٥ – يمكن أن تتلوث المزارع المائية بسهولة بالكائنات المسببة للأمراض ، رغم أنها تكون خالية منها فى البداية .

٦ – زيادة تكاليف الإنتاج بهذه الطريقة (Johnson ١٩٧٩) .

٤ – ٢ : المحاليل المغذية

المحاليل المغذية Nutrient Solutions هى محاليل تحتوى على العناصر الغذائية اللازمة للنمو النباتى ، وتستخدم فى رى نباتات جميع المزارع المائية (بمعناها الواسع) ، بدلًا من الماء العادى . هذا .. 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 ، إلّا 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 الإسموزى ... إلخ ، وهذا ما سنتناوله بالشرح فى هذا الجزء .

٤ – ٢ – ١ : 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 جزء فى المليون ، مع أخذ التركيز الكلى للأملاح فى الاعتبار . ويمكن عند الضرورة استعمال الماء الذى يصل فيه تركيز الأملاح إلى ٠,٤ ضغط جوى .

ويمكن استعمال الماء العسر قليلًا 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 HCO_3^- ، لكن مع زيادة عسر الماء يزداد الـ pH ، وتصبح بعض الأيونات مثل الحديد غير ميسرة وقد يزداد محتواه من أيونات الكالسيوم والمغنسيوم عن المستوى المناسب للنمو النباتى . وفى هذه الحالة يجب عدم استعماله فى تحضير المحاليل المغذية .

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

ويمكن عادة استخدام ماء الشرب فى الرى . ويحتوى ماء الشرب غالبًا على ٠,١ – ٠,٦ جزء فى المليون من الكلور ، أو ١ – ٢ جزء فى المليون من كلوريد الصوديوم ، إلّا أن ماء الشرب العسر المعامل بالصوديوم ، ليحل محل كاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم لجعله غير عسر (soft) ، لا يصلح للرى لزيادة محتواه من عنصر الصوديوم .

٤ – ٢ – ٢ : التركيز الكلى للأملاح بالمحلول المغذى

يوجد بالمخاليل المغذية مصدران للأملاح هما : الأسمدة المذابة ، والأملاح الموجودة أصلًا فى الماء المستعمل فى تحضير المحلول المغذى . وكلما انخفضت نسبة الأملاح فى الماء ، أمكن زيادة تركيز الأسمدة ، لأن التركيز الكلى للأملاح يجب ألا يزيد عن حد معين يقدر فى المتوسط بنحو ٠,٧ ضغط جوى . وتؤدى زيادة التركيز الكلى للأملاح عن ذلك إلى نقص النمو النباتى تدريجيًا إلى أن يتوقف ، ثم تموت النباتات بسبب عدم استطاعتها الحصول على حاجتها من الماء عند زيادة الضغط الإسموزى 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 .

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

وقد درس Nieman (١٩٦٢) تأثير الضغط الإسموزى للمحلول المغذى على النمو الخضرى لعدد من الخضراوات . واستخدم الباحث محلولًا مغذيًا قياسيًا يبلغ ضغطه الإسموزى ٠,٤ ضغط جوى ، ثم استخدم كلوريد الصوديوم لتوصيل الضغط الإسموزى 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 – ٢) أن بعض الخضروات ، كالبنجر ، والسبانخ استفادت من إضافة كلوريد الصوديوم إلى المحلول المغذى ، حتى وصل ضغطه الإسموزى إلى ٢,٤ ضغط جوى . وهذه الخاصيل معروفة بمقدرتها العالية على تحمل الملوحة . كما استفاد كل من اللفت ، والكرنب بزيادة الضغط الإسموزى إلى ١,٤ ضغط جوى . أما باقى الخضر التى درست ، فقد تأثر نموها سلبيًا بزيادة الضغط الإسموزى إلى ١,٤ ضغط جوى ، واستمر التدهور فى نموها بزيادة الملوحة عن ذلك .

جدول (٤ – ٢) : تأثير الضغط الأسموزى للمحلول المغذى على النمو الخضرى لعدد من محاصيل الخضر فى مزارع الحصى .

المحصول	وزن النمو القمى (كنسبة مئوية من الوزن فى المحلول المغذى القياسى) عندما كان الضغط الاسموزى 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
الفجل	٩١	٦٨	٥٤	٣٨
الفلفل	٦٨	٦٤	٥٨	٣٣
الفاصوليا	٨٨	٥٥	٢٢	١٦
البصل	٧٧	٣٩	٣٩	٢٨
البسلة	٧٧	٥٣	(١)	(١)

(١) موت النباتات بسبب زيادة الملوحة

٤ - ٢ - ٣ : تركيز العناصر الغذائية المختلفة فى المحلول المغذى ، والتوازن الأيونى فيما بينها

يجب أن يحتوى المحلول المغذى على كافة العناصر الغذائية ، وبالتركيز المناسب للنمو السابق ، على أن تكون العناصر المغذية الكبرى فى حالة توازن أيونى فيما بينها . ويوضح جدول (٤ - ٣) النسبة المئوية المناسبة والمجال المناسب لهذه النسبة لكل من الأيونات الستة الرئيسية فى المحلول المغذى ، على اعتبار أن مجموع نسب الأيونات (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 ، أما باقى العناصر ، فإنها توجد فى المحاليل المغذية بتركيزات منخفضة لا تؤثر على التوازن الأيونى بها . هذا .. ومن الممكن تحضير محلول مغذ يحتوى على التوازن الأيونى المطلوب بإذابة كميات التركيبات المبينة فى جدول (٤ - ٤) فى لتر ماء .

جدول (٤ - ٣) : 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
	M_g^{++}	٢٠	٣٠ - ١٥

جدول (٤ - ٤) : كميات الأسمدة اللازمة لتحضير محلول مغذ فى حالة توازن أيونى بالصورة المبينة فى جدول (٤ - ٣) .

المادة	الكمية (ملليجرام / لتر ماء)
فوسفات البوتاسيوم	١٣٦
نترات الكالسيوم	١٠٦٢
كبريتات المغنسيوم	٤٩٢
نترات البوتاسيوم	٢٩٣
كبريتات البوتاسيوم	٢٥٢
الهيدروكسيد البوتاسيوم	٢٢٤

هذا .. ويبين جدول (٤ - ٥) 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 . وبرغم أن الحد الأقصى المسموح به يصل إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون ، إلا

أن التركيز المناسب يجب أن يكون عند الحد المُبين ، وهو ١٥٠ جزء 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 جزء فى المليون (Douglas ١٩٧٦) . ويُبين نفس الجدول متوسط التركيز المناسب لمختلف العناصر الغذائية فى المحاليل المغذية ، نقلًا 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 تنمو الجذور ، وإنما تكون فيها الجذور مغمورة فى المحلول المغذى .

جدول (٤ - ٥) : المدى المناسب لتركيز مختلف العناصر فى المحاليل المغذية .

العنصر	التركيز المناسب[١] (جزء فى المليون)	المدى المناسب لتركيز العنصر[٢] (جزء فى المليون)
النيتروجين	١٥٠	١٥٠ - ٣٠٠
الفوسفور	٥٥	٥٠ - ١٠٠
البوتاسيوم	١٧٥	١٠٠ - ٤٠٠
الكالسيوم	١٠٥	٣٠٠ - ٥٠٠
المغنسيوم	٩٠	٥٠ - ١٠٠
الكبريت	١٢٥	٢٠٠ - ١٠٠٠
الصوديوم		١٥٠ - ١٠٠٠
الحديد	١,٠	٢ - ١٠
البورون	٠,٠٨	٠,٠٥ - ٥,٠
المنجنيز	٠,٠٣٦	٠,٠٥ - ٥,٠
الزنك	٠,٠٤٦	٠,٠٥ - ١,٠
النحاس	٠,٠٠٢٦	٠,٠١ - ٠,٥
الموليبدنم	٠,٠٠١	٠,٠٠١ - ٠,٠٠٢

(١) عن Jones (١٩٨٢)

(٢) عن Douglas (١٩٧٦)

العوامل المؤثرة على اختيار التركيز المناسب للعناصر فى المحاليل المغذية

يتأثر التركيز المناسب للعناصر الغذائية 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 المتلبد بالغيوم ومضاعفته إذا استمر الجو على هذه الحال لفترة طويلة . وعمومًا ..

يمكن زيادة تركيز المحاليل المغذية إلى ٢ – ٤ أضعاف التركيزات الموصى بها فى الإضاءة المنخفضة ، أو إذا زيدت أطلمة الشتلات ، بينما يجب أن تكون التركيزات فى الحدود الموصى بها أو نصفها فى الإضاءة القوية ، نظرًا لزيادة النتح تحت هذه الظروف .

٢ – نوع الزرعة المائية : إذ تتوقف التركيزات المناسبة لمختلف العناصر الغذائية على نوع الزرعة المستعملة .

٣ – المحصول المزروع : فيزداد تركيز النيتروجين فى المحاصيل الورقية ، كالخس ، عنه فى مزارع الطماطم أو الخيار .

٤ – مرحلة النمو السائد : 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 ثابتًا دون تغيير .

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

كما يستعمل فى الخضر الورقية محلولان أيضًا هما : (أ) وتركيزه نحو ثلثى التركيز الكامل ، ويستعمل إلى أن تكون النباتات بعمر ثلاثة أسابيع . (ب) وهو بالتركيز الكامل ، ويستعمل فى ذلك (Resh ١٩٨١) .

أضرار نقص أو زيادة تركيز العناصر فى المحاليل المغذية

لا تختلف أعراض نقص العناصر فى المزارع المائية عنها تحت ظروف الحقل . هذا .. إلا أن طبيعة هذا النوع من المزارع يجعل من الممكن أن تظهر بها 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 أحيانًا . ومن أمثلة أعراض نقص العناصر النادرة فى محاصيل المزارع ما يلى :

١ – تظهر أحيانًا تشققات دائرية سطحية جدًا فى جلد ثمار الطماطم حول الأكتاف ، كما قد تظهر تشققات طولية مماثلة فى ثمار الفلفل تكون واضحة بصفة خاصة فى الصنف جالابينو Jalapeno . ويرجع ذلك إلى نقص عنصر البورون .

٢ – يحدث أحيانًا أن تتفلق ثمار الطماطم الناضجة فى الجو الحار ، ويرجع ذلك إلى نقص

النحاس الميسر عن ٠,٥ جزء فى المليون

ولا تختلف كذلك أعراض التسمم الناتج الناشئة عن زيادة تركيز العناصر الغذائية فى المزارع الحقلية عنها فى المزارع المائية ، إلّا أن طبيعة هذا النوع من المزارع واعتمادها على محاليل مغذية يتم تحضيرها أولًا 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 نفس المحاليل لعدة أسابيع .

هذا .. ولا تظهر أعراض التسمم إلّا بعد زيادة تركيز الأملاح السمادية إلى أكثر من ثلاثة إلى أربعة أضعاف التركيز المناسب . أما قبل ذلك ، فإن الأعراض لا تتعدى ظهور علامات النقسية 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 يكون باقى العناصر متوفرًا 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 ٠,٢ جزء 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 النترانى 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 تكوّن حبوب اللقاح بها (Larsen ١٩٨٢) .

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

٣ – يؤثر البوتاسيوم والكالسيوم على بعضهما البعض ، 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 جزءً 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 القاتم هذا .. وتكون النباتات أكثر حساسية لزيادة البورون فى مزارع المحاليل المغذية ، عنه فى المزارع الرملية .

أما عنصرا الكبريت والكلور ، فإن النباتات تتحمل زيادة تركيزهما إلى حد كبير .

ولعلاج حالات زيادة تركيز الأملاح يجب إما خفض التركيز المستعمل أو تحضير محاليل مغذية

أخرى ، أو غسل البيئة التى تنمو فيها الجذور بالماء لعدة أيام . كما تعالج بعض الحالات الخاصة لزيادة العناصر كالتالى :

١ – 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 .

٤ – ٢ – ٤ : pH المحلول المغذى

يتراوح الـ pH المناسب للمحاليل المغذية من ٦ – ٦,٥ ، وهو يتأثر بدرجة كبيرة بالتوازن بين أيون النترات NO_3^- ، والأمونيوم NH_4^+ . ويفضل دائمًا أن يكون النيتروجين الأمونيومى فى حدود ٢٥٪ من النيتروجين الكلى ، وألا يقل عن ١٠٪ . 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 .

هذا .. ويختبر pH المحلول المغذى ويعدل عند الضرورة إما بحامض الكبريتيك ، أو بأيدروكسيد الصوديوم . وفى حالة المزارع المائية التى تستخدم فيها بيئة صلبة نمو الجذور ، وتستعاد فيها المحاليل المغذية لإعادة استعمالها من جديد ، فإنه يلزم إمرار المحلول المغذى فى المزرعة لمدة ٥ – ١٠ دقائق بعد تحضيره ، ثم استعادته وقياس الـ pH مرة أخرى ، وتعديله للمجال المناسب إذا لزم الأمر (Collins & Jensen ١٩٨٣) .

٤ – ٢ – ٥ : 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 ، واختصارًا .. ppm) : يحضر محلول بتركيز جزء واحد فى المليون بإذابة ١ جرام من المادة فى ١٠٠٠ لتر من الماء .

٢ – بالملل مولار (mM) : يحضر محلول بتركيز مولار واحد M (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 – بالملل مكافئ/لتر (milliequivalents ، واختصارًا .. me/l) : الوزن المكافئ بالجرام gram equivalent هو الوزن الجزيئى بالجرام مقسومًا على الشحنة valency . فمثلاً .. الوزن المكافئ لملح كلوريد البوتاسيوم الذى يتكون من أيونين أحاديين هما البوتاسيوم (K^+) والكلور (Cl^-) هو نفسه الوزن الجزيئى أو المول . أما ملح كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) الذى يوجد به أيون ثنائى الشحنة هو الكبريتات (SO_4^{--}) ، فإن وزنه المكافىء يكون مساويًا لنصف وزنه الجزيئى .

وبناء على ما تقدم . فإن محلولين من كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم مهما نفس التركيز بالملل مكافئ/لتر سيكون بكل منهما نفس التركيز من البوتاسيوم ، لكن سيكون أيون . الكلور فى

أحدهما ضعف تركيز أيون الكبريتات فى الآخر .

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

٤ – بالضغط الإسموزى : ويعبر عن الضغط الإسموزى بوحدات الضغط الجوى ، علمًا بأن ١ ضغط جوى = ١٤,٧ رطل/بوصة مربعة (Resh ١٩٨١) .

٤ – ٢ – ٦ : النقاط التى يجب 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 تحضير محلول العناصر المغذية الكبرى (وهى : النيتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنسيوم ، والكبريت) : تستعمل نترات الكالسيوم كمصدر للكالسيوم ، كما أنها توفر جزءًا من الأزوت فى صورة نترات . وتضاف الاحتياجات المتبقية من النترات فى صورة نترات البوتاسيوم التى توفر أيضًا بعضًا من احتياجات البوتاسيوم . أما باقى البوتاسيوم اللازم ، فيمكن الحصول عليه من كبريتات البوتاسيوم التى توفر أيضًا بعض الكبريت . أما باقى الكبريت اللازم ، فيحصل عليه من أملاح الكبريتات الأخرى ، مثل كبريتات المغنسيوم التى يمكن استعمالها كمصدر للمغنسيوم .

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

(أ) توزن أملاح الأسمدة منفردة ، وترتب فى كومات على شرائح من البولييثيلين ، حتى لا يفقد منها شىء . ويجب أن يكون الوزن بدقة ، وألا 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 أولًا ، 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 المائية التى لا تستعاد فيها المحاليل المغذية المستعملة فى الرى ، فإنه يتم تحضير ثلاثة محاليل سمادية مركزة ، الأول خاص بالعناصر المغذية الكبرى فقط (النيتروجين

والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنسيوم) والثانى خاص بالحديد فقط (وقد يخلط الحديد المخلبى مع محلول العناصر المغذية الكبرى) والثالث خاص بباقى العناصر الدقيقة (البورون ، والمنجنيز ، والزنك ، والنحاس ، والموليبدنم) . ويحتفظ بهذه المحاليل فى خزانات منفصلة (شكل ٤ - ١) ، لم تخلق فى ماء الرى عند الاستعمال كما سيأتى بيانه فى الفصل السابع . ويؤدى ذلك إلى تجنب ترسيب العناصر ، لأن الأملاح السمادية تتفاعل مع بعضها بسرعة عند خلطها معًا وهى بتركيزات عالية ، أما عند وجودها بتركيزات مخففة مع ماء الرى ، فإنها تبقى ميسرة لمدة طويلة . كما قد تحضر أربعة محاليل قياسية مركزة stock solutions مختلفة تشمل كل العناصر الكبرى ، ومحلول قياس خامس للحديد ، وسادس لباقى العناصر الدقيقة . وتخلط هذه المحاليل المركزة مع الماء بنسب معينة كلما أريد تحضير المحلول المغذى الذى يستعمل فى رى النباتات ، كما فى حالة محلول هوجلاند المغذى (الجزء ٤ - ٢ - ٩) .

شكل ٤ - ٩ : خزانات المحاليل القياسية المركزة Stock solutions للعناصر المغذية التى تخلق بنسب معينة فى ماء الرى أثناء عملية الرى . وفى هذه الصورة يخصص اثنان منها لكل بيت من البيوت المحمية الواسعة نسبيًا ، والتى تبلغ مساحة كل منها ٥٠٠٠ متر مربع (شركة الواحة للإنتاج الزراعى - الإمارات العربية المتحدة) .

٤ - ٢ - ٧ : طريقة حساب الكميات اللازمة من الأسمدة المختلفة 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

× ملليجرام نترات كالسيوم تعطى ٢٠٠ ملليجرام كالسيوم

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

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

وهذا بفرض أن ملح نترات الكالسيوم المستعمل نقى تماماً . فإن لم يكن كذلك (وهو الأمر الغالب) لزم إضافة المزيد من نترات الكالسيوم لتعويض النقص الناشىء عن عدم النقاوة . فمثلاً .. إذا كانت درجة نقاوة نترات الكالسيوم ٩٠٪ ، فإنه يجب أن تكون الكمية المستعملة منها هى $\frac{١٠٠}{٩٠} \times$ ٨٢٠ = ٩١١ ملليجرام . وبذلك .. فإنه عند إذابة ٩١١ ملليجرام من نترات كالسيوم ذات نقاوة ٩٠٪ فى لتر من الماء ، فإنها تعطى كالسيوم بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون .

وطبيعى أن تلزم فى معظم الأحوال كميات أكبر من لتر من المحلول المغذى ، ويتطلب ذلك معرفة الاحتياجات المائية أولاً ، ثم استعمال معامل خاص لتحويل الكمية اللازمة من السماد من ملليجرام/لتر إلى رطل/ جالون إنجليزى أو أمريكى . ويحسب هذا المعامل كالتالى :

للتحويل من ١ ملليجرام/ لتر إلى ١ رطل/ جالون إنجليزى :

١ ملليجرام = ٠,٠٠٠٠٠٢٢٠٤٦ رطل

١ لتر = ٠,٢١٩٩٨ جالون إنجليزى

$$\therefore \text{١ ملليجرام/ لتر} = \frac{\text{١ ملليجرام}}{\text{١ لتر}} \times \frac{\text{٠,٠٠٠٠٠٢٢٠٤٦ رطل}}{\text{١ ملليجرام}} \times \frac{\text{١ لتر}}{\text{٠,٢١٩٩٨ جالون إنجليزى}}$$

= ٠,٠٠٠٠١٠٠٢١٨٢ رطل/ جالون إنجليزى

= $\frac{١}{٩٩٧٨٠}$ رطل/ جالون إنجليزى ، وهذا هو معامل التحويل

للتحويل من ١ ملليجرام/ لتر إلى ١ رطل/ جالون أمريكى :

١ ملليجرام = ٠,٠٠٠٠٠٢٢٠٤٦ رطل

١ لتر = ٠,٢٦٤١٧ جالون أمريكى

$$\therefore \text{١ ملليجرام/ لتر} = \frac{\text{١ ملليجرام}}{\text{١ لتر}} \times \frac{\text{٠,٠٠٠٠٠٢٢٠٤٦ رطل}}{\text{١ ملليجرام}} \times \frac{\text{١ لتر}}{\text{٠,٢٦٤١٧ جالون أمريكى}}$$

= ٠,٠٠٠٠٠٨٣٤٥٣ رطل/ جالون أمريكى

$$= \frac{١}{١١٩٨٢٨} \text{ رطل/ جالون أمريكى ، وهذا هو معامل التحويل .}$$

فإذا كان المطلوب هو تحضير ١٠٠ جالون إنجليزى من المحلول المغذى السابق المحتوى على ٢٠٠ جزء فى المليون من الكالسيوم ، فإن كمية نترات الكالسيوم اللازمة تحسب كالتالى :

كمية نترات الكالسيوم اللازمة =

$$\text{٩١١ ملليجرام/لتر} \times \frac{١}{٩٩٧٨٠} = \text{٠,٠٠٩١٣ رطل/ جالون إنجليزى}$$

= ٠,٠٠٩١٣ × ١٠٠ = ٠,٩١٣ رطل/ ١٠٠ جالون إنجليزى .

= ٠,٩١٣ × ١٦ = ١٤,٦٠٨ أوقية/١٠٠ جالون إنجليزى .

ويمكن دمج الخطوات السابقة فى معادلة واحدة كالتالى :

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

حيث :

W = الوزن اللازم من السماد معبرًا عنه بالرطل/ جالون

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 إلى أى من الجالون الإنجليزى أو الجالون الأمريكى .

وفى المثال السابق نجد أن :

$$W = \frac{٢٠٠ \times ١٦٤}{٤٠} \times \frac{١٠٠}{٩٠} \times \frac{١}{٩٩٧٨٠} = \text{٠,٠٠٩١٣ رطل/ جالون إنجليزى .}$$

وإذا كان المركب المستعمل يحتوى على أكثر من عنصر ضرورى للنبات (وتلك هى الحالة الغالبة) ، فإنه يجب حساب الكميات التى تم تأمينها من العناصر الأخرى عندما تم توفير كافة الاحتياجات من العنصر الأول .

فنترات الكالسيوم التى استعملت تحتوى على كالسيوم ونيتروجين ، ولذلك .. فإن الخطوة التالية تكون حساب كمية النيتروجين التى 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 :

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

حيث إن :

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

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

A_{E_2} = الوزن الذرى للعنصر الثانى

A_{E_1} = الوزن الذرى الكلى للعنصر الأول

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 جزء فى المليون من الأزوت فى المحلول المغذى ، ∴ الكمية المتبقية اللازمة = ١٥٠ − ١٤٠ = ١٠ جزء فى المليون من الأزوت . وهذه الكمية يمكن الحصول عليها من نترات البوتاسيوم ، فتكون كمية نترات البوتاسيوم اللازمة للحصول على ١٠ أجزاء فى المليون من النيتروجين هى :

$$W_{KNO_3} = \frac{C_N \; M_{KNO_3}}{A_N} \quad \frac{100}{p} \quad K_{Imp.}$$

$$= \frac{10 \times 101}{14} \quad \frac{100}{95} \quad \frac{1}{99780}$$

$$= 0.000\,761 \text{ lb /Imp. gallon}$$

أى حوالى ٠,٠٠٠٠٧٦١ رطل/ جالون إنجليزى ، وهكذا تستمر الحسابات بنفس الطريقة 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 حمض آخر فى تأمين باقى الاحتياجات من العنصر الأول (Resh ١٩٨١) .

٤ - ٢ - ٨ : الأحماض التى يشيع استخدامها فى تحضير المحاليل المغذية

يتضمن جدول (٤ - ٦) قائمة بأسماء أهم الأحماض المستخدمة فى تحضير المحاليل المغذية ، مع بيان الإسم التجارى ، والتركيب الكيميائى ، والوزن الجزيئى لكل منها ، وكذلك العناصر الغذائية التى توجد بها ، ودرجة ذوبانها فى الماء ، وتكلفتها . ويفيد هذا الجدول فى تخير الأحماض التى يمكن استعمالها كمصادر للعناصر المختلفة .

كما يوضح فى الفصل السابع كيفية حساب الكميات اللازمة من الأحماض البسيطة إذا عرفت الكميات المطلوبة للعناصر الكبرى .

أما جدول (٤ - ٧) فإنه يعطى النسبة المئوية للنقاوة فى أهم الأحماض 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 ١ جزء فى المليون من العنصر المعنى . ويشتمل الجدول على ٢١ سمادًا تعتبر أهم المصادر الشائعة الاستعمال لجميع العناصر الغذائية .

٤ - ٢ - ٩ : أمثلة للمحاليل المغذية المستعملة تجاريًا

تقترب معظم المحاليل المغذية فى تركيبها من محاليل هوجلاند المغذية ، ولذا فسنبدأ بشرح طريقة تحضيرها بالتفصيل ، ثم نتابع ذكر أمثلة للمحاليل الأخرى المستعملة تجاريًا . وللمزيد من أمثلة المحاليل المغذية - خلافًا لتلك المقدمة فى هذا الجزء - فإنه يمكن مراجعة Hewitt (١٩٦٦) و Douglas (١٩٧٦) .

محاليل هوجلاند المغذية Hogland's Nutrient Solutions

يوجد اثنان من محاليل هوجلاند المغذية يكون النيتروجين فى إحدهما نترات فقط ، بينما يتوفر النيتروجين فى المحلول الثانى فى صورتيه النترانية والأمونيومية . ويحضران من تسعة محاليل قياسية standard stock solutions مختلفة . هذا .. ولتحضير المحاليل القياسية ، كما فى جدول (٤ - ٩) ، بينما يحضر محلولا 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 .

جدول (٤ - ٦) : 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 $(NH_4)_2 SO_4$	١٣٢,٢	$2(NH_4^+)$ SO_4^{--}	١ : ٢	متوسطة	
فوسفات الأمونيوم لثانى الأيدروجين $NH_4 H_2 PO_4$	١١٥,٠	NH_4^+ $N_2 PO_4^-$	١ : ٤	متوسطة	لا تستخدم هذه المركبات إلا تحت ظروف الإضاءة الجيدة ، أو لعلاج حالة نقص الأزوت
فوسفات الأمونيوم أحادى الأيدروجين $(NH_4)_2 HPO_4$	١٣٢,١	$2(NH_4^+)$ HPO_4^{--}	١ : ٢	متوسطة	
فوسفات البوتاسيوم الأحادية KH_2PO_4	١٣٦,١	$K^+ . H_2 PO_4^-$	١ : ٣	مرتفعة جدًا	
كلوريد البوتاسيوم KCl	٧٤,٥٥	$K^+ Cl^-$	١ : ٣	مرتفعة	يستعمل لعلاج حالات نقص البوتاسيوم ، وعندما تقل نسبة كلوريد الصوديوم فى الماء
كبريتات البوتاسيوم $K_2 SO_4$	١٧٤,٣	$2K^+ . SO_4^{--}$	١ : ١٥	منخفضة	تحب إذابته فى الماء الساخن
فوسفات أحادى الكالسيوم $Ca(H_2PO_2)H_2O$	٢٥٢,١	$Ca^{++} . 2H_2 PO_4^-$	١ : ٦٠	منخفضة	

جدول (٤ - ٦) : يتبع

الاسم التجارى للسماد ورمزه الكيميائى	الوزن الجزيئى	العناصر التى يوفرها	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	التكلفة	ملاحظات
سوبر فوسفات ثلاثى $Ca\ H_4\ (PO_4)_2$	يختلف	Ca^{++} $2PO_4$	١ : ٣٠٠	منخفضة	لايستخدم غالبا لضعف ذوبانه فى الماء
كبريتات المغنسيوم $Mg\ SO_4 .\ 7H_2\ O$	٢٤٦,٥	Mg^{++} SO_4^{--}	١ : ٢	منخفضة	
كلوريد الكالسيوم $Ca\ Cl_2$	٢١٩,١	Ca^{++} $2Cl^-$	١ : ١	مرتفعة	يستخدم لعلاج حالات نقص الكالسيوم عندما تقل نسبة كلوريد الصوديوم فى الماء
كبريتات الكالسيوم (الجبس) $Ca\ SO_4 .\ 2H_2\ O$	١٧٢,٢	Ca^{++} SO_4^{--}	١ : ٥٠٠	منخفضة	لايمكن استخدامه فى المحاليل المغذية
حامض الفوسفوريك $H_3\ PO_4$	٨٩,٠	PO_4^{---}	حامض مركز		١ مقابل حامض الفوسفوريك
		العناصر الصغرى			
كبريتات الحديدوز $Fe\ SO_4 .\ 7H_2\ O$	٢٧٨,٠	Fe^{+3} SO_4^{--}	١ : ٤		
كلوريد الحديديك $Fe\ Cl_3 .\ 6H_2\ O$	٢٧٠,٣	Fe^{+3} $3Cl^-$	١ : ٢		

جدول (٤ - ٦) : يتبع

الاسم التجارى للسماد ورمزه الكيميائى	الوزن الجزيئى	العناصر التى يوفرها	درجة الذوبان فى الماء (ملح : ماء)	التكلفة	ملاحظات
حديد مخلبى Fe EDTA (١٠,٥ ٪ حديد)	٢٨٢,١	Fe^{++}	سريع الذوبان	مرتفعة	أفضل مصادر الحديد يذاب فى الماء الساخن
حامض البوريك $H_3 BO_3$	٦١,٨	B^{+++}	١ : ٢٠	مرتفعة	افضل مصادر البورون يذاب فى الماء الساخن
بوراكس أو نترابورات الصوديوم $Na_2 B_4 O_7 . 10 H_2 O$	٣٨١,٤	B^{+++}	١ : ٢٥		
كبريتات النحاس $Cu So_2 . 5H_2O$	٢٤٩,٧	Cu^{++} So_4^{--}	١ : ٥	منخفضة	
كبريتات المنجنيز $Mn So_4 . 4H_2O$	٢٢٣,١	Mn^{++} So_4^{--}	١ : ٢	منخفضة	
كلوريد المنجنيز $MnCl_2 4H_2O$	١٩٧,٩	Mn^{++} $2Cl^-$	١ : ٢	منخفضة	
كبريتات الزنك $Zn So_4 . 7H_2O$	٢٨٧,٦	Zn^{++} SO_4^{--}	١ : ٣	منخفضة	
كلوريد الزنك $Zn Cl_2$	١٣٦,٣	Zn^{++} $2Cl^-$	١ : ١,٥	منخفضة	
موليبدات الأمونيوم $(NH_4)_6 Mo_7 O_{24}$	١١٦٣,٩	$6NH_4^+$ $7Mo^{+6}$	١ : ٢,٣	مرتفعة نوعا	
زنك مخلبى Zn EDTA	٤٣١,٦	Zn^{++}	سريع الذوبان	مرتفعة	
منجنيز مخلبى Mn EDTA	٣٨١,٢	Mn^{++}	سريع الذوبان	مرتفعة	

جدول (٤ – ٧) : نسبة النقاوة فى بعض الأسمدة التجارية الخامة .

السماد	النقاوة (٪)
فوسفات الأمونيوم	٩٨
كبريتات الأمونيوم	٩٤
نترات الأمونيوم النقية	٩٨
نترات البوتاسيوم	٩٥
نترات الكالسيوم	٩٠
فوسفات أحادى الكالسيوم	٩٢
كبريتات البوتاسيوم	٩٠(١)
كلوريد البوتاسيوم	٩٥
كبريتات المغنسيوم	٤٥
كلوريد الكالسيوم	٧٥
كبريتات الكالسيوم (الجبس)	٧٠
فوسفات أحادى الكالسيوم	٩٨

(١) استبعد ماء التبلور عند حساب نسبة النقاوة .

جدول (٤ – ٨) : كمية السماد التى تلزم لتحضير محلول مغذ بتركيز ١ جزء فى المليون من العنصر الذى يوفره السماد .

السماد وتحليله	العنصر الذى يوفره السماد	كمية السماد بالجرام اللازمة لتحضير ١٠٠٠ لتر من المحلول المغذى بتركيز ١ جزء فى المليون من العنصر المعنى
كبريتات الأمونيوم (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
سترفوسكا (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 أحادى 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	٣,٩٠
كبريتات الحديدوز	حديد	٥,٥٤
حديد مخلبى ٩٪	حديد	١١,١٠
كبريتات المنجنيز	منجنيز	٤,٠٥
كبريتات المنجنيز المهدرج (ملح إبسون)	منجنيز	١٠,٧٥
ثالث أكسيد الموليبدنم (MoO_3)	موليبدنم	١,٥٠
موليبدات الصوديوم	موليبدنم	٢,٥٦
كبريتات الزنك	زنك	٤,٤٢

جدول (٤ – ٩) : طريقة تحضير المحاصيل القياسية اللازمة لعمل محلول هوجلاند (أ) ، (ب) .

رقم المحلول القياسي	المركب وتركيبه الكيميائي		الكمية اللازمة من المركب بالجرام لتحضير لتر من المحلول القياسي
١	نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2 . 4 H_2O$	٢٣٦,٢
٢	نترات البوتاسيوم	$K NO_3$	١٠١,١
٣	فوسفات أحادى البوتاسيوم	$KH_2 PO_4$	١٣٦,١
٤	كبريتات المغنسيوم	$Mg SO_4 . 7 H_2O$	٢٤٦,٥
٥	نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2 . 4 H_2O$	٢٣٦,٢
٦	فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4 H_2 PO_4$	١١٥,٠
٧	كبريتات المغنسيوم	$Mg SO_4 . 7 H_2O$	٢٤٦,٥
٨	حامض البوريك	$H_3 BO_3$	٢,٨٦
	كلوريد المنجنيز	$Mn Cl_2 . 4 H_2O$	١,٨١
	كبريتات الزنك	$Zn SO_4 . 7 H_2O$	٠,٢٢
	كبريتات النحاس	$Cu SO_4 . 5 H_2O$	٠,٠٨
	حامض الموليبديك	$H_2 Mo O_4 . H_2O$	٠,٠٢
٩	حديد مخلبى		ما يكفى من المادة لأن يكون تركيز الحديد فى المحلول القياسى ٠,١ ٪ (١)

(١) مثال : إذا استخدم التحضير التجارى Sequestrene 330 كمصدر للحديد ، فإنه يلزم منه ١٠ جم لكل ٥ لتر من محلول الحديد القياسى . نظرًا لاحتواء هذا المركب على الحديد بنسب ١٠٪ .

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

محلول هوجلاند(١)	المحلول القياسى (انظر جدول ٤ – ٩)	الكمية اللازمة بالملليمتر (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 أى من المحلولين (أ) أو (ب) تضاف الكميات المبينة من المحاليل القياسية المختلفة إلى ٨٠٠ مل ماء مقطر ، ثم يكمل الحجم النهائى إلى لتر .

محلول هيوت Hewitt المغذى

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

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

الملح	التركيز		
	جم / لتر	جزء فى المليون	ملل 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 المغنسيوم $MgSO_4 . 7H_2O$	٠,٣٦٩٠٠٠	المغنسيوم = 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 الألومنيوم $(NH_4)6Mo_7O_{24}.4H_2O$	٠,٠٠٠٠٣٥	الموليبدنم = ٠,٠١٩	٠,٠٠٠٢
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 تحتوى على جميع العناصر الضرورية للنبات ، ويشيع استخدامها فى جهات متفرقة من العالم

١ – فى كاليفورنيا يستعمل محلول مغذ 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 عادة 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
نترات البوتاسيوم KNO_3	٩,٦ كجم
فوسفات البوتاسيوم KH_2PO_4	٥,٥ كجم
كبريتات المغنسيوم $MgSO_4.7H_2O$	٩,٦ كجم
محلول العناصر الدقيقة المركز	٢٠,٠ لتر

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

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

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 ٢٠ لتر ماء (جم)
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 أولًا فى ماء مغلى . 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 الغذائى ، فإن المحلولين القياسيين (١) ، (٢) لا يضافا إلى بعضهما البعض ، وإنما يضاف كل منهما منفردًا إلى الماء ، على أن تكون النسبة ١ محلول قياسى رقم (١) : ١ محلول قياس رقم (٢) : ٢٠٠ ماء ، مع ملاحظة أن زيادة نسبة المحاليل القياسية عن ذلك تؤدى إلى ترسيب بعض العناصر . ويحتوى المحلول المغذى الناتج على العناصر المختلفة بالتركيزات المبينة فى جدول (٤ – ١٢) .

٢ – فى فلوريدا يستعمل محلول مغذ تستخدم فى تحضيره الكميات التالية من الأملاح (عن Douglas ١٩٧٦) :

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

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

العنصر	التركيز	
	بالجزء فى المليون	بالملل مكافىء/ لتر
الهيدروجين الهيدروجينى	١٠٣	٧,٥
الفوسفور (على صورة H_2PO_4)	٣٠	١,٠
البوتاسيوم	١٤٠	٣,٥
الكالسيوم	٨٣	٤,٠
المغنسيوم	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	

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

	الكمية بالجرام
كبريتات الحديد	١١٣
كبريتات المنجنيز	٧,٥
كبريتات النحاس	٣,٥
بوراكس (Sodium tetraborate)	٨,٥
كبريتات الزنك	٣,٥

٣ - يستعمل فى تكساس المحلول المغذى التالى بنجاح (Winsor & Hosma ١٩٧٩)

السماد	التحليل	كمية السماد بالجرام لكل ١٠٠ جالون من المحلول السمادى
نترات البوتاسيوم	١٣ - صفر - ٤٤	٦٧
نترات الكالسيوم	١٥,٥ - صفر - صفر	٣٦٠
كبريتات البوتاسيوم والمغنسيوم	صفر - صفر - ٢٢	١٦٧
كبريتات البوتاسيوم	صفر - صفر - ٥٠	١٣٠
حديد مخلبى	١٠٪ حديد	١١,٥
حامض الفوسفوريك	٧٥٪ P_2O_5	٥٠ مل
كبريتات المنجنيز	٢٧٪ منجنيز	١,٥
حامض البوريك		٢,٢
كبريتات الزنك	٣٦٪ زنك	٠,٥
كبريتات النحاس	٢٥٪ نحاس	٠,٥
ثالث أوكسيد الموليبدنم	٦٦٪ موليبدنم	٠,٠٤

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

	نترات السماد بالجرام لكل ١٠٠ جالون من المحلول السمادى
نترات البوتاسيوم	٢٥٣,٦
كبريتات المغنسيوم	١١٧,٩
نترات الكالسيوم	٣٧٤,٧
فوسفات البوتاسيوم	٥٢,٩
حديد مخلبى	٦,٩
كبريتات المنجنيز	٠,٨
حامض البوريك	٠,٧
كبريتات الزنك	٠,١
كبريتات النحاس	٠,١
موليبدات الأمونيوم	٠,٠٣

٥ – يستعمل فى اليابان محلولان أحدهما للخضر الثمرية ، والثانى للخضر الورقية ، ويحضران كما يلى :

	الكمية بالجرام/ ١٠٠٠ لتر ماء
(أ) محلول الخضر الثمرية	
نترات البوتاسيوم	٨١٠
نترات الكالسيوم	٩٥٠
كبريتات المغنسيوم	٥٠٠
فوسفات الأمونيوم	١٥٥
(ب) محلول الخضر الورقية	
نترات البوتاسيوم	٨١٠
نترات الأمونيوم	٣٢٠
كبريتات المغنسيوم	٥٠٠
سوبر فوسفات مركز	٥٨٠

يضاف لكل من المخلوطين حديد مخلبى بتركيز ٣ أجزاء فى المليون ، وبورون بتركيز ٠,٥ جزء فى المليون .

٦ – يستعمل فى الكويت محلول مغذ يحضر من الأملاح التالية :

	كمية الملح اللازمة (جم/ ١٠٠٠ لتر ماء)
كبريتات المغنسيوم	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 "

ويمكن إحلال فوسفات أحادى البوتاسيوم بمعدل ١٣١,٦٩ جم/ ١٠٠٠ لتر ماء محل فوسفات أحادى الكالسيوم . وتضاف لما سبق العناصر الدقيقة بالمعدلات التالية :

	كمية الملح اللازمة (ملليجرام/ 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 – يستعمل فى بولندا محلول مغذ يحضر من الأملاح التالية (عن Douglas ١٩٧٦) :

	كمية الملح اللازمة (جم/ لتر ماء)
نترات البوتاسيوم	٠,٦
نترات الكالسيوم	٠,٧
نترات الأمونيوم	٠,١
سوبر فوسفات ثلاثى	,٥
كبريتات المغنسيوم	٠,٢٥
كبريتات الحديد	٠,١٢
حامض البوريك	٠,٠٠٠٦
كبريتات المنجنيز	٠,٠٠٠٦
كبريتات الزنك	٠,٠٠٠٦
كبريتات النحاس	٠,٠٠٣٠
موليبدات الأمونيوم	٠,٠٠٠٦

ويمكن زيادة حموضة هذا المحلول بإضافة حامض الفوسفوريك إليه بمعدل ١٠٠ مل لكل ١٠٠٠ لتر من المحلول المغذى . كذلك يمكن حذف نترات الأمونيوم شتاءً ، وزيادة كبريتات النحاس صيفا ، وإضافة ٠,٣ جم كبريتات بوتاسيوم فى الجو المليد بالغيوم .

محاليل مغذية تحتوى على العناصر الكبرى فقط

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

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

محلول رقم (٥)	تركيز الملح (ملل مول)
نترات البوتاسيوم	٦٧٢
كبريتات الأمونيوم	١٦٨
كبريتات المغنسيوم	٥٦
فوسفات أحادى الكالسيوم	١١٢
نترات الكالسيوم	١١٢
كبريتات الحديدوز	٣ ملاعق كبيرة
كبريتات المنجنيز (محلول ١٪)	٣٠٠ مل

محاليل مغذية تستعمل تجاريًا 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 أيضًا بنفس التركيب 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 أى من المحاليل الأربعة السابقة الذكر (عن Collins & Jensen ١٩٨٣) .

٤ – ٣ : أنواع المزارع المائية

المزارع المائية هى أى نظام يتبع لإنتاج النباتات فى بيئة غير التربة ، مع ريها بالمحاليل المغذية ، بدلًا من الماء العادى ، سواء استعملت مادة صلبة (مثل الرمل ، والحصى ، والفيرميكوليت ، والبيت ، والصوف الصخرى ... إلخ) لتوفير دعم للنمو النباتى ، أم لم تستعمل .

وتقسم المزارع المائية حسب وجود أو عدم وجود المادة الصلبة إلى :

١ – نظم توجد فيها بيئة صلبة لنمو الجذور Aggregate System

٢ – نظم لا توجد فيها بيئة صلبة لدعم الجذور Liquid System ، ويتم فيها تدعيم وتثبيت الجذور بوسائل خاصة .