١	F <sup>+++</sup> 3Cl <sup>-</sup>	٢٧٠,٣	كلوريد الحديديك FeCl <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O
أفضل مصادر الحديد . يذاب فى الماء الساخن	مرتفعة	سريع الذوبان	Fe <sup>++</sup>	٢٨٢,١	حديد مخلبى Fe EDTA (١٠,٥ ٪ حديد)
أفضل مصادر البورون . يذاب فى الماء الساخن	مرتفعة	٢٠ : ١	B <sup>+++</sup>	٦١,٨	حامض البوريك H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
		٢٥ : ١	B <sup>+++</sup>	٣٨١,٤	بوراكس أو تترابورات الصوديوم Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> 10H <sub>2</sub> O
منخفضة	٥ : ١		Cu <sup>++</sup> SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	٢٤٩,٧	كبريتات النحاس CuSO <sub>2</sub> 5H <sub>2</sub> O
منخفضة	٢ : ١		Mn <sup>++</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	٢٢٣,١	كبريتات المنجنيز MnSO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O
منخفضة	٢ : ١		Mn <sup>++</sup> 2Cl <sup>-</sup>	١٩٧,٩	كلوريد المنجنيز MnCl <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub>
منخفضة	٣ : ١		Zn <sup>++</sup> SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	٢٨٧,٦	كبريتات الزنك ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub>
منخفضة	١,٥ : ١		Zn <sup>++</sup>	١٣٦,٣	كلوريد الزنك ZnCl <sub>2</sub>
مرتفعة نوعا	٢,٣ : ١		2Cl <sup>-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	١١٦٣,٩	مولبيدات الامونيوم (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub>
مرتفعة	سريع الذوبان		Mo <sup>+6</sup>	٤٣١,٦	زنك مخلبى ZnEDTA
مرتفعة	سريع الذوبان		Zn <sup>++</sup> Mn <sup>++</sup>	٣٨١,٢	منجنيز مخلبى MnEDTA

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

الحصول على الكمية المطلوبة من	فى	تضرب الكمية المطلوبة من	
Ammonium nitrate-NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> - نترات الأمونيوم -	4.700	Ammonia-NH <sub>3</sub>	الأمونيا -
Ammonium sulfate-(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - كبريتات الأمونيوم -	3.879	Ammonia-NH <sub>3</sub>	الأمونيا -
Nitrogen-N - النيتروجين -	0.823	Ammonia-NH <sub>3</sub>	الأمونيا -
Nitrogen-N - النيتروجين -	0.350	Ammonium nitrate-NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	نترات الأمونيوم -
Nitrogen-N - النيتروجين -	0.212	Ammonium sulfate-(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	كبريتات الأمونيوم -
Boron-B - البورون -	0.114	Borax-Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	البوراكس -
Boron-B - البورون -	0.177	Boric acid-H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	حامض البوريك -
Borax-Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O - البوراكس -	8.813	Boron-B	البورون -
Boric acid-H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> - حامض البوريك -	5.716	Boron-B	البورون -
Calcium oxide-CaO - أكسيد الكالسيوم -	1.399	Calcium-Ca	الكالسيوم -
Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub> - كربونات الكالسيوم -	2.498	Calcium-Ca	الكالسيوم -
Calcium hydroxide-Ca(OH) <sub>2</sub> - هيدروكسيد الكالسيوم -	1.849	Calcium-Ca	الكالسيوم -
Calcium sulfate-CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (gypsum) - كبريتات الكالسيوم -	4.296	Calcium-Ca	الكالسيوم -
Calcium-Ca - الكالسيوم -	0.400	Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub>	كربونات الكالسيوم -
Calcium hydroxide-Ca(OH) <sub>2</sub> - هيدروكسيد الكالسيوم -	0.741	Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub>	كربونات الكالسيوم -
Calcium oxide-CaO - أكسيد الكالسيوم -	0.560	Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub>	كربونات الكالسيوم -
Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم -	0.403	Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub>	كربونات الكالسيوم -
Magnesium carbonate-MgCO <sub>3</sub> - كربونات المغنسيوم -	0.842	Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub>	كربونات الكالسيوم -
Calcium-Ca - الكالسيوم -	0.541	Calcium hydroxide-Ca(OH) <sub>2</sub>	هيدروكسيد الكالسيوم -
Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub> - كربونات الكالسيوم -	1.351	Calcium hydroxide-Ca(OH) <sub>2</sub>	هيدروكسيد الكالسيوم -
Calcium oxide-CaO - أكسيد الكالسيوم -	0.756	Calcium hydroxide-Ca(OH) <sub>2</sub>	هيدروكسيد الكالسيوم -
Calcium-Ca - الكالسيوم -	0.715	Calcium oxide-CaO	أكسيد الكالسيوم -
Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub> - كربونات الكالسيوم -	1.785	Calcium oxide-CaO	أكسيد الكالسيوم -
Calcium hydroxide-Ca(OH) <sub>2</sub> - هيدروكسيد الكالسيوم -	1.323	Calcium oxide-CaO	أكسيد الكالسيوم -
Calcium sulfate-CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (gypsum) - كبريتات الكالسيوم -	3.071	Calcium oxide-CaO	أكسيد الكالسيوم -
Calcium oxide-CaO - أكسيد الكالسيوم -	0.326	Gypsum-CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	الجبس -

الحصول على الكمية المطلوبة من	في	تضرب الكمية المطلوبة من
Sulfur-S - الكبريت	0.186	Gypsum-CaSO <sub>4</sub> . 2H <sub>2</sub> O - الجبس
Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub> - كربونات الكالسيوم	2.480	Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم
Magnesium-Mg - المغنسيوم	0.603	Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم
Magnesium carbonate-MgCO <sub>3</sub> - كربونات المغنسيوم	2.092	Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم
Magnesium sulfate-MgSO <sub>4</sub> - كبريتات المغنسيوم	2.986	Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم
Magnesium sulfate- MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O (Epsom salts) - كبريتات المغنسيوم	6.114	Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم
Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub> - كربونات الكالسيوم	4.116	Magnesium-Mg - المغنسيوم
Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم	1.658	Magnesium-Mg - المغنسيوم
Magnesium carbonate-MgCO <sub>3</sub> - كربونات المغنسيوم	3.466	Magnesium-Mg - المغنسيوم
Magnesium sulfate-MgSO <sub>4</sub> - كبريتات المغنسيوم	4.951	Magnesium-Mg - المغنسيوم
Magnesium sulfate- MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O (Epsom salts) - كبريتات المغنسيوم	10.136	Magnesium-Mg - المغنسيوم
Calcium carbonate-CaCO <sub>3</sub> - كربونات الكالسيوم	1.187	Magnesium carbonate-MgCO <sub>3</sub> - كربونات المغنسيوم
Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم	0.478	Magnesium carbonate-MgCO <sub>3</sub> - كربونات المغنسيوم
Magnesium-Mg - المغنسيوم	0.289	Magnesium carbonate-MgCO <sub>3</sub> - كربونات المغنسيوم
Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم	0.335	Magnesium sulfate-MgSO <sub>4</sub> - كبريتات المغنسيوم
Magnesium-Mg - المغنسيوم	0.202	Magnesium sulfate-MgSO <sub>4</sub> - كبريتات المغنسيوم
Magnesia-MgO - أكسيد المغنسيوم	0.164	MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O (Epsom salts) - كبريتات المغنسيوم
Magnesium-Mg - المغنسيوم	0.099	MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O (Epsom salts) - كبريتات المغنسيوم
Manganese(ous) sulfate-MnSO <sub>4</sub> - كبريتات المنجنيز	2.749	Manganese-Mn - المنجنيز
Manganese(ous) sulfate- MnSO <sub>4</sub> . 4H <sub>2</sub> O - كبريتات المنجنيز	4.060	Manganese-Mn - المنجنيز
Manganese-Mn - المنجنيز	0.364	Manganese(ous) sulfate- MnSO <sub>4</sub> - كبريتات المنجنيز
Manganese-Mn - المنجنيز	0.246	Manganese(ous) sulfate- MnSO <sub>4</sub> . 4H <sub>2</sub> O - كبريتات المنجنيز
Nitrogen-N - النيتروجين	0.226	Nitrate-NO <sub>3</sub> - النترات

يتبع

الحصول على الكمية المطلوبة من	في	تضرب الكمية المطلوبة من
Ammonia-NH <sub>3</sub> - الأمونيا -	1.216	Nitrogen-N - النيتروجين -
Ammonium nitrate-NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> - نترات الأمونيوم -	2.856	Nitrogen-N - النيتروجين -
Ammonium sulfate-(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - كبريتات الأمونيوم -	4.716	Nitrogen-N - النيتروجين -
Nitrate-NO <sub>3</sub> - النترات -	4.426	Nitrogen-N - النيتروجين -
Sodium nitrate-NaNO <sub>3</sub> - نترات الصوديوم	6.068	Nitrogen-N - النيتروجين -
Protein - البروتين -	6.250	Nitrogen-N - النيتروجين -
Phosphorus-P - الفوسفور -	0.437	Phosphoric acid-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - خامس أكسيد الفوسفور -
Phosphoric acid-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - خامس أكسيد الفوسفور -	2.291	Phosphorus-P - الفوسفور -
Potassium chloride-KCl - كلوريد البوتاسيوم -	1.583	Potash-K <sub>2</sub> O - أكسيد البوتاسيوم -
Potassium nitrate-KNO <sub>3</sub> - نترات البوتاسيوم -	2.146	Potash-K <sub>2</sub> O - أكسيد البوتاسيوم -
Potassium-K - البوتاسيوم -	0.830	Potash-K <sub>2</sub> O - أكسيد البوتاسيوم -
Potassium sulfate-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - كبريتات البوتاسيوم -	1.850	Potash-K <sub>2</sub> O - أكسيد البوتاسيوم -
Potassium chloride-KCl - كلوريد البوتاسيوم -	1.907	Potassium-K - البوتاسيوم -
Potash-K <sub>2</sub> O - أكسيد البوتاسيوم -	1.205	Potassium-K - البوتاسيوم -
Potassium sulfate-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - كبريتات البوتاسيوم -	2.229	Potassium-K - البوتاسيوم -
Potash-K <sub>2</sub> O - أكسيد البوتاسيوم -	0.632	Potassium chloride-KCl - كلوريد البوتاسيوم -
Potassium-K - البوتاسيوم -	0.524	Potassium chloride-KCl - كلوريد البوتاسيوم -
Potash-K <sub>2</sub> O - أكسيد البوتاسيوم -	0.466	Potassium nitrate-KNO <sub>3</sub> - نترات البوتاسيوم -
Potassium-K - البوتاسيوم	0.387	Potassium nitrate-KNO <sub>3</sub> - نترات البوتاسيوم -
Potash-K <sub>2</sub> O - أكسيد البوتاسيوم -	0.540	Potassium sulfate-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - كبريتات البوتاسيوم -
Potassium-K - البوتاسيوم -	0.449	Potassium sulfate-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - كبريتات البوتاسيوم -
Nitrogen-N - النيتروجين -	0.165	Sodium nitrate-NaNO <sub>3</sub> - نترات الصوديوم -
Calcium sulfate- CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O (gypsum)	5.368	Sulfur-S - الكبريت
Sulfur trioxide-SO <sub>3</sub> - ثالث أكسيد الكبريت -	2.497	Sulfur-S - الكبريت
Sulfuric acid-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - حامض الكبريتيك -	3.059	Sulfur-S - الكبريت
Sulfur-S - الكبريت -	0.401	Sulfur trioxide-SO <sub>3</sub> - ثالث أكسيد الكبريت -
Sulfur-S - الكبريت -	0.327	Sulfuric acid-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - حامض الكبريتيك -

جدول ( ٤ - ٧ ) : نسبة النقاوة في بعض الأسمدة التجارية الهامة .

النقاوة (%)	السماذ
٩٨	فوسفات الأمونيوم
٩٤	كبريتات الأمونيوم
٩٨	نترات الأمونيوم النقية
٩٥	نترات البوتاسيوم
٩٠	نترات الكالسيوم
٩٢	فوسفات أحادى الكالسيوم
٩٠ (١)	كبريتات البوتاسيوم
٩٥	كلوريد البوتاسيوم
٤٥	كبريتات المغنيسيوم
٧٥	كلوريد الكالسيوم
٧٠	كبريتات الكالسيوم ( الجبس )
٩٨	فوسفات أحادى الكالسيوم

( أ ) استبعد ماء التبلور عند حساب نسبة النقاوة .

جدول ( ٤ - ٨ ) : كمية السماذ التي تلزم لتحضير محلول مغذٍ بتركيز جزء واحد في المليون من العنصر الذي يوفره السماذ .

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

( يتبع )

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

### أمثلة للمحاليل المغذية المستعملة تجاريا

تقترب معظم المحاليل المغذية فى تركيبها من محاليل هوجلاند المغذية ؛ ولذا فسنبداً بشرح طريقة تحضيرها بالتفصيل ، ثم نتابع ذكر أمثلة للمحاليل الأخرى

المستعملة تجارياً . ولزيد من أمثلة المحاليل المغذية - خلافاً لتلك المقدمة فى هذا الجزء - 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 صورته النترانية والأمونومية . ويحضران من تسعة محاليل قياسية standard stock solutions مختلفة. هذا . . وتحضر المحاليل القياسية ، كما فى جدول (٤ - ٩) ، بينما يحضر محلولاً هوجلاند من هذه المحاليل القياسية ، كما هو مبين فى جدول (٤ - ١٠) ، وهى التى تستعمل فى تغذية النباتات ( عن Lorenz & Maynard ١٩٨٠ ) . ويقتصر استعمال محاليل هوجلاند غالباً على دراسات فيسيولوجيا النبات .

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

رقم المحلول القياسى	المركب وتركيبه الكيمايى	الكمية اللازمة من المركب بالجرام لتحضير لتر من المحلول القياسى
١	نترات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2 \text{O}$	٢٣٦,٢
٢	نترات البوتاسيوم $\text{KNO}_3$	١٠١,١
٣	فوسفات أحادى البوتاسيوم $\text{KH}_2\text{PO}_4$	١٣٦,١
٤	كبريتات المغنيسيوم $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2 \text{O}$	٢٤٦,٥
٥	نترات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2 \text{O}$	٢٣٦,٢
٦	فوسفات أحادى الأمونيوم $\text{NH}_4\text{H}_2 \text{PO}_4$	١١٥,٠
٧	كبريتات المغنيسيوم $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2 \text{O}$	٢٤٦,٥
٨	حامض البوريك $\text{H}_3\text{BO}_3$	٢,٨٦
	كلوريد المنجنيز $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	١,٨١

تابع جدول ( ٤ - ٩ ).

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

( ١ ) مثال : إذا استخدم التحضير التجارى Sequestrene 330 كمصدر للحديد ، فإنه يلزم منه ١٠ جم تذاب فى الماء لعمل لتر من محلول الحديد القياسى ؛ نظراً لاحتواء هذا المركب على الحديد بنسب ١٠ ٪ .  
جدول ( ٤ - ١٠ ) : طريقة تحضير محلولى هوجلاند أ ، ب من المحاليل القياسية المبينة فى جدول ( ٤ - ٩ ) .

محلل هوجلاند ( أ )	المحلول القياسى (يراجع جدول ٤ - ٩ )	الكمية اللازمة بالملييلتر (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

( ١ ) لتحضير اى من المحلولين ( ١ ) أو ( ب ) تضاف الكميات المبينة من المحاليل القياسية المختلفة إلى ٨٠٠ مل ماء مقطراً ، ثم يكمل الحجم النهائى إلى لتر .

## محلول هيويت المغذى

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

جدول ( ٤ - ١١ ) : الأملاح المستخدمة فى تحضير محلول هيويت المغذى وتركيزاتها به .

المركب			رقم المحلول القياسى
ملى مول / لتر	جزء فى المليون	جم / لتر	
٥,٠	البوتاسيوم = ١٩٥	٠,٥٠٥٠٠٠	مترات البوتاسيوم $KNO_3$
	النيتروجين = ٧٠		
٥,٠	الكالسيوم = ٢٠٠	٠,٨٢٠٠٠٠	مترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$
	النيتروجين = ١٤٠		
١,٣٣	الفوسفور = ٤١	٠,٢٠٨٠٠٠	فوسفات الصوديوم $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$
٣,٠٠	المغنسيوم = ٢٤	٠,٣٦٩٠٠٠	كبريتات المغنسيوم $MgSO_4 \cdot 7H_2O$
٠,١	الحديد = ٥,٦	٠,٢٤٥٠٠٠	سترات الحديدك
٠,٠١	المنجنيز = ٠,٥٥	٠,٠٢٢٣٠	كبريتات المنجنيز $MnSO_4$
٠,٠٠١	النحاس = ٠,٠٦٤	٠,٠٠٠٢٤٠	كبريتات النحاس $CuSO_4 \cdot 5H_2O$
٠,٠٠١	الزنك = ٠,٠٦٥	٠,٠٠٠٢٩٦	كبريتات الزنك $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$
٠,٠٣٣	البورون = ٠,٠٣٧	٠,٠٠١٨٦٠	حامض البوريك $H_3BO_3$
٠,٠٠٠٢	الموليبدنم = ٠,٠١٩	٠,٠٠٠٠٣٥	موليدات الأمونيوم $(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 4H_2O$
٠,٠٠٠١	الكوبالت = ٠,٠٠٦	٠,٠٠٠٠٢٨	كبريتات الكوبالت $CoSO_4 \cdot 7H_2O$
٠,٠١	الكلور = ٣,٥٥	٠,٠٠٥٨٥٠	كلوريد الصوديوم $NaCl$

## محاليل مغذية متنوعة تحتوى على جميع العناصر الضرورية للنبات

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

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

٢٠٠ لتر من الماء . وتخزن المحاليل القياسية فى أوعية منفصلة ( يفضل أن تكون بلاستيكية أو مبطنة بالبلاستيك ) ؛ لتجنب ترسيب العناصر . وبرغم أنه يمكن تخزين المحاليل المركزة دون مشاكل ، إلا أنه يكتفى - عادةً - بتحضير كميات تكفى لعدة أسابيع فقط .

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

الكمية اللازمة لكل ٢٠٠ لتر ماء	المركب
٩,٦ كجم	نترات البوتاسيوم $KNO_3$
٥,٥ كجم	فوسفات البوتاسيوم $K_2HPO_4$
٩,٦ كجم	كبريتات المغنسيوم $MgSO_4 \cdot 7H_2O$
٢٠,٠ لتر	محلول العناصر الدقيقة المركز

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

الكمية اللازمة لكل ٢٠٠ لتر ماء	المركب
١٧,٤ كجم	نترات الكالسيوم التجارية $Ca(NO_3)_2$
٠,٩ كجم	حديد مخلبى ( Sequestrene 330 )

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

الكمية اللازمة لكل ٢٠٠ لتر ماء	المركب
٥٤,٠	حامض البوريك $H_3BO_3$
٢٨,٠	كبريتات المنجنيز $MnSO_4 \cdot H_2O$
٤,٠	كبريتات الزنك $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$
١,٠	كبريتات النحاس $CuSO_4 \cdot 5H_2O$
٠,٥	حامض الموليبديك $MoO_3 \cdot 2H_2O$

يذاب حامض الموليبيديك أولاً في ماء مغلي ، وتضاف الأملاح الأخرى إلى وعاء يتسع لعشرين لتراً ، وتقلب جيداً في نحو ١٢ لتر ماء ، ثم يضاف حامض البوريك المذاب ، ويكمل الوعاء ليصبح حجم المحلول ٢٠ لتراً .

وعند تحضير المحلول المغذي ، فإن المحلولين القياسيين ( ١ ) ، ( ٢ ) لا يضاف أحدهما إلى الآخر ، وإنما يضاف كل منهما منفرداً 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 تؤدي إلى ترسيب بعض العناصر . ويحتوى المحلول المغذي الناتج على العناصر المختلفة بالتركيزات المبينة في جدول ( ٤ - ١٢ ) .

جدول ( ٤ - ١٢ ) : تركيز العناصر في المحلول المغذي المستعمل في كاليفورنيا .

التركيز		العنصر
بالملي مكافئ / لتر	بالجزء في المليون	
٧,٥	١٠٣	النيتروجين النتراتى
١,٠	٣٠	الفوسفور ( على صورة $H_2 PO_4$ )
٣,٥	١٤٠	البوتاسيوم
٤,٠	٨٣	الكالسيوم
٢,٠	٢٤	المغنيسيوم
٢,٠	٣٢	الكبريت ( على صورة $SO_4$ )
	٢,٥	الحديد
	٠,٢٥	البورون
	٠,٢٥	المنجنيز
	٠,٠٢٥	الزنك
	٠,٠١	النحاس
	٠,٠٠٥	الموليبدنم

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

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

ويحضر مخلوط أملاح العناصر الدقيقة بخلط الكميات التالية من الأملاح خلطاً جيداً جداً .

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

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

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

(يتبع)

تابع ما سبق :

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

يبلغ تركيز العناصر في هذا المحلول المغذى - بالجزء في المليون - كما يلي :

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

٤ - يستعمل في إنجلترا - بنجاح - مع الطماطم والخيار - المحلول المغذى التالى ( عن Jones ١٩٨٢ ) :

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

( يتبع )

تابع ما سبق :

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

٥ - يستعمل في مزارع الحصى في اليابان محلولان ؛ أحدهما للخضر الثمرية ، والثاني للخضر الورقية ، ويحضران كما يلي :

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

يضاف إلى كلٍّ من المخلوطتين حديد مخلبي بتركيز ٣ أجزاء في المليون ، وبورون بتركيز ٥,٠ جزءاً في المليون .

٦ - يستعمل في الكويت محلول مغذٍ يحضر من الأملاح التالية :

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

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

وتضاف لما سبق العناصر الدقيقة بالمعدلات التالية :

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

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

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

تابع ما سبق :

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

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 صيفاً ، وإضافة ٣٠٠ جم كبريتات بوتاسيوم فى الجو الملبد بالغيوم .

٨ - محلول جونسون المغذى (Johnson ١٩٨٥ ) :

يتكون محلول جونسون المغذى من المكونات التالية :

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

يبلغ تركيز العناصر في هذا المحلول المغذى - بالجزء في المليون - كما يلي :

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

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

يتكون محلول جنسن المغذى من المكونات التالية :

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

يبلغ تركيز العناصر في هذا المحلول المغذى - بالجزء في المليون - كما يلي :

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

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

يتكون محلول كوبر المغذى من المكونات التالية :

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

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

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

#### 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 . وتشابه هذه المحاليل بعضها مع بعض إلى حد كبير ( عن Turner & Henry ١٩٣٩ ) :

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

( يتبع )

تابع ما سبق :

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

### محاليل مغذية تستعمل تجارياً مع محاصيل خاصة وفى مراحل معينة من نموها

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

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

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

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

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

٤ - يستعمل المحلول ( د ) فى تغذية الخيار من مرحلة عقد الثمار الأولى إلى نهاية المحصول . هذا . . . ويبين جدول ( ٤ - 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 - ١٣) : طريقة تحضير محاليل مغذية خاصة بمحاصيل محددة في مراحل معينة من نموها (أ) .

المحلول والتركيز								
المركب السمادى ( الدرجة التجارية )								
( أ )	( ب )	( ج )	( د )	وتركيبه الكيماى وتحليلة ( K - P - N )				
جزء فى جم/١٠٠٠ لتر المليون	جزء فى جم/١٠٠٠ لتر المليون	جزء فى جم/١٠٠٠ لتر المليون	جزء فى جم/١٠٠٠ لتر المليون					
٥٠٠	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg	كبريتات المغنسيوم ( ملح إيسوم ) Mg SO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O
٢٧٠	٧٧ K ٦٢ P	٢٧٠	٧٧ K ٦٢ P	٢٧٠	٧٧ K ٦٢ P	٢٧٠	٧٧ K ٦٢ P	فوسفات أحادى البوتاسيوم ( صفر - ٢٢,٥ - ٢٨ ) KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
٢٠٠	٧٧ K ٢٨ N	٢٠٠	٧٧ K ٢٨ N	٢٠٠	٧٧ K ٢٨ N	٢٠٠	٧٧ K ٢٨ N	نترات البوتاسيوم ( صفر - ١٣,٧٥ - صفر - ٣٦,٩ )
-	-	-	-	١٠٠	٤٥ K	١٠٠	٤٥ K	كبريتات البوتاسيوم ( ب ) ( صفر - صفر - ٤٣,٣ ) K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
١٣٥٧	٢٣٢ N ٢٣. Ca	٦٨٠	١١٦ N ١٦٥ Ca	٦٨٠	١١٦ N ١٦٥ Ca	٥٠٠	٨٥ N ١٢٢ Ca	نترات الكالسيوم ( صفر - صفر - ١٥,٥ ) Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
٢٥	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	حديد مخلبى ( ج ) Sequestrene 330
١٥٠ مل	-	١٥٠ مل	-	١٥٠ مل	-	١٥٠ مل	-	محلول العناصر الدقيقة ( د )

( أ ) انظر متن الكتاب بخصوص استعمالات هذه المحاليل .

( ب ) استعمال كبريتات البوتاسيوم اختيارى .

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

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

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

العنصر الذى يوفره الملح	تركيز العنصر بالجزء فى المليون فى المحاليل النهائية (المبيئة فى جدول ٤ - ١٣) (أ)	عدد جرامات الملح فى مخلوط أملاح العناصر الدقيقة (ب)	الملح ورمزه الكيميائى
البورون	٠,٤٤	٧,٥٠	حامض البوريك $H_3BO_3$
المنجنيز	٠,٦٢	٦,٧٥	كلوريد المنجنيز $Mn Cl_2 \cdot 4H_2O$
النحاس	٠,٠٥	٠,٣٧	كلوريد النحاس $Cu Cl_2 \cdot 2H_2O$
الموليبدنم	٠,٠٣	٠,١٥	أكسيد الموليبدنم $MoO_3$
الزنك	٠,٠٩	١,١٨	كبريتات الزنك $Zn SO_4 \cdot 7H_2O$

( أ ) يضاف محلول العناصر الدقيقة إلى المحاليل المغذية المبيئة فى جدول ( ٤ - ١٣ ) بنسبة ١٥٠ مل منه لكل ١٠٠٠ لتر من المحاليل المغذية .

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