هیدروپونیک (سیستم های کشت بدون خاک)

امیرحسین خوش گفتارمنش

دانشگاه صنعتی اصفهان-۱۴۰۳

منابع

خوشگفتارمنش، ا.ح. مدیریت تغذیه گیاهان گلخانه ای، 1393. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.

خوشگفتارمنش، ا.ح.، 1386، هیدروپونیک (روش کشت بدون خاک). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان

هاشمی مجد، ک.، 1381، مدیریت کشت بدون خاک. انتشارات باغ اندیشه.

سایر منابع

- ABC of nutrient film technique (NFT). 1999. Growers books. 49 Doughty St., London, WCIN 2BR.
- Butler, J.D., and N.F. Oebker. 2005. Hydroponics as a hobby-growing plants without soil. Circular 844. Information Office, College of Agriculture, University of Illinois, Urbana. Il. 61801.
- Gruda, N. 2005. Impact of environmental factor on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. Crit. Rev. Plant Sci. 24:227-274.
- Marr, C.W. 2005. Hydroponic systems. Kansas State University, Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Savvas, D. 2003. Hydroponics: A modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. Food, Agriculture, and Environment. 1:80-86.
- Raviv, M., and J.J. Lieth. 2008. Soilless culture: Theory and practice. Elsevier BV, San Diego, CA. 625 p.
- Roberto, K. 2003. How to hydroponics. 4th edition. The Futuregarden Press. NY.
- Scwarz, M. 2002. Soilless culture management. Springer Press. No. 24.

فلسفه گسترش صنعت گلخانه

- **در گذشته** تولید محصولات گلخانه-ای عمدتاً بسته به تقاضای بازار: شامل میوه‌های زودرس و سبزیجات

- با پیشرفت گلخانه‌ها، تولید محصولاتی که در شرایط آب و هوایی گرم و سرد شمال غرب اروپا به سختی رشد می‌کنند نیز انجام شد.

- ابتدا، گلخانه‌ها فقط در اقلیم دارای شرایط متعادل احداث می‌شد:
  - دمای هوا زیر صفر درجه نباشد تا از یخ-زدگی محصولات در زمستان جلوگیری شود و
  - دمای هوا در تابستان افزایش زیادی نداشته باشد.
- بنابراین گلخانه‌ها در ابتدا در مناطق ساحلی و جزیره‌ها گسترش یافت (مثلاً جزایر بریتانیا)

توسعه گلخانه ها

- رقابت تولیدات روباز (مزرعه ای):
  - قیمت رقابتی
  - گسترش صنعت انبارداری، حمل و نقل و سردخانه ها
  - مصرف انرژی
  - مصرف آب
  - عملکرد اقتصادی
  - کیفیت محصول

توسعه گلخانه ها: مثال از گذشته اروپا

- بعد از جنگ جهانی دوم، با پیشرفت صنعت، بهبود وضعیت حمل و نقل و جابجایی: صنعت گلخانه در شمال غرب اروپا بسیار تحت تأثیر رقابت با تولیدات مزرعه-ای کشورهای مدیترانه-ای قرار گرفت.

- اعتقاد کارشناساندر آن زمان: عدم توان رقابتی گلخانه‌های شمال غرب اروپا با تولیدات مزرعه-ای در مناطق مدیترانه-ای
- در واقع این طور پیش-بینی شده بود که با پیشرفت سیستم-های حمل و نقل و گسترش تولید سبزیجات مزرعه-ای در کشورهای آمریکای شمالی، به راحتی این سبزیجات با قیمت مناسب در بازارهای اروپایی توزیع می-شوند.

- این پیش بینی درست نبود: برعکس، در اواخر قرن ۲۰ گلخانه‌های پرورش گل به عنوان یک تجارت در سراسر دنیا گسترش یافت و در قرن ۲۱ افزایش یافت

توسعه پرورش گل در گلخانه

- گسترش تولید گل‌های زینتی در گلخانه-ها به ویژه در کشورهای صنعتی در اواخر قرن بیستم به دلیل **توسعه سیستم-های سرمایش و گرمایش**

- **محور طراحی گلخانه و به ویژه سیستم های سرمایش و گرمایش:**
  - توسعه پایدار سیستم-های گلخانه
  - بهبود کیفیت محصولات تولیدی
  - کاهش آلودگی-های زیست-محیطی
  - کاهش مصرف انرژی
  - کاهش استفاده از مواد شیمیایی مانند آفت کش‌ها
  - کاهش هدر روی عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و فسفر
  - افزایش عملکرد محصول،
  - ذخیره انرژی خارج از فصل،
  - استفاده مجدد از زه-آب برای تغذیه گیاهان
  - کنترل زیستی آفات و بیماری‌ها

برخی از عوامل گسترش گلخانه‌ها در دنیا (از حدوداً نیمه دوم قرن بیستم)

- **– توسعه سازه-های گلخانه‌ای:**
  - سازه-های فلزی جایگزین سازه-های شیشه-ای ساده و چوبی شد.
  - در سازه-های فلزی، امکان نصب سیستم‌های گرمایش و سرمایش ویژه و کنترل خودکار شرایط محیطی داخل است.
- **– تولید ارقام جدید گیاه ویژه کشت-های گلخانه-ای و افزایش تنوع محصولات:**
  - تولید این ارقام باعث افزایش محصول، بهبود کیفیت و ایجاد تنوع در یک محصول شد.
- **-بکارگیری سیستم‌های پیشرفته کنترل شرایط محیطی، آبیاری، کوددهی، کنترل زیستی آفات و بیماری‌ها.**
- **استفاده از بسترهای کشت برای کنترل بهتر وضعیت محیط ریشه:**
  - حجم کوچک محیط ریشه در این بسترها باعث مدیریت بهتر ویژگی-های رشد و جذب عناصر می‌شود.
- **امکان تغییر زمان عرضه محصول به بازار، متناسب با شرایط موجود**
- **امکان رقابت تولیدات گلخانه-ای از لحاظ بازارپسندی با محصولات مزرعه ای.**
- **امکان افزایش تولید محصول و کاهش هزینه‌ها در گلخانه.**

چالش ها و پرسش های کلیدی

- نوع گلخانه: خاکی یا هیدروپونیک؟
- بستر کاشت؟
- حداقل سطح گلخانه برای تولید اقتصادی؟
- نوع کشت؟ (سبزیجات برگی، میوه ای، گیاهان دارویی، گیاهان زینتی، علوفه،..)
- جایابی؟
- مدیریت به ویژه مدیریت تغذیه گیاه؟

- جنس گلخانه و تجهیزات داخلی؟
- ارتفاع گلخانه؟

کوددهی در گلخانه

- هزینه پایین کوددهی در گلخانه‌ها به نسبت سایر سیستم ها
- فقط درصد کمی از کل هزینه‌ها

از نقطه نظر اقتصادی دلیلی برای مصرف بهینه کود جهت تغذیه گیاهان وجود ندارد.

وضعیت در کشورهای اروپایی

- مصرف بی رویه کودهای شیمیایی در گلخانه‌ها در گذشته

عدم محدودیت از نظر ورود بیش از حد عناصر غذایی به محیط زیست

توجه به آلودگی محیط زیست در دهه‌های آخر قرن بیستم

تصویب قوانین متناسب برای کاهش آلودگی

توازن آب و نیتروژن در گوجه-فرنگی گلخانه-ای در شرایط زه‌کش آزاد

مقادیر آب بر حسب-مترمکعب در هکتار در سال و مقادیر نیتروژن بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال

	کشت خاکی		کشت در بستر هیدروپونیک	
عوامل	آب	نیتروژن	آب	نیتروژن
مجموع	۱۲۹۵۰	۲۲۶۹	۹۶۹۱	۱۹۳۵
جذب شده توسط گیاه	۶۷۰۰	۶۰۹	۷۶۰۰	۱۱۱۰
تخلیه شده توسط زه‌کشی	۶۲۵۰	۱۳۴۴	۲۰۹۱	۸۲۵
فاکتور باقیمانده	۰	۳۱۶	۰	۰
کارایی	۲۵/۰	۲۷/۰	۷۸/۰	۵۷/۰

وضعیت در ایران

نامطلوب بودن مدیریت مصرف کود در گلخانه ها

برهم خوردن تعادل عناصر غذایی

مشکلات زیست محیطی

مشکلات سلامت مصرف کنندگان

برخی از ویژگی-های خاک گلخانه های فلفل دلمه ای و خیار استان قم (۱۳۸۶)

ویژگی	بیشینه	کمینه	میانه	میانگین
پ-هاش	8	6.8	7.6	7.6
قابلیـت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	31.46	3.52	14.30	14.88
آهک (درصد)	22	8	12	15
فسفر اصطلاحا قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	293	29	70	116
پتاسیم اصطلاحا قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	1980	377	957	1063
آهن اصطلاحا قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	14.44	1.44	4.28	5.40
منگنز اصطلاحا قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	44.50	5.22	11.30	16.61
مس اصطلاحا قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	8.63	0.36	1.00	1.88
روی اصطلاحا قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	67.20	0.98	5.40	13.94

مثال: آزمون خاک یک گلخانه فلفل دلمه ای استان قم

آزمایشگاه تخصصی خاک، گیاه، آب و کود آرشام

عضو شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی معاونت فناوری ریاست جمهوری و همکار سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

"با مجوز رسمی از سازمان جهاد کشاورزی و نظام مهندسی کشاورزی"

عمق خاک	pH	بافت	اجزای بافت خاک			ماده آلی	کربن آلی	آهک معادل	نیتروژن کل	فسفر قابل استفاده ***	پتاسیم قابل استفاده ****
			رس	سیلت	شن						
(cm)			(%)							(mg kg^{-1})	
0-30	7.2	لومی رسی شنی Sandy Clay Loam	21.7	4.0	74.3	9.96	5.77	15.5	0.517	179	1694

عمق خاک	قابلیت هدایت الکتریکی (EC)	مجموع کلسیم و منیزیم	سدیم	کلر	نسبت جذب سدیم (SAR)
(cm)	(dS m^{-1})	(meq L^{-1})			
0-30	14.4	173	48.8	84	3.7

عمق خاک	آهن	روی	مس	منگنز	
(cm)	(mg kg^{-1})				
0-30	24.91	22.80	3.89	29.8	

مثال: آزمون برگ گوجه فرنگی گلخانه –استان قم

عنصر	مقدار	واحد	گستره بهینه	کمبود	کم	کفایت	بالا	سمیت
نیتروژن	4.3	درصد	3.5-4.0					
فسفر	0.67	درصد	0.40-0.60					
پتاسیم	5.8	درصد	2.8-4.0					
کلسیم	1.7	درصد	1.0-2.0					
منیزیم	0.9	درصد	0.4-1.0					
آهن	255.5	میلی-گرم بر کیلوگرم	50-200					
روی	67.5	میلی-گرم بر کیلوگرم	25-60					
مس	9.5	میلی-گرم بر کیلوگرم	8-20					
منگنز	123.5	میلی-گرم بر کیلوگرم	50-125					
بر	71	میلی-گرم بر کیلوگرم	35-60					
سدیم	1.6	درصد	-	گستره قابل قبول (حد مشخصی گزارش نشده است)				

مدیریت کوددهی در گلخانه

پایین بودن هزینه کوددهی در گلخانه‌ها برخلاف بسیاری از سیستم های تولید

معمول بودن مصرف بی رویه کودهای شیمیایی در گلخانه‌ها

ورود مقادیر زیادی از عناصر غذایی مصرف شده به صورت کود به آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی اطراف گلخانه‌ها مانند کانال‌ها، رودخانه‌ها و نهرها

آلودگی محیط زیست و سلامت مصرف کنندگان

لزوم مدیریت صحیح کوددهی

عوامل موثر بر همبستگی بین عملکرد و جذب عناصر غذایی

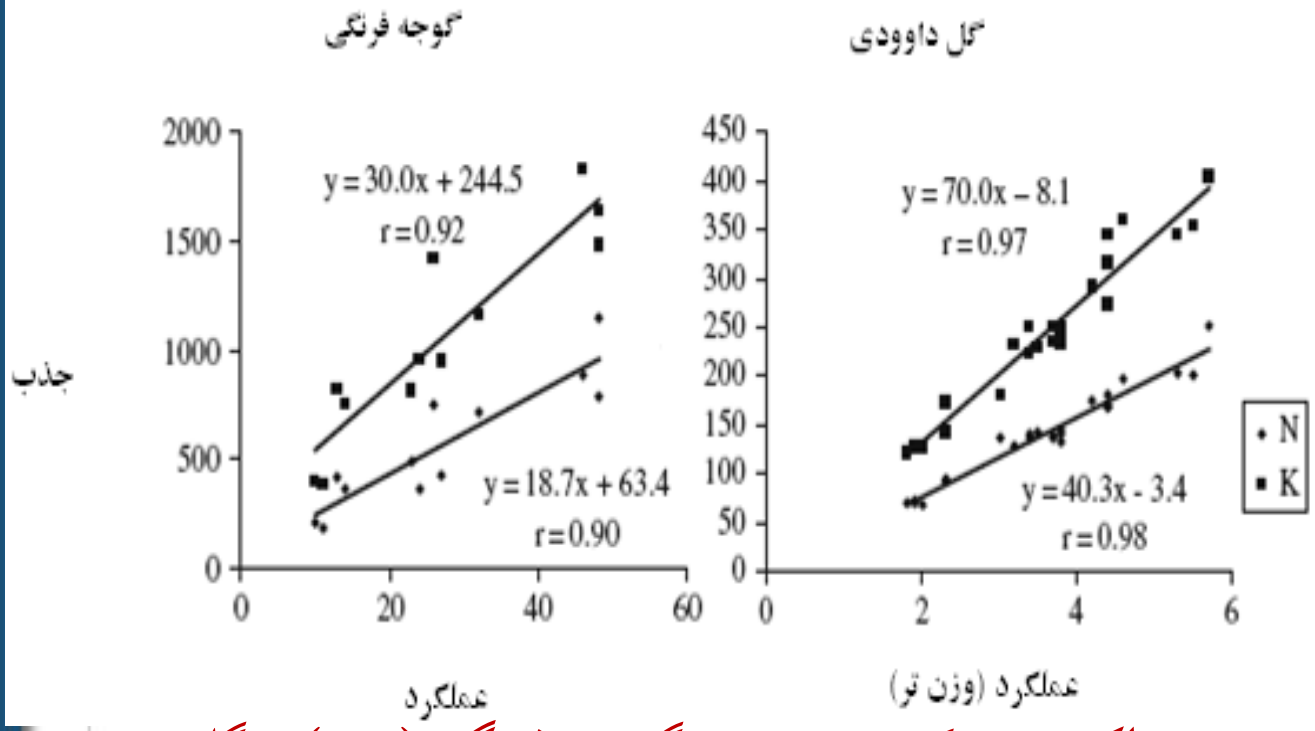
نوع گیاه،

غلظت عناصر خاک

دوره رشد

مقدار عملکرد

برهمکنش عناصر



همبستگی بین عملکرد (کیلوگرم در متر مربع) گوجه-فرنگی (میوه) و گل داوودی(کل اندام هوایی) و مقدار جذب نیتروژن و پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)

اغلب غلظت عناصر بستر بیش از نیاز گیاه است ولی تأثیری بر جذب این عناصر توسط گیاه ندارد.

تاثیر مفهوم رشد و دوره رشد بر مقدار جذب عناصر توسط گیاه

گل داوودی: وزن کل اندام هوایی

گوجه فرنگی: میوه

دوره رشد گل داوودی در گلخانه بسیار کوتاهتر از گوجه-فرنگی
در برخی گلخانه‌ها دوره رشد گوجه-فرنگی و گل داوودی به ترتیب ۱۱ و ۳ ماه است.

در یک دوره رشد (یک-ساله) گوجه-فرنگی می‌توان ۴ بار گل داوودی کشت کرد. بنابراین:

مقدار نیتروژن و پتاسیم برداشت شده توسط گوجه-فرنگی در یک دوره رشد: حدود ۱۱۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار
مقدار نیتروژن و پتاسیم برداشت شده توسط در گل داوودی به ۷۰۰ کیلوگرم نیتروژن و ۱۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار کاهش می‌یابد.

تفاوت تغذیه گیاهان گلخانه ای و مزرعه ای

- جذب بالاتر عناصر غذایی توسط گیاهان گلخانه-ای در مقایسه با گیاهان مزرعه
- نسبت بین عناصر نیز در گیاهان گلخانه-ای متفاوت از گیاهان مزرعه-ای است

نسبت مولی بین عناصر:

- برای رشد مناسب گیاه، نسبت مولی بین عناصر بسیار مهم است
- این نسبت بسته به نوع و رقم گیاه متفاوت است

مقایسه غلظت- عناصر غذایی بر حسب نسبت مولی جذب شده توسط برخی از محصولات گلخانه-ای و مزرعه-ای

عنصر	مزرعه-ای	خیار	کاهو	گل رز
نیتروژن	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
پتاسیم	۲۵۰۰۰۰	۵۶۸۰۰۰	۶۰۴۰۰۰	۳۵۹۰۰۰
کلسیم	۱۲۵۰۰۰	۲۴۸۰۰۰	۱۶۸۰۰۰	۱۷۴۰۰۰
منیزیم	۸۰۰۰۰	۸۲۰۰۰	۵۲۰۰۰	۵۷۰۰۰
فسفر	۶۰۰۰۰	۹۲۰۰۰	۹۴۰۰۰	۷۶۰۰۰
گوگرد	۳۰۰۰۰	۶۵۰۰۰	۴۳۰۰۰	۷۳۰۰۰
بور	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۱۶۰۰
آهن	۲۰۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۸۰۰
منگنز	۱۰۰۰	۶۰۰	۴۳۰	۶۰۰
روی	۳۰۰	۲۴۰	۲۹۰	۲۴۰
مس	۱۰۰	۶۰	۵۷	۸۰
مولیبدن	۱	۸	۲	۱۲

لزوم برنامه کوددهی

تجربی بودن مصرف کودها و آبیاری در گلخانه ها در گذشته

کاربرد کودهای دامی و مواد آلی (حاوی سدیم زیاد)

انباشته شدن نمک و سدیم در محیط اطراف ریشه پایان فصل رشد یک محصول

ایجاد مشکل برای کشت محصول بعدی

آبشویی خاک قبل از کشت مجدد

مثال: کلرید سدیم (میلی مول در کیلوگرم خاک خشک) در عمق های مختلف یک خاک لومی رسی گلخانه ای در پایان دوره رشد و پس از غرقاب کردن خاک

عمق (سانتی متر)	پایان دوره رشد	پس از غرقاب کردن
0 -5	87	3
5 -10	30	6
10 -15	15	6
15 -20	12	6
20 -25	12	5
25 -30	12	6

راهکار:

- مصرف کودهای جدید با مقدار کم نمک‌های باقیمانده
- همچنین استفاده از سیستم‌های پیشرفته آبیاری

تامین آب کافی در دوره رشد گیاه
شستشوی نمک‌های باقیمانده در خاک
فراهم نمودن آب کافی در دوره رشد و ممانعت از انباشتگی نمک در خاک.

مدیریت بهینه کودی: آزمون خاک

- **مدیریت کودی بر پایه نتایج آزمون خاک**: اغلب گلخانه-های خاکی دنیا
- تعیین وضعیت عناصر در یک فصل رشد و ارائه نسخه کودی مناسب برای گیاه
- **پیشرفت روش‌های آزمون خاک**: مبنای طراحی و توسعه سیستم‌های کوددهی در گلخانه-های خاکی
- طراحی این سیستم‌ها برای گیاهان و شرایط رشد مختلف:
- پیشرفت سیستم‌های کوددهی به نوبه خود باعث توسعه روش‌های کشت شده است.
- **مثال**: بکارگیری بسترهای جدید در سیستم-های کشت بدون خاک متخلخل سبب کوچک شدن حجم ریشه شده، تحمل گیاه به شوری و کمبود عناصر غذایی در محیط ریشه را افزایش می-دهند

کودهای شیمیایی و اصلاح کننده‌های خاک

- **مواد اصلاحی:**
  - جهت بهبود ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی خاک
- **کودهای شیمیایی:**
  - جهت تامین عناصر غذایی گیاه
  - بهبود قابلیت دسترسی عناصر غذایی، کنترل pH یا پتانسیل اسمزی ریزوسفر
- **بالاتر بودن سطح تولید محصول در گلخانه‌ها**
  - برداشت بالای عناصر غذایی از خاک یا بستر کاشت
  - لزوم کاربرد مقدار کافی کود شیمیایی جهت جایگزینی یا تأمین مجدد عناصر غذایی محیط ریشه

کودهای شیمیایی و اصلاح کننده‌های خاک

- کاربرد برخی کودها به دلیل تأثیر آن بر pH محیط پیرامون ریشه و در نتیجه، قابلیت جذب عناصر غذایی
- کاربرد برخی کودها برای کاهش پتانسیل اسمزی (افزایش EC) خاک

کاهش رشد آبکی گیاهان در شرایط نور کم و همچنین برای افزایش کیفیت محصول

- گسترده بودن کاربرد کودهای آلی به عنوان مواد اصلاحی در گلخانه های خاکی
- مصرف عمده کودها در گلخانه های خاکی به صورت سرک و به روش کودآبیاری

کودهای رایج مورد استفاده در گلخانه‌ها

مهمترین ویژگی جهت انتخاب کود در گلخانه‌ها:

- ✓ حلالیت بالای کود
- ✓ پایین بودن مقدار باقیمانده نمک و ناخالصی کود
- ✓ عاری بودن از مواد غیرمحلول و ترکیبات ناخالص سمی

پیامدهای وجود مواد غیر محلول در کودها:

- ✓ مسدود شدن نازل ها و قطره چکان های آبیاری
- ✓ رسوب مواد نامحلول در سطح برگهای گیاه

کودهای رایج مورد استفاده در گلخانه‌ها

کودهای شیمیایی مورد استفاده در گلخانه ها شامل:

- هیدروکسیدها، اسیدها و کربنات‌ها
- کاربرد نمک های کم محلول آن ها برای تنظیم pH خاک یا بستر کاشت
- کاربرد نمکهای محلول به عنوان کود و همچنین برای تنظیم pH محلول‌های غذایی در سیستم های هیدروپونیک
- گاهاً کاربرد اسیدها برای تنظیم pH آب های آبیاری حاوی بی کربنات بالا به ویژه در روش آبیاری قطره ای

کودهای شیمیایی

بیان درصد برخی عناصر غذایی کودهای شیمیایی به شکل اکسید مانند K_2O و P_2O_5

ریشه تاریخی دارد و فاقد مبنای علمی
کودهای شیمیایی فاقد اکسید هستند.
تمایل تولیدکنندگان کود

جذب عناصر به شکل **یون-های ساده معدنی**

استفاده از وزن مولی برای تعیین نیاز کودی گیاه و ساخت محلول‌های غذایی
محاسبه وزن مولی عناصر براساس سیستم بین المللی
وجود ناخالصی در برخی کودهای شیمیایی مثلا وجود آب

محاسبه مقدار مورد نیاز برخی عناصر

مقدار مورد نیاز برخی عناصر با فرمول‌های ارائه شده در زیر محاسبه می‌شود:

$$\%K = \frac{۳۹/۱}{۴۷/۱}\%K_۲O \qquad ۱-۲$$

$$\%P = \frac{۶۲}{۱۴۲}\%P_۲O_۵ \qquad ۲-۲$$

$$\%Ca = \frac{۴۰/۱}{۵۶/۱}\%CaO \qquad ۳-۲$$

$$\%Mg = \frac{۲۴/۳}{۴۰/۳}\%MgO \qquad ۴-۲$$

$$\%S = \frac{32/1}{80/1}\%SO4 \qquad ۵-۲$$

محاسبه درصد عناصر غذایی و وزن مولی برخی کودهای محلول

$$Nu_{sol} = \%Nu_{solid}\ Fraction_{salt} \qquad ۶-۲$$

$\%Nu_{sol}$= درصد عنصر غذایی در محلول

$\%Nu_{solid}$ = درصد عنصر غذایی در کود مصرفی

$Fraction_{salt}$= سهم کود در محلول

$$molweight_{sol} = \frac{molweight_{solid}}{Fraction_{salt}} \qquad ۷-۲$$

$molweight_{sol}$ = وزن مولی به صورت محلول

$molweigut_{solid}$ = وزن مولی به صورت جامد

$Fraction_{salt}$ = سهم کود در محلول

کودهای نیتروژن دار

- درکشت‌های خاکی: نیترات، آمونیوم و یا اوره
- در سیستم های کشت بدون خاک (هیدروپونیک): عمدتاً به صورت نیترات و به مقدار کمتر به شکل آمونیوم
- عدم کاربرد اوره در سیستم های کشت بدون خاک: به دلیل این که در این سیستم ها اوره تا مدت زیادی هیدرولیز نشده و انباشتگی آن موجب سمیت گیاهان می‌شود
- گاهاً کاربرد اوره برای ثابت نگه داشتن pH آب در روش آبیاری قطره ای در کشت‌های گلدانی
- کاربرد آمونیوم در سیستم های کشت بدون خاک برای کنترل pH محلول غذایی
- در خاک‌های آهکی، اوره جهت تنظیم pH مؤثرتر از آمونیوم می باشد

برخی کودهای نیتروژن دار مورد استفاده در گلخانه ها

کود	فرمول شیمیایی	درصد نیتروژن	درصد عناصر دیگر	وزن مولی
نیترات آمونیوم	NH_4NO_3	۳۵	–	۸۰
نیتروکالک	$NH_4NO_3 + CaCO_3$	۲۱ –۲۷	–	–
محلول نیترات آمونیوم	NH_4NO_3	۳۵	–	۸۰
سولفات آمونیوم	$(NH_4)_2SO_4$	۲۱	۲۴ گوگرد	۱۳۲/۱
نیترات کلسیم	$5(Ca(NO_3)_2.2H_2O).NH_4NO_3$	۱۵/۵	۱۸ کلیسم	۱۰۸۰/۵
محلول نیترات کلسیم	$Ca(NO_3)_2$	۱۷	۲۴ کلسیم	۱۶۴/۱
اوره	$CO(NH_2)_2$	۴۶	–	۵۶
محلول اسید نیتریک	HNO_3	۲۲	–	۶۳

کودهای فسفره

ارتوفسفات های کلسیم:

- اولین کودهای فسفره مورد استفاده در گلخانه‌ها
- ارزانترین نمک های کلسیم دار
- حلالیت بالای شکل منوکلسیم فسفات
- کاربرد کم ارتوفسفات‌های معمولی در گلخانه‌ها به دلیل دارا بودن مقدار کم فسفر
- ارتوفسفات‌های کلسیم به دلیل این که عمدتاً حاوی ترکیبات نامحلول است هرگز بصورت کودآبیاری استفاده نمی شوند

مناسب ترین کودهای فسفره برای گلخانه

کود	فرمول شیمیایی	% P_2O_5	% P	درصد عناصر دیگر	وزن مولی
فسفات گوگرد	$Ca(H_2PO_4)_2$	۴۶	۲۰	۱۰ کلسیم	
فسفات منو پتاسیم	KH_2PO_4	۵۱	۲۲	۲۸ پتاسیم	۱۳۶/۱
فسفات منو آمونیوم	$NH_4H_2PO_4$	۶۰	۲۶	۱۲ نیتروژن	۱۱۵
اسید فسفریک	H_3PO_4	۷۲	۳۲	–	۹۸
فسفات دی کلسیم	$CaHPO_4$	۴۶	۲۰	۲۵ کلسیم	
پلی فسفات	Super FK	۱۶	۶/۷	۲۲ پتاسیم	
	Vitaphoska	۳۱	۱۳	۴۱ پتاسیم	

ناخالصی های موجود کودهای فسفره

- **یون فلورید** ← سمی برای برخی گیاهان تک لپه ای از جمله بسیاری از پیازهای گیاهان غده ای (شناخته شده ترین محصولات گلخانه ای) ← لزوم استفاده از کودهای فسفره حاوی غلظت پایین فلورید برای محصولات حساس به این عنصر

- **کادمیم**

کودهای پتاسیم دار

- استفاده از نمک سولفات پتاسیم در برنامه‌های کوددهی پایه
- عدم استفاده از کلرید پتاسیم برای کشت های خاکی در گلخانه ها
- استفاده از کلرید پتاسیم فقط برای موارد خاص در سیستم های کشت بدون خاک جهت رفع نیاز کلر در محلول غذایی به جای نیترات

کودهای پتاسیم مورد استفاده در گلخانه ها

کود	فرمول شیمیایی	درصد K_2O	درصد K	درصد عناصر دیگر	وزن مولی
سولفات پتاسیم	K_2SO_4	۵۴	۴۵	۱۸ گوگرد	۱۷۴/۱
سولفات منیزیم-پتاسیم	$K_2SO_4.MgSO_4$	۲۹	۲۴	۲۰ گوگرد و ۶ منیزیم	–
نیترات پتاسیم	KNO_3	۴۶	۳۸	۱۳ نیتروژن	۱۰۱/۱
کلرید پتاسیم	KCl	۶۲	۵۲	۴۸ کلر	۷۴/۶
هیدروکسید پتاسیم	KOH	۸۴[۲]	۷۰[۲]	–	۵۶/۱
بیکربنات پتاسیم	$KHCO_3$	۴۷	۳۹	–	۱۰۰/۱
کربنات پتاسیم	K_2CO_3	۶۸	۵۶	–	۱۳۸/۲

کودهای منیزیم مورد استفاده در گلخانه ها

کود	فرمول شیمیایی	% MgO	% Mg	درصد عناصر دیگر	وزن مولی
کیسرایت	$MgSO_4.H_2O$	۲۷	۱۶	۲۱ گوگرد	
نمک اپسون	$MgSO_4.7H_2O$	۱۶	۱۰	۱۳ گوگرد	۲۴۶/۴
نیترات منیزیم	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	۱۵	۹	۱۱ نیتروژن	۲۵۶/۳
محلول نیترات منیزیم	$Mg(NO_3)_2$	۲۷	۱۶	۱۹ نیتروژن	۱۴۸/۳

کودهای منیزیم مورد استفاده در گلخانه ها

کیسرایت : Kieserite

ارزان ترین شکل سولفات منیزیم، حلالیت کم در آب سرد ← استفاده بسیار کم

نمک اپسون : Epson

مصرف در صورت نیاز فوری به منیزیم همراه با آب آبیاری و یا در محلول غذایی

نیترات منیزیم :

زمانی که مقدار کم سولفات برای محلول غذایی در سیستم های کشت بدون خاک مورد نیاز باشد از نمک نیترات استفاده می‌شود

کودهای کلسیم

نقش کودهای کلسیم
- تأمین کلسیم
- تنظیم pH

کودهای رایج کلسیم جهت افزایش pH محیط‌های اسیدی مانند پیت و ماک
- کربنات کلسیم $CaCO_3$
- هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$

- ✓ نیترات کلسیم $Ca(NO_3)_2$: در صورت نیاز به کلسیم به شکل محلول
- ✓ کلرید کلسیم : جایگزین کلرید پتاسیم برای گیاهان کشت شده در سیستم های بدون خاک

کودهای کلسیم

واکنش‌های انجام شده در آهک دهی خاک

$$Ca(OH)_{۲} + ۲H_{۳}O \rightarrow Ca + ۴H_{۲}O$$

کودهای کلسیم مورد استفاده در گلخانه ها

کود	فرمول شیمیایی	% CaO	% Ca	درصد عناصر دیگر	وزن مولی
آهک آب دیده	$Ca(OH)_2$	۷۵	۵۴		۷۴/۱
سنگ آهک	$CaCO_3 + MgCO_3$	۵۵	۳۹	۱۱- ۰ منیزیم	
کلرید کلسیم	$CaCl_2.2H_2O$	۳۸	۲۷	۴۷ کلر	۱۴۷/۱

کودهای حاوی عناصر غذایی کم مصرف

کوچک بودن محیط رشد ریشه و احتمال تخلیه سریع این عناصر توسط گیاه

⇩

کم بودن مقدار عناصر کم مصرف در اغلب سیستم های کشت بدون خاک متخلخل

⇩

ضروری بودن اضافه کردن کودهای حاوی این عناصر به محیط رشد

- ترکیب سولفاته عناصر کم مصرف بیشترین قابلیت دسترسی را دارد
- نمک کلرید این عناصر مناسب تر از ترکیب نیتراته آنها است
- آنیون همراه در این ترکیبات اغلب اهمیت چندانی ندارد
- در مورد آهن آنیون همراه بسیار مهم بوده و به صورت کلات‌های مصنوعی تأمین می‌شود
- گسترده بودن استفاده از کلات ها در سیستم های کشت بدون خاک در مقایسه با کشت های خاکی
- pH و ویژگی های محیط رشد گیاه تعیین کننده نوع کلات مصرفی است

کودهای حاوی عناصر غذایی کم مصرف

کود	فرمول شیمیایی	درصد عنصر ضروری	وزن مولی	توضیحات
سولفات منگنز	$MnSO_4.H_2O$	۳۲ منگنز	۱۶۹	
سولفات روی	$ZnSO_4.7H_2O$	۲۳ روی	۲۸۷/۵	
سولفات روی	$ZnSO_4.6H2O$	۲۴ روی	۲۶۹/۵	
بوراکس	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	۱۱ بور	۳۸۱/۲	
اسید بوریک	H_3BO_3	۱۷ بور	۶۱/۸	
سولفات مس	$CuSO_4.5H_2O$	۲۵ مس	۲۴۹/۷	
مولیبدات سدیم	$Na_2MoO_4.2H_2O$	۴۰ مولیبدن	۳۴۱/۹	
کلات آهن	Fe-EDTA	۱۳ آهن	۴۳۰	pH < ۶
کلات آهن	Fe-DTPA	۱۱- ۳ آهن	۵۰۸- ۱۸۶۳	pH < ۷/۵
کلات آهن	Fe-EDDHA	۶- ۵ آهن	۱۱۱۸- ۹۳۲	تمام مقادیر pH

کودهای حاوی سایرعناصر غذایی

دیگر عناصر ضروری یا مفید جهت رشد و توسعه گیاهان :

- سیلیسیم
- نیکل
- سدیم
- کلر
- کبالت

از طریق ناخالصی‌های کودهای شیمیایی و مواد اصلاح کننده

کودهای مرکب

اغلب شامل
- نیتروژن
- فسفر
- پتاسیم

+

- منیزیم
- برخی عناصر کم مصرف

روش استفاده
- کودآبیاری
- مصرف خاکی
- تغذیه برگی

کودهای مرکب مورد استفاده برای کوددهی و آماده سازی بستر

	کود مرکب PG		
عنصر	۱۸ + ۱۶ + ۱۴	۲۰ + ۱۰ + ۱۵	۲۴ + ۱۴ + ۱۲
نیتروژن	۱۴	۱۵	۱۲
نیترات/ آمونیوم	۸/۸ / ۵/۲	۸/۵ /۶/۵	۷/۰ /۵/۰
فسفر	۷/۰ (۱۶)	۴/۴ (۱۰)	۶/۱ (۱۴)
پتاسیم	۱۴/۹ (۱۸)	۱۶/۶ (۲۰)	۱۹/۹ (۲۴)
منیزیم	۰/۵ (۸/۰)	۱/۸ (۳)	۱/۲ (۲)
گوگرد	۷/۶ (۱۹)	۳/۲ (۸)	۵/۶ (۱۴)
آهن	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
منگنز	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
روی	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
بور	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
مس	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۵
مولیبدن	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰

دیگر کودهای مورد استفاده

کودهای کندرها

- ✓ عناصر غذایی را به تدریج وارد محیط می کنند
- ✓ معمولاً به صورت دانه ای بوده که دارای پوشش فیلم‌های مصنوعی یا در برخی مواقع، پوشش گوگردی هستند
- ✓ نوع منفرد کودهای کندرها مناسب تر است
- ✓ عناصر غذایی در این نوع کودها، به تدریج و در یک دوره زمانی مشخص رها می‌شود

کودهای آلی

- ✓ بقایای حیوانی و گیاهی
- ✓ عموماً در پرورش گل مورد استفاده قرار می گیرند
- ✓ گاهی اوقات در کشت‌های خاکی نیز از کودهای آلی استفاده می‌شود.
- ✓ در مقیاس وسیع تر، کودهای آلی به عنوان یک بهبود دهنده به بسترهای کشت اضافه می‌شود.

ترکیب برخی از کودهای آلی تولید شده از ضایعات

ترکیبات تشکیل دهنده کود	N	P	P_2O_5	K	K_2O
خون جمع آوری شده در کشتارگاه	۱۳	۰	۰	۰	۰
استخوان جمع آوری شده در کشتارگاه	۵	۷	۱۶	۰	۰
پر و ناخن پرندگان	۱۳	۰	۰	۴/۰	۵/۰
کود گاوی	۱/۹	۰/۴	۱	۲/۲	۲/۷
کود مرغی	۲/۲	۰/۳	۰/۸	۱/۰	۱/۲
ضایعات کارخانه نوشابه سازی	۵	۱/۴	۳/۱	۴/۰	۴/۸
ضایعات کارخانه روغن کرچک	۴	۰/۷	۱/۵	۶/۶	۸
ضایعات کارخانه چغندرقند	۲	۰	۰	۲۳/۷	۲۸/۶

کاربرد کودهای آلی به عنوان مواد اصلاحی خاک در گلخانه ها

- مهمترین مواد اصلاحی خاک
- ثابت نگه داشتن و یا افزایش مقدار ماده آلی خاک
- افزایش ظرفیت نگه داشت آب و ظرفیت تبادل کاتیونی
- بهبود ساختمان خاک‌ها به ویژه در خاک‌های رسی و همچنین خاک‌های لومی

کاربرد بیش از حد کودهای آلی (بیش از ۱۰ درصد) به ویژه کودهای حاوی ترکیبات پایدار مانند پیت در خاک‌های شنی

↓

افزایش بسیار زیاد ماده آلی

↓

پر شدن فضای خالی بین خاکدانه‌ها به وسیله مواد آلی

↓

مانع حرکت عمودی آب و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک

رهاسازی نیتروژن از کودهای آلی (پودر خون و شاخ و پشم دام) و نیترات آمونیوم

- عمده نیتروژن و قسمتی از فسفر آن بصورت آلی وجود دارد
- به-تدریج طی تجزیه میکروبی به خاک اضافه می-شود (معدنی شدن).

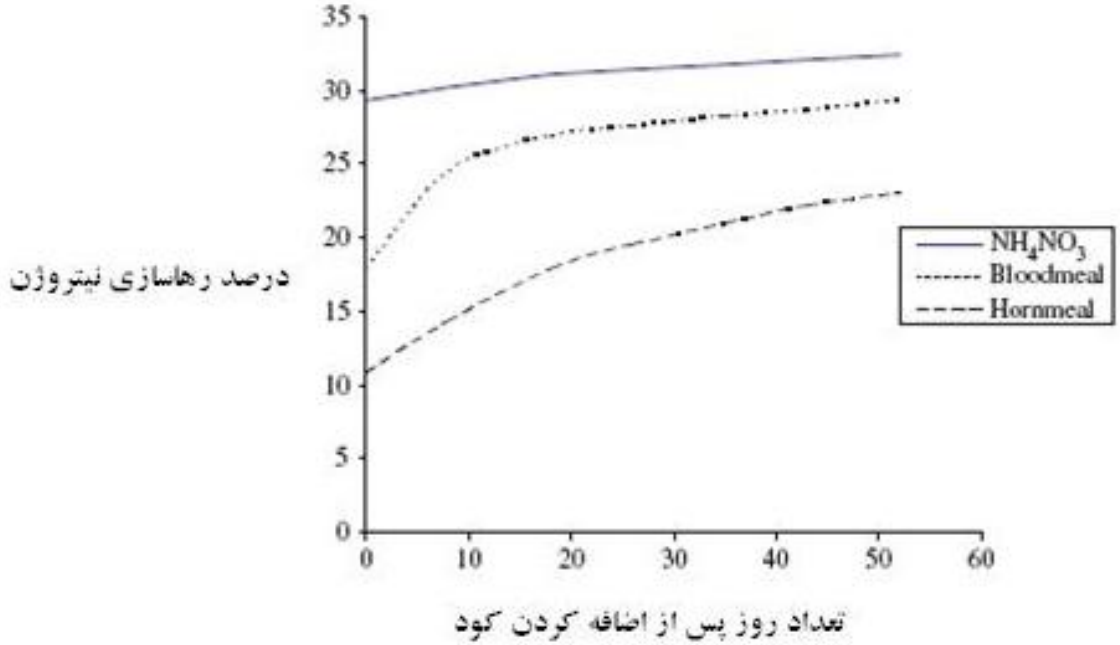
وابسته به:

دما

رطوبت

pH

نیترات خاک



- مصرف کودهای آلی و سایر مواد اصلاحی خاک به-صورت مایع در خاک
- بستگی دارد به:

نوع گیاه

نوع خاک

نوع ماده اصلاحی

عموماً جایگذاری کودهای آلی به ویژه کودهای آلی تازه و نپوسیده در لایه‌های عمیق خاک که نفوذ هوا به آنها به سختی انجام می‌شود توصیه نمی-گردد.

شوری بالای کودهای دامی و برخی مواد اصلاحی: اثر منفی بر خاک و گیاه

کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک

ضرورت شستشوی این نمک-ها از ناحیه اطراف ریشه

ترکیب برخی مواد اصلاحی خاک مورد استفاده در گلخانه ها

(کیلوگرم در ۱۰۰۰ کیلوگرم ماده اصلاحی)

نوع بهبود دهنده	ماده خشک (کیلوگرم)	ماده آلی (کیلوگرم)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
کود دامی مزرعه ای	۲۵۰	۱۲۰	۵/۵	۲	۷
شیرابه بستر گاوداری	۸۰	۵۸۰	۵/۵	۱/۵	۴/۵
کود مرغی	۶۰۰	۴۰۰	۲۶	۱۱	۱۸
کمپوست حاصل از بقایای قارچ	۳۵۰	۱۸۰	۷	۲	۸
کود سبز	۶۵۰	۱۵۰	۷	۱/۵	۵/۵
پیت	۵۰۰	۴۵۰	۵	۰	۰
پوست درخت	۴۰۰	۳۰۰	۳	۰/۵	۲

قوانین ویژه کاربرد کودهای آلی

- **قوانین ویژه مصرف کودهای دامی و مواد اصلاحی در بسیاری از کشورهای اروپایی**
- **محدودیت استفاده بیش از اندازه این ترکیبات**
- **کاربرد بر اساس مقدار فلزات سنگین مواد اصلاحی نظیر لجن فاضلاب و کمپوست**

- **کاربرد ترکیبات آلی و مواد اصلاحی بسته به بیشینه نیتروژن و فسفر اضافه شده به خاک**

- به طور کلی، کاربرد ۷۰ تا ۱۰۰ متر مکعب کود دامی یا کود سبز در هکتار در سال یا هر دو سال یکبار برای حفظ ساختمان خاک گلخانه-ها توصیه می‌شود.

- در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، مقدار مصرف مواد اصلاحی و کودهای آلی بر اساس محدوده مجاز ارائه شده توسط نهادهای ذیربط می‌باشد.
- **با توجه به گستردگی اختلاف بین کودهای آلی مورد استفاده در گلخانه-ها از لحاظ ترکیب شیمیایی، برای استفاده درست از این ترکیبات، تجزیه شیمیایی آنها مورد نیاز است.**

محاسبه عناصر کود آلی در توصیه کودی

- لزوم محاسبه پتاسیم و فسفر اضافه شده به خاک توسط مواد اصلاحی و کودهای آلی باید در تعیین نیاز غذایی گیاه
- فسفر مورد نیاز گیاه کمتر از مقدار فسفر اضافه شده توسط برخی کودهای آلی مانند کودهای حیوانی و کمپوست‌ها است،
  - بنابراین کاربرد این ترکیبات می‌تواند منجر به **انباشتگی فسفر در خاک** گلخانه-ها شود.
- نیتروژن غیرقابل دسترس کودهای آلی به تدریج و در طی فرآیندهای تجزیه ماده آلی آزاد شده و می-توان آن را در محاسبه نیتروژن مصرفی به صورت سرک در نظر گرفت.
- با تجزیه ترکیبات آلی کودهای آلی توسط جمعیت میکروبی خاک، نیتروژن و فسفر آلی موجود در آنها برای گیاهان قابل دسترس خواهد شد.

ترکیب برخی کودهای آلی مورد استفاده در ایران

ویژگی	واحد	لجن فاضلاب	کمپوست	کود گاوی	حدUSEPA503 مجاز
pH	–	۷/۳	۷/۵	۷/۷	–
هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۱۹/۳	۱۵/۸	۱۹/۸	–
ماده آلی	٪	۲۸/۸	۴۷/۵	۱۸/۸	–
نیتروژن کل	٪	۷/۴	۱/۸	۰/۹	–
منگنز	$mg\ kg^{-1}$	۱۰۲۴	۹۰۰	۱۱۵۰	–
آهن	$mg\ kg^{-1}$	۹۱۲۵	۵۸۷۵	۱۲۱۷۵	–
روی	$mg\ kg^{-1}$	۳۸۸	۳۸۱	۱۹۳	۲۸۰۰
مس	$mg\ kg^{-1}$	۷۴	۲۳۵	۶۹	۱۵۰۰
نیکل	$mg\ kg^{-1}$	۳/۳	۲۲/۶	۳۵/۹	۴۲۰
کادمیم	$mg\ kg^{-1}$	۱/۵	۳/۰	۲/۰	۳۹
کرم	$mg\ kg^{-1}$	۴۹/۴	۱۰۹/۰	۴۰/۷	۳۰۰۰
کبالت	$mg\ kg^{-1}$	۵/۰	۳/۱	۵/۸	–

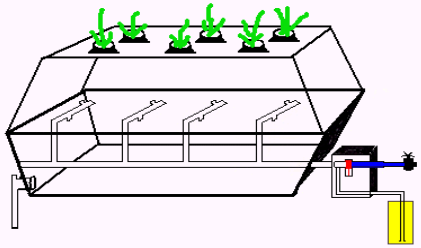
آلودگی

- مواد اصلاحی و کودهای آلی تجاری حاوی مقادیر متفاوتی از ضایعات می‌باشند
- استفاده از کودهایی که منبع و ترکیب شیمیایی آنها مشخص نیست توصیه نمی شود
- برخی ضایعات صنعتی ممکن است حاوی غلظت زیاد عناصر و ترکیبات سمی برای گیاهان و انسان باشد
- احتمال انباشتگی این عناصر در خاک و انتقال آنها به گیاه زیاد می باشد

حدود بحرانی و میانگین غلظت کل عناصر سنگین

ویژگی	واحد	لجن فاضلاب	کمپوست	کود گاوی	حد USEPA503 مجاز
pH	–	۷/۳	۷/۵	۷/۷	–
هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۱۹/۳	۱۵/۸	۱۹/۸	–
ماده آلی	٪	۲۸/۸	۴۷/۵	۱۸/۸	–
نیتروژن کل	٪	۷/۴	۱/۸	۰/۹	–
منگنز	$mg\ kg^{-1}$	۱۰۲۴	۹۰۰	۱۱۵۰	–
آهن	$mg\ kg^{-1}$	۹۱۲۵	۵۸۷۵	۱۲۱۷۵	–
روی	$mg\ kg^{-1}$	۳۸۸	۳۸۱	۱۹۳	۲۸۰۰
مس	$mg\ kg^{-1}$	۷۴	۲۳۵	۶۹	۱۵۰۰
نیکل	$mg\ kg^{-1}$	۳/۳	۲۲/۶	۳۵/۹	۴۲۰
کادمیم	$mg\ kg^{-1}$	۱/۵	۳/۰	۲/۰	۳۹
کرم	$mg\ kg^{-1}$	۴۹/۴	۱۰۹/۰	۴۰/۷	۳۰۰۰
کبالت	$mg\ kg^{-1}$	۵/۰	۳/۱	۵/۸	–

هیدروپونیک چیست؟



- تعاریف
- اصطلاح شناسی
- زمینه های کاربرد
- مزایا و معایب

هیدروپونیک Hydroponic

Hydros (آب) + Ponos (کشت و کار)

یک واژه کلی است که تمامی روشهایی را که گیاهان در محیطی غیر از خاک کاشته میشوند شامل کشت آبی، کشت در ماسه، کشت در سنگریزه، کشت هوایی، کشت داخل لوله و غیره را در بر میگیرد.

هیدروپونیک (کشت بدون خاک)، علم و فناوری کشت و پرورش گیاهان در محیط بدون خاک به کمک محلولهای غذایی است. در این سیستم ها تمام عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه به صورت محلول در اختیار گیاه قرار داده می شود.

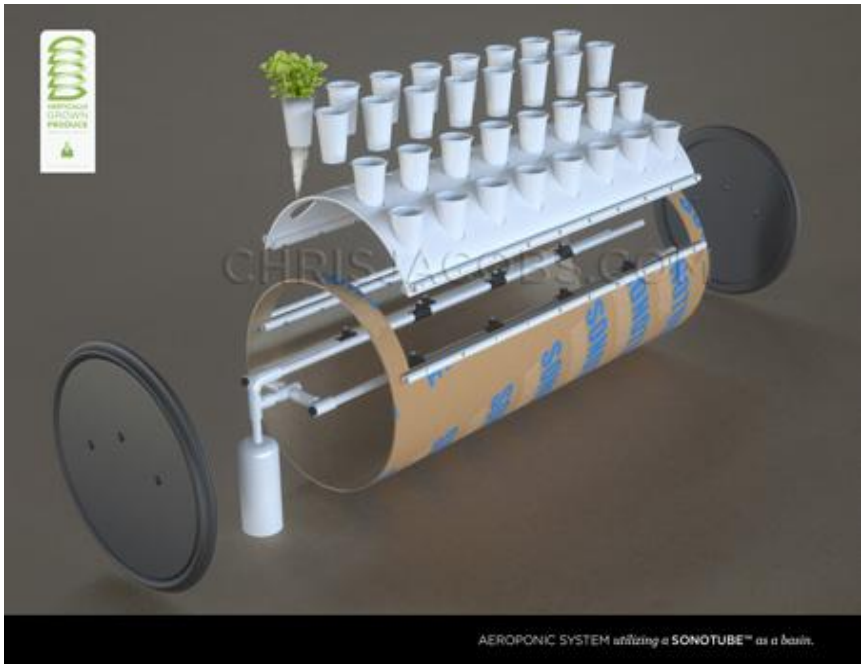
کشت بدون خاک Soilless Culture

این اصطلاح به تمام سیستمهایی که نگهدارنده ریشه، خاک نمی باشد اطلاق میشود.

هیدروکالچر Hydro Culture

این اصطلاح شامل کلیه تکنیک های کشت بدون خاک می شود که ریشه گیاه در آب و محلول غذایی قرار دارد.

هوا کشت Aeroponics



این اصطلاح یکی از روش های کشت بدون خاک گیاهان است که در آن ابر یا مه محلول غذایی هر ۴ تا ۵ دقیقه بر روی ریشه گیاهانی که در داخل یک محفظه بسته قرار دارد، پاشیده می شود. در این روش ریشه ها در داخل یک محفظه ای که با پلاستیک کدر ایجاد می شود در تاریکی قرار می گیرند.

آکواپونیک Aquaponics

این اصطلاح یک سیستم ترکیب بیولوژیکی است که کشت آکوای (پرورش ماهی) چرخشی را با هیدروپونیک که در آن سبزی، صیفی یا گل کاشته شده است، پیوند می دهد. بنابراین آکواپونیک، ترکیبی از هیدروپونیک و آکواکالچر بوده و به عنوان یک سیستم تولید غذایی ترکیبی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. پیشرفت های اخیر پژوهشگران و تولید کنندگان، سیستم آکواپونیک را به عنوان مدلی در آورده که برای تولید پایدار موفق بوده است.

حوزه های کاربرد علم هیدروپونیک

۱- حوزه سلامت و تولید محصول سالم

کشت بدون خاک (هیدروپونیک)، علاوه بر عملکرد حداکثر به دلیل امکان کنترل تمامی فاکتورها منجر به تولید محصولات سالم و با کیفیت خواهد شد.

۲- حوزه انرژی و کاهش مصرف نهاده ها

کاهش مصرف آب

کاهش مصرف انرژی

۳- حوزه صنعت و ایجاد فناوری های نوین در بخش کشاورزی

۴- محیط زیست

استفاده از علم هیدروپونیک به عنوان پالایش پساب صنایع خود یکی از کاربردهای نوین علم هیدروپونیک در حوزه محیط زیست خواهد بود.

۵- فضای سبز

۶- سلامت (ارتقاء سلامت روحی – روانی جامعه)

۷- منابع طبیعی

۸- افزایش کار و اشتغالزایی

۹- تولید غذا

۱۰- کاربرد در صنعت توریسم

۱۱- کاربرد در تحقیقات

مزایای هیدروپونیک

- امکان کشت متراکم تر
- افزایش عملکرد در واحد سطح
- تولید محصول در مناطقی که زمین مناسب برای کشت در اختیار نیست (اراضی شور، اسیدی و...)
- تولید محصول در مناطقی که آب و هوا مناسب کشاورزی نیست (مناطق خشک)
- حداقل استفاده از زمین
- امکان کنترل دمای محیط گلخانه: تولید درطول سال بدون توجه به تغییرات دمای محیط و فصل
- استفاده بهتر از آب (کارایی مصرف آب)
  - کاهش تبخیر از سطح
  - کاهش نفوذ آب به عمق خاک
  - Crop Water Productivity (CWP)
- استفاده بهتر از عناصر غذایی
- امکان استفاده از سیستم های نوین مکانیزه
- کنترل بهتر بیماری های خاکزی ریشه و طوقه
- عدم نیاز به آماده سازی های خاص نظیر شخم
- امکان بکارگیری نیروهای متخصص (فارغ التحصیلان کشاورزی ماهر)
- امکان بکارگیری فناوری های نوین
- امکان تصفیه آب شور، احتمالا پساب
- یک صنعت تولیدی زنده، فانتزی و در عین حال حیاتی برای کشور

تاریخچه

*Several hundred years B.C. – The Babylonians had **hanging water culture gardens** considered one of the seven wonders of the ancient world.

*Several hundred years B.C. – Egyptian hieroglyphs tell of the people growing plants in **water culture.**

*Theophrastus (372-287 B.C.) – A Greek philosopher, performed experiments in crop nutrition.

*During the 1st century A.D. – cucumbers were grown **off-season for the Roman Emperor** Tiberius using a "**transparent rock**" (presumably mica) covered structure (first known use of Controlled Environment Agriculture (CEA)).

*1200's and 1300's (as described by the Venetian traveler, **Marco Polo**) - **Floating gardens of the Chinese.**

*1400's – The Aztecs, who settled near Lake Tenochititlan (near Mexico City), created gardens on floating rafts called "**chinampas**".

NOTE: During the past 400 years plant culture techniques were developed to study the mineral nutrition requirements of plants. These techniques, known as "**water culture**", were the beginnings of what later became "**hydroponics**".

1925 - 1935
Greenhouse industry used “nutriculture” instead of conventional soil culture because: greenhouse soils would have problems with soil structure, fertility and pests.

1940’s (WWII)
US military used hydroponics to supply troops on isolated, non-arable islands in the Pacific. After the war, the U.S. army built a 22 ha hydroponic operation at Chofu, Japan.

1970’s –
With the advent of plastics an interest in hydroponics was renewed.
Plastics were used as greenhouse covers, growing bed liners and in irrigation systems.
However, two new problems arose:
1-Escalating oil prices in 1973 increased heating and cooling costs
2- few chemicals registered for pest control in greenhouses. Increases in root pathogens (in recirculating hydroponic system) An increase in aerial pests (due to a perfect climate controlled greenhouses)

1990 – There is a renewed interest in hydroponics.

وضعیت کنونی هیدروپونیک در دنیا

Researchers – Certain experiments require specific root zone environments

Commercial Growers – Large-scale production of vegetable and flower crops, house plants and medicinals for sale.

Hobbyists – for use by home gardeners to provide healthy, tasty produce for personal consumption.

Horticultural Therapy – for use in nursing homes or other situations where patients may not be able to work in a "traditional" garden

کاربرد هیدروپونیک در جزایر!!

One unusual adaptation of this is the use of systems made of leftover PVC pipe for the growing of tomatoes, lettuce, strawberries and other fruits and vegetables at the scientific research station in McMurdo, Antarctica.

هیدروپونیک: تجارت بزرگ

- 95 درصد گلخانه های تجاری تولید سبزیجات، هیدروپونیک هستند؟؟
- تجارت 4/2 میلیارد دلاری..... رشد 10 درصدی در هر سال

حداقل مساحت گلخانه که برای تولید اقتصادی لازم است؟؟

- حداقل مساحت گلخانه که برای تولید اقتصادی لازم است :
  - بزرگتر از 10 ایکر و کوچکتر از 2 ایکر

بسته به عوامل مختلف فرق می کند:

- سیستم گرمایش و سرمایش
- اتوماسیون
- هزینه های اسکلت گلخانه

- بین 3000 تا 4000 ایکر در آمریکا و کانادا
- بین 5000 تا 7000 ایکر در مکزیک
- 30000 ایکر در اسراییل
- 10000 ایکر در هلند
- 4200 ایکر در انگلستان
- 8000 ایکر استرالیا و نیوزلند

مقایسه مصرف آب در کشت های مختلف
(لیتر در کیلوگرم محصول)

نوع کشت	کشت هیدروپونیک	کشت در مزرعه
خیار	۱۰	۲۰۵
کاهو	۵	۹۶
گوجه فرنگی	۱۳	۱۲۳

Jensen 1988

راندمان متوسط محصول در کشت هیدروپونیک نسبت به مجموع سطح کشت شده (کیلو گرم در هکتار)

محصول	مجموع سطح کشت شده	کشت هیدروپونیک	افزایش راندمان
خیار	۲۰۴۲	۳۸۱۳	+ ٪۸۷
گوجه فرنگی	۷۹۳	۱۲۸۱	+ ٪۶۲
طالبی	۱۵۲	۷۳۳	+ ٪۳۸
کاهو	۲۷۱	۳۰۰	+ ٪۱۱
اندیو	۷۰۴	۱۱۰۰۰۰۰	–

Kerhoas 1984

محدودیت های کشت هیدروپونیک

- سرمایه گذاری بالا
  - احداث گلخانه
  - تجهیزات اولیه
    - گران قیمت نظیر اتوماسیون محلول غذایی
    - بسترهای کاشت
    - طراحی اولیه
    - سیستم آبیاری و تغذیه
- انرژی بالای مصرفی
- اقتصادی نبودن برای برخی محصولات
- لزوم بومی سازی
- آلودگی محیط زیست
  - پساب و زهاب
  - بسترهای کاشت مستعمل
- حساسیت بالا
- **نیاز تخصصی و دانش فنی برای مدیریت موفق و تولید اقتصادی**

انواع سیستم های کشت هیدروپونیک

آشنایی با انواع سیستم های کشت بدون خاک

- الف) سیستم های هیدروپونیک با بستر کشت آبی (آبکشت)
- ب) سیستم های هیدروپونیک با بستر متخلخل
- ج) سیستم های هیدروپونیک آکواپونیک
- د) سیستم های هیدروپونیک آئروپونیک

الف) سیستم های هیدروپونیک با بستر کشت آبی (آبکشت)

- **روش چرخشی (سیستم بسته)**

در این روش محلول غذایی به سمت سیستم ریشه ای گیاه پمپ شده و پس از تغذیه گلدانها، محلول زهکش جمع آوری می شود و پس از بررسی و غنی شدن دوباره مورد استفاده قرار میگیرد.

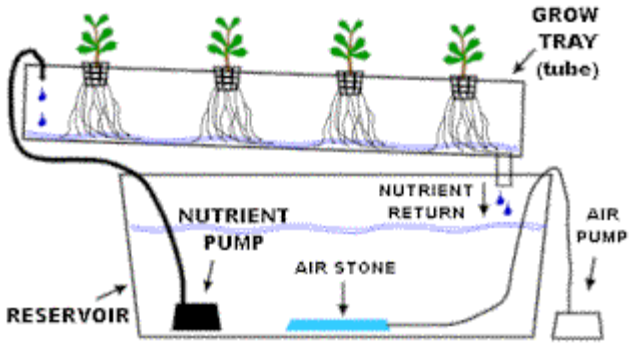
انواع سیستم بسته

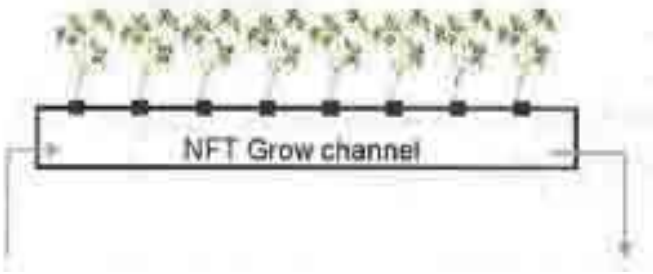
۱- فناوری فیلم غذایی (NFT)

۲- فناوری جریان عمیق (DFT)

سیستم فیلم غذایی (NFT) Nutrient Film Technique

در این روش (لایه نازک محلول غذایی) ریشه گیاهان به طور مستقیم در معرض عبور محلول غذایی قرار می گیرند . یک لایه نازک ۰/۵ میلی متری محلول غذایی از طریق لوله یا کانال های خاصی جریان یافته و عناصر غذایی را در اختیار ریشه های گیاه قرار می دهد.





مزایای عمده سیستم های NFT

- کاهش قابل ملاحظه حجم محلول غذایی مورد نیاز
- سهولت گرم کردن سیستم در طی زمستان برای حصول دمای بهینه رشد
- سهولت خنک کردن سیستم در فصول گرم تابستان برای جلوگیری از افتادگی Boltingو سایر پاسخ های منفی گیاه در گیاهانی نظیر کاهو

سیستم های NFT

۲- فناوری جریان عمیق (DFT)

در این روش ، یک ضخامت ۲ تا ۳ سانتی متری از محلول غذایی در لوله های پلی اتیلنی (PVC) به قطر ۱۰ سانتی متر جریان می یابد.

روش غیر چرخشی (سیستم باز)

در این سیستم ها محلول غذایی پس از تغذیه گلدان ها به سیستم بازگردانده نمی شود بلکه فقط یکبار مورد استفاده قرار میگیرد. هنگامی که غلظت عناصر غذائی در مخزن کاهش می یابد محلول جایگزین می شود.

انواع سیستم باز

- ۱- فناوری غوطه ورکردن ریشه
- ۲- فناوری شناورسازی
- ۳- فناوری نیروی کاپیلاری

۱- فناوری غوطه ورکردن ریشه

در این روش ، گیاهان در داخل گلدان های کوچکی رشد ونمو می یابند. این گلدان ها با مقدار کمی ترکیبات بستر پر می شوند.گلدان ها به نحوی در سیستم چیده می شوند که ۲ تا ۳ سانتی متر انتهای آن ها در داخل محلول غذایی فرو رود.

۲- فناوری شناورسازی Floating Hydroponic System

در این روش گیاهان بر روی یک صفحه شناور سبک، بطوریکه ریشه های آنها به داخل محلول غذایی آویزان شود کاشته میشود.

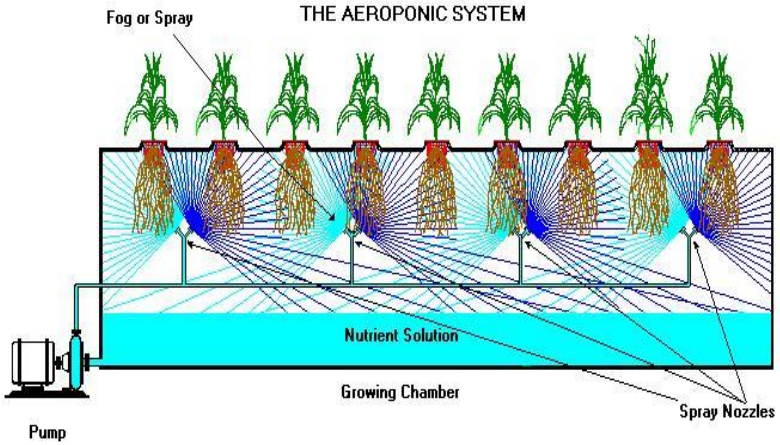
در این سیستم به ریشه اجازه داده می شود تا در محلول غذایی موجود در محفظه شناور شود. محلول غذایی نیز به طور مصنوعی هوادهی می شود.

۳- فناوری نیروی کاپیلاری (فیتیله ای)

در این روش، گلدان هایی با اندازه و شکلهای مختلف استفاده می شوند. معمولا تعدادی سوراخ در انتهای گلدان ها ایجاد می شود. این گلدان ها با ترکیبات بی اثر به عنوان بستر کشت پر شده و نهال های گیاه و یا بذور آنها داخل بستر کاشته می شود.

۳) سیستم های هوا کشت(آئروپونیک)

در این روش مه (mist) محلول غذایی هر ۴ تا ۵ دقیقه بر روی ریشه گیاهانی که در داخل یک محفظه بسته قرار دارد، پاشیده می شود.



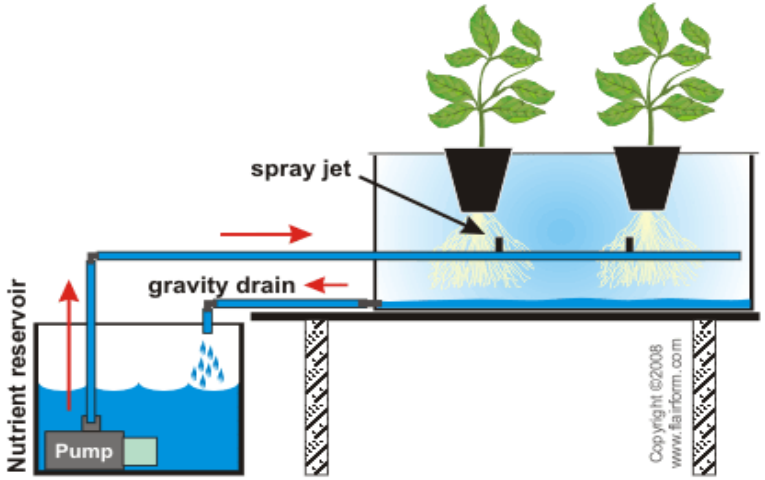


Fig 5.4 **Aeroponic system** (Basic layout)

مزایا:

مناسب سبزیجات کم برگ مانند کاهو و اسفناج

بهره برداری بیشتر از فضا و صرفه جویی بیشتر آب و عناصر غذایی (کودها)

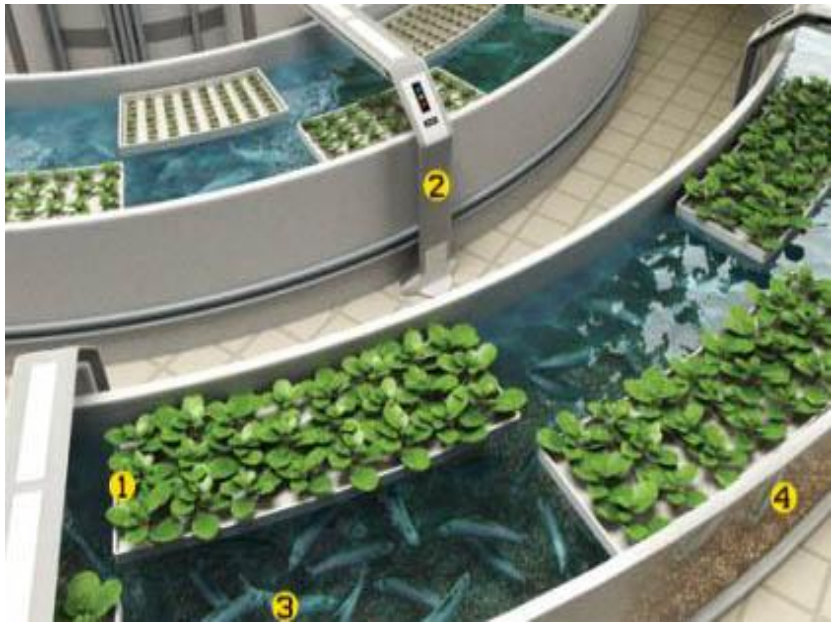
هوادهی خوب ریشه نسبت به سیستم های آبکشت

تولید گیاهان عاری از ذرات خاک از قلمه، به منظور صادرات و مطالعات رشد و نمو ریشه

سیستم های هوا کشت(آئروپونیک)

سیستم های آکواپونیک

یک سیستم ترکیب بیولوژیکی است که کشت آکوای (پرورش ماهی) چرخشی را با هیدروپونیک که در آن سبزی، صیفی یا گل کاشته شده است، پیوند می دهد.



سیستم های هیدروپونیک خانگی

بسترهای کاشت: ویژگی های شیمیایی و آماده سازی

اهمیت شناسایی بسترهای کاشت در محیط هیدروپونیک

- اثرات مثبت و منفی ترکیب شیمیایی موجود در بسترهای کاشت، عناصر معدنی و مواد آزاد شده از بستر در طول دوره رشد بر گیاه
- توانایی و عدم توانایی بستر در نگهداری و رها سازی عناصر غذایی
- انتخاب نوع کود مورد نیاز بسته به نوع بستر کاشت
- نوع گیاه و دوره رشد
- انتخاب سیستم آبیاری و روش کوددهی

بسترهای کشت هیدروپونیک

تعریف: مواد متخلخل که به عنوان بستر در کشت بدون خاک استفاده میشوند، به عنوان بسترهای کشت آلی یا غیر آلی شناخته میشوند.

انواع بستر کاشت

۱- بستر کشت غیر فعال شیمیایی(Chemically active (inert مانند شن، سنگریزه، پشم سنگ، پرلیت

۲- بستر کشت فعال شیمیاییChemically active

۲-۱- بستر کشت آلی مانند ورمی کمپوست، کوکوپیت، تراشه چوب، سبوس برنج

۲-۲- بستر کشت غیر آلی مانند ورمی کولایت، میکا، زئولایت

ویژگی های بستر کاشت

بستر کاشت باید از لحاظ ویژگی های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی بررسی شود.

ویژگی های فیزیکی

- ظرفیت نگه داشت آب
- میزان تخلخل و اندازه ذرات
- منحنی رطوبتی و هدایت آبی بستر کاشت
- چگالی کم (سبک بودن)
- انبساط پذیری و هدایت گرمایی
- رنگ بستر

ویژگی های شیمیایی و حاصلخیزی

- هیدروفیلیک (آبدوست بودن)
- ظرفیت نگه داشت عناصر غذایی (CEC)
- عاری بودن از فلزات سنگین،آلاینده های رادیو اکتیو
- داشتن حداقل سه سال طول عمر
- قابل بازیافت بودن یا تجزیه شدن بدون ایجاد مواد مضر

ویژگی های بیولوژیکی

- عاری بودن از آفات و علف های هرز
- نسبت C/N

نتایج تجزیه شیمیایی بستر های مختلف کاشت

جدول ۱۱-٤: تجزیه شیمیایی بسترهای کاشت کوددهی نشده. غلظت عناصر در عصاره ۱:۱½ حجمی یا "سه برابر رطوبت بستری" اندازه‌گیری شده است. EC براساس دسی‌زیمنس بر متر و غلظت عناصر غذایی براساس میلی‌مولار و میکرومولار بیان شده‌اند.

ویژگی	پشم سنگ	پیت	الیاف نارگیل	پومیس	پرلیت	خرده چوب
pH	۶/۲	۳/۹	۵/۷	۶/۳	۶/۳	۴/۸
EC dS m^{-1}	۰/۰	۰/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۲
K mmol L^{-1}	۰/۰	۰/۰	۱/۳	۰/۷	۰/۰	۰/۹
Na	۰/۰	۰/۶	۲/۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱
Ca	۰/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰	۰/۴
Mg	۰/۰	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۰	۰/۳
NO_3	۰/۰	۰/۳	۰/۰	۰/۴	۰/۱	<۰/۱
Cl	۰/۰	۰/۴	۲/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۱
SO_4	۰/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۰	۰/۱
P	۰/۰	۰/۰	۰/۱	۰/۲	۰/۰	۰/۱
Si	۰/۰	–	۰/۰	۰/۲	۰/۱	۰/۱
Fe µmol L^{-1}	۰/۰	۱/۱	۳/۹	۱/۹	۰/۱	۵/۲
Mn	۰/۰	۰/۵	۰/۳	۱۱/۳	۰/۱	۱۴/۱
Zn	۰/۰	۰/۳	۱/۵	۱/۳	۰/۱	۱/۴
B	½	۲/۵	۵/۰	۱۵/۸	۱۱/۰	۲۷/۰
Cu	۰/۰	۰/۱	۲/۳	۲/۳	۰/۰	۰/۳

Kipp 2000

ترکیب شیمیایی تعدادی از بسترهای معدنی

جدول ۱۱-٦: ترکیب شیمیایی برخی از بسترهای کاشت بی‌اثر. عناصر به شکل اکسید و براساس درصد ماده خشک بیان شده‌اند.

بستر	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	MnO	TiO
پشم سنگ	۴۷	۱۴	۱۶	۱۰	۸	۲	۱	۱	۱
پرلیت	۷۳-۷۴	۱۳-۱۵	۰/۸	۰/۱-۰/۲	۰/۸-۱/۰	۳/۳-۳/۶	۴/۳-۴/۵	۰/۰۵	۰/۱
ورمیکولیت[۲]	۲۰-۲۵	۵-۱۰		۳۵-۴۰	۳۲-۳۵				
پومیس	۷۰-۷۵	۱۲-۱۴	۱-۳	۰/۱-۰/۶	۰/۸-۲/۰	۳-۶	۴-۵		
زئولیت	۶۴-۶۸	۹-۱۳	۴/۴-۰/۸	۰/۰-۱/۲	۰/۰-۱/۸	۰/۰-۳/۰	۰/۶-۰/۳		

نکته: غلظت، شکل و نوع عناصر موجود، بستگی به منشا و فرایند تولید بستر دارد.

معرفی برخی بسترهای رایج

پرلیت Prelite

سنگ آتشفشان سیلیسی که در دمای بالای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد حرارت دیده و به ذرات نرم و ریز تبدیل میشود.

ویژگی ها

پ- هاش خنثی، قابلیت جذب آب بالا، قدرت بافری و ظرفیت تبادل کاتیونی پایین، سبک، تهویه مناسب

پرلیت Perlite

- یک کانی سیلیسی بی شکل، اسفنجی

در دمای ۸۵۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس ترد شده و آب را داخل فضاهای ساختمانی خود نگهداری می کند

قدرت افزایش حجم بین ۷ تا ۱۵ برابر حجم اولیه دارد

_اثر نحوه تولید در ویژگی های پرلیت

مزایا و معایب کاربرد پرلیت

مزایا

سبکی، خنثی بودن شیمیایی، تطابق خوب و عالی بین ظرفیت نگه داری آب و میزان هوا

معایب

عدم دوام مکانیکی، متلاشی شدن سریع و نداشتن استحکام

ویژگی ها

به تنهایی یا همراه با سایر ترکیبات در بستر استفاده میشود

افزودن به خاک یا بسترهای متراکم (با احتمال آبگرفتگی)

دارای زهکش مناسب است

pH آن حدود ۶-۷ است
قدرت بافری ندارد
ظرفیت نگهداشت آب آن کم است

ویژگی ها

- ذرات پرلیت تجزیه نمی شوند اما در جابجایی خرد می شوند

اندازه ذرات موجود در بازار متنوع است

- Pick the hort grade perlite

برای ریشه دهی نهال ها بهتر از پشم سنگ است

درصد رطوبت اشباع پشم سنگ: ۸۵ درصد ودرصد رطوبت اشباع آب پرلیت ۴۵ درصد است

قدرت مویینگی بالا برای آب دارد: جذب ومکش آب از مخزن با سرعت مشابه جذب آب توسط گیاه

جذب ذرات آب حاوی محلول غذایی در برخی فضاهای پرلیت برای استفاده ریشه

زیادی محلول براحتی زهکش می شود: تهویه مناسب ریشه و رطوبت کافی برای ریشه

پشم سنگ باغبانی Rock wool (stone wool)

مخلوطی از سنگهای آتشفشانی، سنگهای آهکی وزغال که در دمای ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد ذوب شده، به صورت نخهای ظریف در آمده و در داخل صفحه های بلوکی قرار می گیرد.

ویژگی ها:

بستر کشت inert، دارای تخلخل بالا، pH کمی قلیایی، حداقل ۵ تا ۶ سال قابل استفاده، سبک، کاربرد آسان، ظرفیت نگه داشت آب بالا

Rock wool (stone wool)

برخلاف پرلیت، مقدار رطوبت پشم سنگ از خیلی مرطوب (بلافاصله بعد از آبیاری) تا خیلی خشک (قبل از آبیاری مجدد)

به همین دلیل در پشم سنگ، باید رطوبت به پیوسته در حد مشخصی ثابت نگهداشته شود

- "little-and-often“ watering regime

عناصر غذایی نیز در بستر پشم سنگ گاهی تا ۲۴ بار در روز اضافه می شوند

کاربرد در باغبانی: اولین بار در ۱۹۶۹ توسط گرودان (Grodan)دانمارکی

امروزه: کاربرد وسیع در سیستم های هیدروپونیک در جهان
در برخی مناطق، بستر غالب کشت سبزیجات

در صورت استریل شدن، ۲-۳ بار قابل بازیافت است

مزایا و معایب کاربرد پشم سنگ

مزایا

سبکی و سهولت کاربرد، تهویه مناسب، ظرفیت خوب نگهداری آب، خنثی بودن شیمیایی

معایب

بازیافت مشکل، قدرت ذخیره کم و محدود محلول غذایی، خنثی بودن از نظر حرارت، تغییرات رطوبتی زیاد

منبع تولید Manufacture

- حاصل از سنگ های بازالتی و گچی و زغال سنگ:
حرارت دادن سنگها تا ۱۶۰۰ درجه سلسیوس...تبدیل به مایع
دمیدن در اطاقکهای در حال چرخش
تولید فیبرهای شبیه پنبه

- متراکم کردن فیبرها به شکل حصیر و برش توده های مکعبی، بلوکی و ورقه ای

- تولید گرانول های پشم سنگ برای اهداف خاص
"rock wool granulate"

ویژگی ها

استریل بودن
سبک بودن (در حالت خشک)
راحتی کاربرد
ویژگی های مناسب فیزیکی و شیمیایی

ظرفیت نگهداری بالای آب (۸۰ درصد)
تهویه خوب (۱۷ درصد)
حداقل ظرفیت تبادل کاتیونی و توان بافری
pH بالاتر از ۷

غوطه ور کردن در محلول قبل از استفاده: اطمینان از خشک نبودن

بازیافت Disposal

- پشم سنگ سمی نیست اما:
  ضرر تابش نور از آن برای پوست
  استنشاق ذرات خشک آن

موارد مورد نظر در بازیافت:

دفن در لندفیل

عدم شکسته شدن و تجزیه در خاک

مشکل ماندگاری در خاک!!

قطعات مکعبی پشم سنگ

Individually Wrapped Rockwool Cubes

قطعات کوچک:

مورد استفاده برای شروع رشد بذور گیاهی یا قلمه ها

قطعات بزرگ:

برای رشد گیاه تا زمان برداشت محصول

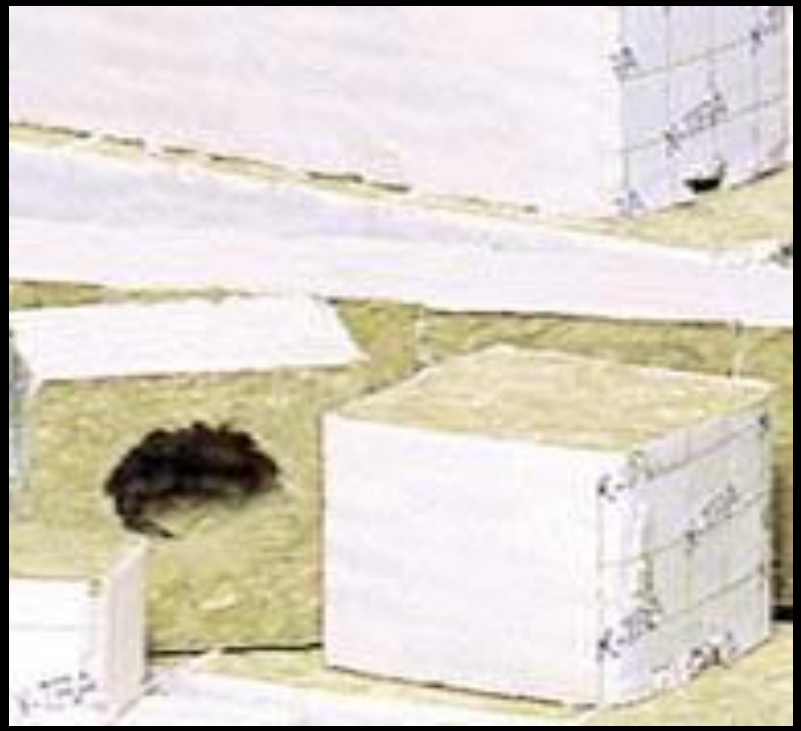
برای کشتهای با فضای بزرگتر (به عنوان مثال تولید فلفل دلمه ای و گوجه فرنگی):

قطعات پشم سنگ بر روی ردیفهای پشم سنگ (slabs)

Cubes

- در اندازه های مختلف

با یا بدون فضای کشت گیاه در وسط مکعب



Slabs

معمولا بستر از دو ردیف پشم سنگ تشکیل می شود

- The slabs are usually 6 to 12 inches wide, 29 to 39 inches long, and 3 inches thick

اسلب (Slabs) با پلاستیک سفید پوشیده می شوند

فاصله حدود ۲۵ سانتی متر بین ردیفهای گوجه فرنگی لحاظ می شود

Pads or Starter Sheets

مناسب نشای گیاهی یا قلمه ها

- Rockwool pads are pre-formed cubes of rockwool connected to form a pad

- You can cut individual cubes or strips of cubes

کوکوپیت Coconut Fiber

فیبری است که پوست یا مزوکارپ (پوست میانی) ضخیم میوه نارگیل را تشکیل میدهد. این ماده خشک و فراوری شده و به صورت مکعب های فشرده مورد استفاده قرار میگیرد.

ویژگی ها

بستر کشت شیمیایی، دارای pH نسبتاً اسیدی، ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت کاتیونی بالا

لیکا LECA

نوعی رس پخته شده از انواع آمینوسیلیکاتها است.

ویژگی ها

pH خنثی، CEC بسیار پایین

خاصیت مویینگی در سطح ذرات سبک وزن لیکا:

عامل هدایت آب به سمت ریشه گیاه

به خوبی سایر بسترهای رشد نیست

کاربرد آن در هیدروپونیک رایج نیست

لیکا LECA

با عنوان هیدروتون: **Hydroton**

ذرات کروی یا قطعات با اندازه متفاوت در اندازه ۱ تا ۱۸ میلی متر

چندبار قابل استفاده است

ظرفیت نگداشت کم آب و عناصر غذایی:

خشک شدن سریع بستر در اغلب موارد با مدیریت نامطلوب

-احتمال تجمع نمک و خشک و سفت شدن بستر در سیستم های جذر و مدی

خاک اره و تراشه چوب

- در مناطقی که خاک اره زیاد است
- متراکم
- مقداری ظرفیت تبادل کاتیونی دارد
- در طی زمان تجزیه می شود
- لذا در طولانی مدت مناسب نیست

شن و سنگریزه

- اغلب برای ساخت بستر بر روی زمین استفاده می شود
- کابرد بیشتر در خارج از گلخانه در مقایسه با داخل گلخانه
- بسیار شبیه پرلیت است
- همانند پرلیت استریل می شود
- مقداری آب در خود نگه می دارد و تهویه مناسب دارد

کمپوست

گسترده ترین ترکیب مورد استفاده بوده که به فراوانی در دسترس بوده و ارزان می باشد، اما در سالهای اخیر استفاده از آن به عنوان بستر کاشت محدود شده است.

مزایا

فراوان، ارزان، کاربرد آسان، وجود عناصر غذایی

معایب

شوری بالا، زیاد بود برخی عناصر غذایی، تنوع بسیار زیاد ترکیبات آن، پایداری کم

جدول ۱۱-۸: نتایج تجزیه شیمیایی عصاره ½ ۱:۱ کمپوست سبز ضایعات، پیت و مخلوط (۲۰:۸۰ v/v) دو ماده پس از تنظیم غلظت عناصر به وسیله کوددهی

بستر	pH	EC	NH_4	K	Na	Ca	Mg	NO_3	Cl	SO_4	P	HCO_3
کمپوست	۷/۸	۲/۶	<۰/۱	۱۳/۹	۲/۹	۱/۳	۰/۸	۵/۸	۱۰/۰	۰/۶	۰/۰۹	۱/۶
پیت	۳/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	<۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۲۱	<۰/۱
مخلوط	۵/۵	۱/۰	۰/۶	۳/۱	۱/۰	۱/۳	۰/۸	۴/۰	۲/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۹۶
سطح مناسب	۵/۵	۰/۹	۱/۰	۱/۶	<۱/۷	۱/۲	۰/۵	۴/۰	<۱/۷	۰/۸	۰/۵۰	<۰/۱

سلامت بسترهای کاشت

- کنترل شوری و پ هاش در سطح مناسب
- داشتن اطلاعات کافی در مورد منشاء بستر، اجزا و ترکیبات موجود در بستر
- آگاهی دقیق از مراحل و فرایندهای تولید بستر
- بررسی حد بحرانی سمی عناصر در بسترهای کاشت
- کنترل عوامل بیماری زای موجود در بستر

آستانه مجاز غلظت برخی عناصر در بسترهای کاشت

جدول ۱۱-۱۸: بیشترین غلظت مجاز فلزات سنگین ارائه شده توسط RHP (۲۰۰۷) و اکولی‌بل (۲۰۰۷). غلظت‌ها براساس ماده خشک بیان شده است.

عناصر	اکولی‌بل		RHP مواد آلی		RHP مواد معدنی	
	mol kg^{-1}	mg kg^{-1}	mol $kg\mu^{-1}$	mg kg^{-1}	mol $kg\mu^{-1}$	mg kg^{-1}
Cd	۸/۹	۱	۶/۴	۰/۷۲	۳۲/۰	۳/۶
Cr	۱۹۲۳	۱۰۰	۹۶۲	۵۰	۴۸۰۸	۲۵۰
Cu	۱۵۷۲	۱۰۰	۳۷۷	۲۴	۱۸۸۷	۱۲۰
Hg	۵/۰	۱	۱/۱	۰/۲۳	۵/۷	۱/۱۵
Mo	۲۰/۹	۲	–	–		–
Ni	۸۵۲	۵۰	۱۷۰	۱۰	۳۴۰۷	۲۰۰
Pb	۴۸۳	۱۰۰	۳۱۴	۶۵	۱۵۶۹	۳۲۵
Se	۱۹/۰	۱/۵	–	–		–
Zn	۴۵۸۷	۳۰۰	۱۱۱۶	۷۳	۵۵۸۱	۳۶۵
As	۱۳۴	۱۰	۶۷	۵	۱۴۰۲	۱۰۵
F	۱۰۵۲۶	۲۰۰	–	–		–

نکات مهم در تولید بسترهای کاشت

- pH بستر بسیار کم و یابیش از حد بالاست و نیازمند تعدیل است.
- ظرفیت تبادل کاتیونی بستر پایین بوده و نیازمند تغذیه با محلول غذایی است.
- بستر کاشت دارای ظرفیت تبادل کاتیونی مناسب بوده که در این صورت دو حالت رخ می دهد:
  - افزودن عناصر غذایی مطلوب است.
  - افزودن عناصر غذایی مطلوب نمی باشد.

مراحل آماده سازی بسترهای کاشت

۱- ترکیب و مخلوط کردن مواد مختلف

هدف از ترکیب بسترهای مختلف با یکدیگر، بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی بستر نهایی مانند نسبت آب به هوا و ... است.

۲- تنظیم pH

- به طور کلی، pH بستر با افزودن مواد اصلاحی رایج مانند مخلوط کربنات کلسیم و منیزیم در کارخانه تنظیم میشود، زیرا تنظیم pH بسترهای کاشت در طول دوره کاشت و رشد گیاه مشکل است.
- گنجایش تبادل کاتیونی مواد استفاده شده از مهمترین عوامل موثر بر نحوه تنظیم pH بستر می باشد.

جدول ۱۱-۹: pH بسترهای کاشت و مواد بستری مختلف ارائه شده توسط کیپ و همکاران (۲۰۰۰).

مواد بستری	میانگین	گستره
خرده چوب	۴/۸	۳/۸–۵/۴
دانه‌های رس منبسط شده	۸/۱	۷/۷–۸/۶
الیاف درشت نارگیل	۵/۷	۵/۴–۶/۱
الیاف ریز نارگیل	۶/۲	۶/۰–۶/۷
پرلیت	۶/۳	۵/۲–۷/۷
پلی اورتان فوم	۶/۶	۴/۷–۸/۹
پومیس	۶/۳	۴/۷–۷/۶
پشم سنگ	۶/۲	۵/۲–۷/۸
پیت	۳/۹	۳/۴–۴/۴

جدول ۱۱-۱۰: گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) برخی بسترهای کاشت و مواد بستری برحسب میلی مول در کیلوگرم ماده خشک.

مواد بستری	CEC	منابع
هوموس	۲۰۰۰	Bunt, 1988
پیت	۵۶۰-۱۵۸۰	Lamaire, 1995; Lamaire 1998; Puustjarvi, 1977
coir dust	۳۵۰-۶۰۰	Evans et al., 1996; Verhagen, 1999
خاک اره (تازه)[1]	۱۰۰	Jokova et al., 1997
کمپوست (تازه)	۲۷۰-۱۰۸۰	Jokova et al., 1997; ; Lamaire 1998
کمپوست (پوسیده)	۶۴۰-۱۸۱۰	Chen et al., 1989; Jokova et al., 1997; Lamaire 1998
رس[1]	۱۰۰-۳۰۰	RHP, 2007
ورمیکولیت[1]	۳۹۰-۵۳۰	Van der Mark, 2008
پرلیت	۱۰-۷۰	Bunt, 1988; Gizas et al., 2001; Lamaire, 1995
زئولیت	۴۰۰-۱۲۰۰	Stamatakis, 2001; Maloupa, 2002
توف[2]	۷۰-۶۰۰	Silber et al., 1994
پومیس	۶۰-۸۰	Gizas et al., 2001;
پشم سنگ	۰	Lamaire, 1995

[1] متن مشاهده شود

[2] در محدوده pH:۴-۷

مراحل آماده سازی بسترهای کاشت

۳- تنظیم عناصر غذایی پرمصرف

آماده سازی بسترهای فقیر از عناصر غذایی :

- بستر دارای CEC بالا باشد ⟵ مقداری عناصر غذایی پرمصرف به بستر اضافه میشود.
- بستر دارای CEC کم باشد ⟵ در چنین بسترهایی هیچ دلیلی برای اضافه کردن کود ها وجود ندارد و با استفاده از محلول غذایی مورد نظر محیط ریشه در بستر کاشت نیاز گیاه تامین میگردد.

مراحل آماده سازی بسترهای کاشت

۴- تنظیم عناصر غذایی کم مصرف

- نحوه افزودن عناصر کم مصرف به بسترهای کاشت با کاربرد عناصر پر مصرف متفاوت است، به دلیل اینکه این عناصر در غلظت های بسیار کم برای رشد گیاه مطلوب بوده و pH نقش اساسی در جذب آنها دارد.
- آگاهی از میزان صحیح مقادیر عناصر کم مصرف اضافه شده در زمان تهیه بستر ضروری است زیرا با بالا رفتن غلظت آنها در محیط ریشه، به راحتی باعث سمیت در گیاه میگردد.

- محلول های غذایی

- ترکیب اصلی و پایه ای کشت هیدروپونیک، محلولهای غذایی می باشند که تنها عامل تغذیه آب و مواد معدنی گیاهان می باشند.
- هفده عنصر معدنی برای رشد گیاه ضروری است و به منظور مدیریت صحیح محلول غذایی بایستی از مقدار صحیح و مورد نیاز هر گیاه به این عناصر در محلول غذایی اطمینان حاصل شود تا کشت هیدروپونیک با موفقیت انجام شود

فرمول های مهم محلول های غذایی

- هوگلند (هوگلند و آرنون, ۱۹۵۰)
- جانسون (جانسون, ۱۹۵۷)
- محلول غذایی لانگ آشتون [Rich LongAshtonSolution] در انگلستان، به وسیله هویت (۱۹۶۶)
- محلول هوهنهایم [Hohenheim Solution]
- محلولهای غذایی در محیط کشت گردشی
  رقیق (شبیه محلول خاکهای غیرحاصلخیز) جهت تشخیص حدود کمبود، کفایت و سمیت عناصر

- ترکیب شیمیائی برخی محلولهای غذائی رایج

عنصر	هوگلند یک-دوم×	جانسون یک-دوم××	هوهنهایم شماره1 ×××	محلول غذائی در کشت گردشی (شماره 1)××××	محلول غذائی در کشت گردشی (شماره 2) ×××××
نیترات	7000	7000	4000	750	700
آمونیوم	500	1000	-	100	-
فسفر	500	1000	100	04/0-25	50
پتاسیم	3000	3000	1600	250	1-33
کلسیم	2000	2000	2000	250	420-470
منیزیم	1000	500	500	100	100
گوگرد	1000	500	1200	100	100
کلر	9	25	100	100	125
مس	15/0	25/0	2/0	1/0	02/0
آهن	5/12	2	4-100	2	5
منگنز	5/4	5/2	5/0	1	5/0
روی	4/0	1	5/0	5/0	05/0
بور	23	5/12	1-10	3	5/2
مولیبدن	05/0	05/0	01/0	02/0	005/0

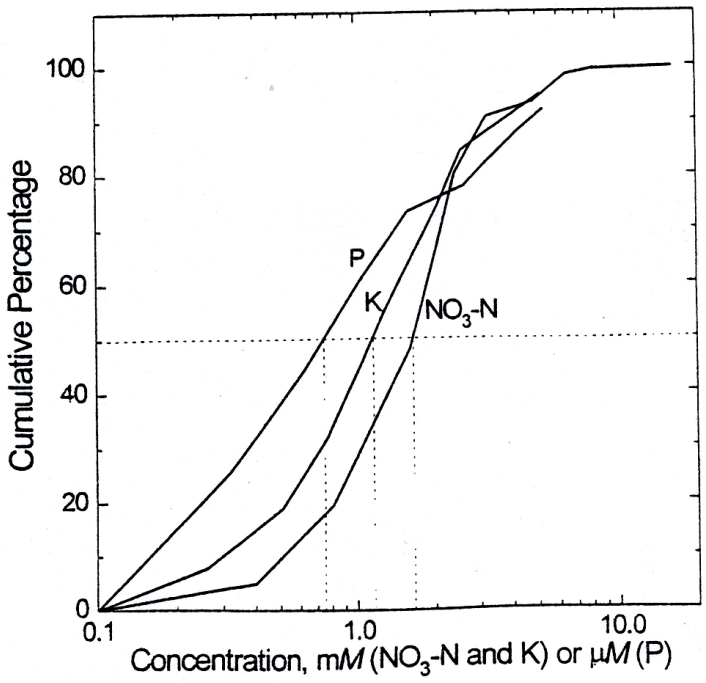
مقایسه محلول های غذایی با محلول خاک

- غلظت بالاتر عناصر در محلول های غذایی نسبت به محلول خاک
- غلظت فسفردر محلول غذایی دهها برابر بیشتر از محلول خاک
- غلظت متفاوت عناصر کم مصرف
- نسبت کلسیم به منیزیم در اغلب محلول های غذایی همانند برخی محلولهای خاک, بین ۲ تا ۴ بوده و به کارگیری نسبت های بسیار پایین کلسیم به منیزیم سبب کمبود کلسیم و **سمیت منیزیم در گیاه می شود**
- احتمال سمیت عناصر به ویژه در مورد گیاهان حساس

محلول غذایی و محلول خاک

- ترکیب شیمیایی یک محلول غذایی ایده ال باید کاملاً شبیه ترکیب محلول خاک مورد مطالعه باشد.
- ایجاد غلظت های کم و پایدار عناصر (در محدوده کمبود عنصر برای رشد طبیعی گیاه) و شبیه سازی محلول خاک های فقیر از عناصر غذایی، مورد توجه پژوهشگران بوده است.
- تغییرات غلظت عناصر غذایی در محلول خاک های مختلف بسیار گسترده می باشد.
- روش های عصاره گیری محلول خاک نیز بر ترکیب عناصر غذایی تأثیر دارد.

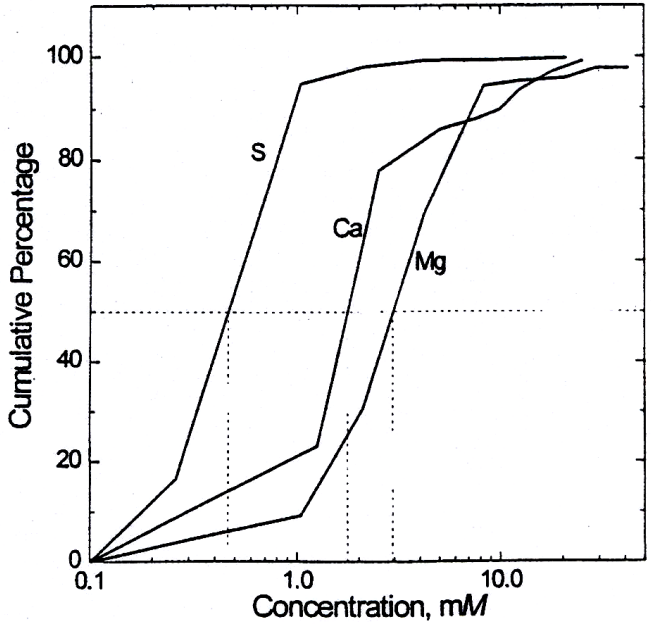
ترکیب محلول خاکهای مختلف (ریسونوئر (۱۹۶۶))



ریسونوئر (۱۹۶۶)

توزیع غلظت نیترات، فسفر و پتاسیم در محلول خاک
خطوط نقطه چین نشان دهنده میانگین تخمین زده شده برای هر یک از عناصر است

ترکیب محلول خاکهای مختلف (ریسونوئر (۱۹۶۶))



توزیع غلظت گوگرد, کلسیم و منیزیم در محلول خاک
خطوط نقطه چین نشان دهنده میانگین تخمین زده شده برای هر یک از عناصر است

بکارگیری محلول‌های غذایی کنونی برای رشد گیاه از اواسط قرن نوزدهم، زمانی که اهمیت عناصر معدنی برای رشد گیاه توسط وان‌لیبیگ مشخص شد.

- در ابتدا محلول غذایی هیدروپونیک دارای ترکیب ساده شامل تمام عناصر پرمصرف و آهن بود:
- نمک‌های KNO3، Ca(NO3)2, KHPO4، MgSO4 و کود آهن
-
- موفقیت نسبی این محلول‌های غذایی: به علت تأمین ناآگاهانه عناصر غذایی کم‌مصرف از ناخالصی‌های کودها
- کودهای عناصر پرمصرف حاوی غلظت کافی عناصر غذایی کم مصرف به شکل ناخالصی‌ها ... مانع کمبود شدید این عناصر
-
- ضرورت وجود عناصر غذایی کم مصرف برای رشد گیاه در نیمه اول قرن بیستم .....
- همزمان با خالص‌سازی مواد شیمیایی و کودها

- ارایه اولین ترکیب ویژه برای محلول‌های غذایی توسط هوگلند و آرنون.
- از آن زمان تاکنون، استفاده از این فرمول غذایی در بسیاری از پژوهش‌ها

- استفاده از سیستم‌های هیدروپونیک برای مطالعه تأثیر عناصر غذایی بر رشد و عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی

- کاربرد سیستم‌های هیدروپونیک بعد از دهه هفتم قرن بیستم، به‌طور گسترده برای اهداف پژوهشی و به ویژه تجاری

- شروع کشت‌های بدون خاک گوجه‌فرنگی، خیار و برخی گل‌های شاخه بریده در کیسه‌های پیت در جزایر ایسلند
- کشت گیاهان در پشم سنگ در کشورهای اسکاندیناوی و هلند
- رواج فناوری لایه نازک محلول غذایی در بریتانیا

- نقش کلیدی محلول‌های غذایی در موفقیت‌آمیز بودن تولید در تمام این سیستم‌ها
- دلیل: مقدار عناصر غذایی قابل دسترس در هر لحظه در سیستم‌های هیدروپونیک بدون بستر و یا سیستم‌های دارای بستر (مانند پشم سنگ، پیت و پرلیت) محدود بوده و تنها چند درصد از کل مواد معدنی مورد نیاز گیاه را شامل می‌شود

- در مورد برخی از بسترها، مانند پیت، اگرچه در ابتدا مقادیر مورد استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف قبل از کاشت، مقدار قابل توجهی از نیاز گیاه را تأمین می کند اما به‌طور دقیق نمی‌توان پیش‌بینی کرد که این عناصر به اندازه کافی برای تمام دوره رشد در دسترس باشد.

- بخش قابل توجهی از این عناصر طی دوره‌های طولانی‌مدت رشد، آبشویی شده و یا غیرفعال می‌شوند.
- بنابراین، حتی در چنین مواردی بررسی دقیق وضعیت عناصر غذایی کم‌مصرف و کنترل مقدار کاربرد آنها توصیه می‌شود.

- با گسترش سیستم‌های کشت بدون خاک:
  - ضرورت توسعه محلول‌های غذایی برای انواع محصولات و شرایط مختلف رشد
  - محلول غذایی هوگلند (اصطلاحاً محلول غذایی جهانی) فقط در آزمایش‌های با مقیاس کوچک و در صورت تعویض منظم محلول مناسب است.

  - با توجه به سیاست توسعه سیستم‌های کشت بدون خاک در قرن ۲۱:
    - توسعه انواع محلول‌های غذایی برای برخی گیاهان و شرایط مختلف رشد

برخی عوامل موثر در توسعه محلول‌های غذایی:

- جذب ویژه توسط گیاه
- ویژگی‌های بستر
- ترکیب شیمیایی آب آبیاری
- مرحله رشد گیاه
- شرایط آب و هوایی
- استفاده یا عدم استفاده مجدد از آب زه‌کش

ویژگی‌های محلول‌های غذایی

- محلول‌های غذایی پیشرفته حاوی همه عناصر ضروری برای رشد گیاه
- وجود عناصر غذایی در برخی بسترهای کاشت
- نامشخص بودن مقدار قابل دسترس عناصر غذایی بسترها
  - بستگی به pH: یک عامل ناپایدار در بستر کشت
- در گلخانه‌های پیشرفته: خسارت اقتصادی قابل توجه به تولید محصول از تغذیه نامناسب گیاه
  - دلیل: هزینه‌های خسارت در چنین مواردی با هزینه کود اضافی مصرفی قابل مقایسه نیست.
- تعیین و کنترل مقدار عناصر آب آبیاری یا عناصر آزاد شده از بستر در طول دوره رشد گیاه
- تنظیم غلظت عناصر در محیط رشد ریشه بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی بستر و یا محلول محیط ریشه

عناصر محلول‌های غذایی:

- عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم
- عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، روی، بور، مس و مولیبدن.
- ضرورت نیکل برای گیاه: کاربرد در برخی محلول‌های غذایی
- بکارگیری برخی عناصر مفید نظیر سیلیسیم برای برخی گیاهان نظیر خیار
- دقت در مقدار و نحوه مصرف عناصر مفیدیا عناصری که غلظت‌های بسیار کم آنها مورد نیاز است: نظیر نیکل
- ممکن است افزودن نیکل به محلول غذایی به شدت جذب و انتقال سایر عناصر غذایی فلزی را تحت تأثیر قرار دهد

سیلیسیم: عنصر مفید یا ضروری

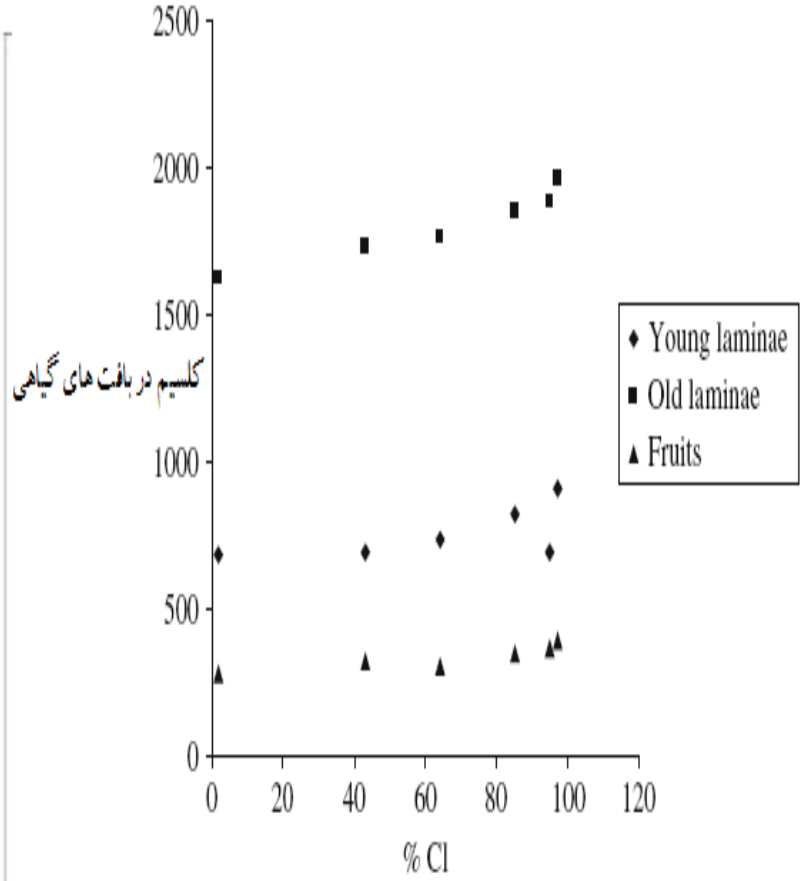
- جذب سیلیسیم به شدت بین گونه‌های مختلف گیاهی، متفاوت است.
- وجود این عنصر به مقدار زیاد در خاک و تعدادی از بسترها
- در کشت بدون خاک افزودن سیلیسیم به محلول‌های غذایی بستگی دارد به:
- نوع بستر
- غلظت سیلیسیم آب
- پاسخ مورد انتظار گیاه
- تغذیه سیلیسیم در کاهش سفیدک پودری خیار و گل رز مؤثر بوده
- باعث افزایش عملکرد برخی از محصولات می‌شود

سدیم و کبالت:

- سودمند برای برخی از گیاهان و ضروری برای برخی
- وجود کلر و سدیم در آب آبیاری به اندازه نیاز گیاه
- افزودن کلر برای تحریک جذب کلسیم به محلول غذایی گوجه‌فرنگی
- اطلاعات کم در مورد کبالت
- اضافه شدن ازطریق ناخالصی‌های مختلف

برهکنش عناصر

- تشدید و یا کاهش جذب عناصر بواسطه زیادبود و یا کمبود یک عنصر
- وجود روابط ضدیتی یا هم‌افزایی بین کاتیون و آنیون‌های مختلف
- شکل. مثالی از جایگزینی NO_3^- توسط کلر در EC بالا در محیط ریشه گوجه‌فرنگی
- این جایگزینی به شدت جذب Caرا افزایش می‌دهد و در نتیجه باعث کاهش پوسیدگی گلگاه می گردد.



رابطه بین درصد کلر (Cl+NO) در محیط ریشه و غلظت کلسیم بافت‌های گیاهی گوجه‌فرنگی رشد کرده در پشم‌سنگ (بر اساس میلی‌مول در کیلوگرم ماده خشک برای ۱۰ میوه

مهمترین ویژگی های محلول های غذایی

- پتانسیل اسمزی
  - پتانسیل اسمزی محلول غذایی عمدتا توسط قابلیت هدایت الکتریکی EC تعیین شده
  - بیانگر غلظت نمکهای معدنی در محلول غذایی میباشد
  - وجود یک رابطه خطی بین پتانسیل اسمزی

- pH محیط ریشه
  - تاثیر بر قابلیت جذب بسیاری از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به ویژه عناصر کم مصرف
  - سمی بودن pH بسیار کم در محیط ریشه برای گیاهان

منبع عناصر در محلول غذایی

- عمدتاً به صورت:
  - کود
  - نمک‌های معدنی
  - اسیدها
  - بازها

- تامین نیتروژن به شکل NH_4^+ و NO_3^-
- عمدتاً انتخاب شکل نیتروژن بر اساس pH محیط ریشه
- افزودن NH_4^+: باعث کاهش pH محیط ریشه می‌شود.
- مقادیر استاندارد NH_4^+ در محلول‌های غذایی: بین ۵ تا ۱۰ درصد از کل نیتروژن عرضه شده
- به ندرت از ۱۵ درصد تجاوز می کند
- افزودن NH_4^+ تنها در طول رشد گیاه و برای تنظیم pH محیط ریشه
- سمی بودن غلظت بالای NH_4^+، به ویژه در مقادیر بالای pH

آهن

- ناپایداربودن آهن نمک‌های معدنی و رسوب سریع
- لزوم عرضه به شکل کمپلکس‌های آلی یا کلات

عناصر همراه

- افزوده شدن یک یا چند یون دیگر با مصرف کودهای عناصر پرمصرف به محلول‌های غذایی
- لزوم توجه به غلظت یون‌های همراه
- یون‌های همراه برای عناصر غذایی کم‌مصرف:
- کلر
- NO3-
- SO42- (عناصر پرمصرف)
- مقدار اضافه شده این یون‌ها به محلول غذایی از طریق کودهای عناصر کم‌مصرف در مقایسه با نیاز گیاه، ناچیز است.

توسعه محلول های غذایی برای گیاهان مختلف و مراحل مختلف رشد

- جذب عناصر غذایی بین گیاهان مختلف به شدت متفاوت است.
- نه تنها مقدار عناصر غذایی جذب شده، بلکه نسبت بین عناصر نیز متفاوت است.
  - جذب سالانه نیتروژن و پتاسیم توسط گوجه‌فرنگی و گل داودی روند مشابهی دارد
  - اما جذب و نسبت عناصر دیگر به شدت متفاوت می‌باشد.
  - غلظت و نسبت بیشتر عناصر در ارکیده تفاوت زیادی با دو گیاه دیگر دارد.

جدول ۱۲-۱: جذب سالانه عناصر پرمصرف (کیلوگرم در هکتار) توسط گوجه فرنگی پرمحصول، گل داوودی و ارکیده (رقم Yonina) به ترتیب با تولید ۶۰ کیلوگرم وزن تر میوه، ۲۲/۵ و ۲/۳ کیلوگرم وزن تر گل در سال در متر مربع.

عناصر	گوجه فرنگی		داوودی		ارکیده	
	کیلوگرم در هکتار	نسبت N=۱۰۰	کیلوگرم در هکتار	نسبت N=۱۰۰	کیلوگرم در هکتار	نسبت N=۱۰۰
N	۱۱۸۵	۱۰۰	۹۰۳	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰
P	۲۸۴	۲۴	۱۲۹	۱۴	۱۸	۱۶
S	۲۹۰	۲۴	۶۱	۷	۳۷	۳۴
K	۲۰۴۴	۱۷۲	۱۵۶۷	۱۷۴	۱۶۳	۱۴۸
Ca	۸۶۳	۷۳	۲۵۹	۲۹	۱۱۱	۱۰۱
Mg	۲۰۸	۱۸	۸۲	۹	۱۰	۹

جذب عناصر در طی سال به شدت متفاوت است .....و با نرخ رشد گیاه مرتبط است.

شدت نور: عامل مؤثر بر رشد .....

تاثیر بر (۱) شدت تعرق (۲)تاثیر بر مقدار آب مصرفی گیاه

در نتیجه، جذب روزانه بسته به شدت نور دریافتی متغیر است.

جذب روزانه در فصل تابستان در مقایسه با زمستان بسیار بیشتر است

به ویژه در مناطقی که نور دریافتی در زمستان کم است.

آشنایی با مفهوم غلظت جذب

- **این نشان می‌دهد که نسبت بین جذب آب و جذب عناصر غذایی تقریباً ثابت است.**
- **این نسبت "غلظت جذب"(Concentration uptake) نامیده می‌شود**

  - **پایه و مبنای فیزیولوژیکی ندارد، چرا که جذب آب و عناصر غذایی فرآیندهایی مستقل از یکدیگر هستند**
  - **"غلظت جذب" پایدار نبوده**
  - **با افزایش شدت نور، زیاد و با کاهش شدت نور، کم می شود.**
    - **علت:**
    - **فتوسنتز رابطه خطی با شدت نور ورودی ندارد در حالی که رابطه تعرق با شدت نور ورودی، خطی است**
    - **اغلب تغییرات "غلظت جذب" با تابش، کمتر از تغییرات مقدار جذب روزانه است لذا:**

استفاده از "غلظت جذب" اغلب به عنوان شاخص قابل اعتماد برای افزودن کود به آب آبیاری در سیستم های کشت بدون خاک با بستر

ویژگی فرمول های غذایی مناسب

- نکته: به منظور مصرف بهینه عناصر غذایی، توسعه محلول غذایی های غذایی استاندارد مهم است.
- عوامل موثر بر نیاز واقعی و بهینه عناصر غذایی گیاه:
  - شرایط رشد هر گیاه شامل شرایط محیطی (شدت نور و شدت تعرق)
  - مدیریت آبیاری (حجم زهکش، نحوه استفاده مجدد از زهکش و نسبت در گردش آن)
  - مراحل نمو گیاه (ورود از مرحله رشد رویشی به مرحله زایشی)

- مثال: جدول ۱۲-۳

عمدتاً افزایش نسبت جذب کلسیم به پتاسیم در:

مرحله زایشی گوجه‌فرنگی و سایر سبزیجات و میوه
در زمان تشکیل طبق کاهو و هنگام تولید گل در گل‌های شاخه بریده مانند رز و میخکپ

علت: نسبت بالای کلسیم به پتاسیم در اندام‌های تولیدمثلی مانند میوه‌ها و شاخه گل نسبت به اندام‌های رویشی نظیر برگ‌ها

جدول ۱۲-۲- توزیع ماده خشک، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در بخش‌های مختلف گوجه‌فرنگی و خیار بر حسب درصد جذب کل شاخساره گیاه

	گوجه‌فرنگی				خیار		
	برگ	شاخه[1]	ساقه	میوه	برگ	ساقه	میوه
ماده خشک	۲۰	۴	۱۴	۶۲	۲۸	۱۴	۵۸
پتاسیم	۱۸	۵	۱۱	۶۶	۲۲	۱۰	۶۷
کلسیم	۷۶	۴	۱۵	۵	۵۶	۲۳	۲۰
منیزیم	۵۰	۵	۱۵	۳۰	۴۴	۱۹	۳۷

نسبت کلسیم به پتاسیم میوه به ویژه در گوجه‌فرنگی، بسیار بیشتر از برگ‌هاست
بنابراین: ضرورت تنظیم محلول غذایی افزوده شده به سیستم کشت در طی رشد و نمو گیاه

جدول ۱۲-۳: پروتکل تنظیم محلول غذایی گوجه فرنگی در یک سیستم کشت بدون خاک بسته براساس مرحله رشد گیاه.

مرحله رشد	میلی‌مولار						
	NH_4	K	Ca	Mg	NO_3	SO_4	H_2PO_4
محلول استاندارد	۱/۰	۶/۵	۲/۷۵	۱/۰	۱۰/۷۵	۱/۵	۱/۲۵
محیط اشباع ریشه	-۰/۵	-۲/۵	+۱/۰	+۰/۵	-		
شروع تا اولین خوشه گل[1]		-۱/۲	+۰/۳	+۰/۳			
اولین تا سومین خوشه گل							
سومین تا پنجمین خوشه گل		+۱/۰	-۰/۲۵	-۰/۲۵			
پنجمین تا دهمین خوشه گل		+۳/۵	-۱/۲۵	-۰/۵۰			
دهمین تا دوازدهمین خوشه گل		+۱/۰	-۰/۲۵	-۰/۲۵			
پس از دوازدهمین خوشه گل							

[1] تنظیمات براساس تعداد خوشه در زمان شکوفایی گل‌هاست

[2] در مکان‌هایی که مقادیر ارائه نشده است، از همان غلظت‌های استاندارد استفاده می‌شود

غلظت عناصر غذایی در محلول عرضه شده در سیستم باز و بسته

- در سیستم باز: حجم زه‌کش ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است

غلظت یون‌های دوظرفیتی به ویژه سیستم‌های بسته نسبتاً پایین‌تر می‌باشد.

انباشتگی یون‌های دو ظرفیتی در محیط ریشه به دلیل جذب نسبتاً کم

جدول ۱۴-۴- ترکیب محلول محیط ریشه گوجه‌فرنگی و ترکیب محلول غذایی کاربردی ارائه شده برای یک سیستم بسته و یک سیستم باز

شاخصه	محیط ریشه	مقدار کاربرد در سیستم بسته	مقدار کاربرد در سیستم باز	نسبت باز/ بسته
EC ($dS\ m^{-1}$)	۴/۰	۱/۶	۲/۶	۱/۶
NH_4 ($mmol\ L^{-1}$)	۰/۵	۱/۰	۱/۲	–
K	۸/۰	۶/۵	۹/۵	۱/۵
Ca	۱۰/۰	۲/۷۵	۵/۴	۲/۰
Mg	۴/۵	۱/۰	۲/۴	۲/۴
NO_3	۲۳/۰	۱۰/۷۵	۱۶/۰	۱/۵
SO_4	۶/۷۵	۱/۵	۴/۴	۲/۹
H_2PO_4	۱/۰	۱/۲۵	۱/۵	۱/۲

کیفیت آب مورد استفاده به روشهای مختلف بر ترکیب محلول غذایی تاثیر می گذارد.

آبهای با غلظت کم عناصر معدنی: مناسب برای تهیه محلول های غذایی

- در صورت پایین بودن غلظت همه عناصر، آب زه‌کش می‌تواند دوباره به طور کامل استفاده شود: نظیر آب باران یا آب مقطر

آب‌های طبیعی زیرزمینی یا آب‌های سطحی معمولاً شامل غلظت قابل توجهی از عناصر معدنی و اغلب فراتر از "غلظت جذب" می‌باشند.

این آب‌ها معمولاً برای استفاده در سیستم‌های بسته چندان مناسب نمی‌باشد.

تأثیر وجود عناصر معدنی در آب آبیاری در زمان آماده‌سازی محلول‌های غذایی

- **حالت اول:** در شرایطی که آب مورد استفاده، شور و حاوی عناصر مختلف بوده و غلظت عناصر برابر یا کمتر از "غلظت جذب" باشد
  - تنظیم محلول غذایی با اضافه کردن عناصر غذایی مورد نیاز

- **حالت دوم:** در شرایطی که غلظت عناصر غذایی یا سطح شوری آب آبیاری، بالاتر از "غلظت جذب" گیاه است
  - تنظیم محلول غذایی از طریق افزودن عناصر صورت نمی‌گیرد. با این حال، عناصر غذایی و یا نمک در محیط ریشه انباشته می‌شود.
  - بیشینه سطح انباشتگی قابل قبول، برای محصولات و شرایط رشد مختلف، متفاوت است.
  - در برخی شرایط بسته به ترکیبات موجود در محلول غذایی و مقدار

- **حالت سوم:** **در شرایطی که غلظت مواد معدنی در آب آبیاری (مورد استفاده برای تهیه محلول غذایی) خیلی بیشتر از "غلظت‌های جذب" بوده و انباشتگی مواد معدنی بیش از بیشینه قابل قبول باشد**

- وجود زه‌کش برای تخلیه عناصر اضافی
- خروج سایر عناصر غذایی با زه‌کش علاوه بر عناصر غذایی مازاد،
- باید سیستم تنظیم کننده‌ای وجود داشته باشد که عناصر مورد نیاز دوباره افزوده شود.

حالت چهارم: در شرایطی که آب اولیه شامل (بی)کربنات‌ها باشد

- تنظیمات ویژه
  - افزایش pH محلول غذایی به دلیل گنجایش بافری قلیایی Alkaline buffering capacity
  - حل مشکل با اضافه کردن اسید به محلول غذایی
  - HNO۳ و احتمالاً H3PO4یا H2SO4
- با افزایش اسید واکنش زیر رخ می‌دهد:

$$HCO3 + H3OA \rightarrow 2H2O + A + CO2 \uparrow$$

در این معادله منظور از Aآنیون موجود در اسید استفاده شده بوده و می‌تواند NO3، H2PO4یا یون SO4باشد.

تصفیه آب

تصفیه آلاینده های آلی (آفت کشها، علف کشها و ترشحات ریشه)

تصفیه آلاینده های معدنی (سرب، کادمیم، سدیم، کلر)

روشهای تصفیه آب

- روش اسمز معکوس
- تیمار اوزون
- استریل کردن با اشعه UV
- روش کلرزنی
- روش پراکسید هیدروژن
- استفاده از رزین

تنظیمات مورد نیاز محلول های غذایی

- بررسی منظم ترکیب شیمیایی محیط ریشه

به منظور تعین کمبود، کفایت یا زیاد بود، غلظت عناصر با غلظت های مبنا و آستانه که برای هر گیاه و شرایط مشخص رشد، تعین شده مقایسه خواهد شد.

مقدار کود مصرفی برای تنظیم غلظت عناصر به درصد کاهش غلظت در مقایسه با غلظت آستانه بستگی دارد.

- اندازه گیری منظم و دوره ای EC و pH

مدیریت محلول غذایی

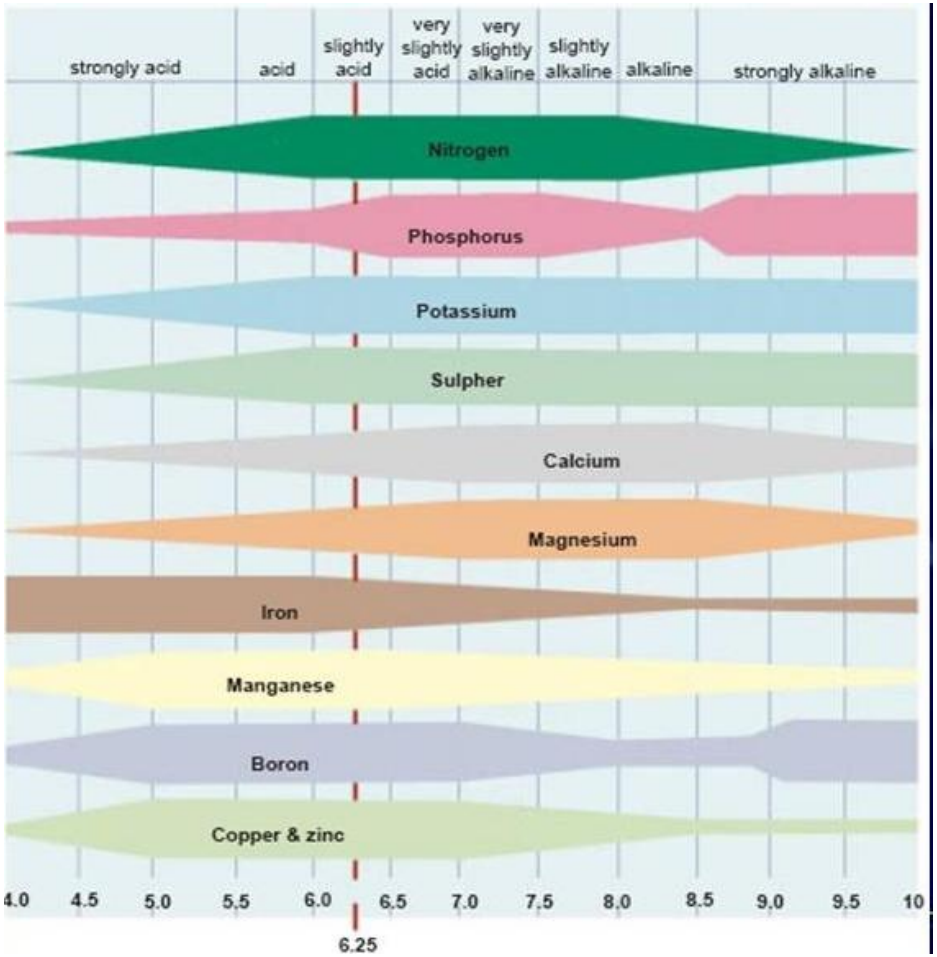
Figure 39: Measuring nutrient solution pH using a portable digital pH meter

- **تنظیم pH محلول غذایی**

- محدوده پ هاش مناسب محلول غذایی ۵/۶ تا ۶/۵ است.
- کنترل و تنظیم دائمی پ هاش، تاثیر زیادی بر سلامت گیاه دارد.
- قابلیت جذب عناصر غذایی وابستگی زیادی به پ هاش محلول دارد.
- در مرحله رویشی گیاه از اسید نیتریک و در مرحله زایشی از اسید سولفوریک برای تنظیم (کاهش) پ هاش محلول استفاده می شود.
- از محلول هیدروکسید پتاسیم برای تنظیم (افزایش) پ هاش محلول استفاده می شود.

محدوده پ هاش مناسب برخی گیاهان

گیاه	pH
لوبیا	۵/۸ – ۶/۲
کلم	۶/۳ – ۶ /۵
خیار	۵/۷ – ۶ /۲
بادمجان	۵/۷ – ۵ /۹
کاهو	۵/۷ – ۶ /۲
نخود	۶/۳ – ۶ /۵
تربچه	۵/۸ – ۶ /۲
گوجه	۵/۸ – ۶
هندوانه	۵/۴ –۵ /۶

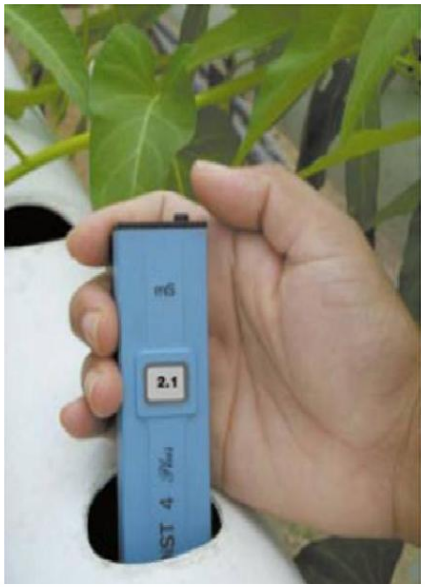


محدوده پ-هاش مناسب دسترسی عناصر غذایی

مدیریت محلول غذایی

تنظیم شوری(EC) محلول غذایی

واحد شوری یا EC : dS/m , mmohs/cm , mS/cm



- محدوده مجاز EC محلول غذایی ۲ تا ۵/۲ است.
- برای کاهش EC از آب غیر شور استفاده می شود.
- محلول غذایی سبب افزایش EC می شود.

مدیریت محلول غذایی

اثرات متقابل یون ها بر یکدیگر

یونها در هنگام جذب اثر متقابل یا بر همکنش بر یکدیگر دارند. به عبارت دیگر **جذب یک یون در جذب یون دیگر تداخل ایجاد میکند.**

انواع برهمکنش

برهم کنش مثبت Synergism : جذب یک یون باعث افزایش جذب یون دیگر در گیاه میشود مانند نیتروژن و فسفر ↑ N ↑ P

بر هم کنش منفی Antagonism: جذب یک یون باعث کاهش جذب یون دیگر در گیاه میشود مانند ↑p ↓ Zn ↓ Fe ↓ Mn

اثرات بازدارندگی بین عناصر غذایی

غلظت زیادی در محیط کشت	احتمال کمبود عناصر
نیتروژن	پتاسیم
پتاسیم	نیتروژن، کلسیم، منیزیم
فسفر	آهن، روی، مس
کلسیم	منیزیم، بور
منیزیم	کلسیم، پتاسیم
سدیم	پتاسیم، کلسیم، منیزیم
منگنز	آهن، مولیبدن
آهن	منگنز
روی	منگنز و آهن
مس	منگنز، آهن، روی

ویژگی کودهای مصرفی در کشت هیدروپونیک

- کاملاً محلول در آب
- عاری از بقایای نامحلول، آلاینده های فلزات سنگین و یا سایر ترکیبات سمی برای گیاه و یا انسان

جدول ۱۲-۵: ترکیب شیمیایی و وزن مولکولی کودها و اسیدهای کاربردی در صنعت گلخانه‌داری برای تهیه محلول غذایی

کود	ترکیب شیمیایی	وزن مولکولی (گرم)
نیترات کلسیم	$5(Ca(NO_3)_2.2H_2O)NH_4NO_3$	۱۰۸۰/۵
نیترات آمونیوم	NH_4NO_3	۸۰
نیترات پتاسیم	KNO_3	۱۰۱/۱
نیترات منیزیم	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	۲۵۶/۳
اسید نیتریک (۱۰۰٪)	HNO_3	۶۳
مونوپتاسیم فسفات	KH_2PO_4	۱۳۶/۱
اسید فسفریک (۱۰۰٪)	H_3PO_4	۹۸
سولفات پتاسیم	K_2SO_4	۱۷۴/۳
سولفات منیزیم	$MgSO_4.7H_2O$	۲۴۶/۳
سولفات منگنز	$MnSO_4.H_2O$	۱۶۹
سولفات روی	$ZnSO_4.7H_2O$	۲۸۷/۵
سولفات مس	$CuSO_4.5H_2O$	۲۴۹/۷
بوراکس	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	۳۸۱/۲
مولیبدات سدیم	$Na_2MoO_4.2H_2O$	۲۴۱/۹
کلات آهن EDTA آهن ۱۳٪	Fe-EDTA	۴۳۰
کلات آهن DTPA آهن ۶٪	Fe-DTPA	۹۳۲
کلات آهن EDDHA آهن ۵٪	Fe-EDDHA	۱۱۱۸

$$\text{وزن مولکولی محلول تجاری} = \frac{\text{وزن مولکولی محلول خالص (۱۰۰٪)}}{\text{درصد خلوص محلول تجاری} \times ۰/۰۱}$$

روش های آماده سازی محلول غذایی

- **روش قدیمی**

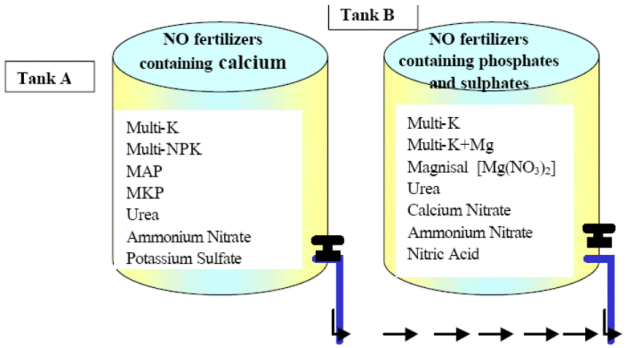
در روش قدیمی کود و مواد شیمیایی با یکدیگر مخلوط شده در دو محلول پایه غلیظ در مخازن جداگانه به نام های A و B نگهداری می شود.

ترکیبات حاوی کلسیم و آهن ⟵ مخزن A

ترکیبات حاوی SO_4، H_2PO_4 و اسیدها ⟵ مخزن B

افزودن محلول پایه به آب به وسیله تزریق کننده های خودکار و یا نیمه خودکار انجام می گیرد.

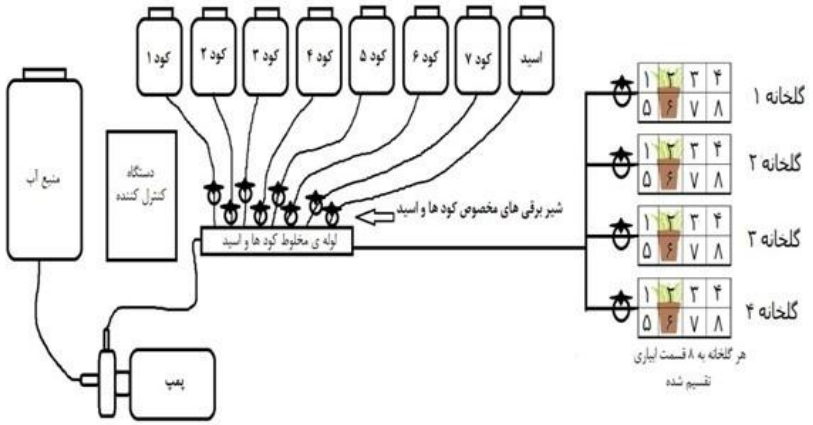
تزریق کننده ها بر اساس EC اندازه گیری شده محلول در زمانهای مختلف و نیز غلظت نهایی محلول غذایی، محلول پایه را در جریان آب و یا تانک اختلاط تزریق می کنند.



روش های آماده سازی محلول غذایی

روش های جدید

- در روش های پیشرفته تر، تزریق جداگانه و مستقیم کودها در جریان آب و یا تانک اختلاط صورت می گیرد.
- تمام کودها به شکل مایع بوده و باید در محلول پایه جداگانه حل شده باشد.
- تعداد تزریق کننده ها معادل محلول های پایه مورد استفاده می باشد.
- این سیستم ها به طور کامل رایانه ای بوده و برنامه کوددهی میتواند مستقیما از طریق رایانه مدیریت و تنظیم شود.



برنامه تغذیه ای

سوال:

نیاز گیاه کدام است؟

جمع آوری اطلاعات درباره کشت و کار محصول مورد نظر امکان پذیر است؟

آیا در زمان های مختلف، عناصر مختلف مورد نیاز هستند؟

آیا مقدار نیاز گیاه به یک عنصر با زمان تغییر می کند؟

سوال:

آیا می خواهید ترکیب کودی مورد نظر خود را بسازید؟

چرا؟

ارزان تر

اطمینان از بهینه بودن

در سطح وسیع

سوال:

آیا می خواهید از ترکیب کودی شناخته شده استفاده کنید؟

چرا؟

در حال حاضر آماده

ارزان

در محدود

تجزیه عناصر غذایی

استفاده از دستگاه های ویژه برای تهیه نسبت مورد نظر عنصر غذایی (Proportioner - Injectors)

Proportioner

- محدوده ۱:۱۶ تا ۱: ۲۰۰
- توجه به ماکزیمم غلظت کود که مورد نظر است
- اغلب تا ۲۰۰ برابر رقیق می شوند
- غلظت بالاتر کود.....نیاز به تانک کوچکتر

انواع Proportioner

- Dosotron
- فراوان ترین
- تنظیم شدت جریان و غلظت خروجی

انواع Proportioner

- استفاده از ۲ تانک
- خروجی مخلوط دو یا چند تانک

- برای جلوگیری از رسوب: سولفات ها، فسفات ها و کلسیم باید جدا از هم باشند

- این مطلب به ویژه در مواردی که ترکیب کودی مورد نظر خود را می سازید یا فرمول تجاری مورد نظر غلیظ است

محلول های A , B

Stock Solution A
Amounts added to 300 L of water, diluted 200X
From Cornell CEA

Potassium Nitrate	6,132.0 g
Calcium Nitrate*$4H_2O$	29,160.0 g
Ammonium Nitrate	840.0 g
Sprint 330 Iron - DTPA (10% Iron)	562.0 g

Stock Solution B
Amounts added to 300 L of water, diluted 200X

Potassium Nitrate	20,378.0 g
Sodium Monopotassium Phosphate	8,160.0 g
Potassium Sulfate	655.0 g
Magnesium Sulfate*7H_2O	7,380.0 g
Manganese Sulfate*H_2O	33.5 g
Zinc Sulfate*7H_2O	21.5 g
Boric Acid	55.8 g
Copper Sulfate*5H_2O	5.6 g
Molybdate*2H_2O	3.6 g

Macro-nutrients		Micro-nutrients	
N	(125 ppm)	Fe	(0.94 ppm)
P	(31 ppm)	Mn	(0.14 ppm)
K	(215 ppm)	B	(0.16 ppm)
Ca	(84 ppm)	Cu	(0.03 ppm)
Mg	(24 ppm)	Zn	(0.13 ppm)
S	(35 ppm)	Mo	(0.03 ppm)

- تنظیم EC: اضافه کردن آب یا عناصر غذایی
- تنظیم pH: افزودن اسید یا باز
- استفاده از آب گرم برای حل کردن کودها
- ابتدا هر کود جداگانه حل شده و بعد به تانک محلول غذایی مادری (Stock) منتقل شود

How to control a plant*

Control mechanism	Generative growth	Vegetative growth
Avg. Temp.	Lower	Higher
Temp. difference day/night	Higher	Lower
Day temp. to night temp.	Quick	Slow
Pipe temp.	High	low
Placing of growth pipe	Flowering truss	Ripening truss
CO2	More	Less
Humidity	Lower	Higher
E.C	Higher	Lower
Water content in slab	Low	High
Irrigation	Long but few	Short more frequent
Irrigation start	Late	Early
Irrigation stop	Early	Late

رشد زایشی (میوه دهی)

- کاهش شدت رشد
- مقدار کمتر آبیاری
- رطوبت نسبی کمتر
- ECبالا
- مقدار نیتروژن را کم و نسبت K به N را زیاد کنید

اطلاعات کلی

- سبزیجات برگی: نیاز N بیشتر
- در مرحله گلدهی و میوه دهی: نیاز کمتر به N
- اهمیت نسبت K به N در گوجه فرنگی
  - در مرحله رشد رویشی: نسبت N:K ۱:۱.۲
  - در مرحله گلدهی: افزایش به N:K ۱:۲.۵
  - ۷۰ درصد پتاسیم به میوه منتقل می شود
  - کمبود K: بد مزه شدن و بدشکلی
- نسبت K به N در کاهو: N:K ۱:۱.۷

- در بسترهای آلی: نیاز بیشتر به نیتروژن در مقایسه با پشم سنگ
- اهمیت شکل نیتروژن (آمونیوم کمتر از ۱۰ درصد باشد)
- زیادی K: کاهش قابلیت جذب Ca , Mg

استفاده از شدت نور در روز برای زمان بندی آبیاری

For computerized watering:

- Cucumber-150 ml/1MJ per plant
- Tomato-120-130 ml/1MJ per plant
- Pepper-100-120 ml/1MJ per plant

Can also consider temperature, especially in summer

Advantages: water conservation, less cracking

منبع:
کتاب هیدروپونیک (آبکشتی) ترجمه دکتر رونقی و دکتر مفتون...انتشارات دانشگاه شیراز

جدول۱-۷ : حداکثر غلظت عناصر معدنی در آب آبیاری برای محیط کشت پشم سنگ

عنصر/یون	حداکثر غلظت (میلی گرم در لیتر، پی پی ام)
کلرید (Cl)	۵۰-۱۰۰
سدیم (Na)	۳۰-۵۰
کربنات (CO_3^{2-})	۴،۰
بور (B)	۰،۷
آهن (Fe)	۱،۰
منگنز (Mn)	۱،۰
روی (Zn)	۱،۰

منبع: ورور و ولمن، ۱۹۸۰.

جدول۲-۷: آب آبیاری مناسب برای گیاهان گلدانی

طبقه بندی آب	قابلیت هدایت الکتریکی (میلی موس بر سانتی‌متر)	کل نمک محلول (میلی گرم بر لیتر، پی پی ام)	سدیم (درصد نمک کل)	بور (میلی‌گرم بر لیتر، پی پی ام)
عالی	<۰،۲۵	<۱۷۵	<۲۰	<۰،۳۳
خوب	۰،۲۵-۰،۷۵	۱۷۵-۵۲۵	۲۰-۴۰	۰،۳۳-۰،۶۷
مجاز	۰،۷۵-۲،۰	۵۲۵-۱۴۰۰	۴۰-۶۰	۰،۶۷-۱،۰۰
نا مطمئن	۲،۰-۳،۰	۱۴۰۰-۲۱۰۰	۶۰-۸۰	۱،۰۰-۱،۲۵
نامناسب	>۳،۰	>۲۱۰۰	>۸۰	>۱،۲۵

منبع: واترز و همکاران، ۱۹۷۲.

جدول ۳-۷ : راهنمای کیفیت آب آبیاری

ویژگی	کیفیت آب: بدون اشکال	کیفیت آب: افزایش اشکال	کیفیت آب: خطرناک
EC، دسی زیمنس بر متر×	<۰،۷۵	۰/۷۵-۳/۰	>۳/۰
TDS، میلی گرم بر لیتر××	<۴۸۰	۴۸۰-۱۹۲۰	>۱۹۲۰
سدیم (Na^+)، مقدار SAR	<۳	۳-۹	>۹
کلرید (Cl)، میلی گرم بر لیتر	<۷۰	۷۰-۳۴۵	>۳۴۵
بور (B)، میلی گرم بر لیتر	۱،۰	۱/۰-۲/۰	۲/۰-۱۰/۰
آمونیوم ($NH4^+$) و نیترات ($NO3^-$)، میلی گرم بر لیتر	<۵	۵-۳۰	>۳۰
بی کربنات ($HCO3^-$)، میلی گرم بر لیتر	<۴۰	۴۰-۵۲۰	>۵۲۰

× قابلیت هدایت الکتریکی،

×× Total dissolved solids (کل مواد جامد محلول)

منبع: فارنهند و همکاران، ۱۹۸۵.

محلول پایه عناصر کم مصرف	گرم درلیتر
اسیدبوریک (H_3BO_3)	۲/۸۶
کلرید منگنز($MnCl_2.4H_2O$)	۱/۸۱
سولفات روی ($SO_4Zn.5H_2O$)	۰/۲۲
سولفات مس ($CuSO_4.5H_2O$)	۰/۰۸
اسید مولیبدیک($H_2MoO_4.H_2O$)	۰/۰۲
آهن	میزان مصرف: ۱میلی لیتر درهر لیتر محلول غذائی
برای محلول شماره ۱ : ۰/۵درصد آمونیم سیترات آهن	میزان مصرف : ۱میلی لیتر درلیتر
برای محلول شماره ۲ : ۰/۵درصد کلات آهن	میزان مصرف : ۲میلی لیتر درلیتر

منبع: هوگلند و آرنون، ۱۹۵۰.

جدول ۴-۷: ترکیب محلول غذائی هوگلند

محلول پایه	میلی لیتردرلیتر
محلول شماره‌ی ۱	
۱ M پتاسیم دی هیدروژن فسفات (KH_2PO_4)	۱/۰
۱ M نیترات پتاسیم (KNO_3)	۱/۰
۱ M نیترات کلسیم$[Ca(NO_3)_2.4H_2O]$	۵/۰
۱ M سولفات منیزیم ($MgSO_4.7H_2O$)	۲/۰
محلول شماره‌ی ۲	
۱ M۱آمونیوم دی هیدروژن فسفات ($NH_4H_2PO_4$)	۱/۰
۱ M نیترات پتاسیم (KNO_3)	۶/۰
۱ M نیترات کلسیم $[Ca(NO_3)_2.4H_2O]$	۴/۰
۱ M سولفات منیزیم ($MgSO_4.7H_2O$)	۲/۰

جدول ۶-۷: ترکیبات برخی ازمحلول‌های غذائی درتولید سبزیجات گلخانه‌ای به صورت تجاری

ماده شیمیائی	جانسون	جنسن	لارسون	کوپر
	مقدار [گرم در ۱۰۰ گالن (هر گالن ۳/۷۹ لیتر) آب]			
نیترات پتاسیم	۹۵	۷۷	۶۷	۲۲۱
فسفات منوپتاسیم	۵۴	۱۰۳	–	۹۹
سولفات پتاسیم منیزیم	–	–	۱۶۷	–
سولفات پتاسیم	–	–	۱۳۰	–
نیترات کلسیم	۱۷۳	۱۸۹	۳۶۰	۳۸۰
سولفات منیزیم	۹۵	۱۸۷	–	۱۹۴
فسفریک اسید (۷۵درصد)	–	–	۴۰ میلی لیتر	–
کلات آهن (FeDTPA)	۹	۹/۶	۱۲	۳۰
اسید بوریک	۰/۵	۱،۰	۲/۲	۰/۶
سولفات مس	۰/۰۱	–	۰/۵	۰/۱۵
کلرید مس	–	۰/۰۵	–	–
سولفات منگنز	۰/۳	۰/۹	۱/۵	۲/۳
سولفات روی	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۵	۰/۱۷
اسید مولیبدیک	۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	–
مولیبدات آمونیوم	–	–	–	۰/۱۴
عنصر	**غلظت درمحلول (میلی گرم درلیتر، پی پی ام)**			
عناصر پر مصرف				

جدول ۸–۷ : مقایسه‌ی غلظت محدود کننده ۹ عنصر دربرخی محلول های غذایی متداول برای انجام کارهای آزمایشی

عنصر	تعداد در میلیون			
	کمبود	کفایت	سمی	گسترده‌ی متداول درمحلول‌های غذایی
نیتروژن(N)				
بصورت نیترات(NO_3)	۰/۱۴-۱۰	۳-۷۰	۲۰۰-۲۰۰	۴۹-۲۱۰
بصورت آمونیوم(NH_4)	۰/۰۰۷-۵	۰/۰۳-۲۵	۰/۴-۱۰۰	۰-۱۵۴
پتاسیم(K)				
همراه آمونیوم	۰/۴-۶	۱۰-۳۹	–	۵۹-۳۰۰
بدون آمونیوم	۰/۰۴-۴	۱/۱-۵	–	
کلسیم(Ca)	۰/۰۲-۲۲	۰/۲۴-۴۰	–	۸۰-۲۰۰
منیزیم(Mg)	۰/۰۵-۶	۰/۲-۹	–	۲۴-۶۰
فسفر(P)	۰/۰۰۳-۴	۰/۰۰۷-۲/۶	۰/۰۳-۴	۱۵-۱۹۲
گوگرد(S)	–	۱/۳	–	۴۸-۲۲۴
	قسمت درمیلیارد ($\frac{۱}{۱۰۰۰}$ پی پی ام)			
منگنز(Mn)	۰/۵۵-۷۱	۲۳۱۰-	۳۸۵۰-	۱۱۰-۵۵۰
		۰/۵۵	۱۶/۵	
روی(Zn)	۰/۶۵-۳	۳/۲۵-۱۶	۱۹۵-۳۹۰	۰-۱۴۶
مس(Cu)	۰/۶۳	۱/۲۶	–	۰-۱۰

منبع : آشر و ادواردز، ۱۹۷۸a.

جدول ۱۱-۷ : غلظت عناصر درشماری ازمحلول‌های استاندارد جهت مصرف در محیط کشت بدون خاک

عنصر	هوگلندوآرنون	کوپر	استاینراصلاح شده	ویلکاکس ۱	ویلکاس ۲	ویلکاکس۳
	میلی گرم درلیتر (پی پی ام)					
عناصر پر مصرف						
نیتروژن(N)	۲۱۰	۲۰۰	۱۷۱	۱۳۲	۱۶۲	۱۷۵
فسفر(P)	۳۱	۶۰	۴۸	۵۸	۵۸	۶۵
پتاسیم(K)	۲۳۴	۳۰۰	۳۰۴	۲۰۰	۲۸۴	۴۰۰
کلسیم(Ca)	۲۰۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۳۶	۱۳۶	۱۹۷
منیزیم(Mg)	۴۸	۵۰	۴۸	۴۷	۴۷	۴۴
عناصرکم مصرف						
بور(B)	۰/۵	۱/۵	۰/۳	۱/۵	۱/۵	۰/۵
مس(Cu)	۰/۰۲	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
آهن(Fe)	۵/۰	۱۲	۳/۰	۴/۰	۴/۰	۲/۰
منگنز(Mn)	۰/۵	۲/۰	۱/۰	۰/۵	۰/۵	۰/۵
مولیبدن(Mo)	۰/۰۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۲
روی(Zn)	۰/۰۵	۰/۱	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۰۵

منبع : گربر، ۱۹۸۵.

جدول ۱۳-۷: فرمول‌های محلول غذایی برای گوجه فرنگی، کاهو و رز

ماده‌ی شیمیایی(درجه‌بندی کود)	گوجه فرنگی (گرم در ۱۰۰۰ لیتر)	کاهو (گرم در ۱۰۰۰ لیتر)	رز (گرم در ۱۰۰۰ لیتر)
عناصر پر مصرف			
نیترات کلسیم (۰-۰-۱۵/۵)	۶۸۰	۴۰۷	۵۴۳
سولفات منیزیم	۲۵۰	۱۸۵	۱۸۵
نیترات پتاسیم (۴۴-۰-۱۳)	۳۵۰	۴۰۴	۴۲۹
کلرید پتاسیم (۶۰-۰-۰)	۱۷۰	-	-
فسفات منوپتاسیم (۳۴-۵۳-۰)	۲۰۰	۱۳۶	۲۰۴
نیترات آمونیوم (۰-۰-۳۳/۵)	-	۶۰	۲۰
عناصرکم مصرف			
کلات آهن (۱۰درصد آهن)	۱۵/۰	۱۹/۶	۱۹/۶
سولفات منگنز (۲۸درصد منگنز)	۱/۷۸	۰/۹۶۰	۳/۹
بور(سالوبور)(۲۰/۵درصد بور)	۲/۴۳	۰/۹۷۰	۱/۱
سولفات روی (۳۶درصد روی)	۰/۲۸۰	۰/۵۵۲	۰/۴۴۸
سولفات مس (۲۵درصد مس)	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰
مولیبدات سدیم (۳۹درصد مولیبدن)	۰/۱۲۸	۰/۱۲۸	۰/۱۲۸

منبع: ون زیندرن بیکر، ۱۹۸۶.

محاسبه محلول غذایی با استفاده از الگوریتم جهانی (ناقص)

اقدامات مورد نیاز

1. انتخاب محلول غذایی استاندارد بسته به نوع گیاه، سیستم کشت، مرحله و شرایط رشد
2. تنظیم غلظت برخی عناصر غذایی (برای مثال بر اساس ترکیب شیمیایی محلول محیط ریشه)
3. همسان سازی بین غلظت مجموع آنیون هاو کاتیون ها، حفظ EC در سطح مناسب و معادل محلول غذایی استاندارد (NH_4، فسفر و عناصر غذایی کم مصرف از این همسان سازی کنار گذاشته میشوند.)
4. تنظیم EC محلول غذایی وارد شده به سیستم بدون لحاظ کردن NH_4، فسفر و عناصر غذایی کم مصرف
5. تنظیم کیفیت آب اولیه
6. محاسبه ترکیب کودی

علت حذف NH_4، فسفر و عناصر غذایی کم مصرف از محاسبات همسان سازی و تنظیم EC

- **علت حذف آمونیوم:** استفاده از این یون عمدتاً با تنظیم pH مرتبط است.
- **علت حذف فسفر:** عرضه بیش از اندازه این عنصر موجب اختلال در جذب برخی عناصر می شود. همچنین هنگامی که غلظت فسفر در محیط ریشه بیش از حد بالا باشد ایجاد سمیت خواهد کرد.
- **علت حذف عناصر کم مصرف:** به دلیل اینکه این عناصر چندان EC را تحت تاثیر قرار نمی دهند از این محاسبات حذف خواهند شد.

جدول ۱۲-٦: مثالی برای محاسبه محلول غذایی مناسب خیار در سیستم بسته که در آن، آب زه‌کش دوباره در سیستم استفاده می‌شود.

عناصر	مراحل محاسبه					
	۱(c_{st})	۲(c_{adj})	۳[۱](c_s)	٤[۲] (c_s)	٥(c_w)	٦[۳] (c_f)
EC (dS m^{-1})	۱/۵		۱/۵	۱/۹		
NH_4 (mmol l^{-1})	۱/۰	+۰/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵		۱/۲۵
K	۶/۵		۶/۸۸	۸/۸۸		۸/۸۸
Ca	۲/۷۵	−۰/۵	۲/۳۸	۳/۰۷	۰/۶	۲/۴۷
Mg	۱/۰		۱/۰۶	۱/۳۷	۰/۳	۱/۰۷
NO_3	۱۱/۷۵		۱۱/۵۴	۱۴/۹۶		۱۴/۹۶
SO_4	۱/۰		۰/۹۸	۱/۲۷	۰/۴	۰/۸۷
H_2PO_4	۱/۲۵	+۰/۲۵	۱/۵۰	۱/۵۰		۱/۵۰
HCO_3					۱/۰	
H_2O						۱/۰
Fe(µmol l^{-1})	۱۵		۱۵	۱۵		۱۵
Mn	۱۰		۱۰	۱۰		۱۰
Zn	۵		۵	۵		۵
B	۲۵		۲۵	۲۵	۱۰	۱۵
Cu	۰/۷۵		۰/۷۵	۰/۷۵		۰/۷۵
Mo	۰/۵		۰/۵	۰/۵		۰/۵

[۱] با استفاده از فرمول (۱۲-۵) و (۱۲-۶)؛
[۲] با استفاده از فرمول (۱۲-۷) و (۱۲-۸)؛
[۳] با استفاده از فرمول (۱۲-۹)

محاسبه کاتیون‌ها برای مرحله ۳:

$$c_{s(x)} = \frac{\{c_{st(x)} + c_{adj(x)}\} \times \{C^{+}_{st} - c_{st(NH_4)} - c_{adj(NH_4)}\}}{\{C+_{st} - c_{st(NH_4)} + (V_{(x)} \times c_{adj(x)})\}} \qquad ۵-۱۲$$

محاسبه آنیون‌ها برای مرحله ۳:

$$c_{s(x)} = \frac{\{c_{st(x)} + c_{adj(x)}\} \times \{A^{-}_{st} - c_{st(H_2PO_4)} - c_{adj(H_2PO_4)}\}}{\{A^{-}_{st} - c_{st(H_2PO_4)} + (V_x \times c_{adj(x)})\}} \qquad ۶-۱۲$$

که در آن:

$c_{s(x)}$: غلظت محاسبه شده در آب کاربردی پس از تنظیم نسبت متقابل عناصر غذایی پرمصرف (بر حسب میلی‌مولار)

$c_{st(x)}$: غلظت یون x در محلول غذایی استاندارد (بر حسب میلی‌مولار)

$c_{adj(x)}$: غلظت تنظیم شده یون x به جز فسفر و آمونیوم

A^{-}_{st} : مجموع الکترون‌های محلول استاندارد

C^{+}_{st} : مجموع پروتون‌های محلول استاندارد

V_x : ظرفیت یون x

باید یادآوری کرد که غلظت آمونیوم و فسفر به ترتیب به روش‌های ذیل تعیین می‌شود:

$$c_{s(NH_4)}' = c_{st(NH_4)} + c_{adj(NH_4)}$$

$$c_{s(H_2PO_4)}' = c_{st(H_2PO_4)} + c_{adj(H_2PO_4)}$$

محاسبه آنیون‌ها در مرحله ۴

$$c_{s(x)} = \frac{۱۰EC_s - c_{s(NH_۱)}}{۱۰EC_{st} - c_{s(NH_۱)}} \qquad ۷-۱۲$$

محاسبه کاتیون‌ها در مرحله ۴

$$c_{s(x)} = \frac{۱۰EC_s - c_{s(H_۲PO_۱)}}{۱۰EC_{st} - c_{s(H_۲PO_۱)}} \qquad ۸-۱۲$$

که در آن:

$C_{s(x)}$: غلظت نهایی پس از تنظیم EC محلول غذایی مصرفی است.

غلظت نهایی عناصر در محلول غذایی با افزودن کود و با در نظر گرفتن غلظت عناصر غذایی در آب اولیه به‌دست می‌آید. این محاسبات در مراحل ۵ و ۶ به اجرا درآمده و با در نظر گرفتن آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در ترکیب آب اولیه انجام می‌شود. ترکیبات موجود در آب با تجزیه شیمیایی مشخص می‌شود.

$$C_{f(x)} = C_{s(x)} - C_{w(x)} \qquad ۹-۱۲$$

که در آن:

$c_{f(x)}$: غلظت یون X افزوده شده با استفاده از کود براساس میلی‌مولار

$c_{w(x)}$: غلظت یون X آب اولیه براساس میلی‌مولار

جمع بندی

محلول های غذایی

- برای هر گیاهی اختصاصی است
- برای هر محیط کشتی اختصاصی است
- برای هر مقطعی از دوره کشت اختصاصی است
- برای هر کیفیتی از آب آبیاری اختصاصی است

محلول پاشی(تغذیه برگی) در کشت هیدروپونیک

- **توجه به غلظت عناصر غذایی**

عناصر کم مصرف مانند کود آهن و سکوسترین آهن با غظت یک در هزار محلول پاشی میشوند.

- **افزودن ماده خیس کننده در سطح برگ**

به محلول کودی ماده ای به نام مویان با غلظت یک دهم تا یک در هزار اضافه میشود تا محلول کودی راحتتر جذب گیاه گردد.

- **زمان محلول پاشی**

بهترین زمان برای محلول پاشی صبح زود یا غروب است.

– **انتخاب سم پاش مناسب**

سیستم های کنترل کننده شرایط محیطی گلخانه

میزان تولید مطلوب در گلخانه بستگی دارد به:

- کنترل تغذیه
- حرارت
- رطوبت نسبی
- سطح دی اکسید کربن
- نور
- آبیاری

اجزا سیستم کنترل

۱- کنترل کننده

کنترل کننده ها حدود وسط و بحرانی را در تنظیم عوامل رشد گیاهان با دقت مشخص می کنند.

۲- گیرنده های حسی Sensors

۳- دستگاه عمل کننده Process Equipment

انواع کنترل کننده ها

- کنترل کننده های روشن – خاموش
- کنترل کننده های تطبیقی

برای کنترل، سوپاپهای اختلاطی به صورت ضربانی عمل نموده تا زمان تصحیح ترکیب محلول غذایی افزایش یافته و از تغییر بیش از حد محلول جلوگیری شود.

- کنترل کننده های نسبتی

بسته به شدت تغییر سیگنال می فرستند. هرچه شدت تغیی از حد بهینه ⬆ سیگنال⬆

- تنظیم کننده های میکروپروسسوری

همزمان تمامی عوامل را تنظیم می کنند مثل دما، شوری و ...

سیستم کنترل کننده به همراه تابلوی فرمان در یک گلخانه نیمه اتوماتیک

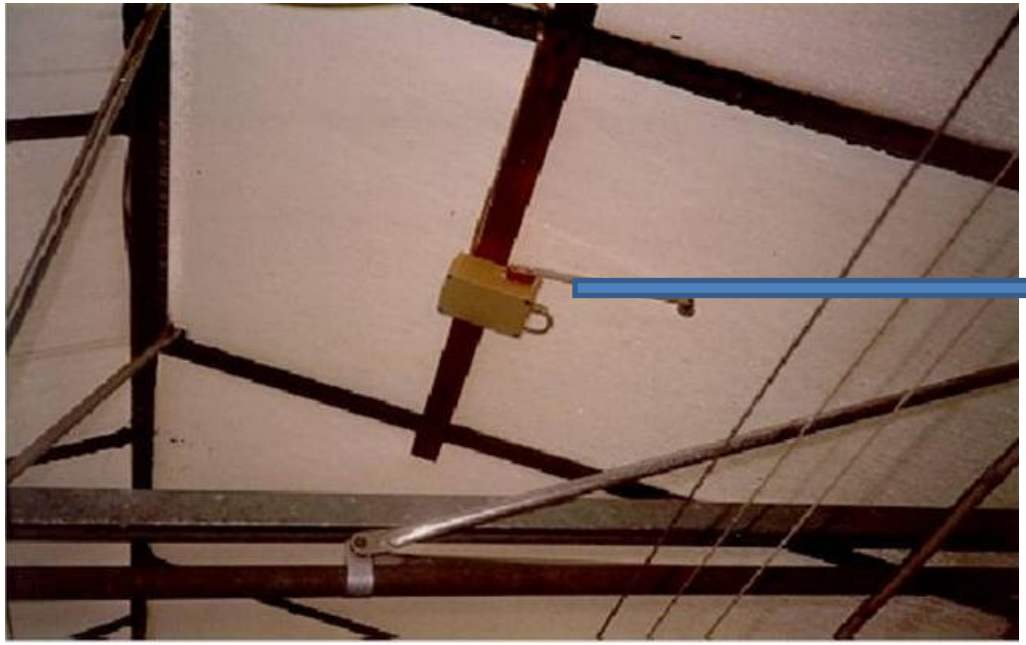
انواع گیرنده های حسی

- سنسور حرارتی
  - تشکیل شده از سیستم مکانیکی شامل دو فلز (مس و استیل)
  - ترموستات مایعی
  - ترموستات بخاری
  - ترموستات الکترونیکی
  - ترموکوپل
- سنسور رطوبتی
  - حس گرهای مویی
  - سایکرومتری
- سنسور دی اکسید کربن
- سنسورهای نوری
  - نوری
  - تشعشی
  - کوانتومی

حرارت (دما)

برای تنظیم دمای محیط گلخانه از ترموستات های ویژه گلخانه که دارای کنترل دما در دو حالت روز و شب هستند استفاده می شود.

باز و بسته شدن دریچه های سیستم برودتی و تهویه در گلخانه های اتوماتیک از طریق سیستم های کامپیوتری اعمال می شود.



سنسور: میزان باز شدن پنجره را به سیستم کنترل اعلام میدارد.

- **کنترل و تزریق CO2**

- در اثر تزریق گاز CO2مقدار محصول ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش می یابد.
- یکی از روشهای توزیع گاز CO2 استفاده از سیستم چرخش هوای گلخانه و یا استفاده از هواکش می باشد.

کنترل کننده های DO (اکسیژن محلول)

الکترود حساس به اکسیژن از دو الکترود فلزی که در درون الکترولیت نگهدارنده قرار گرفته اند، تشکیل شده است که این واحد اکسیژن محلول را اندازه گیری می کند.

- کنترل کننده های EC