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.