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 مغذ واحد يمكن أن يقال إنه الأفضل؛ فكل محلول يصلح فى ظروف خاصة، إلا أن هناك شروطًا عامة 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 طبقات جيرية؛ فيحتوى بالتالى — على تركيزات عالية من كربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم. 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 والمغنيسيوم 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 بالأيدروجين الذى يحل محل كاتيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم. ثم يمرر 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 — ليحل محل كاتيونات الكالسيوم والمغنيسيوم لجعله غير عسر (soft) — لا يصلح لتحضير المحاليل المغذية لزيادة محتواه من عنصر الصوديوم.

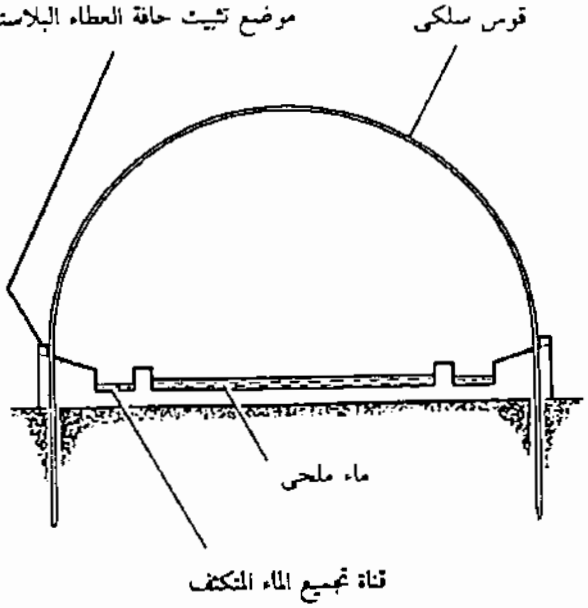
وسائل غير تقليدية لتوفير المياه التى تلزم للزراعة

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

تقطير المياه بالطاقة الشمسية Solar Distillation

أن أبسط الطرق لتحقيق ذلك هى باستعمال الأنفاق البلاستيكية بالكيفية المبينة فى شكل (٤-١) تكون قاعدة النفق عريضة، وتملأ بالماء الملحى. يغطى النفق بشريحة من البوليثيلين المعامل لتحمل الأشعة فوق البنفسجية، والتى تستند على أقواس 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 خزان خاص معدٌ لهذا الغرض. تُناسب هذه الطريقة المناطق الحارة، ويلزم معها معاملة السطح الداخلى للغطاء البلاستيكى بمادة تقلل التوتر السطحى

لقطرات الماء المتكثفة، بحيث تنزلق سريعًا أولاً بأول. يعيب هذا النظام قلة كمية المياه المتكثفة التى تنتج منه.



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

استعمال أجهزة التقطير الكهربائية

تعمل هذه الأجهزة بكفاءة عالية، وتنتج ماء نقيًا بكميات كبيرة، ولكن تكلفتها الإنشائية والتشغيلية عالية. يعتمد عمل هذه الأجهزة على تبخير الماء — تحت ضغط منخفض — على حرارة تقل عن ٥٠°م.

التحلية بخاصية الأسموزية العكسية Reverse Osmosis

عندما يُفصل محلولان مائيان مختلفان فى ضغطهما الأسموزى — كلاهما عن الآخر — بغشاء شبه منفذ (غشاء منفذ للمادة المُذيبة وغير منفذ للأملاح المُذابة)، فإن الماء يمر من المحلول ذى التركيز الملحى المنخفض — من خلال الغشاء — 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 عرض المحلول ذو التركيز الملحى المرتفع لضغط فيزيائى 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) ونظرا لأن الضغط الفيزيائى يعكس حركة الماء التى تحدثها الخاصية الأسموزية، لذا فإن هذه العملية تُعرف باسم "الأسموزية العكسية". ويستعمل لهذا الغرض — عادة — 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 نسبيًا، ويحتوى على ٥٪-١٠٪ من نسبة الأملاح الأصلية الموجودة فى الماء الذى تتم تحليته، بينما يعرف الثانى باسم "المحلول الملحى المركز Concentrate" وهو شديد الملوحة

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 تبدل الأنيونات مع أيون الهيدروكسيل، وعندما تستبدل بجميع الأيونات من هذه الأعمدة أيونات الماء الملحى فإنه يتم تنشيطها من جديد بإمرار محلول مركز من حامض — أو قلوى — 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 منها على التوالى

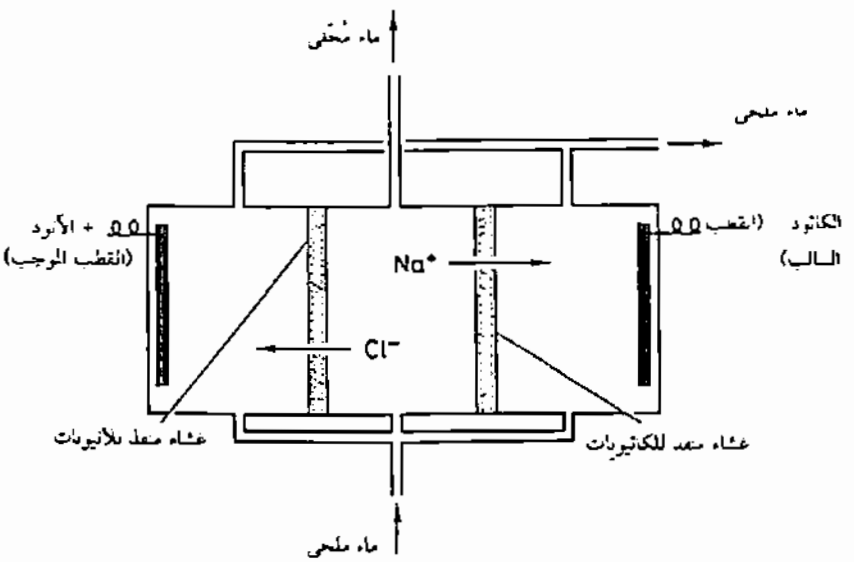
يمكن لهذه الأجهزة إنتاج كميات من المياه المنزوع الأيونات تصل إلى ٩٠٠٠ لتر فى الساعة، وتتوقف تكلفتها على تركيز الأملاح التى توجد فى الماء الذى يُراد تحليته. ويفضل إتباع هذه الوسيلة فى تحلية الماء عندما تقل نسبة الأملاح فيه عن ٨٠٠٠ جزء فى المليون.

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 الكهربائى Electrolysis فهو الخاصية التى يمكن ملاحظتها عند مرور تيار كهربائى خلال محلول مائى؛ حيث يعمل المحلول على توصيل التيار الكهربائى 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 خاصيتى الديلزة والتحليل الكهربائى — فى الديلزة الكهربائية — بتحليه المياه الملحية؛ حيث يقسم الحوض الذى يحدث فيه التحلل الكهربائى إلى ثلاث حجرات. وبموجب هذا التقسيم تفصل الحجرة الوسطية عن الكاثود بغشاء اختيارى النفاذية يسمح بمرور أيون الصوديوم ويمنع مرور أيون الكلور، بينما تفصل هذه الحجرة عن الآنود — من الجانب الآخر — بغشاء آخر اختيارى النفاذية كذلك ولكنه يسمح بمرور أيون الكلورين، بينما يمنع مرور أيون الصوديوم. ويحدث نتيجة ذلك تحرك أيونى الصوديوم والكلور — من الحجرة الوسطية — نحو الكاثود والآنود — على التوالى؛ ليصبح الماء فى الحجرة الوسطية منخفضًا كثيرًا فى محتواه من الأملاح (شكل ٤-٢).

وقد وجد أن إضافة ماء البحر المنقى من الأيونات الأحادية بالديلزة الكهربائية electrodialyzing (استخدمت فيها لُفيفة من غشاء انتقائى selective membrane cartridge)، وذلك بتركيز ٢٪ من المحلول المغذى المستعمل فى رى الباذنجان فى

الزراعات المائية أدت إلى زيادة معدل النمو الخضرى، وزيادة المحصول الكلى بنسبة ١٤٪ والمحصول الصالح للتسويق بنسبة ٢٣٪، مقارنة بالوضع فى معاملة الكنترول التى أعطيت المحلول المغذى فقط كذلك أدت تلك المعاملة إلى زيادة محتوى الثمار من كل من السكر والعناصر والمادة الجافة (Islam وآخرون ٢٠١٠)



شكل (٤-٢) عملية "الديلرة" الكهربائية Electrodialysis

ترشيح الماء المستعمل فى تحضير المحاليل المغذية

إن لم تكن مياه الآبار صحية تماما وخالية من أية عوالق فإنه يتعين ترشيحها، وكذلك تُرشَّح جميع مصادر المياه الأخرى باستثناء تلك التى يُتحصل عليها من تحلية مياه البحر. ويجب ألا يقل عدد فتحات مناخل المرشحات عن ١٥٠ فتحة فى البوصة (٢,٥ سم) الطولية (١٥٠ مش mesh)، لكى يكون فعالاً فى استيعاب الجزيئات التى تضر بأجزاء النظام من مضخة وصمامات، ومنظمات ضغط، وحاقنات، وكذلك للحد من انسداد النقطات

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 حد معين يقدر فى المتوسط بنحو ٠,٧ ضغط جوى. وتؤدى زيادة التركيز الكلى للأملاح على ذلك إلى نقص النمو النباتى تدريجيًا 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 النباتات 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 صيفًا، و ١,٠ 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 لعدد من الخضروات، واستخدم الباحث محلولاً مغذيًا قياسيًا يبلغ ضغطه الاسموزى 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 ٤ ١ ضغط جوى أما باقى الخضر التى درست. فقد تأثر نموها سلبيًا بزيادة الضغط الأسموزى إلى ٤ ١ ضغط جوى. ويستمر التدهور فى نموها بزيادة الملوحة عن ذلك

جدول (٤-١) تاثير الضغط الاسموزى للمحلول المغذى على النمو الخضرى لعدد من محاصيل الخضر فى مزارع الحصى

المحصول	وزن النمو القمى (كنسبة مئوية من الوزن فى المحلول المغذى 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
السترد	٩٥	٦٩	٨٠	٥١
الخس	٦٨	٦٠	٦٥	٥٢
بصل	٩١	٦٨	٥٤	٣٨
الفلفل	٦٨	٦٤	٥٨	٣٣
الفاصوليا	٨٨	٥٥	٢٢	١٦
البصل	٧٧	٣٩	٣٩	٢٨
البسلة	٧٧	٥٣	(٥)	(٥)

(٥) 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 ٥ ٤ مللى موز/سم -- مقارنة بـ EC ٢,٣ مللى موز/سم — أدت إلى نقص الجهد المائى للأوراق water potential، الأمر الذى ترتب عليه نقص معدل نمو النبات الخضرى فيه

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 الثمار الكريزية)، وكان ذلك مصاحبًا بنقص مماثل فى كل من وزن الثمرة وجهدها المائى، وجهدها الأسموزى، مع زيادة محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية.

وتعد الفراولة من أكثر محاصيل الخضر حساسية للملوحة، حيث يؤدى تراكم الصوديوم إلى ضعف قوة النمو النباتى، وتأخيره، وإلى زيادة معدلات موت النباتات عن المعدل الطبيعى ويعتبر الاحتراق البسيط أو المتوسط لقمة وحواف الأوراق أمرًا شائعًا عند ارتفاع الملوحة، ولكن تزداد شدة الاحتراق فى الجو الحار الجاف عما فى الجو البارد الرطب كما تؤدى الملوحة العالية إلى ضعف تكوين الجذور فى النباتات الصغيرة وعدم تكوين جذور دقيقة، وهى التى تكون نشطة فى عملية الامتصاص، وتكون الجذور سميكة وتفشل نباتات المدادات غالبًا فى تكوين جذور جديدة على سطح التربة أما النباتات الكبيرة ذات النمو الجذرى المتعمق فى التربة فإنها تكون — عادة — أكثر تحملاً للملوحة (Mass ١٩٩٨)

وقد أدت زيادة تركيز الملوحة فى المحاليل المغذية بمزارع الصوف الصخرى للفراولة من ٢ إلى ٨,٦ ملى موز/سم إلى زيادة تركيز الكلورين من ٠,٠٣٪ إلى ٠,٦١٪ (على أساس الوزن الجاف)، ونقص تركيز النترات فى العصير الخلوى لأعناق الأوراق من ١٠ ٥١ إلى ٣,٦٠ مجم/مل، هذا بينما لم يتأثر — على أساس الوزن الجاف — تركيز كلا من البوتاسيوم، والصوديوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم بزيادة تركيز الملوحة (Awang & Atherton ١٩٩٤).

كما أدت زيادة تركيز الملوحة فى مزارع الصوف الصخرى للفراولة من ٢ ٥ إلى ٨,٥ ملى موز/سم إلى نقص محصول الثمار، وصاحب ذلك نقصًا فى محتوى الثمار من الرطوبة، وزيادة فى نسبة محتواها من المادة الجافة (من ٨,٣٢٪ عند ملوحة ٢,٥ ملى موز/سم إلى ٩ ٧٨٪ عند ملوحة ٥ ٨ ملى موز/سم). وعلى الرغم من أن تركيز السكريات

المختزلة والأحماض — على أساس الوزن الجاف — لم يتأثر بمعاملة الملوحة، فإن تركيزهما النسبى — على أساس الوزن الرطب — ازداد بنقص محتوى الثمار من الرطوبة. هذا ولم تكن للملوحة أى تأثيرات على صلابة الثمار أو لونها (Awang وآخرون ١٩٩٣).

وبينما أحدث تعريض نباتات الفراولة للملوحة العالية — بصورة دائمة — نقصًا جوهريًّا فى النمو النباتى والمحصول، فإنها أدت كذلك إلى تحسين جودة الثمار. وقد كان النقص فى المحصول مرتبطا بنقص فى عدد النورات الزهرية؛ مما حدا ببعض الباحثين إلى اقتراح تأخير تعريض النباتات للملوحة العالية - فى الزراعات اللاأرضية — للسماح بتكوين نمو خضرى قوى قبل الإزهار، فلا يتأثر المحصول، بينما تتحسن نوعيته؛ ذلك لأن محصول الفراولة يعتمد بدرجة عالية على عدد النورات الزهرية، الذى يعتمد — بدوره — على عدد الأوراق والتيجان كذلك فإن محصول الفراولة يرتبط سلبيًّا مع الوزن الكلى للأوراق. مما يعنى أن الشدّ الذى تضعه الملوحة على النمو الورقى يمكن أن يؤثر إيجابيًّا على المحصول.

وقد أظهرت دراسات Awang & Atherton (١٩٩٥) على الفراولة أن عدد أوراق النبات (من ١٢ إلى ٦٠ ورقة/نبات) عند بداية المعاملة بالملوحة (من ٢,٦ إلى ٨٩ مللى موز/سم فى المحاليل المغذية بالزراعات اللاأرضية) لم يكن له تأثير على النقص فى النمو الخضرى والإزهار الذى سببته معاملة الملوحة. ولم يحدث نقص فى عدد الثمار إلا عندما عرضت النباتات ذات الستين ورقة لأعلى مستوى من الملوحة (٨٩ مللى موز/سم)، وهى المعاملة التى أحدثت — كذلك — نقصًا فى المحصول الكلى (الجاف والطازج) فى جميع الأحجام النباتية ما عدا أصغرها (١٢ ورقة).

ويتراوح — عادة — مستوى الملوحة فى المحاليل المغذية المستعملة فى تقنية الغشاء المغذى أو فى الزراعات اللاأرضية بين ٣٠، و ٧٥ مللى مول كتركيز كلى للأيونات (يعادل ذلك ضغطًا أسموزيًّا مقداره ٠,٠٧-١٨٠ ميجا باسكال MPa، ودرجة توصيل كهربائى EC مقدارها ٢-٥ ديسى سيمنز/م). تؤدى التركيزات الأقل من هذا المدى إلى الحد من النمو النباتى كون التغذية تصبح عاملاً محددًا للنمو، أو

قد تؤدى — فى الحالات الشديدة — إلى ظهور أعراض نقص العناصر. أما التركيزات الأعلى فإنها قد تقلل النمو — كذلك — بسبب تأثيرها الأسموزى؛ فالضغط الأسموزى العالى حول الجذور يقلل تيسر الماء لها، وإذا ما اقترن ذلك بمعدل عال للنتح، فإن ذلك قد يخفض الجهد المائى بالنبات، وهو الذى يرتبط بانخفاض فى امتلاء الخلايا، ومن ثم ضعف تمددها وعدم زيادتها فى الحجم؛ مما يؤدى إلى ضعف النمو النباتى. كذلك فإن زيادة الضغط الأسموزى للمحلول المغذى قد تسبب نقص النمو من خلال تسببها فى انغلاق الثغور؛ الأمر الذى قد يحدث إما بسبب حدوث انخفاض فى امتلاء خلايا الأوراق، وإما استجابة لإشارات تصدر إليها من الجذور. ويؤدى انغلاق الثغور إلى خفض معدل النمو النباتى؛ بسبب ما يحدثه ذلك من نقص فى معدل البناء الضوئى؛ ومن ثم حدوث نقص فى تراكم المادة الجافة (عن Van Ieperen ١٩٩٦).

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. ويُعبَّر عن التوصيل الكهربائى Electrical Conductivity (اختصارًا: EC) — عادة — بالمللى 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 الموه)؛ أى إن قراءة التوصيل الكهربائى بالمللى 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 لمحلول ما لا تعتمد فقط على محتواه من الأملاح، ولكن كذلك على تركيز كل ملح منها؛ لأن بعض الأملاح أكثر قدرة على التوصيل الكهربائى من غيرها. فمثلاً .. توصل كبريتات الأمونيوم الكهرباء بمقدار ضعف توصيل

نترات الكالسيوم لها، وأكثر من ثلاثة أمثال توصيل كبريتات المغنيسيوم. بينما لا توصل اليوريا الكهرباء على الإطلاق. ولا يكون لايونات النترات علاقة وثيقة 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:

التوصيل الكهربائى EC لمحلول بتركيز ٠,٢ /

المركب السمادى	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 المغنيسيوم (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 الميه 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 — تبعًا لدرجة حرارة المحلول — بضرب القراءة المتحصل عليها فى معامل تصحيح خاص كما يلى (عن Resh ١٩٨٥)

الحرارة (°م)	معامل التصحيح	الحرارة (°م)	معامل التصحيح
٥	١,٦١٣	٢٦	٠,٩٧٩
١٠	١,٤١١	٢٧	٠,٩٦٠
١٥	١.٢٤٧	٢٨	٠,٩٤٣
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 المحلوب المغطى – بعد قياس درجة توصيله الكهربائى – بأى من الطرق التالية:

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

٢- تركيز الأملاح بالجزء فى المليون = الـ EC بالملى موز/سم × ٦٤٠.

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

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

التركيز المناسب من مختلف العناصر فى المحاليل المغذية

التركيز المناسب والتوازن الأيونى

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 (٤-٢) 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 والمغنيسيوم) = ١٠٠٪ تحقق هذه النسب التوازن المطلوب بين الأنيونات 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 مغذ يحتوى على التوازن الأيونى المطلوب بإذابة كميات" المركبات المبينة فى جدول (٤-٣) فى لتر ماء

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

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

جدول (٤-٣) كميات المركبات اللازمة لتحضير محلول مغذ فى حالة توازن أيونى بالصورة المبينة فى جدول (٤-٢)

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

هذا .. ويُبين جدول (٤-٤) المجال المناسب لتركيز مختلف العناصر فى المحاليل المغذية ويتضح من الجدول أن العنصر الكبرى — وهى: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم — 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 من 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 منخفضة 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، نقلا 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 مغمورة فى المحلول المغذى.

ولقد ازداد امتصاص نباتات الخيار والطماطم من العناصر فى مزارع تقنية الغشاء المغذى بزيادة تركيز العناصر فى المحلول المغذى. وبينما لم تزدد نسبة امتصاص البوتاسيوم إلى النيتروجين مع تقدم مراحل النمو فى الخيار، فإن تلك النسبة ازدادت فى الطماطم أثناء تكوين الثمار من ١,١ : ١ إلى ٢,٦ : ١ — كحد أقصى - ثم انخفضت ثانية إلى ٢ : ١. ومع زيادة تركيز البوتاسيوم فى المحلول المغذى انخفضت حالات الإصابة بالنضج المتبقع، وازداد محتوى الثمار من الأحماض العضوية والبوتاسيوم.

وفى الخيار أدت التركيزات المنخفضة من كل من الكالسيوم والمغنيسيوم فى المحلول المغذى إلى خفض المحصول ونسبة الثمار جيدة النوعية، وكذلك خفض امتصاص النباتات من هذين العنصرين.

جدول (٤-٤) المدى المناسب لتركيز مختلف العناصر فى المحاليل المغذية

العنصر	التركيز المناسب (جزء فى المليون)	المدى المناسب لتركيز العنصر (جزء فى المليون)
النيتروجين	١٥٠	٣٠٠-١٥٠
الفوسفور	٥٥	١٠٠-٥٠
البوتاسيوم	١٧٥	٤٠٠-١٠٠
الكالسيوم	١٠٥	٥٠٠-٣٠٠
المغنيسيوم	٩٠	١٠٠-٥٠
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

ولقد ارتبط امتصاص نباتات الطماطم للماء والنيتروجين والبوتاسيوم - بشدة - بالإشعاع الشمسى. بينما كان امتصاص البوتاسيوم مرتبطًا بشدة بحرارة المحلول المغذى وازداد - كذلك - امتصاص معظم العناصر المغذية الأخرى بزيادة حرارة المحلول المغذى (Adams ١٩٩٤)

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

ويتبين من دراسات Newton & Ramli Abdulah (١٩٩٣) أن نمو نباتات الطماطم والخيار فى مزارع تقنية الغشاء المغذى يتناسب طرديًا 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) مقارنة بإضافته فى صورة كبريتات الحديدوز، أو كلوريد الحديديك.

وتجدر الإشارة إلى أن جميع الخضروات – باستثناء الذرة السكرية – يكون نموها أفضل عند استعمال النترات NO_3^- – كمصدر للنيتروجين – مقارنة 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 Kanahama 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 كل من الفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، 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، وبضاعفته إذا استمر الجو على هذه الحال لفترة طويلة وعموما . يمكن زيادة تركيز المحاليل المغذية إلى ٢-٤ أضعاف التركيزات الموصى بها فى الإضاءة المنخفضة، أو إذا أريدت 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

اذ تتوقف التركيزات المناسبة لمختلف العناصر الغذائية على نوع المزرعة المستعملة

٣- المحصول المزروع

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

٥- مرحلة النمو النباتى:

فكثيرًا 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 ثابتا 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 يومًا)، حتى يصل طول النبات إلى نحو ٣٥-٤٠ سم. و (ب) ويبلغ تركيزه ثلثى التركيز الكامل، ويستعمل بعد ذلك حتى يصل طول النبات إلى ٦٠سم عندما تكون الثمار الأولى بقطر ٠,٥-١,٠ 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 في الخضر الورقية محلولان أيضًا، هما: (أ) ويبلغ تركيزه 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 في مدى واسع من تركيزات مختلف العناصر في المحاليل المغذية، شريطة استمرار تركيز كل عنصر بين حدّى النقص والسمية. فمثلاً . لم يتأثر نمو نباتات الطماطم بتغيير تركيز النيتروجين في المحلول المغذى بين ٢٠ و ٣٢٠ جزءًا في المليون. ويستدل من ذلك على عدم الحاجة إلى قياس تركيز مختلف العناصر دوريًّا لتعديله؛ حيث يكفي قياس درجة التوصيل الكهربائي للمحلول المغذى لتعرف مدى استنفاذ النباتات للعناصر.

وتحقق هذه الطريقة أهدافها بصورة عملية عندما يُستَعمل في تحضير المحلول المغذى مخلوط معد سلفًا من مختلف العناصر، أو سماد تجارى خاص بمحصول معين لاستعماله في نوعيات معينة من المزارع تحت ظروف خاصة. ففي هذه الحالة تتماشى نسب العناصر المضافة مع نسب العناصر التي تمتصها النباتات من المحلول المغذى، وتكفي قراءة درجة التوصيل الكهربائي للمحلول لتحديد كمية السماد التي تنبغي 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 النباتي.

لكن ينبغي التأكيد على أن ذلك الأمر ينطبق — فقط — على الحالات التي يكون فيها تركيز العناصر في المحاليل المغذية المستعملة مماثلاً لمعدلات امتصاص النباتات من كل عنصر منها، وبغير ذلك فإن تعويض النقص الذى يحدث في حجم المحلول المغذى بكميات إضافية منه يؤدى — تدريجيًّا — إلى زيادة تركيز بعض العناصر في المحلول المغذى إلى درجة السمية، بينما قد ينخفض تركيز بعضها الآخر عن المستوى الحرج للنمو النباتي.

ولتجنب حدوث هذه الحالات التى قد تقضى على المزرعة المائية . يفضل تغيير المحلول المغذى المستعمل كليًا بعد نحو ٣ أسابيع من الاستعمال (المصاحب بإضافات من المحلول المغذى تبعا لقراءة التوصيل الكهربائى). تنخفض إلى نحو أسبوع واحد فقط فى النباتات البالغة القوية النمو

أضرار نقص العناصر أو زيادة تركيزها عن المستويات الحرجة للنمو النباتى

ليس من بين أهداف هذا الكتاب استعراض العناصر الغذائية الضرورية وتأثيرها على نمو وتطور النبات. فذلك أمر تناولناه بالتفصيل فى كتاب "أساسيات وفسيولوجيا الخضر (حسن ١٩٩٧)" ونكتفى فى هذا المقام بتقديم عرض موجز لأعراض نقص مختلف العناصر. وكذلك أعراض التسمم بها.

أعراض نقص العناصر

أولا: العناصر الكبرى:

١ النيتروجين

يؤدى نقص العنصر إلى ظهور لون 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- الفوسفور.

يؤدى نقص الفوسفور فى النباتات ذوات الفلقتين إلى ظهور لون أحمر أو أرجوانى على العروق الرئيسية بانصال 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 – لونًا أرجوانيًّا. أما فى ذوات الفلقة الواحدة، فإن نقص العنصر يؤدى إلى ظهور لون أحمر أو أرجوانى فى مناطق مختلفة 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- البوتاسيوم:

تظهر أعراض نقص العنصر على الأوراق المسنة أولاً، وتكون فى ذوات الفلقتين فى صورة اصفرار خفيف 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 بلون أخضر باهت، ثم تظهر عليها بقع متحللة، وتلتف حوافها إلى أسفل. وتكون حواف الأوراق الحديثة – أحيانًا – 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- المغنيسيوم:

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

٦- الكبريت:

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

ثانيا: العناصر النادرة:

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

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

١- 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

٢- الزنك.

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

٣- النحاس.

يؤدى نقص العنصر إلى ظهور اصفرار وشحوب وبهتان فى لون الأوراق، يتبعه فقدان اللون الأخضر كلية فى قمة الأوراق، فتبدو وكأنها محترقة. ويؤدى نقص النحاس الميسر للامتصاص عن نصف جزء فى المليون إلى تفلق ثمار الطماطم — أحيانا - فى الحو الحار

٤ - 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 تشققات دائرية دقيقة وسطحية جدًا فى جلد ثمار الطماطم حول الأكتاف، وقد تظهر تشققات طولية مماثلة فى ثمار الفلفل تكون واضحة بصفة خاصة فى الصنف جالابينو Jalapeno.

٥- المنجنيز:

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

٦- الموليبدنم:

يؤدى نقص العنصر إلى تشوه الأوراق الحديثة — حيث لا ينمو نصل الورقة بصورة منتظمة — مع موت البرعم الطرفى. وتقزم النمو.

أعراض التسمم الناشئ عن 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، فإن الأعراض لا تتعدى ظهور علامات التقسية أو الأقلمة على النباتات على شكل تقزم وتخشب فى النمو، مع تلون الأوراق باللون الأخضر القاتم.

ومما تجدر الإشارة إليه أن النباتات تتحمل الزيادة فى تركيز عنصر ما عندما تكون بقية العناصر متوفرة بالتركيزات المناسبة بدرجة أكبر مما لو كان هناك نقص فى بعض هذه العناصر وكمثال على ذلك نجد أن الطماطم تتحمل زيادة تركيز عنصر النحاس حتى جزء واحد فى المليون عندما تتوفر العناصر الأخرى بالقدر المناسب، بينما تظهر أعراض التسمم بالنحاس عند تركيز ٢ ، جزءا 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- 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، وتضخم الأزهار، مع قلة أو انعدام تكوُّن حبوب اللقاح بها (Larsen ١٩٨٢).

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

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

٤- تؤدى 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 جزءًا فى المليون، ويكون ذلك بظهور مناطق شفافة بأنسجة الأوراق على امتداد العروق لا تلبث أن تتحول إلى اللون البنى.

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

٧- تظهر أعراض التسمم بالنحاس إذا زاد تركيزه عن جزء واحد فى 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 التى تنمو فيها الجذور بالماء لعدة أيام

كيما تعالج بعض الحالات الخاصة لزيادة العناصر كالتالى:

١- تعالج زيادة تركيز البورون بإضافة سليكات الصوديوم إلى الماء المستخدم فى 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.

العيوب الفسيولوجية التى تزداد فرصة ظهورها

لا توجد عيوب فسيولوجية خاصة بالمزارع المائية، ولكن تزداد فيها فرصة ظهور بعض العيوب الفسيولوجية التى يكون مردها إلى زيادة أو نقص تركيز بعض العناصر عن مداها المناسب للنمو النباتى، وخاصة فى النظام المغلق.

ومن أهم العيوب الفسيولوجية التى ترتبط بالعناصر المغذية، ما يلى:

١- تؤدى زيادة تركيز الأمونيوم إلى ظهور عدة عيوب فسيولوجية فى الطماطم، ويتم تجنبها بعدم زيادة نسبة الأمونيوم من الاحتياجات الكلية للنيتروجين عن ١٠٪.

٢- يؤدى انخفاض تركيز البوتاسيوم عن ١٠٠٠ جزء فى المليون إلى خفض حموضة ثمار الطماطم مما يؤثر سلبيًا على جودة الثمار.

٣- يؤدى انخفاض تركيز الكالسيوم إلى ظهور أعراض تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم واحتراق حواف الأوراق فى الخس.

٤- يؤدى زيادة تركيز الزنك إلى تسمم النباتات، ويحدث ذلك جراء ذوبان العنصر من أنابيب المياه المجلفنة، ويتم تجنب ذلك باستعمال أنابيب من الـ PVC.

طرق التعبير عن تركيز العناصر فى المحاليل المغذية

يمكن التعبير عن تركيز العناصر فى المحاليل المغذية بإحدى الطرق التالية

١ - بالجزء فى المليون (part per million، واختصارا ppm)

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

٢- بالملى مولار (mM).

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

٣- بالملى مكافئ لتر (milliequivalens/liter، واختصارًا me/l)

الوزن المكافئ بالجرام gram equivalent هو الوزن الجزيئى بالجرام مقسومًا على التكافؤ (عدد الإليكترونات التى يمكن أن تفقد أو تكتسب فى المدار الخارجى للذرة) فمثلا الوزن المكافئ 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 المكافئ يكون مساويًا لنصف وزنه الجزيئى

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

ويفضل التعبير عن التركيز بالملى مكافئ/لتر عند الرغبة فى مقارنة تركيز عنصر ما فى محاليل تحضر بإذابة أملاح مختلفة فى شحنات الأيونات المكونة لها.

ولمزيد من التوضيح .. فإن:

أ- الوزن المكافئ للعنصر يساوى وزنه الذرى مقسوما على تكافئه ويراعى أن العنصر

الواحد قد يكون له أكثر من تكافؤ. مثل الحديد (تكافؤ الحديدوز = ٢، بينما تكافؤ الحديديك = ٣).

ب- الوزن المكافئ للحامض يساوى وزنه الجزيئى مقسومًا 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).

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

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

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

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

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

٤- بالضغط الأسموزى:

يعبر عن الضغط الأسموزى بوحدات الضغط الجوى، علمًا بأن ١ ضغط جوى = ١٤,٧ رطلاً/بوصة مربعة = ١,٠٣٣ كجم/سم^2 (Resh ١٩٨٥، وحبيب وآخرون ١٩٩٣)

الرقم الأيدروجينى (pH) للمحاليل المغذية

يتراوح الرقم الأيدروجينى المناسب للمحاليل المغذية (فى كل من النُظُم المغلقة التى يُعاد فيها ضخ المحاليل، والنظم المفتوحة التى تستعمل فيها المحاليل المغذية مرة واحدة) بين ٥٥. و ٦٥. وهو يتأثر بدرجة كبيرة بالتوازن بين أيونى النترات NO_3^-، والأمونيوم NH_4^+ ويفضل دائما أن يكون النيتروجين الأمونيومى فى حدود ٢٥٪ من النيتروجين الكلى، وألاّ يقل عن ١٠٪

ومع توجد النيتروجين فى صورة نترات يرتفع pH المحلول المغذى تدريجيًا، بسبب امتصاص النبات 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 ٥ ٧ إلى ترسيب الفوسفور، والكالسيوم، والمغنيسيوم، 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 النمو الجذور وتستعد فيها المحاليل المغذية لإعادة استعمالها من جديد — إمرار المحلول المغذى فى الزرعة لمدة ٥ ١٠ دقائق بعد تحضيره، ثم استعادته وقياس رقمه الأيدروجينى مرة أخرى، وتعديله إلى المجال المناسب إن لزم الأمر(Collins & Jensen ١٩٨٣) وتجدر الاشارة إلى أن pH المحاليل المغذية سريع التغير، نظرًا لعدم وجود أى قدرة تنظيمية به buffering capacity

ومع استمرار استعمال المحلول المغذى يقاس رقمه الأيدروجينى يوميًا، ويعدل عند الضرورة إما بحامض الكبريتيك (أو النيتريك)، وأما 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 تلقائيًا أولاً بأول.

ويتم القياس اليدوى للرقم الأيدروجينى – يوميًا – 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 (عن Wilcox 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- يفضل استعمال الأسمدة التجارية العادية كمصدر 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 تحضر محلول العناصر المغذية الكبرى (وهى: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، 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 المغنيسيوم التى يمكن استعمالها كمصدر للمغنيسيوم.

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 البوليثيلين، حتى لا يفقد منها شئ ويجب ان يكون الوزن بدقة، وألاّ يتعدى الخطأ ± ٥٪

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

جـ- يذاب كل سماد منفردًا فى دلو كبير 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 معًا، وكذلك كل أملاح النترات، وكل أملاح الفوسفات

٥- 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 ميه الرى بالقدر المناسب، ليصبح ماء الرى محلولاً سماديًا مناسبًا 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 فإن أذيبت 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 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 ذائبة 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 عملى. ويتم – عادة – خلط معظم الأملاح معًا، مع مراعاة ما يلى:

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

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

٣- 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 محاليل سمادية مركزة مختلفة خاصة بالعناصر الكبرى، ومحلول قياسى خامس للحديد، وسادس لباقى العناصر الدقيقة، كما فى حالة تحضير محلول هوجلاند المغذى.

وكقاعدة عامة .. فإن نترات الكالسيوم يمكن أن تتفاعل مع المواد الفوسفورية، وينتج عن ذلك تكوين فوسفات الكالسيوم غير الذائبة، كما يمكنها التفاعل مع سلفات المغنيسيوم لتكوين الجبس؛ لذا .. فإنه يتعين عمل محلولين غذائيين مركزين يحتوى أحدهما على نترات الكالسيوم والحديد المخلبى، ويحتوى الآخر على باقى العناصر. ويتم الخلط بينهما – فى صورة مخففة – عند التسميد، علمًا بأن التفاعلات المذكورة أعلاه لا تكون محسوسة فى المحاليل المخففة (Boyhan وآخرون ٢٠٠٠).

وعند تحضير المحاليل المغذية .. يُفيد استخدام الماء الساخن فى إذابة الأسمدة. وبينما لا يحتاج الأمر لأكثر من مُقَلِّب بسيط عند تحضير الكميات الصغيرة من المحاليل المغذية، فإنه يلزم استعمال خضاض آلى عند تحضير الكميات الكبيرة.

ومن الأفضل تحضير عدد من الكميات الصغيرة – كل على انفراد – ثم تفريغها فى

خزان كبير ويكفى -- غالبا — للمساحات المحمية الصغيرة (صوبة أو صوبتان) خزانات سعة ١٠٠—٢٠٠ لتر ويعتمد إعادة ملئ خزانات المحاليل المغذية لمزارع البرليت والصوف الصخرى على الوقت من السنة، ومعدل النمو المحصولى، ويجرى — عادة — كل ٣-٤ أيام حتى كل ١٠ أيام حسب حجم التانك السمادى المستعمل أما فى تقنية الغشاء المغذى، فإن إعادة ملئ الخزانات يكون-أكثر انتظام خلال موسم النمو، بسبب الحاجة لغسيل وشطف خزان تجميع المحلول المغذى بصورة روتينية.

يلزم استعمال خزانين للمحاليل المغذية، ذلك لأن بعض الأملاح تتفاعل مع أملاح أخرى عند تواجدهما معًا فى خزان واحد. وأكثر الأملاح التى تتكون جراء تفاعلات كهذه فوسفات الكالسيوم التى تنتج عن تفاعل نترات الكالسيوم مع المركبات الفوسفاتية، وكبريتات الكلسيوم التى تنتج عن تفاعل نترات الكالسيوم مع كبريتات المغنيسيوم ولتفادى تلك التفاعلات يجب أن يحتوى أحد المحلولين القياسيين على أملاح مثل نترات البوتاسيوم، ونترات الكالسيوم، والحديد المخلبى، وأن يحتوى المحلول القياسى الآخر على أملاح مثل مصدر الفوسفور، وسلفات المغنيسيوم، والعناصر الصغرى، وكلوريد البوتاسيوم، ونترات البوتاسيوم

وبعد إضافة محاليل مختلف الأسمدة التى تم تحضيرها إلى خزان المحلول المغذى يضاف الماء إلى المستوى المرغوب فيه. ثم يقلب يترك التانك بعد ذلك ساكنا لبضع ساعات إلى أن تترسب العوالق ويصبح المحلول رائقا وغالبا ما يتكون راسب وَحْلى فى قاع الخزان الذى يحتوى على نترات الكالسيوم أو البوتاسيوم، ويرجع هذا الراسب إلى وجود إضافات معينة لبعض الأسمدة تكون بهدف منع التكتل ومنع تكوين الغبار عند التداول هذه المواد ليست قابلة للذوبان، وتترسب فى قاع الخزان. ولذا . تحتاج خزانات المحاليل المغذية القياسية للغسيل بالماء وتشطف على فترات للتخلص من تلك الرواسب. ويمكن تجنب حدوث تلك الظاهرة إما باستعمال أملاح بدرجة أعلى من النقاوة (technical grade)، وإما باستعمال محاليل سمادية رائقة نُقلتْ من وعائها الذى حضرت فيه إلى وعاء آخر دون نقل للرواسب)، مثل نترات الكالسيوم السائلة (عن Hochmuth ٢٠٠١ب).

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 جزء من المليون، فإن 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 (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.

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

فإذا أذيب ٨٢٠ ملليجرام نترات كالسيوم فى لتر من الماء، فإننا نحصل على كالسيوم بتركيز ٢٠٠ جزء من المليون.

وهذا بفرض أن ملح الكالسيوم المستعمل نقى تمامًا. فإن لم يكن كذلك (وهو الأمر الغالب) لزم إضافة المزيد من نترات الكالسيوم لتعويض النقص الناشئ عن عدمَ النقاوة. فمثلاً اذا 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 كالسيوم ذات نقاوة ٩٠٪ فى لتر من الماء، فإنها تعطى كالسيوم بتركيز ٢٠٠ جزء من 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 متر مكعب من المحلول السمادى = ٩١١ جم

ويمكن دمج الخطوات السابقة فى معادلة واحدة كالتالى:

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

حيث إن

W = الوزن اللازم من السماد معبرًا عنه بالجرام/م^3

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/م^3.

وفى المثال السابق نجد أن:

$$W = \frac{٢٠٠ \times ١٦٤}{٤٠} \times \frac{١٠٠}{٩٠} \times ١٠ = ٩١١ \text{ جم/م}^3$$

وإذا كان المركب المستعمل يحتوى على أكثر من عنصر ضرورى للنبات (وتلك هى الحالة الغالبة)، فإن 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 أضيفت 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:

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

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 جزءًا 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:

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

$$= \frac{10 \text{ X } 101}{14} \quad \frac{100}{95} \quad 1.0$$

$$= \quad 75.9 \text{ g/m}^3$$

أى حوالى ٧٦ جرامًا 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 – عادة – فى تركيب المحاليل المغذية، وهى كما يلى.

العنصر	رمزه	وزنه الذرى
الكربون	C	١٢,٠١
الإيدروجين	H	١,٠٠٨
الاوكسجين	O	١٦,٠٠
سيدروجين	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
المحاس	Cu	٦٣,٥٤
المجنيز	Mn	٥٤,٩٤
الموليبدم	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 (٤-٥): قائمة بأسماء أهم الأسمدة المستخدمة فى تحضير المحاليل المغذية. مع بيان الاسم التجارى، والتركيب الكيميائى، والوزن الجزيئى لكل 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 (٤-٦) كيفية حساب الكميات اللازمة من الأسمدة البسيطة إذا عرفت الكميات المطلوبة من العناصر أو العكس.

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

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

جدول (٤-٥): 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	
كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$	١٣٢,٢	$2(NH_4^+)$ SO_4	١ . ٢	متوسطة	

تابع جدول (٤-٥)

الاسم التجارى للسماد وصيغه الكيميائى	الوزن الجزيئى	العناصر التى يوفرها	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	التكلفة	ملاحظات
فوسفات الأمونيوم ثنائى الايدروجين $NH_2H_2PO_4$	١١٥,٠	NH_4^+ H_2PO_4	١ ٤	متوسطة	لا تستخدم هذه المركبات إلا تحت ظروف الإضاءة الجيدة أو لعلاج حالة نقص الآزوت
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 جداً	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_2SO_4	١٧٤,٣	$2K^+$ SO_4	١ ١٥	منخفضة	تجب إذابته فى الماء الساخن
فوسفات أحادى الكالسيوم $Ca(H_2PO_4)_2H_2O$	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 غالبًا لضعف ذوبانه فى الماء
كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4.7H_2O$	٢٤٦,٥	Mg^{++} SO_4	١ ٢	منخفضة	

تابع جدول (٤-٥).

الاسم التجارى للسماد ورمزه الكيميائى	الوزن الجزيئى	العناصر التى يوفرها	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	التكلفة	ملاحظات
كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$	٢١٩,١	Ca^{++} $2Cl^-$	١ : ١	مرتفعة	يستعمل لعلاج حالات نقص الكالسيوم، وعندما تقل نسبة كلوريد الصوديوم فى الماء
حامض الفوسفوريك H_3PO_4	٩٨,٠	PO_4^{---}	حامض مركز		يستعمل – خاصة – لعلاج نقص الفوسفور
العناصر الصغرى:					
كبريتات الحديدوز $FeSO_4.7H_2O$	٢٧٨,٠	Fe^{++} SO_4^{--}	١ : ٤		
كلوريد الحديديك $FeCl_3.6H_2O$	٢٧٠,٣	F^{+++} $3Cl^-$	١ : ٢		
حديد مخلبى FeEDTA (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 او تترابورات الصوديوم $Na_2B_4O_7.10H_2O$	٣٨١,٤	B^{+++}	١ : ٢٥٠		
كبريتات النحاس $CuSO_4.5H_2O$	٢٤٩,٧	Cu^{++} SO_4^{--}	١ : ٥	منخفضة	
كبريتات المنجنيز $MnSO_4.4H_2O$	٢٢٣,١	Mn^{++} SO_4^{--}	١ : ٢	منخفضة	
كلوريد المنجنيز $MnCl_2.4H_2$	١٩٧,٩	Mn^{++} $2Cl^-$	١ : ٢	منخفضة	

تابع جدول (٤-٥)

الاسم التجارى للسماد ورمزه الكيميائى	الوزن الجزيئى	العناصر التى يوفرها	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	التكلفة	ملاحظات
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 الامونيوم $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	١١٦٣,٩	$2Cl^-$ NH_4^+ Mo^{+6}	١ : ٢,٣	مرتفعة نوعًا	
زنك مخلبى ZnEDTA	٤٣١,٦	Zn^{++}	سريع الذوبان	مرتفعة	
منجنيز مخلبى MnEDTA	٣٨١,٢	Mn^{++}	سريع الذوبان	مرتفعة	

جدول (٤-٦) 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 Ammonia nitrate-NH_4NO_3	0.350	نيتروجين – Nitrogen-N
كبريتات الأمونيوم Ammonium sulfate-$(NH_4)_2SO_4$	0.212	نيتروجين – Nitrogen-N
البوراكس – Borax-$Na_2B_4O_7.10H_2O$	0.114	البورون – Boron-B
حامض البوريك – Boric Acid 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 acid-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)

تابع جدول (٤-٦).

تضرب الكمية المطلوبة من		في	للحصول على الكمية المطلوبة من	
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-$CaCO_3$	0.403	أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO
كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$	0.842	كربونات المغنيسيوم -	Magnesium carbocate-$MgCO_3$
أيدروكسيد الكالسيوم -	Calcium hydroxide-$Ca(OH)_2$	0.541	الكالسيوم -	Calcium-Ca
أيدروكسيد الكالسيوم -	Calcium hydroxide-$Ca(OH)_2$	1.351	كربونات الكالسيوم -	Calcium carbonate-$CaCO_3$
أيدروكسيد الكالسيوم -	Calcium hydroxide-$Ca(OH)_2$	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 sulfate - $CaSO_4.2H_2O$ (gypsum)
الجبس	Gypsum-$CaSO_4.2H_2O$	0.326	أوكسيد الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO
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-$MgCO_3$
أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO	2.986	كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-$MgSO_4$
أوكسيد المغنيسيوم -	Magnesia-MgO	6.114	كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-$MgSO_4.7H_2O$ (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 -	Magnesium sulfate-$MgSO_4.7H_2O$ (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 الكالسيوم -	Calcium oxide-CaO
كربونات المغنيسيوم -	Magnesium Carbonate-$MgCO_3$	0.289	المغنيسيوم -	Magnesium-Mg

تابع جدول (٤-٦)

تضرب الكمية المطلوبة من		في	للحصول على الكمية المطلوبة من
كبريتات المغنيسيوم -	Magnesium sulfate-$MgSO_4$	0.335	اوكسيد 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
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	6.058	نترات الصوديوم Sodium nitrate-$NaNO_3$
النيتروجين -	Nitrogen-N	6.250	البروتين - Protein
الفوسفور -	Phosphorus-P	0.437	الفوسفور - Phosphorus-P
خامس أوكسيد الفوسفور	Phosphoric acid-P_2O_5	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	2.145	نترات البوتاسيوم - Sodium nitrate-$NaNO_3$
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

تابع جدول (٤-٦)

تصرب الكمية المطلوبة من		فى	للحصول على الكمية المطلوبة من
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 - Nitrogen-N
الكبريت	Sulfur-S	5.368	كبريتات الكالسيوم - Calcium sulfate-$CaSO_4.2H_2O$ (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 اوكسيد الكبريت -	Sulfur trioxide-SO_3	0.401	الكبريت - Sulfur-S
حامض الكبريتيك -	Sulfuric acid-H_2SO_4	0.327	الكبريت - Sulfur-S

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

السماد	النقاوة (٪)
فوسفات الأمونيوم	٩٨
كبريتات الأمونيوم	٩٤
نترات الأمونيوم النقية	٩٨
نترات البوتاسيوم	٩٥
نترات الكالسيوم	٩٠
فوسفات احادى 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 (٤-٨) كمية السماد التى تلزم لتحضير متر مكعب واحد من محلول مغذ بتركيز جزء واحد فى المليون من العنصر الذى يوفره السماد

السماد وتحليله	العنصر الذى يوفره السماد	الكمية (جم)
كبريتات الامونيوم (٢١ – صفر – صفر)	نيتروجين	٤,٧٦
نترات الكالسيوم (١٥,٥ – صفر – صفر)	نيتروجين	٦.٤٥
	كالسيوم	٤,٧٠
نترات البوتاسيوم (١٣,٧٥ – صفر – ٣٦,٩)	نيتروجين	٧,٣٠
	بوتاسيوم	٢,٦٠
نترات الصوديوم (١٥,٥ – صفر – صفر)	نيتروجين	٦,٤٥
اليوريا (٤٦ – صفر – صفر)	نيتروجين	٢,١٧
نتروفوسكا (١٥ – ٦,٥ – ٢١,٥)	نيتروجين	٦,٦٠
	فوسفور	١٥,٠٠
	بوتاسيوم	٨,٣٠
فوسفات أحادى البوتاسيوم (صفر – ٢٢,٥ – ٢٨)	بوتاسيوم	٣,٥٣
	فوسفور	٤,٤٥
كبريتات البوتاسيوم (صفر – صفر – ٤٣ ٣)	بوتاسيوم	٢ ٥٠
كلوريد البوتاسيوم (صفر – صفر – ٤٩.٨)	بوتاسيوم	٢,٠٥
فوسفات احادى الكالسيوم (صفر – ٢٠,٨ – صفر)	فوسفور	٤,٧٨
فوسفات أحادى الأمونيوم (١١ – ٢٠,٨ – صفر)	فوسفور	٤,٧٨
كبريتات الكالسيوم (الجبس)	كالسيوم	٤,٨٠
حامض البوريك	بورون	٥,٦٤
كبريتات النحاس	نحاس	٣,٩١
كبريتات الحديدوز	حديد	٥,٤
حديد محلبى ٩٪	حديد	١١,١٠
كبريتات المنجنيز	منجنيز	٤,٠٥
كبريتات المجنيز المهدرج (ملح إبسوم)	منجنيز	١٠,٧٥
ثالث أكسيد الموليبدنم MoO_3	موليبدنم	١,٥٠
موليبدات الصوديوم	موليبدنم	٢,٥٦
كبريتات الزنك	زنك	٤,٤٢

تؤكد 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.

أمثلة للمحاليل المغذية المستعملة تجاريًّا

تقترب معظم المحاليل المغذية فى تركيبها من محاليل هوجلاند المغذية؛ ولذا .. فسنبدأ بشرح طريقة تحضيرها بالتفصيل. ثم نتابع ذكر أمثلة للمحاليل الأخرى المستعملة تجاريًّا. ولمزيد من أمثلة المحاليل المغذية -- خلافًا 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 صورتيه النتراتية والأمونيومية. ويحضران من تسعة محاليل قياسية standard stock solutions. 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 غالبًا على دراسات فسيولوجيا النبات.

محلول هيوت المغذى

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

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

رقم المحلول القياسى	المركب وتركيبه الكيميائى		الكمية اللازمة من المركب بالجرام لتحضير لتر من المحلول القياسى
١	نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	٢٣٦,٢
٢	نترات البوتاسيوم	KNO_3	١٠١,١
٣	فوسفات أحادى البوتاسيوم	KH_2PO_4	١٣٦,١
٤	كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4.7H_2O$	٢٤٦,٥
٥	نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	٢٣٦,٢
٦	فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	١١٥,٠
٧	كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4.7H_2O$	٢٤٦ ٥
٨	حامض البوريك	H_3BO_3	٢,٨٦
	كلوريد المنجنيز	$MnCl_2.4H_2O$	١,٨١
	كبريتات الزنك	$ZnSO_4.7H_2O$	٠,٢٢
	كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	٠,٠٨
	حامض الموليبديك	$H_2MoO_4.H_2O$	٠,٠٢
٩	حديد مخلبى		ما يكفى من المادة لأن يكون تركيز الحديد في المحلول القياسى ٠,١٪.(أ)

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

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

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

تابع جدول (٤-١٠)

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

(أ) لتحضير أى من المحلولين (أ) أو (ب) تضاف الكميات المبينة من المحاليل القياسية المختلفة إلى ٨٠٠ مل ماء مقطرًا. ثم يكمل الحجم النهائى إلى لتر.

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

المحلول القياسى		المركب جم/لتر	جزء من المليون	ملى مول/لتر
نترات البوتاسيوم	KNO_3	٠,٥٠٥٠٠٠	البوتاسيوم = ١٩٥ النيتروجين = ٧٠	٥,٠
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2$	٠,٨٢٠٠٠٠	الكالسيوم = ٢٠٠ النيتروجين = ١٤٠	٥,٠
فوسفات الصوديوم	$NaH_2PO_4.2H_2O$	٠,٢٠٨٠٠٠	الفوسفور = ٤١	١,٣٣
كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4.7H_2O$	٠,٣٦٩٠٠٠	المغنيسيوم = ٢٤	٣,٠٠
سترات الحديديك		٠,٠٢٤٥٠٠	الحديد = ٥,٦	٠,١
كبريتات المنجنيز	$MnSO_4$	٠,٠٠٢٢٣٠	المنجنيز = ٠,٥٥	٠,٠١
كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	٠,٠٠٠٢٤٠	النحاس = ٠,٠٦٤	٠,٠٠١
كبريتات الزنك	$ZnSO_4.7H_2O$	٠,٠٠٠٢٩٦	الزنك = ٠,٠٦٥	٠,٠٠١
حامض البوريك	H_3BO_3	٠,٠٠١٨٦٠	البورون = ٠,٠٣٧	٠,٠٣٣
موليبدات الأمونيوم	$(NH_4)_6MO_7O_{24}.4H_2O$	٠,٠٠٠٠٣٥	الموليبدنم = ٠,٠١٩	٠,٠٠٠٢

تابع جدول (٤-١١)

المحلول القياسى	المركب	المركب		
		جم/لتر	جزء من المليون	ملى مول/لتر
كبريتات الكوبالت	$CoSO_4.7H_2O$	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 فى كاليفورنيا استعمل محلول مغذ يقارب فى قوته نصف قوة محلول هوجلاند مع بعض التغيير، ويحضر بإضافة لتر من محلولين قياسيين (١)، و (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 – عادة – بتحضير كميات تكفى لعدة أسابيع فقط

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

المركب		الكمية اللازمة بالجرام لكل ٢٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم	KNO_3	٩,٦ كجم
فوسفات البوتاسيوم	KH_2PO_4	٥,٥ كجم
كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4.7H_2O$	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 بالجرام لكل ٢٠٠ لتر ماء
نترات الكالسيوم التجارية	$Ca(NO_3)_2$	١٧,٤ كجم
حديد محلى	(Sequestrene 330)	٠,٩ كجم

هذا .. وبضاف 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.

المركب		الكمية اللازمة بالجرام لكل ٢٠٠ لتر ماء
حامض البوريك	H_3BO_3	٥٤,٠
كبريتات المنجنيز	$MnSO_4.H_2O$	٢٨,٠
كبريتات الزنك	$ZnSO_4.7H_2O$	٤,٠
كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	١,٠
حامض الموليبديك	$MoO_3.2H_2O$	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 قياسى رقم (١) : ١ محلول قياسى 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 (٤-١٢).

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

العنصر	التركيز	
	بالجزء فى المليون	بالملليمكافئ / لتر
النيتروجين النتراتى	١٠٣	٧,٥
الفوسفور (على صورة H_2PO_4)	٣٠	١,٠

تابع جدول (٤-١٢)

العنصر	التركيز بالجزء فى المليون	التركيز بالملى مكافئ / لتر
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- فى فلوريدا استعمل محلول مغذّ تستخدم فى تحضيره الكميات التالية من الأملاح (عن Douglas ١٩٨٥)

المركب	الكمية اللازمة بالجرام لكل 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 جدًا.

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

٣- استعمل فى تكساس - بنجاح - 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
حامض فوسفوريك (٧٥٪)	(١٠٦ مل)
كبرتيات المنجنيز	٤,٠
حامض البوريك	٥,٨
كبريتات الزنك	١,٣
كبريتات النحاس	١,٣
حامض الموليبديك	٠,١١

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

النيتروجين	١٧٢	الحديد	٣

الفوسفور	٤١	البورن	١,٠
البوتاسيوم	٣٠٠	المنجنيز	١,٣
الكالسيوم	١٨٠	الزنك	٠,٣
المغنيسيوم	٤٥	النحاس	٠,٣
الكبريت	١٥٨	الموليبدنم	٠,٠٧

٤- استعمل فى المملكة المتحدة – بنجاح – مع الطماطم والخيار – 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
حامض البوريك	١,٨
كبريتات الزنك	٠,٢٦
كبريتات النحاس	٠,٢٦
مولبيدات الامونيوم	٠,٠٨

٥- استعمل فى مزارع الحصى فى اليابان محلولان، أحدهما للخضر الثمرية، والثانى للخضر الورقية. وبحضران كما يلى:

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
محلول الخضر الثمرية	
نترات البوتاسيوم	٨١٠
نترات الكالسيوم	٩٥٠

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
كبريتات المغنيسيوم	٥٠٠
فوسفات الأمونيوم	١٥٥

محلول الخضر الورقية

نترات البوتاسيوم	٨١٠
نترات الأمونيوم	٣٢٠
كبريتات المغنيسيوم	٥٠٤
سوبر فوسفات مركز	٥٨٠

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

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

المركب	الكمية بالجرام لكل 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 ماء محل فوسفات أحادى الكالسيوم.

وتضاف لما سبق العناصر الدقيقة بالمعدلات التالية:

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

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

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
نترات البوتاسيوم	٦٠٠
نترات الكالسيوم	٧٠٠
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 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 Johnson المغذى (Johnson ١٩٧٩):

يتكون محلول جونسون المغذى من المكونات التالية:

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

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

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

٩- 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

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
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 — بالجزء فى المليون — كما يلى

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

١٠- 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
كلوريد المنجنيز	٦,١
حامض البوريك	١,٦

المركب	الكمية بالجرام / ١٠٠٠ لتر ماء
كبريتات النحاس	٠,٤
كبريتات الزنك	٠,٤٥
موليبيدات الأمونيوم	٠,٣٧

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

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

هذا .. ويبين جدول (٤–١٣) تركيز المحاليل المغذية من مختلف العناصر بالجزء فى المليون وبالملى مكافئ/لتر عند إذابة كيلوجرام واحد من كل سماد فى ١٠ أمتار مكعبة من الماء.

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

يبين جدول (٤–١٣) طريقة تحضير أربعة محاليل مغذية هى: (أ)، (ب)، (جـ). (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 (جـ) فى تغذية الخيار من مرحلة البادرة حتى مرحلة عقد الثمار الأولى.

كما يستخدم أيضا بسركيب نفسه فى تغذية الخضر الأخرى غير الورقية، وللخضر الورقية بعد زيادة مستوى النيتروجين به من ١٤ إلى ٢٠٠ جزء من المليون

٤- يستعمل المحلول (د) فى تغذية الخيار من مرحلة عقد الثمار الأولى إلى نهاية المحصول هذا ويُبين جدول (٤-١٤) طريقة تحضير محلول العناصر الدقيقة الذى يضاف بمعدل ١٥٠ مل لكل ١٠٠٠ لتر من أى من المحاليل الأربعة السابقة الذكر (عن Collins & Jensen ١٩٨٣)

جدول (٤-١٣) تركيز المحاليل المغذية من مختلف العناصر بالجزء فى المليون وبالمللى مكافئ/لتر عند إذابة كيلوجرام واحد من كل سماد فى ١٠ أمتار مكعبة من الماء

السماد	تحليل السماد[أ]	الجزء فى المليون	المللى المكافئ milliequvalents/لتر[ب]
نترات الأمونيوم	٣٣,٥ - صفر - صفر	N : ٣٤	NH_4 ١,٣
NH_4NO_3			NO_3 ١,٣
كلوريد الأمونيوم	٢٥ - صفر - صفر	N : ٢٥	NH_4 : ١,٩
NH_4Cl		Cl ٦٦	Cl . ١,٩
كبريتات الأمونيوم	٢٠ - صفر - صفر	N : ٢٠	NH_4 ١,٥
$(NH_4)_2SO_4$		S ٢٤	SO_4 ١,٥
نترات الكالسيوم	١٥ - صفر - صفر	N ١٥	NO_3 ٠,٨
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$		Ca ٣٧	Ca ٠,٨
نترات الصوديوم	١٦ - صفر - صفر	N ١٦	NO_3 ١,٢
$NaNO_3$		Na ٢٧	Na ١,٢
حامض الفوسفوريك	صفر - ٨٠ صفر[جـ]	P ٦٤	H_2PO_4 . ١,٠
H_3PO_4			
نترات البوتاسيوم	١٣ - صفر - ٤٤	N ١٣	K ١,٠
KNO_3		K_2O ٥٣	NO_3 ١,٠
كلوريد البوتاسيوم	صفر - صفر - ٦٢	K_2O ٦٢	K : ١,٣
KCl		Cl ٤٨	Cl ١,٣
فوسفات الأمونيوم	٢١ - ٥٣ - صفر	N ٢١	NH_4 : ١,٥
$(NH_4)_2HPO_4$		P_2O_5 ٥٣	HPO_4 ١,٥

تابع جدول (٤-١٣)

السماد	تحليل السماد[أ]	الجزء في المليون	المللى المكافئ milliequvalents/لتر[ب]
كبريتات البوتاسيوم	صفر – صفر – ٥٣	٥٣ : K_2O	١,١ : K
K_2SO_4		١٨ : S	١,١ : SO_4
فوسفات أحادى الأمونيوم	١١ – ٤٨ – صفر	١١ : N	٠,٩ : NH_4
$NH_4H_2PO_4$		٤٨ : P_2O_5	٠,٩ : H_2PO_4
سلفات المغنيسيوم	--	٢٠ : Mg	١,٧ : Mg
$MgSO_4$		٢٧ : S	١,٧ : SO_4
نترات المغنيسيوم	١١ – صفر – صفر	١١ : N	٠,٨ : Mg
$Mg(NO_3)_2.6H_2O$		١٠ Mg	٠,٨ : NO_3
حامض نيتريك نقى	١٨ – صفر – صفر	١٨ : N	١,٦ : NO_3
HNO_3			
فوسفات ثنائى البوتاسيوم	صفر – ٤١ – ٥٤	٤١ : P_2O_5	١,١ : K
K_2HPO_4		٥٤ : K_2O	١,١ : HPO_4
فوسفات أحادى البوتاسيوم	صفر – ٥٣ – ٣٤		
KH_2PO_4		٥٣ : P_2O_5	٠,٨ : K

(أ) النسبة المئوية لكل من النيتروجين N، وخامس أكسيد الفوسفور P_2O_5، وأكسيد البوتاسيوم K_2O على التوالى.

(ب) حسبت المللى مكافئات على أساس الوزن الكافئ.

(جـ) نسبة H_2PO_4 فى السائل.

جدول (٤-١٤): طريقة تحضير محاليل مغذية خاصة بمحاصيل محددة فى مراحل معينة من نموها

المحلول والتركيز							
المركب السمادى (الدرجة التجارية)	(أ)		(ب)		(جـ)		(د)
وتركيبه الكيمائى وتحليله (K – P – N)	جزء فى المليون	جم/١٠٠٠ لتر	جزء فى المليون	جم/١٠٠٠ لتر	جزء فى المليون	جم/١٠٠٠ لتر	جزء فى المليون
كبريتات المغنيسيوم	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg	٥٠٠	٥٠ Mg

تابع جدول (٤ – ١٤)

المحلول والتركيز								
تركيب السمادى (الدرجة التجارية) وتركيبه الكيمائى وتحليله (K – P – N)	(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
(ملح إبسوم)								
$MgSO_4.7H_2O$								
فوسفات أحادى البوتاسيوم	٣٧ K	٢٧٠	٣٧ K	٢٧٠	٣٧ K	٢٧٠	٣٧ K	٢٧٠
(صفر – ٢٢,٥ – ٢٨)	٦٢ P		٦٢ P		٦٢ P		٦٢ P	
KH_2PO_4								
نترات البوتاسيوم	٣٧ K	٢٠٠	٣٧ K	٢٠٠	٣٧ K	٢٠٠	٣٧ K	٢٠٠
(١٣,٧٥ – صفر – ٣٦,٩)	٢٨ N		٢٨ N		٢٨ N		٢٨ N	
كبريتات البوتاسيوم (ب)	٤٥ K	١٠٠	٤٥ K	١٠٠	—	—	—	—
(صفر – صفر – ٤٣,٣)								
K_2SO_4								
نترات الكالسيوم	٨٥ N	٥٠٠	١١٦ N	٦٨٠	١١٦ N	٦٨٠	٢٣٢ N	١٣٥٧
(١٥,٥ – صفر – صفر)	١٢٢ Ca		١٦٥ Ca		١٦٥ Ca		٣٣٠ Ca	
$Ca(NO_3)_2$								
حديد مخلبى (جـ)	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	٢٥	٢,٥ Fe	٢٥
Sequestrene 330								
محلول العناصر الدقيقة (د)	—	١٥٠ مل	—	١٥٠ مل	—	١٥٠ مل	—	١٥٠ مل

(أ) انظر من الكتاب بخصوص استعمالات هذه المحاليل.

(ب) استعمال كبريتات البوتاسيوم اختيارى

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

(د) انظر جدول (٤ ١٥) بخصوص طريقة تحضير محلول العناصر الدقيقة

جدول (٤-١٥): طريقة إعداد محلول العناصر الدقيقة الذى يستخدم فى تحضير المحاليل المغذية المبينة فى جدول (٤-١٤).

الملح ورمزه الكيميائى	العنصر الذى يوفره الملح	تركيز العنصر بالجزء فى المليون فى المحاليل النهائية (المبينة فى جدول ٤-١٤)*	عدد جرامات الملح فى مخلوط أملاح العناصر الدقيقة ب
حامض البوريك H_3BO_3	البورون	٠,٤٤	٧,٥٠
كلوريد المنجنيز $MnCl_2.4H_2O$	المنجنيز	٠,٦٢	٦,٧٥
كلوريد النحاس $CuCl_2.2H_2O$	النحاس	٠,٠٥	٠,٣٧
أكسيد الموليبدنم MoO_3	الموليبدنم	٠,٠٣	٠,١٥
كبريتات الزنك $ZnSO_4.7H_2O$	الزنك	٠,٠٩	١,١٨

(أ) يضاف محلول العناصر الدقيقة إلى المحاليل المغذية المبينة فى جدول (٤-١٤) بنسبة ١٥٠ مل منه لكل ١٠٠٠ لتر من المحاليل المغذية.

(ب) يحتوى الخلوط 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.