

الفصل الرابع

المحاليل المغذية

Nutrient Solutions

المحاليل المغذية

Nutrient Solutions

إن كل طرق الزراعة للأرضية تعتمد بصفة أساسية على التغذية بواسطة العناصر المغذية الأساسية المذابة في الماء فيما يعرف بالمحلول المغذى، وهذا المحلول المغذى يعتبر العامل المحدد في نجاح أى طريقة من طرق هذه الزراعة والتي تستهدف تحقيق أعلى إنتاج ممكن من المحصول المنزوع، وهذا الهدف لا يمكن تحقيقه أو الوصول إليه إلا باستخدام محلول غذائى متزن تتوافر فيه كل عوامل التغذية المثلى، ولذلك ولأهمية هذا الموضوع، فلقد أفردنا له هذا الفصل للتعرف على ماهية المحلول المغذى، وما هى الشروط الواجب توافرها فيه، وأنواع المحاليل المغذية، وكيفية تحضيرها، ومعلومات أساسية أخرى تفيد أى دارس لهذا الموضوع.

١ - المحلول المغذى

المحلول المغذى هو المحلول الذى يحتوى على جميع العناصر الغذائية الضرورية Essential elements اللازمة لنمو النباتات وينسب متوازنة مع بعضها البعض، والذى يستخدم فى إمداد النبات بحاجته من الماء والعناصر الغذائية طوال فترة حياته.

ومن الصعب القول بأن هناك ما يسمى بالمحلول المغذى المثالى أو المناسب لكل النباتات أو حتى بالنسبة للنبات الواحد. ويرجع ذلك إلى اختلاف النباتات عن بعضها بالنسبة لاحتياجاتها من العناصر الغذائية الأساسية، بالإضافة إلى اختلاف احتياجات النبات الواحد من العناصر مع تغير مراحل نموه المختلفة إلا أنه وفى كل الأحوال فلا بد أن تتوفر بعض الشروط الأساسية التى لا يمكن تجاهلها أو التغاضى عنها حتى يستطيع المحلول أداء دوره الأساسى والحيوى فى التغذية.

٢ - الشروط الواجب توافرها فى المحلول المغذى

يجب أن تتوفر فى المحلول المغذى الشروط التالية:

- ١ - لا يكون تركيز الأملاح في المحلول المغذى مرتفعاً بدرجة تؤثر على نمو النبات، وعادة ما يكون التوصيل الكهربى للمحلول المغذى فى حدود ٢ - ٣ ملليموز/سم والضغط الإسموزى له فى حدود ٠,٥ - ١ ضغط جوى.
- ٢ - أن يكون رقم الحموضة pH للمحلول المغذى فى حدود من ٦ - ٦,٥ حيث أن انخفاض الـ pH إلى الحدود الحامضية الشديدة يؤدى إلى تلف جذور النباتات، بينما ارتفاع رقم الـ pH إلى الجانب القلوى يؤدى إلى ترسيب كثير من العناصر فى المحلول على صورة أملاح غير ذائبة لا يستفيد منها النبات.
- ٣ - أن تكون نسب العناصر إلى بعضها البعض تقارب إلى حد ما النسب التى يمتص بها النبات العناصر الغذائية المختلفة.

٣ - تركيز العناصر فى المحلول المغذى

وجد Stoughton سنة ١٩٦٩ أن تركيز المغذيات فى مزارع المحاليل يكون فى حدود ١٠٠ - ٣٠٠ جزءاً فى المليون للنيتروجين، ١٢٠ - ٢٥٠ جزءاً فى المليون للبوتاسيوم. بينما أشار Hewitt سنة ١٩٦٦ أيضاً إلى أن المحلول القياسى يجب أن يحتوى على ١٦٨ جزءاً فى المليون للنيتروجين، ١٥٦ جزءاً فى المليون للبوتاسيوم وهذه التركيزات من العناصر تناسب مزارع المحاليل الساكنة Static Nutrient Solution Culture (SNSC)، وهى مرتفعة جداً إذا ما قورنت بما تحتاجه مزارع المحاليل المتحركة أو الدائرة Flow Nutrient Solution Culture (FNSC) حيث وجد Asher & Ozanne سنة ١٩٧٩ فى بحثهم على ١٤ نوعاً من النباتات التى تم زراعتها فى المزارع التى يتم فيها تدوير المحلول FNSC أن أقصى محصول فى ثمانية أنواع منها تم الحصول عليه عندما كان تركيز البوتاسيوم ثابتاً عند ٠,٩ جزء فى المليون، وفى الستة الأخرى عند تركيز من البوتاسيوم قدره ٣,٧٥ جزءاً فى المليون، كذلك وجد Clement وأخرون سنة ١٩٧٤ أن نمو النباتات كان مرضياً فى المحلول الدائر عند ثبات تركيز النيتروجين عند ٠,١ جزء فى المليون.

هذا التعارض ما بين المحاليل الساكنة والمحاليل المستمرة في الدوران يرجع إلى أنه في حالة المحاليل الدائرية لا يحدث انخفاض في تركيز العناصر حول المجموع الجذرى للنباتات حيث يعمل الدوران المستمر على المحافظة أو بالأحرى على تجديد تركيز العنصر مما يجعله ثابتاً حول الجذور باستمرار بعكس الحالة في مزارع المحاليل الساكنة حيث يحدث انخفاض شديد لتركيز العناصر حول المجموع الجذرى نظراً للاستنزاف المستمر للعناصر من حجم ثابت وغير متجدد من المحلول. ومن ذلك نجد أن نمو النباتات يمكن أن يكون جيداً عند تركيزات منخفضة جداً من العناصر ولكن يظل السؤال.. هل هذه التركيزات هي التركيزات المثلى لنمو النباتات؟، وأيضاً إلى أى حد يمكن أن نغير من هذه التركيزات دون أن يتأثر النمو؟.

ولقد أظهرت بعض التجارب في مزارع الأغشية Nutrient Film Technique (NFT) أن المحصول لم يتأثر بدرجة معنوية مع اختلاف تركيز النيتروجين في المحلول المغذى ما بين ١٠ - ٣٢٠ جزءاً في المليون (على شرط ثبات التركيز خلال موسم النمو)، ولكن بصفة عامة يفضل أن يكون تركيز العنصر في المحلول المغذى مرتفعاً نسبياً حتى نضمن وجود رصيد من العناصر المغذية في النظام. وكأرقام استرشادية يوضح الجدول (٤-١) حدود تركيزات العناصر في المحلول المغذى للنبات.

والحد الأدنى المشار إليه في الجدول أكبر بكثير من الحد الذى يبدأ عنده ظهور أعراض نقص العناصر على النبات، ولذلك إذا أظهر التحليل قيم منخفضة للعنصر في المحلول يكون ذلك دليلاً على تناقص مستمر للعنصر مما يؤدي إلى حدوث ضرر للنبات إذا ما استمر هذا الانخفاض.

جدول (٤-١) : العناصر الغذائية ومدى تركيزاتها في المحلول المغذي
بالجزء في المليون.

الحد المفضل	الحد الأعلى	الحد الأدنى	العنصر
٢٠٠ - ١٥٠	٣٠٠	٥٠	Nitrogen النيتروجين
٥٠	٢٠٠	٢٠	Phosphorous الفوسفور
٥٠٠ - ٣٠٠	٨٠٠	٥٠	Potassium البوتاسيوم
٣٠٠ - ١٥٠	٤٠٠	١٢٥	Calcium الكالسيوم
٥٠	١٠٠	٢٥	Magnesium المغنسيوم
٥	١٢	٣	Iron الحديد
١,٠	٢,٥	٠,٥	Manganese المنجنيز
٠,١	١,٠	٠,٠٥	Copper النحاس
٠,١	٢,٥	٠,٠٥	Zinc الزنك
٠,٥ - ٠,٣	١,٥	٠,١	Boron البورون
٠,٠٥	٠,١	٠,٠١	Molybdenum المولبيدوم
---	٢٥٠	---	Sodium الصوديوم
---	٤٠٠	---	Chlorine الكلور

٤ - كيف يمكنك تحضير المحلول المغذي

من الضروري فهم وتعلم كيفية تحضير المحلول المغذي سواء كان ذلك من الكيماويات النقية (في حالة التجارب والبحوث) أو من الأسمدة التجارية (في حالة الزراعة الاقتصادية على أى مستوى)، وأيضاً التعرف على خواص ونوعية الماء المستخدم في التحضير.

** خواص الماء

تعتبر خواص الماء ذات أهمية قصوى في تحضير المحاليل المغذية للزراعات

اللاأرضية لذلك يجب أن يراعى ما يلى :

١ - نسبة كلوريد الصوديوم (NaCl)

يجب أن يكون الماء نقياً وعذباً بحيث لا يتعدى نسبة كلوريد الصوديوم NaCl به عن ٥٠ جزءاً فى المليون. فالماء المحتوى على أكثر من ٥٠ جزءاً فى المليون كلوريد صوديوم لا يناسب النمو الأمثل للنبات، وكلما ازداد تركيز كلوريد الصوديوم ينخفض معدل النمو وقد يؤدي فى النهاية إلى موت النبات.

٢ - نسبة الأملاح الكلية الذائبة (TSS) Total Soluble Salts

بالإضافة إلى كلوريد الصوديوم فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار المحتوى الكلى للأملاح الذائبة فى الماء Total soluble salts حيث أن قدرة النباتات على امتصاص الماء وما به من عناصر غذائية تقل مع زيادة محتواه من الأملاح، وإن كانت النباتات تختلف فيما بينها فى قدرتها على تحمل التركيزات المرتفعة من الأملاح، فهناك نباتات حساسة للملوحة Sensitive plants وأخرى متوسطة الحساسية Moderately sensitive وثالثة متوسطة التحمل للملوحة Tolerant plants والرابعة تتحمل الملوحة وتسمى Moderately tolerant plants ولقد وجد بعض الباحثين أنه يمكن استخدام مياه ملحية تركيزات الأملاح بها تصل إلى ٣٠٠٠ جزء فى المليون فى تنمية بعض النباتات فى الزراعات اللاأرضية تحت اعتبارات خاصة منها المعرفة المسبقة لقدرة تحمل نوع النبات وصنفه للأملاح، مرحلة نمو النبات، إضافة العناصر الغذائية الغير موجودة فى المياه. لذلك فإنه عند استخدام مياه ملحية فى الزراعات اللاأرضية فإن النباتات التى يتم زراعتها هى النباتات المتحملة للملوحة Tolerant plants أو متوسطة التحمل للأملاح Moderately tolerant مثل القرنفل والطماطم والخيار والخس وحتى بين أنواع النباتات المتحملة للملوحة فإن درجة التحمل تختلف من صنف إلى آخر.

يتوقف مقدار عسر الماء Hardness على محتواه من أيونات البيكربونات HCO_3 فكلما زاد تركيز البيكربونات كلما ازداد عسر الماء، الأمر الذى يؤدي إلى زيادة رقم الـ PH وعليه يقل تيسر وصلاحية عنصر الحديد للنبات. ومن الناحية العملية فإن مياه الآبار فى المناطق ذات الأصل الجيرى يمكن أن تحتوى على تركيز مرتفع من أملاح كربونات الكالسيوم والمغنسيوم. والماء العسر المحتوى على كربونات الكالسيوم والمغنسيوم يعتبر مناسباً لتنمية النباتات مثله فى ذلك مثل الماء اليسر Soft water.

وفى كل الأحوال فإنه قبل استخدام أى مصدر للماء فى تحضير المحلول المغذى يجب تحليله ومعرفة مستوى كل من أيونات العناصر التالية [الكالسيوم Ca^{+2} - المغنسيوم Mg^{+2} - الحديد Fe^{+2} - الكربونات CO_3^{-2} - البيكربونات HCO_3^-] وبالتالى تحديد الكميات المطلوب إضافتها من كل منها للوصول إلى التركيز المطلوب فى المحلول المغذى.

وقبل أن نبدأ فى دراسة كيفية تحضير المحلول المغذى فإنه من المفيد شرح بعض أسس الحساب الكيمياءى والتعريفات التى نحتاجها فى هذا الصدد.

تتكون جميع المركبات الموجودة فى القشرة الأرضية من مواد مختلفة متحدة مع بعضها البعض تسمى عناصر ويوجد من هذه العناصر أكثر من مائة ولكن ما يهمنا منها فى المحاليل المغذية ستة عشر عنصراً فقط سبق الإشارة إليها بالتفصيل فى الفصل الثانى والتى تعرف بالعناصر الأساسية أو الضرورية لنمو النبات. والعنصر الواحد يتركب من مجموعة من الذرات، وكل عنصر يتميز عن الآخر بوزنه الذرى.

** الوزن الذرى Atomic Weight

هو الوزن الذرى للعنصر منسوباً للوزن الذرى للأيدروجين والذى يساوى ١

بالإضافة إلى الوزن الذرى فإن لكل عنصر رمز معين هو عبارة عن الحرف الأول أو الحرفين الأولين من اسمه اللاتينى أو اسمه الإنجليزى. فمثلا البوتاسيوم Potassium اسمه اللاتينى كالسيوم Kalium ولذا فرمزه K أما النيتروجين Nitrogen فرمزه N والفوسفور Phosphorus فرمزه p أما المغنسيوم Magnesium فرمزه Mg والكالسيوم Calcium فرمزه Ca ... وهكذا.

** التكافؤ Valence

تكافؤ العنصر هو عدد الإلكترونات التى يمكن أن تفقد أو تكتسب فى المدار الخارجى للذرة.

ويوضح الجدول رقم (٤-٢) العناصر الشائعة الاستخدام فى المحاليل المغذية مع بيان رمز كل منها ووزنه الذرى والتكافؤ.

** الوزن الجزيئى Molecular Weight

هو مجموع أوزان الذرات الداخلة فى تركيب الجزيء بالجرام.

فجميع الأملاح الكيميائية عبارة عن جزيئات يتركب كل جزيء منها من ذرات، فمثلا ملح كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 يتركب من ذرتين بوتاسيوم وذرة كبريت وأربعة ذرات من الأكسجين، وبالتالي فإن الوزن الجزيئى هو مجموع الأوزان الذرية للذرات المكونة للملح وفى المثال السابق يكون الوزن الجزيئى للملح كبريتات البوتاسيوم وهو:

$$(2 \times K_2 \ 39) + (1 \times S \ 32) + (4 \times O_4 \ 16) = 174$$

جدول (٤-٢): الوزن الذري والتكافؤ الشائع للعناصر الفلزلية الأساسية للنبات.

التكافؤ	الوزن الذري	الرمز	العنصر
٤	١٢,٠١	C	الكربون Carbon
١	١,٠١	H	الهيدروجين Hydrogen
٢-	١٦,٠٠	O	الأكسجين Oxygen
٥,٢	١٤,٠١	N	النيتروجين Nitrogen
٥	٣٠,٩٨	P	الفوسفور Phosphorous
١	٣٩,١٠	K	البوتاسيوم Potassium
٢	٤٠,٠٨	Ca	الكالسيوم Calcium
٢	٢٤,٣١	Mg	المغنسيوم Magnesium
٣,٢	٥٥,٨٥	Fe	الحديد Ferrous (Iron)
٤,٢	٥٤,٩٤	Mn	المنجنيز Manganese
٢,١	٦٣,٥٤	Cu	النحاس Copper
٢	٦٥,٣٧	Zn	الزنك Zinc
٣	١٠,٨٢	B	البورون Boron
٦,٤,٣	٩٥,٩٤	Mo	الموليبدينوم Molybdenium
٦,٤	٣٢,٠٦	S	الكبريت Sulfur
١	٢٢,٩٩	Na	الصوديوم Sodium
١-	٣٥,٤٦	Cl	الكلور Chlorine

•• الوزن المكافئ للذرة:

هو الوزن الذري مقسوم على تكافؤها.

الوزن المكافئ للبوتاسيوم $K = 39 \div 1 = 39$ جم

الوزن المكافئ للكالسيوم $Ca = 40 \div 2 = 20$ جم

•• الوزن المكافئ للحامض:

هو عبارة عن الوزن الجزيئي له مقسوم على عدد ذرات الأيدروجين H .
الوزن المكافئ لحامض الأيدروكلوريك HCl = $36,5 \div 1 = 36,5$ جم
الوزن المكافئ لحامض الكبريتيك H₂SO₄ = $98 \div 2 = 49$ جم
الوزن المكافئ لحامض الفوسفوريك H₃PO₄ = $98 \div 3 = 32,7$ جم

•• الوزن المكافئ للقلوى:

هو عبارة عن الوزن الجزيئي له مقسوم على عدد مجموعات الأيدروكسيل .OH

الوزن المكافئ لأيدروكسيد البوتاسيوم KOH = $56 \div 1 = 56$ جم
الوزن المكافئ لأيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)₂ = $74 \div 2 = 37$ جم
الوزن المكافئ لأيدروكسيد الحديدك Fe(OH)₃ = $106 \div 3 = 35,3$ جم

•• الوزن المكافئ للملح:

هو عبارة عن الوزن الجزيئي له مقسوم على عدد ذرات القاعدة مضروباً فى تكافؤها.

الوزن المكافئ لفوسفات أحادى البوتاسيوم KH₂PO₄ = $136 \div 1 \times 1 = 136$ جم

الوزن المكافئ لفوسفات ثنائى الكالسيوم CaHPO₄ = $136 \div 1 \times 2 = 68$ جم

الوزن المكافئ لفوسفات ثلاثى الكالسيوم Ca₃(PO₄)₂ = $310 \div 3 \times 2 = 51,7$ جم

التعبير عن تركيزات المحاليل:

•• النسبة المئوية (Percentage %)

هو عبارة عن عدد جرامات الملح فى 100 سم³ من الماء.

** المحلول المولار (Mole) Molar Solution **

هو المحلول الذى يحتوى اللتر منه على الوزن الجزيئى الجرامى من المادة (ويسمى التركيز ١ مول)

$$١ \text{ مول} = ١ \text{ وزن جزيئى} = ١٠٠٠ \text{ ملليمول.}$$

$$١ \text{ ملليمول} = ١ \div ١٠٠٠ \text{ من المول.}$$

$$\text{عدد الملليمولات} \times \text{الوزن الجزيئى} = \text{عدد الملليجرامات.}$$

** المحلول العيارى Normal Solution **

هو المحلول الذى يحتوى اللتر منه على الوزن المكافىء من المادة (ويسمى التركيز ١ مكافىء).

$$١ \text{ مكافىء} = ١ \text{ وزن مكافىء} = ١٠٠٠ \text{ ملليمكافىء}$$

$$١ \text{ ملليمكافىء} = ١ \div ١٠٠٠ \text{ من الوزن المكافىء.}$$

$$\text{عدد الملليمكافئات} \times \text{الوزن المكافىء} = \text{عدد الملليجرامات.}$$

** الأجزاء فى المليون (ppm) Part per milion **

هو عدد جرامات المادة فى مليون جرام من الماء. وحيث إن كثافة الماء = ١ فإنه يمكن القول بأنه عدد جرامات المادة فى مليون سم^٣ من الماء.

$$\text{جم} \text{ ----- فى ----- } ١٠٠٠,٠٠٠ \text{ سم}^٣$$

$$\text{أى جم} \text{ ----- فى ----- } ١٠٠ \text{ لتر}$$

$$\text{أى جم} \text{ ----- فى ----- } ١ \text{ متر مكعب}$$

كما يمكن استخدام وحدات أصغر مثل الملليجرام وهو يساوى (١ ÷ ١٠٠٠ من الجرام)، أو الميكروجرام وهو (١ ÷ ١٠٠٠,٠٠٠ من الجرام) وبالتالي فإن جزء فى المليون يساوى مجم/ لتر أو ميكروجرام/ سم^٣.

ويمكن تحويل التركيز من نسبة مئوية إلى جزء في المليون أو العكس بالمعادلة التالية:

$$\text{النسبة المئوية} \times 10,000 = \text{جزء في المليون}$$

مثال للعمليات الحسابية المطلوبة لتحضير المحلول المغذى:

تحضير محلول كوبر Cooper Solution

يعتبر هذا المحلول أكثر المحاليل استخداماً في مزارع الأغشية المغذية. ويبين الجدول رقم (٤ - ٣) تركيزات العناصر في هذا المحلول المغذى، وهي محسوبة على أساس أجزاء في المليون أو بمعنى آخر جرام/ ١٠٠٠ لتر من المحلول.

جدول (٤ - ٣): تركيزات العناصر الغذائية في محلول كوبر

التركيز بالجزء في المليون	الرمز	العنصر
٢٠٠	N	النيتروجين Nitrogen
٦٠	P	الفوسفور Phosphorous
٣٠٠	K	البوتاسيوم Kalium (Potassium)
١٧٠	Ca	الكالسيوم Calcium
٥٠	Mg	المغنسيوم Magnesium
١٢	Fe	الحديد Ferrous (Iron)
٢	Mn	المنجنيز Manganese
٠,١	Cu	النحاس Copper
٠,١	Zn	الزنك Zinc
٠,٣	B	البورون Boron
٠,٢	Mo	الموليبدينوم Molybdenium
٦٩	S	الكبريت Sulfur

ويبين جدول رقم (٤ - ٤) الأملاح التي يحضر منها محلول كوبر المغذى

والأوزان المطلوبة من كل ملح لتحضير ١٠٠٠ لتر (متر مكعب) من هذا المحلول.

جدول (٤ - ٤): أوزان الأملاح بالجرام المستخدمة لتحضير ١٠٠٠ لتر من محلول كوير المغذى.

الوزن المطلوب	الوزن الجزيئى	الملح المستخدم فى التحضير ورمزه	
١٠٠٣	٢٣٦	Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	نترات الكالسيوم
٥٨٣	١٠١	KNO ₃	نترات البوتاسيوم
٢٦٣	١٣٦	KH ₂ PO ₄	فوسفات أحادى البوتاسيوم
٥١٣	٢٤٦,٥	MgSO ₄ . 7H ₂ O	كبريتات المغنسيوم
٧٩	٣٦٧	Fe- EDTA	حديد مخلبى
٦,١	١٦٩	MnSO ₄ . H ₂ O	كبريتات منجنيز
١,٧	٦٢	H ₃ BO ₃	حامض بوريك
٠,٣٩	٢٤٩,٧	CuSO ₄ . 5H ₂ O	كبريتات نحاس
٠,٣٧	١٢٣٦	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	مولبيدات أمونيوم
٠,٤٤	٢٨٧,٦	ZnSO ₄ .7H ₂ O	كبريتات زنك

ونظراً لشيوع استخدام هذا المحلول فى تغذية النباتات فسوف نستعرض كيفية حساب أوزان الأملاح المطلوبة لتحضير ١٠٠٠ لتر من هذا المحلول المغذى.

١ - تركيز الفوسفور المطلوب هو ٦٠ جزء فى المليون (٦٠ جرام / ١٠٠٠ لتر) والملح الذى يستخدم هو فوسفات أحادى البوتاسيوم KH₂ PO₄ وزنه الجزيئى ١٣٦ جم ويحتوى على وزن ذرى واحد من الفوسفور قدره ٣١ جم، وبالتالي فإنه للحصول على ٦٠ جرام من الفوسفور (التركيز المطلوب فى المحلول المغذى) فإنه يلزم وزنه قدرها [٣١ ÷ ١٣٦] × ٦٠ = ٢٦٣ جم من ملح KH₂ PO₄ فإذا تم إذابة هذه الوزنة فى ١٠٠٠ لتر من الماء فإن المحلول الناتج يكون تركيز الفوسفور (P) به = ٦٠ جزء فى المليون

وفى صورة مختصرة فإن خطوات الحساب هي:

(أ) اكتب التركيز المطلوب من العنصر = ٦٠ جزء فى المليون.

(ب) احسب الوزن الجزيئى للملح المستخدم (فوسفات أحادى البوتاسيوم $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 136$).

(ج) احسب وزن الملح الذى يعطى ١ جزء فى المليون فوسفور = $136 \div 31$.

(د) احسب وزن الملح الذى يعطى ٦٠ جزء فى المليون فوسفور = $136 \div [31 \times 60] = 263$ جم.

٢ - ملح فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 السابق لا يحتوى على الفوسفور فقط ولكن به بوتاسيوم أيضاً (K) بحيث أن كل وزن جزيئى (١٣٦ جرام) يحتوى وزن ذرى واحد من البوتاسيوم قدره ٣٩ جرام، وبالتالي فإن الوزن التى مقدارها ٢٦٣ جم من ملح فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 والتى تمت إذابتها فى ١٠٠٠ لتر من الماء تحتوى على مقدار من البوتاسيوم يمكن حسابه كما يلى:

(أ) الوزن الجزيئى للملح (فوسفات أحادى البوتاسيوم $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 136$)

(ب) نسبة البوتاسيوم فى الملح = $136 \div 39$

(ج) وزن البوتاسيوم فى ٢٦٣ جم من $[136 \div 39] \times 263 = 75$ جم.

وحيث إن هذه الوزنة تم إذابتها فى ١٠٠٠ لتر من الماء، فيكون تركيز البوتاسيوم ٧٥ جزء فى المليون. ولكن تركيز البوتاسيوم المطلوب فى المحلول المغذى (انظر جدول التركيزات رقم ٤ - ٤) هو ٣٠٠ جزء فى المليون فإنه يلزم إضافة كمية إضافية من البوتاسيوم (K) قدرها ٢٢٥ جزءاً فى المليون. تستكمل هذه الكمية اللازمة من البوتاسيوم من ملح نترات البوتاسيوم KNO_3 والذى وزنه الجزيئى ١٠١ جم، ويحتوى على وزن ذرى من البوتاسيوم قدره

٣٩ جم، وبالتالي فإنه للحصول على ٢٢٥ جم من البوتاسيوم يلزم وزنة من نترات البوتاسيوم قدرها $225 \times [101 \div 39] = 583$ جراماً.

٣ - إضافة ٥٨٣ جم من ملح نترات البوتاسيوم KNO_3 إلى ١٠٠٠ لتر من الماء يعطى كمية من النيتروجين للمحلول يمكن حسابها كما يلي:

(أ) نسبة النيتروجين N فى نترات البوتاسيوم (من الوزن الذرى والوزن الجزيئى) كما فى الجدول = $14 \div 101$.

(ب) وزنة نترات البوتاسيوم KNO_3 (٥٨٣ جم) التى تم إضافتها للماء تحتوى على كمية نيتروجين قدرها $[14 \div 101] \times 583 = 81$ جم نيتروجين.

ولرفع تركيز النيتروجين إلى الحد المطلوب فى المحلول المغذى (٢٠٠ جزء فى المليون)، فإنه يلزم كمية أخرى من النيتروجين قدرها ١١٩ جزءاً فى المليون دون إضافة كمية أخرى من البوتاسيوم. هذه الكمية المتبقية من النيتروجين يتم الحصول عليها من ملح نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ والذى وزنه الجزيئى ٢٣٦ جرام، ويحتوى على ٢ وزن ذرى من النيتروجين قدرهما $14 \times 2 = 28$ جم.

وبالتالى فإن كمية نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ اللازمة لإعطاء ١١٩ جزءاً فى المليون الإضافية من النيتروجين تساوى: $[28 \div 236] \times 119 = 1003$ جم.

٤ - إضافة ١٠٠٣ جرام من ملح نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ إلى ١٠٠٠ لتر من المحلول المغذى تضيف عنصر الكالسيوم إلى المحلول، نسبة الكالسيوم فى كل وزن جزيئى من نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2 = 40 \div 236$. وعلى ذلك فإن كمية الكالسيوم فى ١٠٠٣ جم من ملح نترات الكالسيوم تساوى $1003 \times [40 \div 236] = 170$ جم. وهذا يعنى أن تركيز الكالسيوم فى المحلول يساوى ١٧٠ جزءاً فى المليون لأن الحجم الكلى للمحلول = ١٠٠٠

لتر وهذا هو التركيز المطلوب من الكالسيوم في المحلول.

وحتى الآن تم إذابة ٢٦٣ جم فوسفات بوتاسيوم، ٥٨٣ جم نترات بوتاسيوم،
١٠٠٣ جم نترات كالسيوم في ١٠٠٠ لتر من الماء لتعطي محلول مغذى
يحتوى على ٦٠ جزءاً في المليون فوسفور، ٣٠٠ جزء/ مليون بوتاسيوم، ٢٠٠
جزء/مليون نيتروجين، ١٧٠ جزء/ مليون كالسيوم.

٥ - نستمر فى إضافة باقى الأملاح للحصول على باقى العناصر الغذائية بنفس
الكيفية السابقة، حيث يتم إضافة المغنسيوم إلى المحلول على صورة ملح
كبريتات المغنسيوم $MgSO_4$ والذى له وزن جزيئى قدره ٢٤٦ جم، ويحتوى
على وزن ذرى واحد من المغنسيوم (Mg) قدره ٢٤ جم. وبالتالي فإنه
للحصول على تركيز من المغنسيوم قدره ٥٠ جزء فى المليون يلزم كمية قدرها
 $٥٠ \times [٢٤٦ \div ٢٤] = ٥١٣$ جم من كبريتات المغنسيوم يتم إذابتها فى الألف
لتر من الماء.

٦ - تركيز الحديد المطلوب (١٢ جزءاً فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنه
قدرها $١٢ \times [٣٦٧ \div ٥٦] = ٧٩$ جم من مادة FeEDTA.

٧ - تركيز المنجنيز المطلوب (٢ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنه قدرها
 $٢ \times [١٦٩ \div ٥٥] = ٦,١$ جم من ملح كبريتات المنجنيز.

٨ - تركيز البورن المطلوب (٠,٣ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنه
قدرها $٠,٣ \times [٦٢ \div ١١] = ١,٧$ جم من حامض البوريك.

٩ - تركيز النحاس المطلوب (٠,١ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنه
قدرها $٠,١ \times [٢٥٠ \div ٦٤] = ٠,٣٩$ جم من ملح كبريتات النحاس.

١٠ - تركيز الموليبدنم المطلوب (٠,٢ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنه
قدرها $٠,٢ \times [١٢٣٦ \div ٦٧٢] = ٠,٣٧$ جم من ملح موليبدات الأمونيوم.

١١ - تركيز الزنك المطلوب (٠,١ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنه

قدرها ١,٠ × [٢٨٧ ÷ ٦٥] = ٠,٤٤ جم من ملح كبريتات الزنك.

جميع هذه الحسابات تعطى أوزان المواد المطلوب إذابتها في الألف لتر من الماء للحصول على المحلول المغذى كما هو واضح من جدول رقم (٤ - ٤). ويلاحظ في جميع الحسابات السابقة أننا لم نضع في الاعتبار درجة نقاوة المادة الكيماوية، ولذلك فإن أوزان المواد المدونة في الجدول يتم تعديلها بناء على درجة نقاوة كل مادة. فمثلاً إذا كانت نقاوة مادة نترات الكالسيوم ٩٠٪ مثلاً فإن الوزن المطلوب من المادة النقية (١٠٠٣ جم) يصبح $1003 \times [90 \div 100] = 902.7$ جم نترات كالسيوم من المادة ذات النقاوة ٩٠٪ وهكذا بالنسبة لباقي الأملاح.

٥ - صورة النيتروجين في المحلول المغذى:

من المعروف أن النبات يمتص النيتروجين إما على صورة أيونات نترات NO_3^- أو كاتيونات أمونيوم NH_4^+ بنفس الدرجة من الكفاءة. ولكن وجد أن بعض النباتات النامية في نظام الأغشية المغذية يتأثر نموها بدرجة كبيرة إذا كان كل النيتروجين في المحلول على صورة أمونيوم. فمثلاً وجد أن بادرات الطماطم الصغيرة تموت بعد بضعة أسابيع من التغذية بالنيتروجين الأمونيومى، وإن كانت البادرات الأكبر سناً أكثر قدرة على تحمل الأمونيوم إلا أن نمو جذورها يتأثر بذلك، وبالرغم من هذا فإن استخدام النيتروجين الأمونيومى فى المحاليل المغذية قد يكون ضرورياً فى بعض الحالات وخاصة إذا كانت المياه المستخدمة فى تحضير المحلول قلوية التأثير. ففى مثل هذه الحالات نجد أن استخدام النيتروجين الأمونيومى يفيد كثيراً فى منع ارتفاع رقم pH المحلول المغذى بدرجة كبيرة، وبالتالي يقلل من كمية الأحماض اللازمة لخفض pH المحلول باستمرار. وبصفة عامة، إذا كانت المياه المستخدمة فى تحضير المحلول المغذى تحتوى على تركيز مناسب من الكالسيوم فإنه يمكن استخدام نترات الأمونيوم بدلا من نترات الكالسيوم للحصول على التركيز المطلوب من النيتروجين فى المحلول المغذى ولحساب كيفية تحضير المحلول بهذه الطريقة فإننا

تتبع الخطوات التالية:

(أ) التركيز الكلى المطلوب من النيتروجين عند تحضير ١٠٠٠ لتر من المحلول هو ٢٠٠ جزء فى المليون. (انظر جدول رقم ٤ - ٣).

(ب) جزء من هذا النيتروجين وقدره ٨١ جزءاً فى المليون يتم الحصول عليه من وزنة نترات البوتاسيوم والتي قدرها ٥٨٣ جم كما سبق بيانه.

(ح) الجزء الباقي من النيتروجين وقدره ١١٩ جزءاً فى المليون يتم الحصول عليه من نترات الأمونيوم NH_4NO_3 والتي وزنها الجزيئى = ٨٠ وتحتوى على ٢٨ جم نيتروجين وبالتالي فإن ١١٩ جزءاً فى المليون نيتروجين يتم الحصول عليها من وزنة قدرها $119 \times [28 \div 80] = 340$ جم نترات الأمونيوم والتي يتم إذابتها فى الألف لتر من الماء.

هذا بالطبع فى حالة عدم إضافة كالسيوم بالمرّة إلى المحلول، أما إذا احتاج الأمر إلى إضافة الكالسيوم (عند انخفاض محتوى الماء منه) فإنه يمكن موازنة الأمر عن طريق استخدام كلاً من نترات الكالسيوم ونترات الأمونيوم كمصدرين لعنصر النيتروجين.

٦ - ضبط المحلول pH المغذى بعد تحضيره:

أبسط طرق قياس pH المحلول هى استخدام الأشرطة الورقية والتي يتغير لونها على حسب رقم pH المحلول الذى تغمس فيه. ويتم مقارنة لون هذه الورقة المبتلة مع خريطة توضح الألوان القياسية لدرجات الـ pH من ١-١٤ ومن ذلك يمكن تحديد رقم pH المحلول.

وهذه الطريقة تعتبر وصفية وغير دقيقة. وتوجد طرق أخرى يستخدم فيها أدلة Indicators وهى مواد يتغير لونها على حسب رقم pH الوسط. ويتم قياس pH المحلول عن طريق وضع جزء من المحلول فى أنبوبة اختبار ثم يضاف إليه نقطة من الدليل فيتلون السائل بلون معين، ويتم مقارنة هذا اللون مع خريطة الألوان القياسية لدرجات الـ pH المختلفة كما سبق توضيحه. وأفضل الطرق لقياس رقم الـ pH

للمحلول هي استخدام جهاز الـ pH Meter والذي يعمل بالبطارية وله الكترود يقيس درجة تركيز أيون الأيدروجين.

ويفضل أن يكون رقم pH المحلول المغذى في حدود 6 - 6,5 وانخفاض pH المحلول كثيراً عن ذلك (حامض شديد) ضار بالنبات حيث قد يسبب سمية للجذر، كما أن الارتفاع الشديد لرقم pH المحلول (قلوى شديد) يؤدي إلى ترسيب كثير من العناصر في المحلول على صورة غير ذائبة لا يستطيع النبات أن يستفيد بها. بعد تحضير المحلول المغذى يقاس رقم الـ pH فإن كان مرتفعاً عن 6,5 يضاف إلى المحلول بعض الأحماض (مثل حامض النيتريك HNO_3 أو حامض الفوسفوريك H_3PO_4) لخفض رقم pH المحلول إلى الرقم المطلوب. أما إذا كان رقم pH المحلول أقل من 6 (حامض) فإنه يضاف بعض المواد القلوية مثل أيدروكسيد البوتاسيوم KOH لرفع رقم الـ pH إلى القيمة المطلوبة.

٧- قياس تركيز الأملاح في المحلول المغذى بعد تحضيره:

يعتبر تركيز الأملاح الذائبة في المحلول المغذى عاملاً هاماً جداً في تأثيره على نمو النباتات فارتفاع تركيز الأملاح بدرجة كبيرة يؤدي إلى انخفاض واضح في محصول النبات ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية:

(أ) التأثير الأسموزي Osmotic Effect : حيث تقل قدرة النبات على امتصاص الماء نتيجة لارتفاع الضغط الأسموزي للمحلول.

(ب) التأثير النوعي أو السمي Toxic or Specific Ion Effect : حيث يؤدي زيادة تركيز أيونات معينة في المحلول مثل الصوديوم، الكلوريد، البورون إلى سمية النبات نتيجة للاضطراب في العمليات الفسيولوجية.

ولذلك فإنه بعد تحضير المحلول المغذى يجب قياس تركيز الأملاح به ويتم ذلك عن طريق قياس التوصيل الكهربى للمحلول (Electrical Conductivity (EC باستخدام جهاز خاص لذلك. ومن المعروف أن هناك علاقة ما بين قدرة المحلول على توصيل تيار الكهرباء وتركيز الأملاح به، ولذلك فكلما زاد تركيز الأملاح

كلما زاد مقدار التوصيل. ووحدات قياس التوصيل الكهربى هى الموز/ سم (Mhos/cm) أو السيمن /Semin سم (S/cm) والموز= السيمن. وهناك وحدات أقل من الموز أو السيمن وهى المللى والميكرو لكليهما. [الموز= ١٠٠٠ ملليموز= ١٠٠٠,٠٠٠ ميكروموز].

وفى كل الأحوال يمكن تحويل هذه الوحدات إلى وحدات أخرى كما يلى:

$$EC \text{ ملليموز/ سم} \times 10 = \text{ملليمكافىء/ لتر.}$$

$$EC \text{ ملليموز/ سم} \times 640 = \text{جزء فى المليون.}$$

$$EC \text{ ملليموز/ سم} \times 0,064 = \text{نسبة مئوية (\%).}$$

$$EC \text{ ملليموز/ سم} \times 0,36 = \text{ضغط جوى}$$

والحلول المغذى السابق تحضيره له توصيل كهربى يتراوح ما بين ٢ - ٣ ملليموز/سم، وعند استخدام هذا الحلول فى الزرعة ينخفض تركيز الأملاح به نتيجة لامتصاص العناصر بواسطة النبات لذلك يجب أن يراعى أن لا يقل التوصيل الكهربى للمحلول المغذى عن ٢ ملليموز/سم فإذا انخفض عن ذلك يضاف كمية من العناصر إلى الحلول لرفع التوصيل مرة أخرى إلى ٣ ملليموز/ سم كما سيأتى ذكره فيما بعد.

وفى هذا الصدد تعتبر نوعية المياه المستخدمة فى تحضير المحلول المغذى ذات عامل هام جداً فى إقامة مزارع المحاليل. فإذا احتوت هذه المياه على تركيز مرتفع من الأملاح فإن ذلك قد يحد من استخدامها حيث إنها سوف تزيد من محتوى المحلول المغذى من الأملاح بدرجة كبيرة، كما قد تحتوى على تركيزات مرتفعة من الأملاح التى قد تسبب سمية للنبات. ولذلك فإنه قبل تحضير المحلول المغذى يجب قياس محتوى المياه من الأملاح وكذلك نوعية الأملاح الموجودة بها. وتجدر الإشارة إلى أن النباتات فى مزارع المحاليل تستطيع النمو فى تركيزات قد تصل إلى ٨ ملليموز/سم (Abouloos and Abdel Moty سنة ١٩٩٥ مع نباتات الطماطم النامية فى أنابيب بها محاليل مغذية ساكنة) وهذا التركيز المرتفع بالطبع

لاستطيع النباتات أن تتحملة عند نموها فى التربة الطبيعية.

٨- المحلول المغذى المركز Stock Solution

من الأفضل فى كثير من الأحيان أن يتم تحضير محلول مركز Stock solution، وهذا يتم تخفيفه بالماء إلى التركيز المناسب، وذلك بدلاً من تحضير المحلول المغذى بالتركيز المطلوب من البداية. ولكن يجب أن نراعى نقطتين فى تحضير المحلول المركز هما:

أولاً: عدم حدوث ترسيب لبعض العناصر الغذائية فى المحلول نتيجة لتفاعلها مع عناصر أخرى، ويحدث هذا فى حالة تحضير المحاليل المركزة. فمثلاً زيادة تركيز الكالسيوم عن حد معين يؤدي إلى ترسيب الفوسفات على صورة فوسفات الكالسيوم غير الذائبة، ولذلك يجب أن تراعى مثل هذه التفاعلات عند حساب أقصى تركيزات للعناصر يسمح بها فى المحلول المركز لتلافى عميات الترسيب.

ثانياً: الأملاح التى يحضر منها المحلول المغذى ليست تامة الذوبان فى الماء وإنما معظمها شحيحة الذوبان. فمثلاً ذوبان نترات البوتاسيوم ١٣٪ أى ١٣٠ جرام لكل لتر من الماء، بينما مادة أخرى مثل نترات الكالسيوم تذوب بمعدل ٢٦٦٠ جرام فى اللتر. ولذلك فإن أقصى تركيز ممكن تحضيره من المحلول المغذى المركز يتحكم فيه الملح ذو درجة الذوبان الأقل وعادة ما يكون التركيز فى المحلول المركز ١٠٠ - ٢٠٠ مرة قدر المحلول المغذى.

وكل من هاتين النقطتين يجب مراعاتهما عند تحضير المحلول المركز وعادة ما يتم تحضير محلولين مركزين هما محلول (A) ويحتوى على نترات الكالسيوم والحديد الخلبى ومحلول (B) ويحتوى على باقى الأملاح الأخرى أى يحتوى كل محلول على مجموعة العناصر التى لا تؤثر على بعضها البعض (أى لا ترسب بعضها). ويراعى أن يكون حجم كل محلول من المحلولين المركزين فيما بين ٤٥ - ١٠٠ لتر حتى يمكن تداوله بسهولة. ويفضل أن تكون المادة المصنوع منها الوعاء من البلاستيك غير المنفذ للضوء.

ومن الملاحظات التي لا يجب إهمالها عند تحضير المحاليل المركزة ما يلي:

١ - عند تحضير المحلول المركز (A) تضاف نترات الكالسيوم إلى الماء ويتم التقليب جيداً حتى تمام الذوبان، أما الحديد المخليبي فيتم خلطه جيداً مع كمية قليلة من الماء ثم يضاف إلى محلول نترات الكالسيوم.

٢ - عند تحضير المحلول المركز (B) تضاف أملاح المغذيات الكبرى للماء وتذاب جيداً، أما أملاح العناصر الصغرى فتذاب جميعها (عدا حامض البوريك) في جزء قليل من الماء حتى تمام الذوبان ثم تخلط مع المحلول (B)، أما حامض البوريك فيذاب أولاً في ماء مغلي حتى تمام ذوبانه قبل إضافته إلى المحلول.

٣ - عدم خلط المحلولين المركزين (A) (B) مع بعضها البعض بدون تخفيف وإلا حدث ترسيب لفوسفات الكالسيوم في الحال.

ويبين الجدول رقم (٤ - ٥) الأوزان بالجرام من الأملاح المختلفة لتحضير كل من المحلولين المركزين للمحلول المغذي السابق شرحه. وعند تحضير ١٠٠٠ لتر من المحلول المغذي فإنه يؤخذ فقط ٤,٥ لتر من المحلول المركز (A)، ٤,٥ لتر من المحلول المركز (B) وتضاف معاً إلى ٨٠٠ لتر من الماء ثم يكمل الحجم إلى ١٠٠٠ لتر.

جدول (٤ - ٥): أوزان المواد التي تذاب في ٤٥ لتر من الماء لتعطي المحلولين المركزين من المحلول المغذي [نترات الكالسيوم والحديد المخلبي يمثلان مكونات المحلول (A) وباقي المواد تكون المحلول (B)].

الوزن المطلوب	الملح المستخدم في التحضير ورمزه	
	المحلول (A)	
١٠٠٣٠	Ca (NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	نترات الكالسيوم
٧٩٠	Fe- EDTA	حديد مخلبي
	المحلول (B)	
٥٨٣٠	KNO ₃	نترات البوتاسيوم
٢٦٣٠	KH ₂ PO ₄	فوسفات أحادي البوتاسيوم
٥١٣٠	MgSO ₄ · 7H ₂ O	كبريتات المغنسيوم
٦١	MnSO ₄ · H ₂ O	كبريتات منجنيز
١٧	H ₃ BO ₃	حامض بوريك
٣,٩	CuSO ₄ · 5H ₂ O	كبريتات نحاس
٣,٧	(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	مولبيدات أمونيوم
٤,٤	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	كبريتات زنك

٩ - أمثلة لما يمكن أن يكون عليه تركيب بعض المحاليل المغذية المركزة (كاملة العناصر الصغرى والكبرى)

(أ) باستخدام ماء يسر Soft water

يتم تحضير ثلاثة محاليل مركزة كما يلي:

المحلول المركز (A):

يحضر من	٧,٥ كيلو جرام من نترات الكالسيوم	في ١٠٠ لتر ماء
---------	----------------------------------	----------------

المحلول المركز (B):

في ١٠٠ لتر ماء	٩,٠ كيلو جرام من نترات البوتاسيوم ٣,٠ كيلو جرام من فوسفات أحادي البوتاسيوم ٦,٠ كيلو جرام من كبريتات المغنسيوم ٣٠٠ جرام من الحديد المخلبي ٤٠ جرام من كبريتات المنجنيز ٢٤ جرام من حامض البوريك ٨ جرام من كبريتات النحاس ٤ جرام من كبريتات الزنك ١ جرام من موليبيدات الأمونيوم	يحضر من
----------------	---	---------

المحلول المركز (C):

في ١٠٠ لتر ماء	١٠ لتر من حامض النيتريك	يحضر من
----------------	-------------------------	---------

ويستخدم في ضبط رقم الـ pH للمحلول المخفف.

تركيزات العناصر في المحلول المغذي المخفف (جزء في المليون) بعد التخفيف

بمعدل ١ : ١٠٠

التركيز (PPM)	العناصر الصغرى	التركيز (PPM)	العناصر الكبرى
٤,٥	Fe الحديد	٢١٤	N النيتروجين
١,٠	Mn المنجنيز	٦٨	P الفوسفور
٠,٤	B البورون	٤٣٤	K البوتاسيوم
٠,٢	Cu النحاس	٥٩	Mg المغنسيوم
٠,٠٩	Zn الزنك	١٢٨	Ca الكالسيوم
٠,٠٥	Mo موليبدنم		

ب - باستخدام ماء عسر Hard Water

يتم هنا أيضا تحضير ثلاثة محاليل مركزة كما يلي:

المحلول المركز (A)

يحضر من ماء	٥,٠ كيلو جرام من نترات الكالسيوم	في ١٠٠ لتر ماء
-------------	----------------------------------	----------------

المحلول المركز (B)

يحضر من	٨,٠ كيلو جرام من نترات البوتاسيوم ٤,٠ كيلو جرام من كبريتات البوتاسيوم ٦,٠ كيلو جرام من كبريتات المغنسيوم ٦٠٠ جرام من نترات الأمونيوم ٣٠٠ جرام من الحديد المخليبي ٤٠ جرام من كبريتات المنجنيز ٢٤ جرام من حامض البوريك ٨ جرام من كبريتات النحاس ٤ جرام من كبريتات الزنك ١ جرام من موليبيدات الأمونيوم	في ١٠٠ لتر ماء
---------	--	----------------

المحلول المركز (C)

يحضر من	٦ لتر من حامض النيتريك + ٣ لتر من حامض الفوسفوريك	في ١٠٠ لتر ماء
---------	--	----------------

ويستخدم في ضبط رقم الـ pH للمحلول المخفف.

تركيزات العناصر في المحلول المغذي المخفف (جزء في المليون) بعد التخفيف

بمعدل ١:١٠٠

العناصر الكبرى	التركيز (PPM)	العناصر الصغرى	التركيز (PPM)
N النيتروجين	١٩٢	Fe الحديد	٤,٥
K البوتاسيوم	٤٩٠	Mn المنجنيز	١,٠
Mg المغنسيوم	٥٩	B البورون	٠,٤
Ca الكالسيوم	٨٥	Cu النحاس	٠,٢
		Zn الزنك	٠,٠٩
		Mo موليبدنم	٠,٠٥

- * لاحظ أن تركيز النيتروجين والفوسفور سوف يزداد بإضافة المحلول (C).
- * عدم إضافة الفوسفور في المحلول اعتماداً على ما سوف يضاف من المحلول (C).
- * إذا لوحظ أن الكميات المضافة من المحلول (C) لا تفي باحتياجات النباتات النامية، فإنه -وعلى الفور- يتم إضافة ١,٥ كيلوجرام من فوسفات أحادي البوتاسيوم إلى المحلول (B) وفي المقابل يتم خفض كمية كبريتات البوتاسيوم من ٤,٠ إلى ٣,٠ كيلوجرام.

١٠ - أمثلة للمحاليل المغذية المستخدمة تجارياً في المزارع للأرضية:

اقترح كثير من العلماء العديد من المحاليل المغذية المناسبة من وجهة نظر كل منهم لتغذية النباتات. ولكن هناك بعض الملامح المشتركة لكل هذه المحاليل وهي أن ثلاثة من المغذيات الكبرى وهي الكالسيوم Ca^{++} والمغنسيوم Mg^{++} والبوتاسيوم K^+ توجد على شكل كاتيونات، وثلاثة منها توجد على صورة أنيونات وهي النترات NO_3^- والفوسفات $H_2PO_4^-$ والكبريتات SO_4^{--} . وعلى ذلك فجميع المغذيات يمكن الحصول عليها من ثلاثة أملاح هي: نترات البوتاسيوم KNO_3 وفوسفات الكالسيوم $Ca (H_2PO_4)_2$ وكبريتات المغنسيوم $MgSO_4$ ، ولكن مع ذلك فإنه يفضل استخدام أربعة أملاح بدلاً من ثلاثة حيث يوفر ذلك مرونة أكبر في تعديل تركيز ونسب المغذيات إلى بعضها البعض في المحلول المغذى.

ولكن استخدام الكيماويات النقية في تحضير المحاليل المغذية لا يمكن أن يتم إلا على نطاق ضيق وفي التجارب والأبحاث، بينما في غير ذلك يعتبر أمراً بالغ الصعوبة خاصة إذا كان تحضير المحاليل بغرض استخدامها في الزراعة على مساحات واسعة وبشكل تجارى اقتصادى حيث إن ارتفاع أسعار هذه الكيماويات يحول دون ذلك. لذلك فلا بد من التغلب على هذه المشكلة وتحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية التي تستخدم في تسميد النباتات في الأراضي الزراعية سواء كان ذلك تحت الصوب أو خارجها وإن كان يفضل استخدام الأسمدة الأكثر نقاوة والتي غالباً ما تستخدم تحت ظروف الصوب الزراعية.

وسوف نستعرض فيما يلي كيفية تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة شائعة الاستخدام في الزراعات اللاأرضية في بعض الدول التي تستخدم هذا الأسلوب من الزراعة على نطاق تجارى:

الولايات المتحدة الأمريكية:

(أ) المحلول المستخدم صيفاً:

تركيز العنصر بالجزء في المليون [N = 180 ، P = 63 ، K = 110 ، Ca = 50 ، Mg = 220].

التحضير:

الملاح	الكمية بالجرام لكل 100 لتر
نترات البوتاسيوم	110
كبريتات الكالسيوم (جبس)	76
كبريتات المغنسيوم	52
سوبر فوسفات ثلاثى	31
كبريتات الأمونيوم	14
الوزن الكلى للأملاح المضافة	283

(ب) المحلول المستخدم شتاء:

تركيز العنصر بالجزء في المليون [N = 104 ، P = 63 ، K = 410 ، Ca = 220 ، Mg = 50].

التحضير:

الملاح	الكمية بالجرام لكل 100 لتر
نترات البوتاسيوم	55
كبريتات البوتاسيوم	50
كبريتات الكالسيوم (جبس)	76
كبريتات المغنسيوم	52
سوبر فوسفات ثلاثي	31
كبريتات الأمونيوم	14
الوزن الكلي للأملاح المضافة	278

عن Harris سنة 1983

المملكة المتحدة ، إنجلترا :

(أ) للحلول الأول :

تركيز العنصر بالجزء في المليون [N = 200 ، P = 88 ، K = 200 ، Ca = 200 ، Mg = 50].

التحضير :

الكمية بالجرام بكل ١٠٠ لتر	الملح
٥٥	نترات البوتاسيوم
٦٤	نترات صوديوم
٨٦	كبريتات الكالسيوم «جبس»
٥٢	كبريتات المغنسيوم
٤٤	سوبر فوسفات ثلاثي
١٢	كبريتات الأمونيوم
٣١٣	الوزن الكلى للأملاح المضافة

(ب) المحلول الثانى :

تركيز العنصر بالجزء فى المليون [N = ١٤٥ ، P = ٧٠ ، K = ٩٠ ، Ca = ١٨٠ ، Mg = ٥٨] .

التحضير:

الكمية بالجرام بكل ١٠٠ لتر	الملح
٣١	فوسفات أحادى البوتاسيوم
١٠٧	نترات الكالسيوم
٥٨	كبريتات المغنسيوم
٩	كبريتات الأمونيوم
٣١٣	الوزن الكلى للأملاح المضافة

عن Harris سنة ١٩٨٣

المانيا :

المحلول المستخدم هناك يعرف بمحلول (Knop(1865).

تركيز العنصر بالجزء في المليون [N = 120، P = 45، K = 136، Ca = 136، Mg = 20].

الكمية بالجرام بكل 100 لتر	الملح
20	فوسفات أحادي البوتاسيوم
80	نترات الكالسيوم
20	كبريتات المغنسيوم
20	نترات البوتاسيوم
140	الوزن الكلى للأملاح المضافة

جنوب افريقيا :

(أ) للحلول المستخدم صيفا :

تركيز العنصر بالجزء في المليون [N = 200، P = 94، K = 330، Ca = 330، Mg = 50].

التحضير :

الكمية بالجرام بكل 100 لتر	الملح
135	نترات الكالسيوم
75	كبريتات البوتاسيوم
55	كبريتات المغنسيوم
47	سوبر فوسفات ثلاثي
19	كبريتات الأمونيوم
331	الوزن الكلى للأملاح المضافة

(ب) المحلول المستخدم شتاء :

تركيز العنصر بالجزء في المليون [N = 100، P = 95، K = 380، Ca = 220، Mg = 50] .

التحضير :

الملاح	الكمية بالجرام بكل 100 لتر
نترات الكالسيوم	85
كبريتات البوتاسيوم	88
كبريتات المغنسيوم	55
سوبر فوسفات ثلاثي	47
الوزن الكلى للأملاح المضافة	275

عن Harris سنة 1983

مصر:

قام Sherif وآخرون سنة 1992 بتجهيز المحلول المغذى من الأسمدة التجارية لتوفير العناصر الكبرى بالإضافة إلى الكيماويات المعملية للعناصر الصغرى وذلك بالمعدلات التالية فى 100 لتر من المحلول المغذى :

أولاً : العناصر الكبرى

الملاح	الكمية بالجرام بكل 100 لتر
نترات الكالسيوم	59
كبريتات البوتاسيوم	60
كبريتات الكالسيوم	20
كبريتات المغنسيوم	36
سوبر فوسفات ثلاثي	40
يوريا	30
الوزن الكلى للأملاح المضافة	245

ثانياً : العناصر الصغرى

الكمية بالمليجرام لكل ١٠٠ لتر	الملح
٦٠٠٠	كبريتات الحديدوز
٦٠٠	كبريتات المنجنيز
٤٠	كبريتات النحاس
٤٠	كبريتات الزنك
١٨٠	حامض البوريك
٤٠	مولبيدات الأمونيوم
٦٩٠٠	الوزن الكلى للأملاح المضافة

ليعطى التركيزات التالية للعناصر الغذائية الضرورية اللازمة للنبات :

العنصر	مليمول / لتر	مليجرام/لتر ppm	العنصر	مليمول/لتر	مليجرام/لتر ppm
النيتروجين	١٤,٩	٢٠٨	الحديد	٠,٢١٨	١٢
الفوسفور	٢,٤	٧٥	المنجنيز	٠,٠٣٦	٢
الكبريت	٦,٦	٢١١	الزنك	٠,٠٠٢	٠,١
الكالسيوم	٤,٤	١٧٦	النحاس	٠,٠٠٢	٠,١
البوتاسيوم	٧,٥	٢٩٤	البورون	٠,٠٢٨	٠,٣
المغنسيوم	٢	٥٠	المولبيدغم	٠,٠٠٢	٠,٢

وفى حالة الاحتياج إلى كميات كبيرة من المحلول المغذى فإنه يمكن تحضير محاليل مركزة Stock Solution من نفس الأسمدة وبنفس المعدلات السابقة تركيزاً وتخفيفاً.

١١ - بعض العوامل المؤثرة على تركيب المحلول المغذى :

هناك بعض العوامل التي تؤثر على تركيب المحلول المغذى أهمها :

(أ) الظروف المناخية:

تؤثر الظروف المناخية على نسبة عنصر البوتاسيوم: النيتروجين الواجب توافرها في

المحلول المغذى. ففي أيام الصيف الطويلة والمشمسة تحتاج النباتات إلى كمية أكبر من النيتروجين وكمية أقل من البوتاسيوم وذلك بالمقارنة بأيام الشتاء القصيرة والمعتمة. ولذلك فإنه من المعتاد أن تضاعف نسبة البوتاسيوم إلى النيتروجين في فصل الشتاء.

(ب) نوع النبات المنزوع:

يتأثر اختيار المحلول المغذى بنوع النباتات المنزرعة من حيث هل هو من النباتات الورقية أم غير ذلك. فالنباتات الورقية (الخس - الكرنب) تستفيد أكثر من المحلول المحتوى على تركيز عالٍ من النيتروجين مقارنة بمحصول آخر مثل الطماطم.

(ج) نوع الأيونات المضافة :

بالرغم من أن النبات يمتص النيتروجين على صورة كاتيون أمونيوم NH_4^+ وأنيون نترات NO_3^- بنفس الكفاءة إلا أنه يفضل ألا تزيد نسبة الأمونيوم في المحلول عن ٢٠٪ من الكمية الكلية للنيتروجين. وإضافة النيتروجين الأمونيومى على صورة كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ يساعد في المحافظة على pH المحلول في الجانب الحامضى ويرجع ذلك إلى أن النبات يمتص أيون الأمونيوم بسرعة وسهولة أكثر من أيون الكبريتات. وبقاء هذا الشق الحامضى في المحلول يعمل على عدم ارتفاع رقم الـ pH إلى الجانب القلوى نتيجة امتصاص النبات لأيونات النترات والفوسفات.

(د) سلوك الأيونات في المحلول :

حيث إن الفوسفور في المحلول المغذى يوجد على شكل أيونات $H_2PO_4^-$ فإنه يعمل على ترسيب بعض الأيونات الأخرى وخاصة أيونات المغذيات الصغرى مما يقلل من صلاحيتها للنبات. لذلك فإنه يتم عن عمد جعل تركيز الفوسفور في المحلول المغذى منخفضاً قدر الإمكان

(هـ) قدرة النبات على تحمل تركيزات مرتفعة نسبياً من بعض

العناصر:

يلاحظ في جميع أمثلة المحاليل السابقة أنه لم يذكر تركيز أحد العناصر الكبرى

وهو الكبريت ويرجع السبب في ذلك إلى أن الكبريتات تدخل في كثير من الأملاح المستخدمة في تحضير المحاليل المغذية مما يجعل تركيز الكبريتات في المحلول يتعدى حد الكفاية ويتجه نحو الزيادة إلا أن النباتات لها القدرة في تحمل التركيزات العالية نسبياً من الكبريتات.

(و) حاجة النباتات إلى العناصر الصغرى بكميات ضئيلة :

يجب أن يوضع في الاعتبار أن المغذيات الصغرى سامة جداً للنبات إذا زاد تركيزها عن حد معين ولهذا السبب فإن ضبط تركيزها في المحلول المغذى يجب أن يولى عناية خاصة. ولذلك يفضل تحضير محلول مغذى مركز من العناصر الصغرى كما في الجدول رقم (٤-٦) ويضاف منه ١ لتر لكل ١٠٠ لتر من المحلول المغذى المخفف.

جدول (٤ - ٦) : تحضير المحلول المركز للعناصر الصغرى

المسح	وزن الملح بالجرام / ٢٥ لتر من المحلول المغذى	العنصر	التركيز بالـ ppm بعد التخفيف بنسبة ١ : ١٠٠
حديد مخلبي	٨٠	Fe	٤,٥
كبريتات منجنيز	١٠	Mn	١,٠
حامض البوريك	٤	B	٠,٣
كبريتات النحاس	٠,٨	Cu	٠,٠٨
كبريتات الزنك	٠,٨	Zn	٠,٠٧
موليبيدات الأمونيوم	٠,٢	Mo	٠,٠٤

(ز) التوقيت الشتوى والصيفى واستخدام المحاليل :

يستخدم محلول الشتاء فى الفترة من شهر سبتمبر إلى شهر إبريل تقريباً بينما محلول الصيف يستخدم فى الفترة من شهر مايو إلى شهر سبتمبر تقريباً.

١٢ - خطوات تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية :

- ١ - يتم شراء الأسمدة أولاً والتي توفر في مجموعها كل العناصر الغذائية الأساسية.
- ٢ - توزن الكمية المطلوبة من كل سماد، ثم يتم إذابة كل منها على حدة في حجم كاف من الماء.
- ٣ - نظراً لتفاوت الأسمدة في كمية الشوائب ودرجة النقاوة فتوقع وجود شوائب عالقة ورواسب مثلما يحدث في حالة سوبر فوسفات الكالسيوم الثلاثي أو كبريتات الكالسيوم.
- ٤ - خذ الوقت الكافي في عملية التقليب حتى التأكد من تمام الذوبان.
- ٥ - الأملاح التي سيتم خلطها معاً تخلط في صورة محلول رائق خالي من الرواسب، ولذلك يجب ترشيح المحلول الذائب (عند الخلط) من خلال قطعة من الشاش أو أى وسيلة أخرى والتخلص من الرواسب.
- ٦ - يجب الاحتياط من ألا يزيد الحجم النهائي للمحلول بعد الخلط عن الحجم المطلوب الذي تم على أساسه وزن كميات الأسمدة، بل يجب أن يكون حوالى ٧٠ - ٩٠٪ من الحجم حتى تعطى الفرصة للتقليب وضبط الحجم بدقة.

١٣ - تدريبات وتمارين على كيفية تحضير المحاليل المغذية :

تمرين (١) :

كيف تحضر ١٠ لتر من المحاليل المركزة (A&B) والتي عند تخفيفها بنسبة ١:٢٠٠ نحصل على تركيبات العناصر التالية في المحلول المغذى المخفف مع العلم بأن كل النيتروجين في المحلول موجود على صورة نترات.

ppm 100 = Ca ppm 31 = p ppm 119 = N

ppm 32 = S ppm 24 = Mg ppm 176 = K

الحل :

(أ) يحسب تركيز كل عنصر بالملييمكافئ/ لتر في المحلول المغذي المخفف كما يلي:

$$\text{عدد الملييمكافئات} = \text{عدد الملييجرامات} \div \text{الوزن المكافئ}$$

مع ملاحظة أن يتم حساب عدد ملييمكافئات كل من النيتروجين والفسفور بالقسمة على الوزن الذري وليس الوزن المكافئ وذلك باعتبار أن النيتروجين سوف يدخل في الحساب بعد ذلك كأيون نترات أو أمونيوم أحادي التكافؤ وكذلك الفسفور في مجموعة H_2PO_4 أحادية التكافؤ.

$$5 = 20 \div 100 = Ca \quad 1 = 31 \div 31 = P \quad 8,5 = 14 \div 119 = N$$

$$2 = 16 \div 32 = S \quad 2 = 12 \div 24 = Mg \quad 4,5 = 39 \div 176 = K$$

(ب) يتم تحديد نوع الملح المستخدم وتركيز كل منها بالملييمكافئ/ لتر كما يلي:

الأنيونات بالملييمكافئ/ لتر			الكاتيونات بالملييمكافئ/ لتر		
SO_4^{--}	$H_2PO_4^-$	NO_3^-	Mg^{++}	K^+	Ca^{++}
-	5	5	-	5	5
-	-	3,5	-	3,5	-
-	1	-	-	1	-
2	-	-	2	-	-

(ج) تكوين الأملاح:

١ - نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ٥,٠ ملييمكافئ/لتر = ٢,٥ مليمول/لتر.

٢ - نترات البوتاسيوم KNO_3 ٣,٥ ملييمكافئ/لتر = ٣,٥ مليمول/لتر.

٣ - فوسفات أحادي البوتاسيوم KH_2PO_4 ١,٠ ملييمكافئ/لتر = ١,٠ مليمول/لتر.

٤ - كبريتات المغنسيوم $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ٢,٠ ملييمكافئ/لتر = ١,٠ مليمول/لتر.

د- يحسب الوزن بالجرام لكل ملح في اللتر من المحلول المخفف:

$$\text{الوزن بالجرام} = \text{عدد المليمولات} \times [\text{الوزن الجزيئي} \div 1000]$$

١- نترات الكالسيوم = $2,5 \times 0,236 = 0,590$ جرام / لتر

٢- نترات البوتاسيوم = $3,5 \times 0,101 = 0,353$ جرام / لتر

٣- فوسفات أحادي البوتاسيوم = $1,0 \times 0,136 = 0,136$ جرام / لتر

٤- كبريتات المغنسيوم = $1,0 \times 0,246 = 0,246$ جرام / لتر

هـ- يحسب الوزن بالجرام لكل ملح في ١٠ لتر من المحلول المركز
A&B كما يلي:

$$\text{الوزن بالجرام} / 10 \text{ لتر} = \text{عدد الجرامات في اللتر من المحلول} \\ \text{المخفف} \times \text{التخفيف} \times 10$$

محلول A نترات الكالسيوم $0,590 \times 200 \times 10 = 1180$ جرام

محلول B نترات البوتاسيوم $0,353 \times 200 \times 10 = 706$ جرام

فوسفات أحادي البوتاسيوم $0,136 \times 200 \times 10 = 272$ جرام

كبريتات المغنسيوم $0,246 \times 200 \times 10 = 492$ جرام

تصمين (٢):

كيف تحضر متر مكعب من محلول مغذي يحتوي علي تركيزات العناصر التالية علي أن يكون ١٣٪ من النيتروجين في المحلول على صورة أمونيوم والباقي علي صورة نترات.

$$\text{ppm } 160 = \text{Ca} \quad \text{ppm } 62 = \text{P} \quad \text{ppm } 224 = \text{N}$$

$$\text{ppm } 32 = \text{S} \quad \text{ppm } 24 = \text{Mg} \quad \text{ppm } 235 = \text{K}$$

الحل:

أ- حساب تركيز كل عنصر بالملييمكافى/ لتر

$$A=20 \div 160 = Ca \quad 2=31 \div 62 = P \quad 16=14 \div 224 = N$$

$$2=16 \div 32 = S^- \quad 2=12 \div 24 = Mg^- \quad 6=39 \div 230 = K$$

وعدد ملييمكافئات النيتروجين = 16 ملييمكافى/ لتر منها 13% علي صورة
أمونيوم = 2 ملييمكافىء

ب- تعيين نوع الأملاح وتركيز كل منها:

الأيونات بالملييمكافى/ لتر			الكاتيونات بالملييمكافى/ لتر			
SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Mg ⁺⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	NH ₄ ⁺
2	-	-	2	-	-	-
-	-	8	-	-	8	-
-	-	4	-	4	-	-
-	2	-	-	3	-	-
-	-	2	-	-	-	2

ج - تكوين الأملاح:

- 1 - نترات الكالسيوم Ca(NO₃)₂ · 4H₂O 8,0 ملييمكافىء/ لتر = 4,0 ملييمول / لتر.
- 2 - نترات البوتاسيوم KNO₃ 4,0 ملييمكافىء/ لتر = 4,0 ملييمول / لتر.
- 3 - فوسفات أحادى البوتاسيوم KH₂PO₄ 2,0 ملييمكافىء/ لتر = 2,0 ملييمول / لتر.
- 4 - كبريتات المغنسيوم MgSO₄ · 7H₂O 2,0 ملييمكافىء/ لتر = 1,0 ملييمول / لتر.
- 5 - نترات الأمونيوم NH₄NO₃ 2,0 ملييمكافىء/ لتر = 2,0 ملييمول / لتر.

د - يحسب الوزن بالجرام لكل ملح فى المتر المكعب من المحلول:

$$\text{الوزن بالجرام} = \text{عدد المليمولات} \times [\text{الوزن الجزيئى} \div 1000] \times 1000$$

١ - نترات الكالسيوم = $4,0 \times 0,236 \times 1000 = 944$ جرام/ متر مكعب

٢ - نترات البوتاسيوم = $4,0 \times 0,101 \times 1000 = 404$ جرام/ متر مكعب

٣ - فوسفات أحادى البوتاسيوم = $2,0 \times 0,136 \times 1000 = 272$ جرام/ متر مكعب

٤ - كبريتات المغنسيوم = $1,0 \times 0,246 \times 1000 = 246$ جرام/ متر مكعب

٥ - نترات الأمونيوم = $2,0 \times 0,800 \times 1000 = 160$ جرام/ متر مكعب

تصمين (٣): كيف تحضر متر مكعب من محلول مغذى يحتوى على تركيزات العناصر التالية (بالجزء فى المليون) مع الأخذ فى الاعتبار تركيزات العناصر الموجودة فى المياه التى يحضر منها المحلول.

العنصر	التركيز فى ppm المحلول	العنصر	التركيز بـ ppm فى الماء المستخدم فى التحضير
N النيتروجين	١١٩	النيروجين النتراتى NO ₃ - N	٢٠
P الفوسفور	٣١	الفوسفور P	٠,١
Ca الكالسيوم	١٠٠	الكالسيوم Ca	٩٤
K البوتاسيوم	١٧٦	البوتاسيوم K	١١
Mg المغنسيوم	٢٤	المغنسيوم Mg	٢٠
S الكبريت	٣٢	الكبريتات SO ₄	٢٤

الحل:

أ - حساب تركيز العناصر بالملييمكافىء/ لتر بعد خصم ما هو موجود فى مياه الري ويتم ذلك بطريقتين (إما بطرح تركيزات العناصر فى ماء الري وهى على صورة ppm ثم يحسب عدد الملييمكافئات أو يحسب عدد الملييمكافئات للعناصر فى كل من المحلول وماء الري ثم يتم الطرح):

تذكر أن: عدد الملييمكافئات = عدد الملييجرامات ÷ الوزن المكافىء

العنصر	ملييمكافئات/ لتر المطلوبة فى المحلول	ملييمكافئات/ لتر الموجودة فى ماء الري	ملييمكافئات/ لتر المتبقية لإستكمال المطلوب فى المحلول
N النيتروجين	١١,٤	١,٤	١٠,٠
P الفوسفور	١,٥	--	١,٥
Ca الكالسيوم	٦,٨	٤,٧	٢,١
K البوتاسيوم	٥,٥	٠,٣	٥,٢
Mg المغنسيوم	٢,٠	١,٧	٠,٣
S الكبريت	٢,٠	٠,٥	١,٥

تعيين نوع الأملاح وتركيز كل منها:

الأيونات بالملييمكافىء/ لتر			الكاتيونات بالملييمكافىء/ لتر			
SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Mg ⁺⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	NH ₄ ⁺
-	١,٥	3	-	١,٥	-	-
٠,٣	-	-	٠,٣	-	-	-
١,٢	-	-	-	-	-	١,٢
-	-	-	-	-	٢,١	-
-	-	٢,١	-	٣,٧	-	-
-	-	٣,٧	-	-	-	١,٥

ج - تكوين الأملاح:

المرحوم / لتر مكعب	مليمول / لتر	مليمكافحات / لتر	المرح
٢٤٧,٨	١,٠٥	٢,١	نترات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
٣٧٣,٧	٣,٧	٣,٧	نترات البوتاسيوم KNO_3
٢٠٤,٠	١,٥	١,٥	فوسفات أحادي البوتاسيوم KH_2PO_4
٣٦٩,٠	٠,١٥	٠,٣	كبريتات المغنسيوم $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
٧٩,٢	٠,٦	١,٢	كبريتات الأمونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
١٢٠,٠	١,٠	١,٥	نترات الأمونيوم NH_4NO_3

ملاحق

جدول (١): التركيب الكيميائي للأسمدة.

المادة السمادية	الرمز الكيميائي	التروجين الكلي N%	الفوسفور الصالح P ₂ O ₅ %	البوتاسيوم الذئب K ₂ O%
Ammonium nitrate	NH ₄ NO ₃	33.5-34		
Ammonium nitrate, sulfate	NH ₄ NO ₃ · (NH ₄) SO ₄	30		
Monoammonium phosphate	NH ₄ H ₂ PO ₄	11	48	
Ammonium, phosphate-sulfate	NH ₄ H ₂ PO ₄ · (NH ₄) ₂ SO ₄	13	39	
Ammonium phosphate, sulfate	NH ₄ H ₂ PO ₄ · (NH ₄) ₂ SO ₄	16	20	
Ammonium, phosphate-nitrate	NH ₄ H ₂ PO ₄ · NH ₄ NO ₃	27	12	
Diammonium phosphate	(NH ₄) ₂ HPO ₄	16-18	46-48	
Ammonium sulfate	(NH ₄) ₂ SO ₄	21		
Anhydrous ammonia	NH ₃	82		
Aqua ammonium	NH ₄ OH	20		
Calcium ammonium nitrate solution	Ca (NO ₃) ₂ · NH ₄ NO ₃	17		
Calcium nitrate	Ca (NO ₃) ₂	15.5		
Calcium cyanamide	Ca CN ₂	20-22		
Sodium nitrate	NaNO ₃	16		
Urea	CO(NH ₂) ₂	45-46		
Urea formaldehyde+		38		
Single superphosphate	Ca (H ₂ PO ₄) ₂		18-20	
Tripe superphosphate	Ca (H ₂ PO ₄) ₂		45-46	
Phosphoric acid	H ₃ PO ₄		52-54	
Potassium chloride	KCl			60-62
Potassium nitrate	KNO ₃	13		44
Potassium sulfate	K ₂ SO ₄			50-53
Sulfate of potashmagnesia	K ₂ SO ₄ · 2MgSO ₄			22

جدول (٢): ملخص لبعض خصائص أسمدة العناصر الكبرى المستخدمة في المزارع الأراضية

المادة السمادية	الرمز الكيميائي والوزن الجزيئي*)	نسبة الذوبان من السماد إلى الماء	درجة النقاوة %	السعر وملاحظات أخرى
Ammonium nitrate**	NH ₄ NO ₃ (80.05)	1:1	98	متوسط
Monoammonium** phosphate	NH ₄ H ₂ PO ₄ (115)	1:4	98	متوسط
Diammonium** phosphate	(NH ₄) ₂ HPO ₄ (132.1)	1:2		متوسط
Ammonium** sulfate	(NH ₄) ₂ SO ₄ (132.2)	1:2	94	متوسط
Calcium nitrate	Ca (NO ₃) ₂ (164.1)	1:1	90	منخفض
Calcium sulfate	CaSO ₄ (172.2)	1:500	variable	منخفض
Magnesium sulfate	MgSO ₄ (246.5)	1:2	45	منخفض
Phosphoric acid	H ₃ PO ₄ (98.0)	solution		مرتفع
Calcium chloride	Ca (Cl) ₂ (219.1)	1:1	75	مرتفع ويستخدم في عدم وجود NaCl
Single superphosphate	Ca (H ₂ PO ₄) ₂ (252.1)	1:60	92	منخفض
Triple superphosphate	CaH ₄ (PO ₄) ₂ (variable)	1:300	variable	منخفض ممتاز - سعره
Potassium phosphate	KH ₂ PO ₄ (136.1)	1:3	98	مرتفع جداً
Potassium chloride	KCl (74.55)	1:3	95	مرتفع ويذاب في الماء الساخن
Potassium nitrate	KNO ₃ (101)	1:4	95	منخفض وسريعة الذوبان
Potassium sulfate	K ₂ SO ₄ (174.3)	1:15	90	منخفض

* الوزن الجزيئي في الجدول يشمل عدد جزيئات الماء المرتبطة بالمركب.

** أملاح الأمونيوم لا تستخدم إلا تحت ظروف الإضاءة الجيدة أو في حالة تصحيح نقص عنصر النيتروجين في المحلول المغذى.

جدول (٣): ملخص لبعض خصائص أسمدة العناصر الصغرى المستخدمة في المزارع اللاأرضية

المادة السمادية	الرمز الكيميائي والوزن الجزيئي*	نسبة الذوبان من السماد إلى الماء	السعر وملاحظات أخرى
Ferrous sulfate	FeSO ₄ (278.0)	1:4	
Ferric chloride	FeCl ₃ (270.3)	1:2	
iron chelate (10.5% Fe)	FeEDTA (382.1)	Highly soluble	سعره مرتفع إلا أنه أفضل مصادر الحديد ويناب في الماء الساخن سعره
Boric acid	H ₃ BO ₃ (61.8)	1:2	مرتفع إلا أنه أفضل مصادر البورون ويناب في الماء الساخن
Sodium tetraborate (Borax)	Na ₂ B ₄ O ₇ (1381.4)	1:25	
Copper sulfate	CuSO ₄ (249.7)	1:5	منخفض
Manganes sulfate	MnSO ₄ (223.1)	1:2	منخفض
Manganes chloride	MnCl ₂ (197.9)	1:2	منخفض
Zinc sulfate	ZnSO ₄ (287.6)	1:3	منخفض
Zince chloride	ZnCl ₂ (136.3)	1:1.5	منخفض
Ammonium molybodate	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ (1163.9)	1:2.3 Highly soluble	مرتفع نوعاً
Zinec chelate	ZnEDTA (431.6)	Highly soluble	مرتفع
Manganese chelate	MnEDTA (381.2)	Highly soluble	مرتفع

* الوزن الجزيئي في الجدول يشمل عدد جزيئات الماء المرتبطة بالمركب.

جدول (٤): كيفية التحويل بين الصور المختلفة للعنصر أو المركب الكيميائي

صور العنصر أو المركب	صور العنصر أو المركب	للتحويل من صورة لأخرى يتم الضرب في القيم المقابلة	
		From (A) to (B) Multiply	From (B) to (A) Multiply
الصورة (A)	الصورة (B)		
Ammonia [NH ₃]	Nitrogen (N)	0.8224	1.2159
Nitrate [NO ₃]	Nitrogen (N)	0.2259	4.4266
Protein[Crude]	Nitrogen (N)	0.1600	6.2500
Ammonium nitrate[NH ₄ NO ₃]	Nitrogen (N)	0.3500	2.8572
Ammonium sulfate [(NH ₄) ₂ SO ₄]	Nitrogen (N)	0.2120	4.7168
Calcium nitrate [Ca (NO ₃) ₂]	Nitrogen (N)	0.1707	5.8572
Potassium nitrate (KNO ₃)	Nitrogen (N)	0.1386	7.2176
Monoammonium phosphate (NH ₄ H ₂ PO ₄)	Nitrogen (N)	0.1218	8.2118
Diammonium phosphate [(NH ₄) ₂ HPO ₄]	Nitrogen (N)	0.2121	4.7138
Urea [NH ₂] ₂ CO]	Nitrogen (N)	0.4665	2.1437
Phosphoric acid [P ₂ O ₅]	Phosphorous (P)	0.4364	2.2914
Phosphate [PO ₄]	Phosphorous (P)	0.3261	3.0662
Monoammonium phosphate [NH ₄ H ₂ PO ₄]	Phosphorous (P)	0.6170	1.6207
Diammonium phosphate [(NH ₄) ₂ HPO ₄]	Phosphoric acid (P ₂ O ₅)*	0.5374	1.8607
Potash [K ₂ O]	Potassium (K)	0.8301	1.2046
Muriate of potash [KCl]	Potash (K ₂ O)	0.6317	1.5828
Sulphate of potash [K ₂ SO ₄]	Potash (K ₂ O)	0.5405	1.8499
Potassium nitrate [KNO ₃]	Potash (K ₂ O)	0.4658	2.1466
Gypsum [CaSO ₄ . 2H ₂ O]	Calcium (Ca)	0.2326	4.3000
Calcium carbonate [Ca CO ₃]	Calcium (Ca)	0.4004	2.4973
Gypsum [CaSO ₄ . 2H ₂ O]	Sulfur (S)	0.1860	5.3750

تابع جدول (٤): كيفية التحويل بين الصور المختلفة للعنصر
أو المركب الكيميائي

صور العنصر أو المركب	صور العنصر أو المركب	للتحويل من صورة لأخرى يتم الضرب في القيم المقابلة	
		From (A) to (B) Multiply	From (B) to (A) Multiply
الصورة (A)	الصورة (B)		
Sulfate [SO ₄]	Sulfur (S)	0.3333	3.000
Ammonium sulfate [NH ₄] ₂ SO ₄]	Sulfur (S)	0.2426	4.1211
Potassium sulfate [K ₂ SO ₄]	Sulfur (S)	0.1837	5.4438
Sulfuric acid [H ₂ SO ₄]	Sulfur (S)	0.3269	3.0059
Magnesium sulfate [Mg ₂ SO ₄]	Sulfur (S)	0.3190	3.1350
Magnesium sulfate [Mg ₂ SO ₄]	Magnesium (Mg)	0.2020	4.9501
Epsom salts [Mg ₂ SO ₄ 7H ₂ O]	Magnesium (Mg)	0.0987	10.1356
Magnesium oxide [MgO]	Magnesium (Mg)	0.6032	1.6579
Borax [Na ₂ BO ₇ . 10H ₂ O]		0.1134	8.8129
Copper sulfate [CuSO ₄ . 5H ₂ O]	Boron (B)	0.2547	3.9293
Ferric sulfate [Fe ₂ (SO ₄) ₃]	Copper (Cu)	0.2793	3.5804
Ferrous sulfate [FeSO ₄]	Iron (Fe)	0.3676	2.7203
Ferrous sulfate [FeSO ₄ . 7H ₂ O]	Iron (Fe)	0.2009	4.9776
Manganes sulfat	Iron (Fe)	0.3638	2.7486
Manganese sulfate [MnSO ₄]	Manganese (Mn)	0.2463	4.0602
Manganese sulfate [MnSO ₄ . 4H ₂ O]	Manganese (Mn)		
Sodium molybdate [Na ₂ MoO ₄ . 2H ₂ O]	Molybdenum (MO)	0.3965	2.5218
Zinc oxide [ZnO]	Zinc (Zn)	0.8034	1.2447
Zinc sulfate [ZnSO ₄]	Zinc (Zn)	0.050	2.4693
Zinc sulfate [ZnSO ₄ . H ₂ O]	Zinc (Zn)	0.3643	2.7449