وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

راهنمای تهیه و استفاده از محلول‌های غذایی برای کشت سبزیجات گلخانه‌ای در سیستم کشت هیدروپونیک

محسن سیلسپور

نشریه فنی: ۵۸۰

۱۳۹۸

جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

راهنمای تهیه و استفاده از محلول‌های غذایی برای کشت سبزی‌های گلخانه‌ای در سیستم کشت هیدروپونیک

نگارنده

محسن سیلسپور

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران

نشریه فنی: ۵۸۰

۱۳۹۸

مشخصات اثر

عنوان: راهنمای تهیه و استفاده از محلول‌های غذایی برای کشت سبزی‌های گلخانه‌ای در سیستم کشت هیدروپونیک

نگارنده: محسن سیلسپور

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب

کارشناس انتشارات: زهرا محمدی

ویراستار: حمید قیومی محمدی

صفحه‌آرا: سمانه پورمنصور

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: ۱۳۹۸

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب، **کد پستی:** ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵ - **صندوق پستی:** ۳۱۱-۳۱۷۸۵

تلفن: ۰۲۶-۳۶۲۰۱۹۰۰ **دورنگار:** ۰۲۶-۳۶۲۱۰۱۲۱

Email: info@swri.ir Website: www.swri.ir

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این نشریه با شماره ۵۶۲۱۲ در تاریخ ۹۸/۷/۳ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارنده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- هیدروپونیک یا کشت گیاهان بیرون از خاک ۱
۲- تاریخچه کشت هیدروپونیک ۲
۳- عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ۳
۴- نقش عناصر غذایی در رشد و نمو گیاه ۴
۴-۱- کربن، اکسیژن و هیدروژن ۵
۴-۲- نیتروژن ۶
۴-۳- فسفر ۸
۴-۴- پتاسیم ۱۰
۴-۵- گوگرد ۱۱
۴-۶- کلسیم ۱۳
۴-۷- منیزیم ۱۴
۴-۸- آهن ۱۵
۴-۹- بور ۱۶
۴-۱۰- منگنز ۱۸
۴-۱۱- روی ۲۰
۴-۱۲- مس ۲۱
۴-۱۳- مولیبدن ۲۱
۴-۱۴- کلر ۲۲
۵- منابع کودی تأمین‌کننده عناصر غذایی برای ساخت محلول‌های غذایی ۲۳
۶- کیفیت آب ۲۶
۶-۱- غلظت بی‌کربنات آب ۲۷
۶-۲- واکنش (pH) آب ۲۷
۶-۳- اسیدی کردن آب آبیاری ۳۰
۶-۴- هدایت الکتریکی ۳۱
۷- نحوه تهیه محلول‌های غذایی ۳۴
۸- ساخت محلول‌های غذایی ۳۶
۹- اندازه‌گیری غلظت مواد غذایی محلول ۴۱
۱۰- فرمول‌های محلول غذایی عمومی کشت هیدروپونیک ۴۲

۱۱- فرمول‌های اختصاصی محلول غذایی برای سبزی‌ها کشت هیدروپونیک ۴۷
۱۱-۱- خیار گلخانه‌ای ۴۸
۱۱-۲- گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ۵۲
۱۱-۳- فلفل شیرین ۵۴
۱۱-۴- کاهو ۵۶
۱۱-۵- توت‌فرنگی ۵۸
۱۲- تکنیک‌های کشت در سیستم هیدروپونیک ۵۹
۱۲-۱- تکنیک فیلم غذایی (NFT) ۵۹
۱۲-۲- آئروپونیک ۶۰
۱۲-۳- سیستم‌های جذر و مد محلول غذایی ۶۱
۱۲-۴- سیستم‌های قطره‌چکانی ۶۱
۱۳- انواع بستر کشت گلخانه‌ای ۶۲
۱۳-۱- بستر کشت معدنی ۶۳
۱۳-۱-۱- بستر کشت ماسه ۶۳
۱۳-۱-۲- بستر کشت سنگریزه ۶۳
۱۳-۱-۳- بستر کشت پشم‌سنگ ۶۳
۱۳-۱-۴- بستر کشت پرلایت ۶۳
۱۳-۱-۵- بستر کشت ورمی‌کولایت ۶۴
۱۳-۱-۶- بستر کشت زئولیت ۶۴
۱۳-۱-۷- بستر کشت پوکه معدنی ۶۴
۱۳-۱-۸- بستر کشت رس بسط داده شده (لیکا) ۶۵
۱۳-۲- بستر کشت آلی ۶۵
۱۳-۲-۱- بستر کشت تراشه چوب یا خاک اره درشت ۶۵
۱۳-۲-۲- بستر کشت پیت ۶۵
۱۳-۲-۳- بستر کشت کوکوپیت یا پیت نارگیل ۶۶
۱۳-۲-۴- بستر کشت پوست درختان ۶۶
۱۳-۲-۵- بستر کشت سبوس برنج ۶۶
۱۴- منابع ۶۷

۱- هیدروپونیک یا کشت گیاهان بیرون از خاک[1]

اولین بار، اصطلاح **هیدروپونیک** به‌وسیله گریک[2] (۱۹۳۰)، استاد دانشگاه کالیفرنیا در آمریکا بکار رفت که از زبان یونانی "هیدرو" یعنی آب و "پونوس" یعنی کار گرفته شده است و نشان‌دهنده فعالیت ریشه درون آب می‌باشد. همراه با اولین اقدام اقتصادی این تکنیک، اولین کتاب تحت همین نام به‌وسیله یک نویسنده آمریکایی به نام بنتلی[3] (۱۹۵۹) ارائه شد. بعضی از نویسندگان نظیر بنتون جونز [4] (۱۹۸۳) و حتی بعضی سازمان‌های رسمی نظیر سرویس مطالعات اقتصادی وزارت کشاورزی فرانسه[5]، به اصطلاح مزبور یعنی هیدروپونیک یک معنی انحصاری داده و به کشت‌های بدون سوبسترا یا در محیط مایع اطلاق کرده‌اند ولی به‌طور کلی، این اصطلاح می‌تواند به معنی کشت بدون خاک باشد. عنوان کشت بدون خاک و یا خارج از خاک (هیدروپونیک) یعنی گیاه چرخه کامل زندگی و تولید مثل خود را بدون تماس ریشه با محیط طبیعی خود یعنی خاک انجام بدهد. این فناوری بایستی اجازه رشد و نمو گیاه از بذر تا بذر را بدهد. یعنی پس از جوانه زدن بتوانیم بذوری تولید کنیم که زنده و قابل‌کشت باشند (هرچند که در عمل این سیستم بدین منظور ندرتاً بکار می‌رود). در کشت گیاهان خارج از خاک، ریشه گیاه به‌وسیله یک محیط مایع معدنی به نام محلول غذایی تغذیه می‌شود. این محلول غذایی آب و اکسیژن محلول و عناصر معدنی ضروری (۱۲ عنصر ضروری) را عموماً به‌صورت یون‌های حاصل از نمک‌های محلول و گاهی تحت فرم کلات‌های آلی (مانند آهن) در اختیار گیاه قرار می‌دهند. کشت گیاهان خارج از خاک تقریباً همیشه در گلخانه‌ها و یا زیر سایه‌بان‌های پلاستیکی با مساحت‌های قابل ملاحظه انجام می‌گیرد. عوامل مهمی که سبب توسعه و ترویج کشت هیدروپونیک شده‌اند، مرتبط با نیازها و طبیعت تولید گیاهان مزبور می‌باشد. به عبارت دیگر تقاضای تولیدکنندگان سبب افزایش و تکامل روزافزون این فناوری شده است. درخواست‌ها و اقتضاهای کنونی که موجب گسترش کشت با سیستم هیدروپونیک می‌شود به دلیل تولید محصول به صورت یکنواخت از نظر کیفیت و منظم

1- Hydroponic
2- Gericke
3- Bently
4- Benton jones
5- French Ministry of Agriculture Economic Studies Service

در طول سال و تولید محصول با کیفیتی یکسان در تمام طول سال می‌باشد. برای نیل به این اهداف، تأمین غلظت بهینه‌ای از عناصر غذایی برای گیاه را لازم و ضروری می‌سازد.

۲- تاریخچه کشت هیدروپونیک

از نظر تاریخی وجود کشت هیدروپونیک به گذشته‌های خیلی دور بر می‌گردد. رابی[۱] (۱۹۷۸) ذکر می‌کند که کشاورزان قوم آزتک[۲] در باتلاق‌های نزدیک به شهر جدید مکزیکو، روی نوعی تیرهای به هم بسته و شناور و نوع نی و جگن و گیاهان مردابی پوشیده با یک لایه کود پوسیده، اقدام به کشت می‌کردند. بدین صورت که ریشه گیاه داخل آب شناور شده و گیاه را تغذیه می‌کرده است و به‌طور نادانسته اقدام به نوعی کشت هیدروپونیک می‌نموده‌اند. به‌طور جدی می‌توان گفت که دانشمندان از ابتدای قرن ۱۷ به این موضوع علاقمند شدند. یادداشت‌ها و نوشته‌هایی از آزمایشات رشد گیاهان بدون خاک و فقط در حضور آب در ابتدای قرن هفدهم وجود دارد که نویسندگان به این مایع (یعنی تنها آب) قدرت تغذیه‌ای گیاه را نسبت داده‌اند. در میان این پژوهشگران، به نظر اشتاینر[۳] (۱۹۶۸)، افرادی مانند بویل[۴] ایرلندی (۱۶۶۶) و وودوارد[۵] انگلیسی (۱۶۹۹) و دامونسه آ[۶] فرانسوی (۱۷۵۸) بایستی در نظر باشند. بالاخره بعضی اصل و مبدأ کشت هیدروپونیک را به فردی سوئیسی به نام دی ساسور [۷] (۱۸۰۴) و برخی به فرد فرانسوی دیگری به نام بوسینگالت [۸] (۱۸۵۱) نسبت می‌دهند. در واقع این دو دانشمند از بنیان‌گذاران پیشرفت-های قطعی روی ترکیبات شیمیایی گیاهان هستند. اولی اثبات کرد که گیاه از Co_2 هوا مصرف می‌کند و دومی اثبات کرد که این گاز، کربن و اکسیژن را به گیاه می‌دهد و اضافه کرد که هیدروژن از آب جذب گیاه می‌شود. در واقع برای این‌که از نظر علمی دقیق و درست گفته باشیم، اکتشاف کشت هیدروپونیک به دو دانشمند آلمانی ناپ[۹] و ساچز[۱۰]

1- Raby
2- Azteques
3- Steiner
4- Boyle
5- WoodWard
6- Dumonceau
7- DeSaussure
8- Boussingault
9- Knop
10- Sachs

(۱۸۶۸) بایستی نسبت داده شود. همزمان در سال ۱۸۶۰ و جداگانه این دو نویسنده موفق به رویاندن گیاه روی محلول غذایی کاملاً مایع شامل آب و محلول‌های نمکی شدند. رش[1] (۱۹۷۸) اعلام کرد که طی ۷۰ سال پژوهش، اکتشاف مزبور اجازه پیشرفت‌های زیادی در زمینه شناخت فیزیولوژی تغذیه‌ای گیاه داد، ولی کشت گیاهان روی محیط غذایی مصنوعی به صورت یک تکنیک آزمایشگاهی مانده بود. ولی سرانجام، گریک[2] (۱۹۲۹) استاد دانشگاه کالیفرنیا با ایده پخش تجاری تحت نام هیدروپونیک جهت کشت-های صیفی و گیاهان تزئینی اقدام نمود و هموطنانش را با تولید گوجه‌فرنگی که ریشه-هایش در یک محلول غذایی شناور بودند مبهوت و متحیر نمود که این انتقال فناوری به‌وسیله مطبوعات آمریکایی به عنوان یک اکتشاف مهم در ابتدای قرن معرفی شد. اولین کاربرد واقعی کشت هیدروپونیک، ۲۰ سال بعد و باز هم در امریکا اتفاق افتاد. طی جنگ جهانی دوم، گروه‌هایی از ارتش امریکا که در جزایری در اقیانوس آرام پر از صخره و اراضی غیرکشاورزی اقامت کرده بودند، با لگوم و سبزی‌های تازه که با سیستم کشت هیدروپونیک تولید شده بودند، تغذیه می‌شدند. در پایان جنگ، بعضی سربازان پس از بازگشت، اقدام به کشت هیدروپونیک، به ویژه در فلوریدا نمودند و از آن به بعد، کشت هیدروپونیک جای خود را بین تولیدکنندگان محصولات سبزی و صیفی باز نمود (بنتون جونز[3]، ۱۹۸۲).

۳- عناصر غذایی مورد نیاز گیاه

همه گیاهان برای رشد و نمو خود، غیر از اکسیژن (O)، کربن (C) و هیدروژن (H) که از آب یا هوا جذب می‌شوند، به حداقل ۱۳ عنصر معدنی دیگر نیاز دارند تا چرخه زندگی خود را کامل نمایند. این عناصر به دو گروه عناصر پرمصرف شامل نیتروژن (N)، - فسفر (P)، پتاسیم (K)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و عناصر کم‌مصرف شامل آهن (Fe)، بور (B)، منگنز (Mn)، مس (Cu)، روی (Zn)، مولیبدن (Mo) و کلر (Cl) تقسیم می‌شوند. نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، کلسیم و منیزیم مواد غذایی پرمصرف

1- Resh
2- Gericke
3- BentonJons

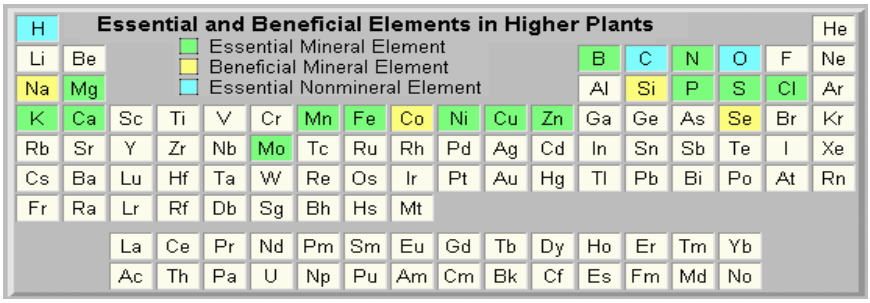
بوده و در مقایسه با عناصر کم‌مصرف بـه مقـدار زیـاد توسـط گیـاه مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرند.

۴- نقش عناصر غذایی در رشد و نمو گیاه

هر کدام از عناصر غذایی، نقش ویژه‌ای در رشد و نمو گیاه ایفا می‌کنند که مختص آن عنصر غذایی می‌باشد. به عبارت دیگر، گیاه بدون حضور آن عنصر غذایی قادر بـه کامـل کردن سیکل زندگی خود نیست. نقش عناصر غذایی در گیاه به اختصـار در جـدول ۱ و جایگاه این عناصر در جدول تناوبی در شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خلاصه نقش عناصر غذایی در گیاه (جونز، ۲۰۰۵)

عنصر	نام انگلیسی	علامت شیمیایی	نقش عنصر
نیتروژن	Nitrogen	(N)	سنتز پروتئین‌ها، رشد، نمو
فسفر	Phosphorus	(P)	تقسیم سلول و تشکیل ساختارهای انرژی
پتاسیم	Potassium	(K)	انتقال کربوهیدرات‌ها، کنترل روزنه‌ها، فعال‌سازی آنزیم‌ها، افزایش تحمل گیاه به تنش
کلسیم	Calcium	(Ca)	ساخت مواد نگه‌دارنده بین سلولی، کاهش حساسیت گیاه به بیماری
گوگرد	Sulfur	(S)	ضروری برای ساخت اسیدآمینه‌های سیستین و متیونین
منیزیم	Magnesium	(Mg)	اتم مرکز ملکول کلروفیل
آهن	Iron	(Fe)	ضروری در سنتز کلروفیل
منگنز	Manganese	(Mn)	ضروری برای فرآیند فتوسنتز
بور	Boron	(B)	تشکیل دیواره سلولی، رشد لوله گرده، مشارکت در متابولیسم و انتقال قند
روی	Zinc	(Zn)	سنتز اکسین
مس	Copper	(Cu)	تأثیر بر سنتز ترکیبات حاوی نیتروژن و کربوهیدرات‌ها
مولیبدن	Molybdenum	(Mo)	ضروری برای ساخت آنزیم نیترات ردوکتاز
کلر	Chlorine	(Cl)	نقش در فرآیند فتوسنتز



شکل ۱– جایگاه عناصرغذایی ضروری و سودمند گیاه در جدول تناوبی

ذیلاً در خصوص هریک از عناصر غذایی و نقش آن‌ها در متابولیسم گیاه، توضیحاتی ارائه می‌شود.

۴-۱-کربن، اکسیژن و هیدروژن

عنصر کربن از دی‌اکسید کربن اتمسفر توسط فرآیند فتوسنتز برای گیاه تأمین می‌شود. کربن عنصر سازنده تمام ترکیبات آلی همچون قندها، پروتئین‌ها و اسیدهای آلی است. این ترکیبات در بین ترکیبات دیگر در عناصر بنیادی، واکنش‌های آنزیمی و ماده ژنتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فرآیند تنفس، ترکیبات آلی را برای فراهم کردن انرژی به منظور انجام فرآیندهای گوناگون گیاه تجزیه می‌کند. میزان طبیعی دی‌اکسید کربن در اتمسفر حدود ۳۵۰ میلی‌گرم در مترمکعب است. پژوهش بر روی بسیاری از محصولات نشان داده است که اگر سطح دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰-۸۰۰ میلی‌گرم در مترمکعب افزایش یابد، نتیجه آن افزایش رشد گیاه و محصول بیشتر است. در مناطق شمالی کره زمین، تزریق دی‌اکسید کربن یک شیوه استاندارد تولید گیاهان گلخانه‌ای در زمستان است. هیدروژن نیز یک جزء از ترکیبات آلی است. یون‌های هیدروژن در واکنش-های الکتروشیمی شرکت دارند تا تعادل بار را در غشاء سلول حفظ کنند. اکسیژن نیز سومین عنصر در مولکول‌های آلی ویژه همچون قندهای ساده است. وجود اکسیژن برای بسیاری از واکنش‌های زیست شیمیایی گیاه مهم و ضروری است.

۴-۲- نیتروژن

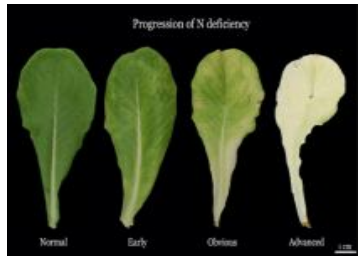
نیتروژن یک عنصر بسیار مهم برای رشد گیاه است و در بسیاری از ترکیبات گیاه یافت می‌شود. این ترکیبات شامل کلروفیل (رنگ سبز در گیاهان)، آمینواسیدها، پروتئین‌ها، اسید نوکلئیک‌ها و اسیدهای آلی است. نیتروژن در گیاه به دو صورت نیترات یا آمونیوم جذب می‌شود. استفاده از نیترات بیشتر ترجیح داده می‌شود، زیرا میزان نیتروژن بیشتری را برای محصولات گلخانه‌ای فراهم می‌کند. به نظر می‌رسد در محیط-های سرد (کمتر از۱۲ درجه سانتی‌گراد) آمونیوم راحت‌تر از نیترات جذب می‌شود. میزان جذب آمونیوم در محیط‌هایی با pH نزدیک به خنثی بیشتر است و این میزان با کاهش pH کم‌تر می‌شود. مقدار جذب نیترات در محیط‌های اسیدی بیشتر است. بیش-ترین میزان جذب نیتروژن زمانی است که هر دو فرم نیتروژن آمونیومی و نیتراتی، در محیط فراهم باشد. وجود آمونیوم به همراه نیترات در محیط باعث بیش‌ترین مقدار رشد در برخی آزمایشات گردیده است.

جذب نیتروژن در حالت‌های گوناگون بر روی pH محیط اثر می‌گذارد. اگر نیتروژن به‌صورت آمونیوم جذب شود، گیاه برای حفظ تعادل، بار الکتریکی یون‌های H^+ را آزاد می‌کند و در نتیجه میزان pH کاهش می‌یابد. اگر این جذب به صورت نیترات انجام شود، به دلیل افزایش میزان یون‌های OH^-، pH افزایش می‌یابد. بنابراین تغییراتی که در pH محیط رشد مشاهده می‌شود، به دلیل جذب نیتروژن است. از آنجائی که این عنصر در گیاه متحرک است، نشانه‌های کمبود آن نخست در برگ‌های پایینی گیاه دیده می‌شود. این نشانه‌ها به‌صورت زرد شدن سراسری برگ‌ها می‌باشد. در مورد گیاه گوجه‌فرنگی، وجود رنگ قرمز بر روی دمبرگ‌ها و رگبرگ‌ها، نشانه این کمبود است. اگر این مشکل ادامه یابد، برگ‌های این گیاه می‌ریزد.

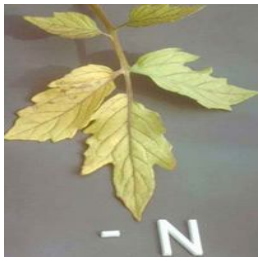
برگ‌های گیاه سالم دارای حدود ۲ تا ۵ ٪ از این ماده بر اساس وزن خشک می‌باشند. کمبود نیتروژن بیشتر در صورت کوددهی ناصحیح ایجاد می‌شود که در نتیجه، عنصر مزبور به مقدار کافی به گیاه نمی‌رسد. غالباً در اثر مصرف بی‌رویه نیتروژن نیز مشکلاتی به وجود می‌آید. گیاهانی که دارای مقدار نیتروژن اضافی هستند، بیشتر پرپشت و شکننده بوده و برگ‌های آن‌ها بزرگ‌تر از حد معمول و به رنگ سبز تیره

است. وجود نیتروژن بیش از حد در گوجه‌فرنگی، باعث می‌شود برگ‌ها کلفت و چرم‌مانند شوند و به طرز واضحی به طرف داخل پیچ خورده و باعث رشدی متراکم شوند. افزایش نیتروژن باعث تولید گیاه پرآب و ضخیم و در نتیجه تغییر رنگ شاخ و برگ به رنگ سبز تیره می‌شود. هم‌چنین گیاه نسبت به بیماری‌ها و آفات حساسیت زیادی پیدا می‌کند. افزایش نیتروژن در محصولات میوه‌ای باعث آسیب شکوفه و گل می‌شود و کیفیت محصول را کاهش می‌دهد. علائم کمبود نیتروژن در شکل ۲ آورده شده است.

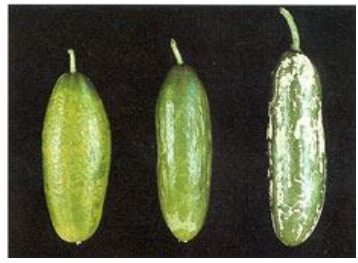
مناسب‌ترین نسبت یون‌های نیترات و آمونیوم، برای اکثر گیاهان، نسبت ۷۵ به ۲۵ می‌باشد. در سیستم‌های چرخه‌ای، رعایت سهم بیست‌وپنج درصدی آمونیوم از کل نیتروژن مناسب است، ولی در سیستم‌های غیرچرخه‌ای، درصد بیشتری از نیتروژن آمونیومی نیاز است. افزایش غلظت نیترات در محیط کشت، باعث کاهش تعداد تارهای کشنده ریشه نیز می‌شود. اگر منبع اصلی تأمین نیتروژن، آمونیوم باشد می‌تواند باعث مسمومیت گیاه شود. آثار این مسمومیت در ساقه و برگ‌ها توسعه پیدا می‌کند و برگ‌ها به صورت پیاله ظاهر می‌شوند و هم‌چنین بافت‌های آوندی خراب می‌شوند. آمونیوم مانع از عملکرد کلسیم، که برای نگهداری دیواره سلولی لازم است، می‌شود. در نتیجه گیاه پژمرده می‌شود. اگر ساقه‌های مبتلا شده را از محور طولی به دو نیم کنیم، یک محیط سیاه و فاسد از بافت پیوندی را مشاهده می‌کنیم. غلظت نیتروژن در اکثر فرمول‌های محلول غذایی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول است و نسبت نیترات به آمونیوم در حدود ۳ یا ۴ به ۱ است. منابع نیتروژن آمونیومی منو یا دی‌هیدروژن فسفات آمونیوم می‌باشد. از نیترات کلسیم، نیترات پتاسیم و اسید نیتریک برای تأمین نیترات و از نیترات آمونیوم برای تأمین آمونیوم استفاده می‌شود.



نشانه کمبود نیتروژن در کاهو



نشانه کمبود نیتروژن در برگ گوجه‌فرنگی



نشانه کمبود نیتروژن در برگ و میوه خیار گلخانه‌ای

شکل ۲- علائم کمبود نیتروژن

۴-۳- فسفر

فسفر در ترکیبات گوناگون انتقال انرژی در گیاهان استفاده می‌شود. نقش بسیار مهم فسفر، نقش آن در ساختار اسید نوکلئیک‌هاست. فسفر به شکل H_2PO^{4-} یا HPO_4^{2-} و طی یک روند فعال نیازمند انرژی، جذب می‌شود. این عنصر در گیاه متحرک است. کمبود این ماده، نخست در برگ‌های قدیمی‌تر ظاهر می‌شود، زیرا فسفر برای جبران نیاز قسمت‌های تازه رشد یافته به آنجا حرکت می‌کند. کمبود ناشی از فسفر به توقف رشد و ایجاد رنگ قرمز در برگ‌ها منجر می‌شود. این تغییر رنگ به علت افزایش میزان رنگیزه‌های آنتوسیانین می‌باشد.

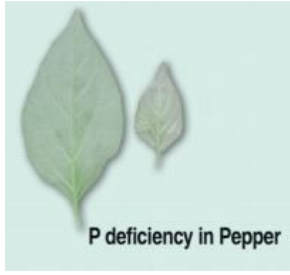
در ماده خشک برگ‌های دچار کمبود فسفر، تنها ۰/۱ درصد از این عنصر وجود دارد. برگ‌های بالغ شده بیشتر گیاهان دارای ۰/۲۵ درصد تا ۰/۶ درصد از این ماده بر اساس وزن خشک آن‌ها هستند. وجود فسفر اضافی در ناحیه ریشه می‌تواند باعث کاهش رشد گیاه شود، زیرا وجود بیش از حد این ماده، میزان جذب روی (Zn)، آهن (Fe) و مس (Cu) را کاهش می‌دهد. اگر pH محیط اطراف ریشه بالا باشد و یا این محیط سرد باشد،

میزان جذب فسفر کاهش می‌یابد. حفظ pH محلول هیدروپونیک در محدوده ۵/۶ تا ۶ برای تسهیل در جذب فسفر لازم است. برای اسیدی کردن این محیط می‌توان از اسیدهای سولفوریک، نیتریک و یا فسفریک استفاده کرد.

گاهی اوقات دمبرگ‌ها و رگبرگ‌های میانی برگ‌های جوان گیاهان کامل، کمی بنفش‌رنگ می‌شوند. این اتفاق بیشتر در اواخر پاییز و هم‌زمان با سرد شدن هوا رخ می‌دهد. از آنجائی‌که این تغییر رنگ در برگ‌های جوان پیش می‌آید، این مسئله با کمبود فسفر ارتباط ندارد، بلکه احتمالاً به دلیل افزایش سطح رنگیزه‌های آنتوسیانین و تحت تأثیر دمای سرد محیط است. این مشکل بیشتر با گرم شدن محیط بر طرف می‌شود. اگر غلظت فسفر از سه‌دهم درصد در ماده خشک بیشتر باشد، باعث مسمومیت فسفر در گیاه می‌شود. مسمومیت فسفر بر روی جذب سایر عناصر مانند آهن، منگنز و روی تأثیر می‌گذارد. در اکثر فرمول‌های غذایی، غلظت فسفر بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول می‌باشد. شکل فسفر در محلول غذایی به صورت منو یا دی هیدروژن فسفات است.

نشانه کمبود فسفر در توت‌فرنگی

نشانه کمبود فسفر در برگ گوجه‌فرنگی



نشانه کمبود فسفر در برگ فلفل

نشانه کمبود فسفر در برگ خیار گلخانه‌ای

نشانه کمبود فسفر در کاهو

شکل ۳- علائم کمبود فسفر

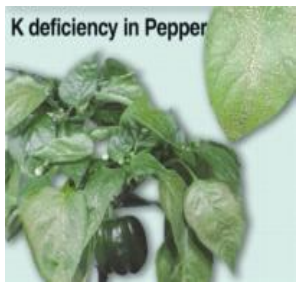
۴-۴- پتاسیم

پتاسیم به عنوان یک فعال‌ساز در بسیاری از واکنش‌های آنزیمی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. نقش دیگر پتاسیم در گیاهان در سلول‌های ویژه برگ به نام سلول‌های نگهبان رخ می‌دهد که در اطراف روزنه یافت می‌شوند. ورم سلول نگهبان (یا کمبود ورم) درجه منفذ روزنه را کنترل می‌کند و بنابراین سطح تبادل گاز و بخار آب را از میان روزنه کنترل می‌نماید. ورم بیش‌تر توسط جابجایی پتاسیم درون و خارج از سلول‌های نگهبان کنترل می‌شود. بیشتر مقدار زیادی پتاسیم طی فرآیند جذب فعال جذب می‌شود. پتاسیم در گیاه بسیار متحرک است و به سرعت به بافت‌های جدید منتقل می‌شود.

کاهش رشد و کلروز حاشیه‌ای، علائم کمبود پتاسیم است. در اکثر فرمول‌های محلول غذایی، غلظت پتاسیم در حدود ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول و به صورت کاتیون است. نشانه‌های کمبود پتاسیم، نخست بر روی برگ‌های پایینی و به‌صورت لکه‌ها یا خال‌های حاشیه‌ای دیده می‌شود. اگر این کمبود ادامه یابد، در حاشیه برگ‌ها، مرگ بافتی به‌وجود می‌آید و گیاه اندکی پژمرده می‌شود. برگ‌هایی که دچار کمبود پتاسیم هستند، معمولاً دارای کمتر از یک و نیم درصد از این عنصر می‌باشند. کمبود پتاسیم در گوجه‌فرنگی رسیده، باعث ایجاد لکه‌هایی بر روی این میوه می‌شود که ناشی از عدم تولید رنگ قرمز طبیعی در مناطقی از آن است. افزایش سطح پتاسیم در این محیط‌ها به‌ویژه محیط هیدروپونیک و پشم سنگ[1]، مانع از جذب کاتیون‌های دیگر مانند منیزیم (Mg) و یا کلسیم (Ca) می‌شود. منابع تهیه پتاسیم، نیترات پتاسیم، سولفات پتاسیم یا کلرید پتاسیم می‌باشد. علائم کمبود پتاسیم در شکل ۴ آورده شده است.

1- Rockwool

نشانه کمبود پتاسیم در برگ و میوه گوجه‌فرنگی



نشانه کمبود پتاسیم در برگ کاهو — نشانه کمبود پتاسیم در فلفل — نشانه کمبود پتاسیم در خیار گلخانه‌ای

شکل ۴- نشانه کمبود پتاسیم

۴-۵- گوگرد

گوگرد یک جزء از آمینواسیدهای محتوی سولفور همچون متیونین است. گوگرد همچنین در گروه سولفیدریل[1] آنزیم‌های ویژه یافت می‌شود. گوگرد بیشتر به‌صورت سولفات SO_4^{2-} جذب ریشه می‌شود. برگ‌های گیاهان بیشتر دارای حدود ۰/۲ تا ۰/۵ درصد گوگرد بر اساس وزن خشک می‌باشند. این محدوده شبیه محدوده فسفر است. گیاهان بیشتر افزایش بیش از حد گوگرد را در محیط رشد تحمل می‌کنند و به همین دلیل است که برای برآوردن نیازهای غذایی منیزیم و عناصر کم‌مصرف، از مواد محتوی گوگرد استفاده می‌شود. به همین دلیل، کمبود گوگرد در محصولات گلخانه‌ای رایج نیست.

1- Sulfhydryl

گوگرد در گیاه حرکت نمی‌کند، بنابراین در بیشتر موارد کمبود آن ابتدا در بخش‌های تازه رشد یافته مشخص می‌شود. نشانه کمبود گوگرد به‌صورت زرد شدن سراسری برگ-هاست. نشانه‌های کمبود نیتروژن (N) و گوگرد (S) بسیار شبیه هم‌اند. با این تفاوت که کمبود نیتروژن (N) در برگ‌های پایینی ظاهر می‌شود، در صورتی‌که کمبود گوگرد در برگ‌های بالایی دیده می‌شود. غلظت گوگرد در بیشتر محلول‌های غذایی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول به صورت So_4^{2-} است. نمک‌های سولفات‌پتاسیم، منیزیم و آمونیوم از مهم-ترین منابع تهیه گوگرد است. علائم کمبود گوگرد در شکل ۵ آورده شده است.

کمبود گوگرد در گوجه‌فرنگی

کمبود گوگرد در کاهو

شکل ۵- علائم کمبود گوگرد

۴-۶- کلسیم

کلسیم جهت ایجاد دیواره سلولی لازم است. علاوه بر این، کلسیم به‌عنوان یک عامل کمکی در برخی واکنش‌های آنزیمی استفاده می‌شود. اخیراً ثابت شده است که وجود این عنصر در کنترل فرآیند سلولی نیز دخالت دارد که توسط یک مولکول با نام کالمودولین[1] انجام می‌شود. کلسیم بر خلاف بیشتر عناصر، از طریق مکانیسمی غیرفعال[2] جذب و منتقل می‌شود. روند تعرق در گیاهان مهم‌ترین عامل در جذب کلسیم (Ca) می‌باشد. به همین دلیل کلسیم در گیاه به طرف مناطقی حرکت می‌کند که دارای تعرق بیشتری

1- Calmodulin
2- Passive

هستند، مانند برگ‌هایی که به سرعت گسترش می‌یابند. جذب کلسیم بیشتر در ناحیه ریشه و دقیقاً پشت نوک ریشه انجام می‌شود. در نظر گرفتن این موضوع برای کشت گیاهان گلخانه‌ای اهمیت دارد. زیرا گلخانه‌داران باید به سلامت سیستم‌های ریشه و رشد فعال نوک ریشه توجه کنند. بیماری‌های ریشه باعث کاهش میزان جذب کلسیم در گیاه می‌شود. از آنجائی که حرکت کلسیم در گیاه با تعرق ارتباط دارد، در نتیجه شرایط محیطی که بر روی تعرق اثر می‌گذارد، حرکت کلسیم را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در زمان‌هایی که رطوبت هوا زیاد است، کاهو دچار سوختگی نوک برگ‌ها می‌شود، زیرا سرعت تعرق در برگ‌ها به اندازه‌ای نیست که میزان کلسیم کافی به نوک برگ‌های پهن آن برسد. غلظت کلسیم در برگ‌های سالم و بالغ در حدود یک تا پنج درصد می‌باشد. با وجود شرایط محیطی مانند آنچه که در بالا گفته شد، کمبود این ماده به‌طور موقت بروز می‌کند. بنابراین در برنامه کوددهی کلسیم ، باید به آبیاری و کنترل محیط گلخانه توجه کافی داشت. به علاوه، جذب کلسیم تحت تأثیر یون‌هایی مانند آمونیوم، منیزیم و پتاسیم نیز تغییر می‌کند. این کاتیون‌ها در هنگام جذب به‌وسیله ریشه، با کلسیم رقابت می‌کنند. رقابت این مواد نباید سبب شود که نیاز گیاه به این عناصر تأمین نشود. کلسیم در گیاه حرکت نمی‌کند، بنابراین نشانه‌های کمبود این عنصر نخست در بخش‌های در حال رشد مشاهده می‌شود. کمبود کلسیم (Ca) باعث ایجاد مرگ بافتی در برگ‌های جدید و یا حلقه‌شدگی و پیچ‌خوردگی برگ‌های در حال رشد می‌شود. سوختگی لب‌برگ[1] در کاهو و کلم‌ها، مثال‌هایی از این کمبود است. سوختگی گل‌گاه[2] گیاه گوجه‌فرنگی نیز نشانه وجود اختلال مربوط به کمبود کلسیم است. سلول‌های میوه گوجه‌فرنگی که دچار کمبود کلسیم هستند، دارای مناطق تیره واضحی در انتهای گل‌گاه این میوه می‌باشند. در برخی موارد، این نقص فقط در داخل پوست میوه وجود دارد، لذا این نقاط سفت و تیره کوچک، در داخل گوجه‌فرنگی است و ظاهر میوه سالم به نظر می‌رسد. در انواع دیگر، این آسیب در خارج میوه به شکل فرورفتگی و یا وجود بافت‌های تیره در اطراف ناحیه شکوفه می‌باشد. زیادبود کلسیم باعث کمبود کاتیون‌هایی مهم مثل پتاسیم و منیزیم می‌شود. غلظت کلسیم در اکثر محلول‌های غذایی در حدود ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول می-

1- Tipburn
2- Blossom-end-rot

باشد. مهمترین منابع تهیه کلسیم در محلول غذایی نیترات کلسیم و نیترات پتاسیم می‌باشد. علائم کمبود کلسیم در شکل ۶ آورده شده است.

کمبود کلسیم در میوه گوجه‌فرنگی — کمبود کلسیم میوه گوجه‌فرنگی — کمبود کلسیم در برگ گوجه‌فرنگی

کمبود کلسیم برگ کاهو — کمبود کلسیم میوه فلفل — کمبود کلسیم برگ کاهو

شکل ۶- علائم کمبود کلسیم در اندام‌ها و میوه برخی گیاهان

۴-۷- منیزیم

از آنجایی‌که منیزیم در مرکز مولکول کلروفیل وجود دارد، نقش مهمی در سلول‌های گیاهان ایفا می‌کند. هم‌چنین این عنصر به عنوان عامل کمکی در واکنش‌های آنزیمی شرکت می‌کند. مقدار جذب منیزیم نسبت به کلسیم کم‌تر است. هم‌چنین جذب منیزیم (Mg) به‌شدت تحت تأثیر یون‌های رقیب دیگر مانند پتاسیم، کلسیم و آمونیوم است. منیزیم بر خلاف کلسیم در گیاه متحرک است و در نتیجه کمبود ناشی از آن ابتدا در برگ‌های پایینی مشخص می‌شود. غلظت منیزیم در برگ‌های سالم بین ۰/۲ تا ۰/۸ درصد ماده خشک می‌باشد. شرایطی که باعث کمبود منیزیم در گیاه می‌شود، برنامه‌های نامنظم کوددهی است که ناشی از استفاده کم منیزیم و بیش از حد پتاسیم، کلسیم و آمونیوم

می‌باشد. نشانه کمبود منیزیم، زردی بین رگبرگی است که منجر به مرگ بافت مناطق تحت تأثیر می‌شود. کاهش بیش از حد منیزیم در برگ‌های گیاه گوجه‌فرنگی باعث ایجاد رنگ بنفش کم‌رنگ در این لکه‌ها می‌شود. غلظت منیزیم حدود ۵۰ میلی‌گرم در لیتر محلول و به شکل Mg^{2+} در محلول غذایی است. منبع تهیه منیزیم، سولفات منیزیم است. علائم کمبود منیزیم در شکل ۷ آورده شده است.

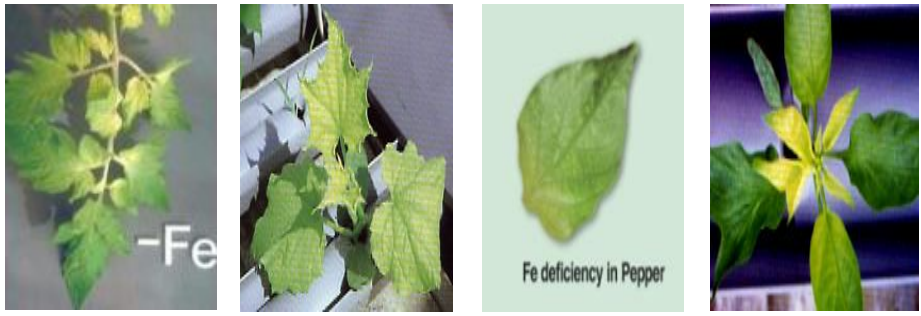
کمبود منیزیم در فلفل | کمبود منیزیم در کاهو | کمبود منیزیم خیار | کمبود منیزیم در گوجه‌فرنگی

شکل ۷- علائم کمبود منیزیم

۴-۸- آهن

آهن، جزئی از ملکول کلروفیل است. این عنصر هم‌چنین به عنوان بخشی از یک آنزیم، در احیاء نیترات به نیتروژن آمونیاکی نقش دارد. دیگر سیستم‌های آنزیمی مانند کاتالاز و پرواکسیداز نیز به آهن احتیاج دارند. آهن از طریق فرآیندی فعال و به‌صورت Fe^{2+} و یا از طریق کلات آهن جذب می‌شود که مولکول‌های آلی هستند. جذب آهن تا حد زیادی به شکل آهن بستگی دارد و میزان جذب کافی به توانایی ریشه در تبدیل Fe^{3+} به Fe^{2+} برای جذب بستگی دارد. کلات‌های آهن قابلیت انحلال دارند و به حفظ آهن در محلول برای جذب بهتر آن کمک می‌کنند. احتمالاً میزان جذب تمام مولکول-های کلات بسیار کم است و معمولاً قبل از جذب، آهن از کلات جدا می‌شود. آهن در گیاه حرکتی ندارد و علائم کمبود آن نخست در برگ‌های جدید نمایان می‌شود.

نشانه‌های این کمبود به‌صورت زردی درون رگبرگی است و ممکن است به سفید شدن و مرگ بافت برگ‌های مبتلا منجر شود. برگ‌های سالم دارای ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن بر اساس وزن خشک هستند. عواملی که باعث ایجاد کمبود آهن در گیاه می‌شوند عبارت‌اند از غلظت نامناسب آهن در محلول غذایی و محیط‌های سرد یا شرایط قلیایی در محیط (pH بیشتر از ۷). علائم کمبود آهن به صورت کم شدن رنگ سبز گیاه به‌دلیل کاهش کلروفیل می‌باشد. تفاوت علائم کمبود آهن با منیزیم در این است که کمبود آهن ابتدا در برگ‌های جوان ظاهر می‌شود، ولی منیزیم در برگ‌های پیر زودتر مشاهده می‌شود. منابع کودی آهن شامل کلات‌های EDTA و EDDHA به عنوان معمولی‌ترین منابع و منابع دیگر آهن مثل سولفات آهن و فسفات آهن است که شکل-های غیرآلی آهن هستند و سیترات آهن و تارتارات آهن که دو شکل آلی آهن هستند. علائم کمبود آهن در شکل ۸ نشان داده شده است.



کمبود آهن در گوجه‌فرنگی کمبود آهن در خیار کمبود آهن در فلفل کمبود آهن در فلفل

شکل ۸- علائم کمبود آهن

۴-۹- بور

عملکرد بور در گیاه به‌خوبی مشخص نشده است. به نظر می‌رسد بور در رشد طبیعی مریستم در بخش‌های جوان مانند نوک ریشه اهمیت دارد. چگونگی جذب بور در گیاهان هنوز به خوبی مشخص نشده است. بور در گیاه حرکت ندارد و به نظر می‌رسد ویژگی‌های مربوط به جذب و انتقال این عنصر در گیاه با کلسیم شباهت بسیاری دارد. کمبود بور ابتدا

در بخش‌های جوان مانند جوانه‌ها، نوک و حاشیه برگ‌ها مشاهده می‌شود. مناطق مرده موضعی بر روی جوانه‌ها به وجود می‌آید و نوک برگ‌ها زرد شده و سرانجام از بین می‌روند. برگ‌ها و ساقه گیاه گوجه‌فرنگی مبتلا به بور، شکننده می‌شود. برگ‌های سالم دارای ۲۰ تا ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از این عنصر می‌باشند و میزان زیاد این عنصر باعث ایجاد مسمومیت می‌شود. گیاهان تنها به میزان کمی از این عنصر نیاز دارند و استفاده بیش از حد بور به‌صورت کودهای محلول باعث ایجاد مسمومیت در گیاه می‌شود. علائم کمبود بور به صورت کاهش رشد و آسیب قسمت‌های فوقانی گیاه و ریشه است و علائم بیش‌بود آن، به صورت بی‌رنگی و لکه‌دار شدن حاشیه برگ‌ها و هم‌چنین مرگ حاشیه برگ‌ها بروز می‌کند. غلظت بور در انواع محلول‌های غذایی در حدود ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر محلول می‌باشد. اسید بوریک یکی از منابع تهیه بور است. علائم کمبود بور در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

شکل ۹- علائم سمیت بور در فلفل گلخانه‌ای

کمبود بور در برگ و میوه گوجه‌فرنگی

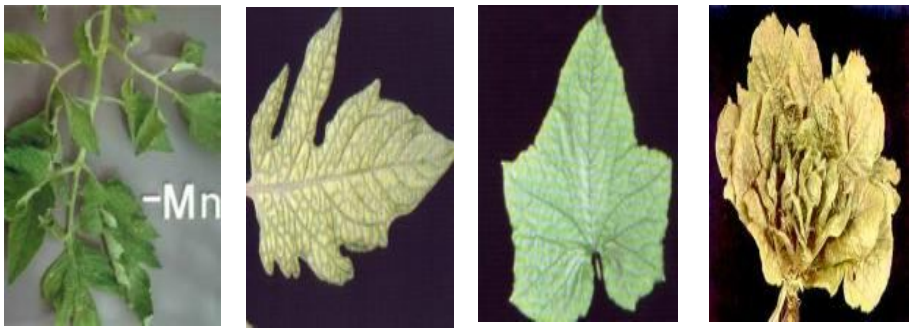
ترک‌خوردگی ساقه گوجه‌فرنگی در اثر کمبود بور — کمبود بور در میوه خیار گلخانه‌ای

شکل ۱۰- علائم کمبود بور

۴-۱۰- منگنز

منگنز در واکنش‌های آنزیمی گوناگونی شرکت می‌کند که از انرژی آدنوزین‌تری فسفات (ATP) استفاده می‌کنند. منگنز هم‌چنین برخی آنزیم‌ها را فعال کرده و در عمل فتوسنتز، در روند سیستم انتقال الکترون نقش دارد. منگنز به‌صورت یون‌های Mn^{2+} جذب می‌شود و این جذب تحت تأثیر کاتیون‌های دیگر مانند کلسیم و منیزیم قرار می‌گیرد. از آنجائی‌که منگنز در گیاه متحرک نیست، نشانه‌های کمبود آن در برگ‌های بالایی ظاهر می‌شود. نشانه کمبود منگنز (Mn) بسیار شبیه نشانه‌های کمبود منیزیم است، با این تفاوت که در مورد منیزیم این نشانه‌ها در برگ‌های پایینی گیاه دیده می‌شود. کمبود منگنز به‌صورت زردی درون رگبرگی بروز می‌کند، ولی این زردی در مقایسه با کمبود منیزیم از نوع خال‌دار است. در بیشتر گیاهان غلظت طبیعی منگنز در برگ‌ها از ۳۰ تا ۱۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، متفاوت است. غلظت بیش از حد منگنز در گیاه،

مسمومیت ایجاد می‌کند. در بسیاری از گیاهان، این مسمومیت باعث مرگ بافت در حاشیه برگ‌ها می‌شود. اگر غلظت منگنز در برگ حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، در گیاهان حالت سمی ایجاد می‌شود. هم‌چنین وجود منگنز اضافی در محلول غذایی، میزان جذب آهن را کاهش می‌دهد. در بیشتر موارد، عدم استفاده از منگنز کافی در محلول غذایی و یا اثر رقابتی دیگر یون‌ها، باعث کمبود این عنصر در گیاه می‌شود. اگر میزان منگنز در محلول غذایی بیشتر از حد معمول باشد و یا محیط اسیدی باشد، حالت مسمومیت ایجاد می‌شود. میزان مطلوب منگنز در سبزیجات حدود ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک است. علائم کمبود در برگ‌های جوان به شکل کلروز داخلی و میانی و علائم بیش‌بود به صورت نقاط قهوه‌ای در بعضی از برگ‌های پیر و یا لکه‌های سیاه‌رنگ روی شاخه و میوه ظاهر می‌شود. این علائم در کمبود آهن نیز مشاهده می‌شوند که برای اطمینان یک تجزیه گیاهی لازم است. غلظت مناسب منگنز در محلول غذایی در حدود ۰/۵ تا ۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و برای تهیه آن از سولفات منگنز یا منابع دیگر کودی مانند کلات آن استفاده می‌شود. علائم کمبود منگنز در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



کمبود منگنز در کاهو — کمبود منگنز در خیار — کمبود منگنز در برگ گوجه‌فرنگی — کمبود منگنز در برگ گوجه‌فرنگی

شکل ۱۱- علائم کمبود منگنز

۴-۱۱- روی

به نظر می‌رسد جذب روی از طریق فرآیندی فعال و تحت تأثیر غلظت فسفر در محیط‌های کشت باشد. روی در گیاه تحرک چندانی ندارد. کمبود روی در گیاهان باعث زردی درون رگبرگی در برگ‌ها می‌شود در مواردی مشاهده شده که کمبود این عنصر در گیاه باعث کوتاه شدن میان گره‌ها می‌شود. روی در فعال‌سازی چندین آنزیم در گیاه نقش داشته و وجود آن برای سنتز یک تنظیم‌کننده رشد به نام ایندول استیک اسید[1] ضروری است.

روی در برگ‌های سالم، در محدوده غلظت ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده می‌شود. غلظت بیش از حد روی باعث ایجاد مسمومیت در گیاه می‌شود که در نتیجه آن رشد ریشه کاهش می‌یابد و برگ‌ها کوچک و زرد می‌شوند. وجود سرما، محیط رشد مرطوب یا pH بالا در محیط کشت و یا وجود فسفر بیش از حد، باعث افزایش احتمال کمبود روی می‌شود. در بیشتر فرمول‌های غذایی میزان آن ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر محلول و به صورت کاتیون دو ظرفیتی است. منبع کودی روی، سولفات روی است. علائم کمبود روی در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

کمبود روی در برگ خیار گلخانه‌ای

کمبود روی در برگ گوجه‌فرنگی

شکل ۱۲- علائم کمبود روی در سبزی‌های گلخانه‌ای

1- Indol Acetic Acid

۴-۱۲- مس

مس عنصر سازنده چندین آنزیم در گیاه است و در هنگام فتوسنتز بخشی از یک پروتئین در سیستم انتقال الکترون می‌باشد. میزان جذب مس در گیاهان بسیار اندک است. جذب از طریق فرآیندی فعال انجام می‌شود و میزان آن به شدت با مقدار روی و pH محیط ارتباط دارد. مس در گیاهان حرکت چندانی ندارد، اما برخی از انواع آن از برگ‌های قدیمی‌تر به برگ‌های جدید تغییر مکان می‌دهند. سطح طبیعی غلظت مس در گیاهان در حدود ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. کمبود مس در برگ‌های جوان باعث ایجاد زردی و حالت کشیدگی برگ‌ها می‌شود. اگر میزان مس بیش از حد معمول باشد، به‌ویژه اگر محیط هم اسیدی باشد، مسمومیت ایجاد می‌شود. غلظت مطلوب مس در محلول غذایی ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر محلول می‌باشد. منبع تهیه مس، سولفات مس می‌باشد. علائم کمبود مس در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

کمبود مس در خیار | کمبود مس در کاهو | کمبود مس در برگ گوجه‌فرنگی | کمبود مس در برگ گوجه‌فرنگی

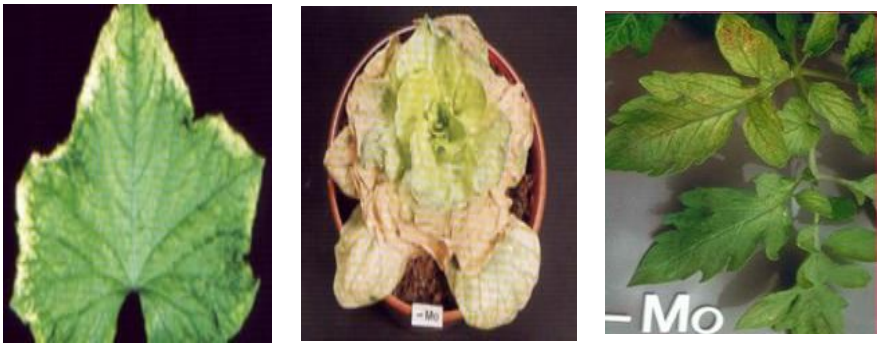
شکل ۱۳- علائم کمبود مس

۴-۱۳- مولیبدن

مولیبدن بخشی از دو آنزیم مؤثر در متابولیسم نیتروژن می‌باشد که مهم‌ترین آن‌ها احیاءکننده نیترات می‌باشد. مولیبدن به شکل یون مولیبدات (MoO_4^{2-}) جذب می‌شود و

وجود سولفات باعث جلوگیری از جذب آن می‌شود. میزان مولیبدن در بافت‌ها اغلب کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد.

نشانه‌های کمبود مولیبدن نخست در برگ‌های میانی و برگ‌های قدیمی‌تر دیده می‌شود. برگ‌های مبتلا به کمبود، زرد شده و حاشیه آن‌ها لوله‌ای می‌شود. بر خلاف دیگر عناصر کم‌مصرف، کمبود مولیبدن بیشتر تحت شرایط اسیدی رخ می‌دهد. مولیبدن در حدود ۰/۵ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه وجود دارد. در بیشتر فرمول‌های محلول غذایی غلظت آن حدود ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر محلول و به شکل آنیون مولیبدات $MoO4^{2-}$ در محلول موجود است. منبع کودی آن مولیبدات آمونیوم است. علائم کمبود مولیبدن در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



کمبود مولیبدن در برگ گوجه‌فرنگی | کمبود مولیبدن در برگ کاهو | کمبود مولیبدن در برگ خیار گلخانه‌ای

شکل ۱۴- علائم کمبود مولیبدن

۴-۱۴- کلر

کلر احتمالاً در فتوسنتز نقش داشته و به عنوان یک یون با اثر معکوس در تورم سلول عمل می‌کند. کمبود کلر به ندرت در گیاهان مشاهده می‌شود، زیرا نیاز گیاه به این عنصر بسیار اندک است و این میزان کلر از طریق کودها، آب‌وهوا تأمین می‌شود. غلظت کلر در برگ‌ها حدود ۰/۱۵ درصد است. علائم مسمومیت سوختگی برگ‌ها یا حاشیه آن‌ها و هم-چنین زردی بی‌موقع برگ‌ها می‌باشد. منابع تأمین کلر شامل کلرید پتاسیم یا کلرید

کلسیم می‌باشد. اگر غلظت کلر در محلول زیاد باشد، مانع از جذب یون‌های دیگر مانند نیترات می‌شود.

۵- منابع کودی تأمین‌کننده عناصر غذایی برای ساخت محلول‌های غذایی

مواد کودی که به عنوان مواد غذایی برای گیاهان گلخانه‌ای استفاده می‌شوند، باید دارای چندین ویژگی باشند. این ویژگی‌ها شامل قیمت هر واحد عنصر غذایی، قابلیت حل شدن در آب، توانایی تأمین چندین عنصر غذایی و عاری بودن از آلاینده‌ها و سهولت در جابه‌جایی می‌باشند. در جدول ۲ رایج‌ترین کودهای مورد استفاده برای تأمین عناصر پرمصرف و در جدول ۳ رایج‌ترین کودهای مورد استفاده برای تأمین عناصر کم‌مصرف ساخت محلول‌های غذایی مناسب گیاهان گلخانه‌ای آورده شده است. این مواد برای فرموله کردن محلول‌های غذایی استفاده می‌شوند.

جدول ۲ - منابع کودی در فرموله کردن عناصر پرمصرف محلول‌های غذایی گوناگون برای گیاهان گلخانه‌ای (جونز، ۲۰۰۵)

عنصر	عنصر	منبع	(%)
نیتروژن	Nitrogen (N)	Ammonium nitrate نیترات آمونیوم	۳۳/۵
		Calcium nitrate نیترات کلسیم	۱۵/۵
		Calcium nitrate[z] نیترات کلسیم مایع	۷
		Potassium nitrate نیترات پتاسیم	۱۳
		Nitric acid اسید نیتریک	گوناگون
فسفر	PHoshhorus (P)	Monopotassium PHospHate مونو پتاسیم فسفات	۲۳
		PHospHoric acid فسفریک اسید	گوناگون
پتاسیم	Potassium (K)	Potassium chloride کلرور پتاسیم	۵۰
		Potassium nitrate نیترات پتاسیم	۳۶/۵
		Potassium magnesium sulfate سولفات پتاسیم منیزیم	۱۸/۳
		Monopotassium PHospHate مونو پتاسیم فسفات	۲۸
		Potassium sulfate سولفات پتاسیم	۴۳
کلسیم	Calcium (Ca)	Calcium nitrate نیترات کلسیم	۱۹
		Calcium chloride کلرور کلسیم	۳۶
		Calcium nitrate[z] نیترات کلسیم مایع	۱۱
منیزیم	Magnesium (Mg)	Magnesium sulfate سولفات منیزیم	۱۰
		Potassium magnesium sulfate سولفات پتاسیم منیزیم	۱۱

جدول ۳ - منابع کودی در فرموله کردن عناصر کم‌مصرف محلول‌های غذایی گوناگون برای گیاهان گلخانه‌ای (جونز، ۲۰۰۵)

عنصر	عنصر	منبع	(%)
بور	Boron (B)	Sodium borate بورات سدیم	۲۰
		Boric acid اسید بوریک	۱۷
مس	Copper (Cu)	Cupric chloride کلرور مس	۱۷
		Copper sulfate سولفات مس	۲۵
		Copper nitrate[z] نیترات مس مایع	۱۷
روی	Zinc (Zn)	Zinc sulfate سولفات روی	۳۶
		Zinc nitrate[z] سولفات روی مایع	17
آهن	Iron (Fe)	Chelated iron (EDTA, DTPA,EDDHA) کلات آهن	۵-۱۲
منگنز	Manganese (Mn)	Manganese chloride کلرور منگنز	۴۴
		Manganese sulfate سولفات منگنز	۲۸
		Manganese nitrate[z] نیترات منگنز مایع	۱۵
مولیبدن	Molybdenum (Mo)	Ammonium molybdate مولیبدات آمونیوم	۵۴
		Sodium molybdate مولیبدات سدیم	۳۹
کلر	Chloride (Cl)	Potassium chloride کلرور پتاسیم	۵۲
		Calcium chloride کلرور کلسیم	۶۴

۶- کیفیت آب

کیفیت آب مهم‌ترین مسئله در تهیه محلول غذایی مناسب است. آبی که دارای مصارف خانگی و کشاورزی است، حتماً باید آزمایش شود و سپس مورد استفاده قرار گیرد. زیرا ممکن است این آب‌ها دارای موادی باشند که در رشد گیاه تأثیر سوء گذارند. آب سطحی ممکن است شامل میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای گیاهی یا جلبک‌ها باشد. این عوامل مشکلاتی در سیستم‌های کشت به وجود می‌آورند، مثلاً جلبک‌ها باعث انسداد قطره‌چکان‌ها و دریچه‌ها می‌شوند. بنابراین برای تهیه آب مناسب، باید از روش-های گوناگونی استفاده کرد که استفاده از صافی برای تصفیه آب از مواد معلق نامطلوب، یکی از این راه‌ها است. بنابراین برای تهیه آب مناسب باید از روش‌های گوناگونی استفاده کرد که استفاده از صافی برای تصفیه آب از مواد معلق نامطلوب یکی از این راه-ها است. آب برای این‌که در سیستم کشت به کار گرفته شود، باید از یک صافی مناسب مثل لایه‌های ماسه عبور داده شود. این کار می‌تواند ذرات معلق که ممکن است شامل موجودات ریز بیماری‌زا، جلبک‌ها و یا حتی رسوب بعضی از عناصر باشد را از آب جدا کند. محلول غذایی را می‌توان با عبور اشعه ماوراء بنفش (UV) استریل کرد. برای این کار می‌توان از دو لامپ ۱۶ وات (UV[1]) در مسیر محلول غذایی استفاده کرد. لوله‌های مورد استفاده در این سیستم می‌توانند قطرهای گوناگونی داشته باشند که تابعی از حجم محلول غذایی استفاده شده در سیستم می‌باشد. در ضمن هزینه آزمایش کردن آب کم‌تر از هزینه از بین بردن مشکلات ناشی از استفاده آب نامطلوب است. مهم‌ترین کیفیت آب که می‌بایست به آن توجه شود، غلظت بی‌کربنات آب است که در صورت بالا بودن می‌بایست با اسید خنثی شود. دیگر شاخص‌های مهم کیفیت آب نیز می‌بایست در تهیه محلول‌های غذایی مدنظر قرار گیرند. مهم‌ترین این شاخص‌ها، واکنش (pH) آب و هدایت الکتریکی آب (EC) می‌باشند.

1- Ultra Violet

۶-۱- غلظت بی‌کربنات آب

آثار نامطلوب بی‌کربنات آب آبیاری بر گیاه ممکن است به‌طور غیرمستقیم و از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی بستر و کاهش کیفیت بستر و در نتیجه ایجاد شرایط نامساعد برای رشد گیاه و یا به‌طور مستقیم از طریق کاهش قابلیت جذب عناصر غذایی و ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی در سطوح گوناگون برای گیاه صورت گیرد (علیزاده، ۱۳۷۸).

مطالعات متعدد نشان داده که ارتباط نزدیکی بین pH آپوپلاست برگ و مقدار کلروفیل برگ وجود دارد. از طرف دیگر، همبستگی مثبت و بسیار بالایی بین pH آپوپلاست برگ و غلظت بی‌کربنات در محیط ریشه وجود دارد. افزایش نسبت فسفر به آهن (P/Fe) در برگ نیز از دیگر اثرات نامطلوب بی‌کربنات می‌باشد. کمبود روی نیز یکی از عوارض فیزیولوژیکی ناشی از غلظت بالای بی‌کربنات در محیط ریشه به عنوان مثال **کمبود** این عارضه در برنج که به‌عنوان یک عامل مهم محدودکننده تولید محصول به شمار می‌رود، به بالا بودن غلظت بی‌کربنات در محیط ریشه نسبت داده شده است. در این شرایط، یون بی‌کربنات از انتقال روی از ریشه به ساقه برنج به‌شدت جلوگیری می‌کند (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۰).

از دیگر اثرات فیزیولوژیکی و به عبارتی مهم‌ترین عارضه فیزیولوژیکی ناشی از بالا بودن غلظت بی‌کربنات در محیط ریشه، اختلال در تغذیه آهن می‌باشد. این اختلال فیزیولوژیکی ممکن است در سطح جذب، انتقال، متابولیسم یا مجموعه از آن‌ها اتفاق افتد که درنهایت سبب عدم امکان مشارکت آهن در سنتز کلروفیل گردیده و بدین ترتیب زردی برگ در گیاه به‌عنوان یک عارضه قابل مشاهده و ناشی از کمبود آهن ظاهر می‌شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۰).

۶-۲- واکنش (pH) آب

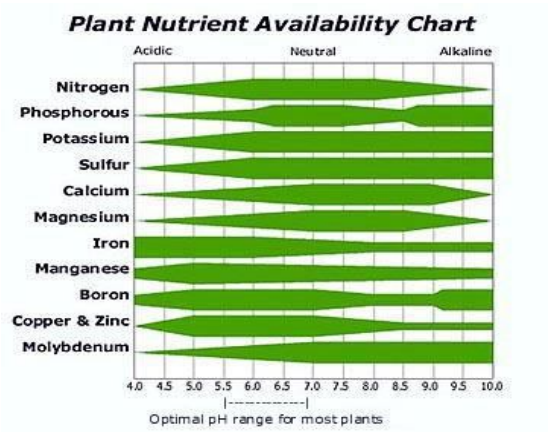
آب یک ماده حیاتی در تولید گیاهان می‌باشد و بر اهمیت تجزیه منابع آبی قبل از انجام آبیاری تأکید شده است، ولی در مورد قلیاییت و pH آب آبیاری به بحث بیشتری نیاز است. pH محیط رشد (محلول آبی موجود در خلل و فرج محیط رشد) میزان نسبی

مواد غذایی قابل دسترسی **به‌ویژه** عناصر کم‌مصرف را در گیاهان کنترل می‌کند (شکل ۱۵). pH و قلیاییت آب آبیاری عوامل عمده‌ای هستند که قابلیت جذب عناصر غذایی در محلول غذایی را تغییر می‌دهند. pH محیط کشت در محصولات گلخانه‌ای می‌تواند یک عامل محدودکننده رشد باشد. قابلیت جذب مواد غذایی و به دنبال آن رشد گیاه، می‌تواند تحت تأثیر pH محیط کشت و آب آبیاری قرار گیرد. از آن‌جایی‌که کیفیت آب آبیاری اثر زیادی روی pH محلول محیط کشت دارد، دانستن مقدار قلیاییت آب و pH آن برای متعادل کردن pH آب لازم است. pH عبارت است از غلظت یون هیدروژن موجود در محلول (این‌که محصول چقدر اسیدی یا بازی است) که به صورت لگاریتم منفی غلظت یون هیدروژن بیان می‌شود. دامنهٔ تغییرات pH محلول از صفر (برای اسیدهای قوی و بیشترین غلظت $[H^+]$) تا ۱۴ (برای بازهای قوی و غلظت کم $[H^+]$) می‌باشد.

واکنش (pH) آب، میزان درجه اسیدی یا قلیایی بودن محلول غذایی مورد مصرف را نشان می‌دهد و بین صفر تا حداکثر ۱۴ درجه‌بندی شده است. pH محیط یا محلول غذایی برای رشد گیاه بسیار مهم است. هر گیاهی محدوده pH خاصی دارد که خارج شدن از این محدوده باعث کم شدن رشد یا حتی مرگ گیاه می‌شود. معمولاً بهترین درجه واکنش (pH) برای گیاهان در روش کشت بدون خاک، بین ۵/۵ تا ۷ می‌باشد. اگر واکنش (pH) بالاتر یا پایین‌تر از این مقدار شود، موجب کاهش رشد و در صورت شدت تغییرات باعث مرگ گیاه می‌شود. با توجه به تأثیر مناسب‌ترین pH محیط کشت روی رشد و نمو گیاهان، بیشتر محصولات گلخانه‌ای بهترین رشد را زمانی دارند که pH محیط کشت کمی اسیدی باشد. مثلاً pH بین ۶/۲ تا ۶/۸ برای محیط کشت‌هایی که شامل مقدار کمی خاک (حداکثر۲۰ درصد حجمی) هستند و pH بین ۵/۶ تا ۶/۲ برای محیط‌های بدون خاک، مناسب می‌باشد. جدول۴، اثرات pH را در افزایش یا کاهش جذب عناصر غذایی در محیط کشت نشان می‌دهد. همان‌گونه که از نتایج جدول مشخص است، pH بالا، تنها باعث افزایش جذب مولیبدن می‌شود و جذب سایر عناصر غذایی را کاهش می‌دهد.

برای تنظیم واکنش (pH) محلول غذایی از جمله کاهش آن، از اسید سولفوریک و برای افزایش آن از هیدروکسید کلسیم یا هیدرواکسید پتاسیم با در نظر گرفتن غلظت

بهینه کلسیم و پتاسیم محلول غذایی می‌توان استفاده کرد. سه روش رایج برای آزمایش pH شامل استفاده از کاغذ تورنسل، استفاده از کیت سنجش pH و pH متر می‌باشد. جذب عناصر غذایی توسط گیاه نیز تابع واکنش محلول غذایی می‌باشد (شکل ۱۵). عناصر کم‌مصرف غیر از مولیبدن، در شرایط اسیدی قابلیت جذب بالاتری دارند.



شکل ۱۵- نمایش میزان جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در محدوده گوناگون pH

جدول ۴- اثرات pH محیط کشت روی جذب مواد غذایی در گیاهان

(بای لی و همکاران، ۱۹۹۶)

pH بالا	pH پایین
افزایش جذب	**افزایش جذب**
مولیبدن	آهن
کاهش جذب	منگنز
آهن	روی
منگنز	مس
روی	**کاهش جذب**
مس	مولیبدن
بور	کلسیم
-	منیزیم

توصیه‌هایی که برای بهترین pH آب آبیاری می‌شود، کاملاً از همدیگر متمایز هستند، ولی صاحب‌نظران عقیده دارند که حداکثر میزان pH محلول غذایی باید ۶/۵ باشد. اگر اسیدی کردن به منظور کاهش قلیاییت و pH آب لازم است، حداکثر مقدار pH ، بسته به نوع گیاه، باید در محدوده ۵/۸ تا ۶ باشد.

۶-۳- اسیدی کردن آب آبیاری[1]

تزریق اسید سولفوریک، اسید فسفریک و یا اسید نیتریک به داخل آب آبیاری که pH و قلیاییت بالایی دارد، با کاستن از مقدار بی‌کربنات و کربنات، کیفیت آن را بهبود می‌بخشد تا به این ترتیب از افزایش pH محیط در طول زمان جلوگیری شود. برای تعیین دقیق مقدار اسید لازم برای اسیدی کردن آب تا حد رسیدن به pH مطلوب، باید pH و قلیاییت آب آبیاری را بدانیم. جدول ۵ مقدار اولیه اسید لازم را که برای تزریق در ۴۰۰۰ لیتر آب لازم است، مشخص کرده است تا به این ترتیب pH تقریباً به عدد ۵/۸ برسد.

جدول ۵- مقدار اسید لازم برای خنثی کردن یک میلی‌اکی والان در لیتر بی‌کربنات در آب آبیاری (با در نظر گرفتن رسیدن به pH مساوی ۵/۸) (بای لی و همکاران، ۱۹۹۶)

اسیدهای مورد استفاده	مقدار اسیدی که به ۴۰۰۰ لیتر آب اضافه می‌شود تا قلیاییت یک میلی اکی والان در لیتر کاهش یابد	عنصری که توسط اسید به آب اضافه می‌شود	غلظت عناصری که توسط ۱۰۰ گرم اسید به هر ۱۰۰۰ لیتر آب اضافه می‌شود
اسید نیتریک (٪۶۷)	۴۳/۸ ml	نیتروژن	۹/۴ میلی‌گرم در لیتر
اسید فسفریک (٪۷۵)	۵۲/۷ ml	فسفر	۲۳/۷ میلی‌گرم در لیتر
اسید سولفوریک (٪۳۵)	۷۲/۵ ml	گوگرد	۱۱/۶۶ میلی‌گرم در لیتر

اسید سولفوریک توصیه شده، یک الکترولیت باتری است که آن را می‌توان از بیشتر فروشگاه‌های مواد آزمایشگاهی خریداری کرد. برای مثال اگر قلیاییت آب آبیاری ۴ میلی-

1- Water Irrigation Acidification

اکی‌والان در لیتر باشد (اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه شیمی آب) و pH مورد نظر ۵/۸ باشد، می‌بایست ۴ میلی اکی‌والان قلیائیت آب خنثی گردد. چنانچه بخواهیم از اسید سولفوریک ۳۵ درصد استفاده نماییم، با مراجعه به جدول ۵ مشخص می‌شود که نیاز است ۲۹۰ میلی‌لیتر (۷۲/۵ × ۴) اسید سولفوریک ۳۵ درصد به هر ۴۰۰۰ لیتر آب آبیاری افزوده شود. توصیه می‌شود به جای اسید نیتریک و اسید فسفریک از اسید سولفوریک استفاده شود. زیرا دارای کاربرد نسبتاً آسان و مطمئن و هزینه کم بوده و در دسترس می‌باشد.

۶-۴- هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی[1](EC) محلول غذایی، شوری محلول مصرفی را نشان می‌دهد و حاکی حاکی از میزان غلظت عناصر و بنیان‌های غذایی یونیزه شده است. هرچه غلظت یون‌ها بیشتر باشند، جریان الکتریکی بیشتر برقرار شده و محلول، هدایت الکتریکی (EC) بالاتری نشان می‌دهد و هرچه غلظت عناصر کم‌تر شود، محلول هدایت الکتریکی (EC) کم‌تری را نشان می‌دهد. معمولاً مناسب‌ترین هدایت الکتریکی (EC) برای محلول غذایی، کم‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. هرچند میزان حساسیت گیاهان گوناگون به شوری متفاوت می‌باشد، ولی معمولاً هدایت الکتریکی‌های (EC) بالاتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر، به‌تدریج بر رشد و کیفیت گیاهان اثر منفی خواهند گذاشت. با این وصف لازم است برای ساخت محلول‌های غذایی از آبی که هدایت الکتریکی (EC) آن کم‌تر از ۰/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد، استفاده نمود، زیرا پس از ساخت محلول غذایی با آب، هدایت الکتریکی (EC) آن به نسبت اضافه کردن عناصر غذایی افزایش می‌یابد. حال اگر آب مصرفی هدایت الکتریکی (EC) معادل ۲ دسی‌زیمنس بر متر داشته باشد، پس از اضافه کردن ترکیبات غذایی، مطمئناً هدایت الکتریکی (EC) آن بیش‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر و نزدیک ۳ دسی‌زیمنس بر متر خواهد شد.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مناسب بودن یک محلول غذایی، شوری آن می‌باشد. اکثر محصولات سبزی و صیفی نسبت به شوری حساس هستند و می‌بایست توجه ویژه‌ای

1- Electrical Cunductivity

به سطح شوری محلول غذایی داشت. جدول ۶، حداکثر میزان هدایت الکتریکی محلول غذایی را برای محصولات سبزی و صیفی در مراحل گوناگون رشد نشان می‌دهد.

جدول ۶- حداکثر میزان هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) محلول غذایی برای محصولات سبزی و صیفی (رفیعی و اکبرزاده، ۱۳۸۶)

	گیاهان میوه‌ای مثل خیار و گوجه		گیاهان برگی مثل کاهو و ریحان	
	واحد	مقدار	واحد	مقدار
مرحله ابتدایی رشد (کاشت دانه)	dS/m ppm	۱/۶ -۱/۸ ۱۱۲۰ -۱۲۶۰	dS/m ppm	۱/۴ -۱/۶ ۹۸۰ -۱۱۲۰
ابتدای رشد	dS/m ppm	۲/۵ ۱۷۵۴	dS/m ppm	۱/۸ ۱۲۶۰
میوه دهی	dS/m ppm	۲/۴-۲/۶ ۱۶۸۰ -۱۸۲۰	--------	--------
شرایط کمی نور (زمستان)	dS/m ppm	۲/۸-۳ ۲۰۰۰	dS/m ppm	۲ ۱۳۲۰
شرایط زیادی نور (تابستان)	dS/m ppm	۲/۲-۲/۴ ۱۷۰۰	dS/m ppm	۱/۶ ۱۱۲۰

شوری آب آبیاری یکی از عوامل محدودکننده رشد محصولات گلخانه‌ای است. بنابراین دانستن شوری آستانه کاهش عملکرد و شیب کاهش عملکرد با افزایش شوری در این محصولات، بسیار مهم می‌باشد. اطلاعات فوق در جدول ۷ درج شده است.

جدول ۷-آستانه تحمل به شوری و شیب کاهش محصول در محصولات سبزی و صیفی

(مس و گراتان، ۱۹۹۵)

محصول		پارامترهای تحمل به شوری		
اسم عمومی	اسم علمی	هدایت الکتریکی آستانه کاهش (dS/m)	شیب کاهش محصول پس از آستانه (درصد)	ارزیابی تحمل به شوری
اسفناج	*Spinacia oleracea* L.	۲/۰	۷/۶	نسبتاً حساس
آرتیشو	*Cynara scolymus* L.	۶/۱	۱۱/۵	نسبتاً متحمل
بادمجان	*Solanum melongena* L	۱/۱	۶/۹	نسبتاً حساس
بامیه	*Abelmoschus esculentus*	-	-	نسبتاً حساس
بروکلی	*Brassica oleracea* L.	۲/۸	۹/۲	نسبتاً حساس
پیاز - بذر	*Brassica oleracea* L.	۱/۰	۸/۰	نسبتاً حساس
پیاز - سوخ	*Allium cepa* L.	۱/۲	۱۶	حساس
تربچه	*Raphanus sativus* L.	۱/۲	۱۳	نسبتاً حساس
توت‌فرنگی	*Fragaria* x *Ananassa* Duch.	۱/۰	۳۳	حساس
خیار	*Cucumis sativus* L.	۲/۵	۱۳	نسبتاً حساس
ذرت شیرین	*Zea mays* L.	۱/۷	۱۲	نسبتاً حساس
سیب‌زمینی	*Solanum tuberosum* L.	۱/۷	۱۲	نسبتاً حساس
سیب‌زمینی شیرین	*Ipomoea batatas* (L.) Lam.	۱/۵	۱۱	نسبتاً حساس
سیر	*Allium sativum* L.	۳/۹	۱۴/۳	نسبتاً حساس
طالبی	*Cucumis melo* L.	۱/۰	۸/۴	نسبتاً حساس
فلفل	*Capsicum annuum* L.	۱/۵	۱۴	نسبتاً حساس
کاساوا	*Manihot esculenta* Crantz	-	-	نسبتاً حساس
کاهو	*Lactuca sativa* L.	۱/۳	۱۳	نسبتاً حساس
کدو خورشتی	*C. pepo* L. var *melopepo* (L.)	۴/۹	۱۰/۵	نسبتاً متحمل
کرفس	*Apium graveolens* L.	۱/۸	۶/۲	نسبتاً حساس
کلم	*B. oleracea* L.	۱/۸	۹/۷	نسبتاً حساس
گل‌کلم	*Brassica oleracea* L	-	-	نسبتاً حساس
گوجه‌فرنگی	*Lycopersicon lycopersicum*	۲/۵	۹/۹	نسبتاً حساس
گوجه‌فرنگی گیلاسی	*L. lycopersicum*	۱/۷	۹/۱	نسبتاً حساس
لوبیا	*Phaseolus vulgaris* L.	۱/۰	۱۹	حساس
مارچوبه	*Asparagus officinalis* L.	۴/۱	۲/۰	متحمل
نخودفرنگی	*Pisum sativum* L.	۳/۴	۱۰/۶	نسبتاً حساس
هندوانه	*Citrullus lanatus*	-	-	نسبتاً حساس
هویج	*Daucus carota* L.	۱/۰	۱۴	حساس

۷- نحوه تهیه محلول‌های غذایی

محلول‌های حاوی عناصر غذایی، حداقل حاوی دوازده عنصر غذایی می‌باشند که موقع مصرف با آب آبیاری رقیق می‌گردند. برای دقت عمل، بهتر است ترکیبات و املاح موجود در آب آبیاری قبل از اختلاط با محلول غذایی اندازه‌گیری شود، زیرا برای رسیدن به یک محلول استاندارد مطابق با نیاز گیاه، ضرورت ایجاب می‌نماید، که عناصر اضافی که در آبیاری موجود هستند، در محاسبات فرمول غذایی منظور شوند. معمولاً محلول‌های غذایی از نظر نیاز گیاهان با غلظت‌های متفاوت عناصر تهیه می‌شود و همین تفاوت غلظت است که تحت عنوان فرمول‌های گوناگون محلول غذایی نامیده می‌شود. چنانچه این تفاوت‌ها دیده نشود و خواسته شود که میزان غلظت عناصر غذایی برای همه گیاهان یکسان تنظیم گردد، مسلماً این کار صحیح نخواهد بود. حتی نیاز گیاهان در مراحل گوناگون رشد متفاوت است و نیاز است تا برای مراحل گوناگون رشد گیاه، تغییراتی در غلظت عناصر غذایی داده شود. بنابراین بهتر است با توجه به منابع و تجارب موجود، از محلول‌های غذایی معرفی‌شده برای هر گیاه استفاده شود. برای ساخت یک محلول غذایی، بایستی از مقدار گوناگون عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، هم‌چنین از نسبت عناصر شیمیایی مورد استفاده در فرمول غذایی، آگاهی کامل داشت.

برای محلول‌سازی لازم است به میزان حلالیت مواد شیمیایی مورد استفاده و این‌که ترکیبات شیمیایی مورد استفاده تا چه اندازه ناخالصی دارند و آن ناخالصی‌ها چه می‌باشند و **تعداد مولکول‌های آب تبلور همراه آن ترکیب چه مقدار است**، توجه شود. از طرفی به میزان تأثیر متقابل عناصر شیمیایی نسبت به یکدیگر باید توجه کافی شود. به‌عنوان مثال، محلول نیترات کلسیم در اختلاط با برخی ترکیبات در حالت ساخت محلول غذایی غلیظ، دچار واکنش‌های شیمیایی شده و ترکیبات جدیدی را به‌وجود می‌آورد که قابل استفاده نمی‌باشد. در این‌صورت بهتر است برای ساخت محلول‌های غذایی غلیظ، آن‌ها را در دو مخزن جداگانه A و B آماده نمود و سپس اقدام به رقیق‌سازی دو محلول در یک مخزن نمود، که در این حالت آثار ترکیبی بسیار ناچیز و قابل اغماض خواهد بود. این دو محلول غلیظ به نام‌های محلول پایه الف[1] و محلول پایه ب[2] معروف هستند. فرمول‌های گوناگونی

1- Stock A
2- Stock B

توسط پژوهشگران برای تولید سبزی‌های گلخانه در شرایط هیدروپونیک توصیه شده است. جدول ۷، حدود غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف را در سیستم بدون خاک نشان می‌دهد. فرمول‌های غذایی متعددی برای کشت هیدروپونیک وجود دارد که بیش از ۴۰ سال، بر روی آن‌ها پژوهش و مطالعه شده است. بعضی از این محلول‌ها برای گیاهان خاصی طراحی شده‌اند، ولی بعضی نیز برای تمام گیاهانی که در کشت هیدروپونیک استفاده می‌شوند، به کار می‌روند. برای رشد گیاهان در کشت هیدروپونیک، باید مقدار عناصر گوناگون در یک محدوده مشخص حفظ شوند که این کار نیاز به آزمایش مرتب محلول غذایی دارد. در کشت هیدروپونیک، اشتباهات را به سختی می‌توان جبران کرد، زیرا در این روش، هر عنصر اثر خود را به سرعت نمایان می‌کند. بنابراین، باید دقت زیادی در انتخاب یا ساخت محلول غذایی به کار برد. جداول ۸ و ۹ میانگین غلظت عناصر غذایی در محلول غذایی را نشان می‌دهد.

جدول ۸- محدوده غلظت عناصر غذایی در محلول‌های عناصر غذایی برای تولید محصولات سبزی و صیفی (لورنز و میناره، ۱۹۹۸)

عنصر	نام انگلیسی	فرم قابل‌جذب	غلظت در محلول غذایی (میلی‌گرم در لیتر)
نیتروژن	Nitrate ($NO3^-$), Ammonium ($NH4^+$)	Nitrogen	100-250 ppm elemental N
فسفر	Dihydrogen phosphate ($H2PO4^-$) Phosphate ($PO4^{3-}$) Monohydrogen Phosphate ($HPO4^{2-}$)	Phosphorus	30-50 ppm elemental P
پتاسیم	Potassium (K^+)	Potassium	100-300 ppm
کلسیم	Calcium (Ca^{2+})	Calcium	80-140 ppm
منیزیم	Magnesium (Mg^{2+})	Magnesium	30-70 ppm
گوگرد	Sulfate ($SO4^{2-}$)	Sulfur	50-120 ppm elemental S
آهن	Ferrous iron (Fe^{2+}) Ferric iron ($Fe3^+$)	Iron	1-5 ppm
مس	Copper (Cu^{2+})	Copper	0.04-0.2 ppm
منگنز	Manganese (Mn^{2+})	Manganese	0.5-1.0 ppm
روی	Zinc (Zn^{2+})	Zinc	0.3-0.6 ppm
مولیبدن	Molybdate ($MoO4^{2-}$)	Molybdenum	0.04-0.08 ppm
بور	Boric acid ($H3BO3$) Borate ($H2BO3^-$)	Boron	0.2-0.5 ppm elemental B
کلر	Chloride (Cl^-)	Chloride	<75 ppm
سدیم	Sodium (Na^+)	Sodium	<50 ppm Toxic to plants

جدول ۹- میانگین غلظت عناصر غذایی در یک محلول غذایی مناسب (رفیعی و اکبرزاده، ۱۳۸۶)

عنصر	مقدار برحسب میلی‌گرم در لیتر	عنصر	مقدار برحسب میلی‌گرم در لیتر
شکل نیترات-نیتروژن	۷۰-۳۰۰	آهن	۰/۵-۵
شکل آمونیوم-نیتروژن	۰-۳۰	بور	۰/۱-۱
پتاسیم	۲۰۰-۴۰۰	منگنز	۰/۱-۱
فسفر	۳۰-۹۰	روی	۰/۰۲-۰/۲
کلسیم	۱۵۰-۴۰۰	مولیبدن	۰/۰۱-۰/۱
گوگرد	۶۰-۳۳۰	مس	۰/۰۲-۰/۲
منیزیم	۲۵-۷۵		

۸- ساخت محلول‌های غذایی

محلول‌های غذایی، محلول‌های غلیظی هستند که حاوی حداقل دوازده عنصر غذایی می‌باشند که موقع مصرف با آب آبیاری رقیق می‌گردند. برای دقت عمل، بهتر است ترکیبات و املاح موجود در آب آبیاری قبل از اختلاط با محلول غذایی اندازه‌گیری شود، زیرا برای رسیدن به یک محلول استاندارد، مطابق با نیاز گیاه، ضرورت ایجاب می‌نماید که عناصر اضافی که در آبیاری موجود هستند، در طراحی فرمول غذایی منظور شوند. برای آشنایی علاقه‌مندان به تهیه محلول غذایی و استفاده از ترکیبات شیمیایی عناصر و نحوه محاسبه وزن ملکولی آن‌ها، مختصری اشاره می‌گردد.

برای ساخت یک محلول غذایی بایستی از غلظت مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در محلول غذایی اطلاع کافی داشت، هم‌چنین از نسبت عناصر شیمیایی مورد استفاده در فرمول غذایی آگاهی کامل داشت. برای ساخت یک محلول غذایی لازم است ابتدا جرم اتمی کلیه عناصر مورد نیاز را منظور نمود. جدول (۱۰)، آنگاه با مشخص نمودن جرم اتمی کلیه عناصر، جرم مولکولی یک ترکیب (نمک) را به‌دست آورد. به‌عنوان مثال در مورد نمک سولفات روی ($ZnSO_4$) جرم مولکولی آن به شرح زیر به دست می‌آید:

جرم مولکولی $S(32) + O_4(16*4) + Zn(65) = 161$ g

بدین ترتیب، میزان مواد شیمیایی موردنیاز برای تهیه محلول غذایی را به‌نسبت عناصر موجود در ترکیب فرمول غذایی به‌دست می‌آورند. بدیهی است که میزان ناخالصی‌ها و مولکول‌های آب موجود در ترکیب بایستی در محاسبات منظور شوند.

جدول ۱۰- جرم اتمی تعدادی از عناصر شیمیایی مورد استفاده در تهیه محلول‌های غذایی هیدروپونیک (رفیعی و اکبرزاده، ۱۳۸۶)

عنصر	علائم اختصاری	جرم اتمی	عنصر	علائم اختصاری	جرم اتمی
بور	B	۱۱	منگنز	Mn	۵۵
کلسیم	Ca	۴۰	مولیبدن	Mo	۹۶
کربن	C	۱۲	نیتروژن	N	۱۴
کلر	Cl	۳۵	اکسیژن	O	۱۶
کبالت	Co	۵۹	فسفر	P	۳۱
مس	Cu	۶۴	پتاسیم	K	۳۹
هیدروژن	H	۱	سدیم	Na	۲۳
آهن	Fe	۵۶	گوگرد	S	۳۲
منیزیم	Mg	۲۴	روی	Zn	۶۵

میزان عنصر خالص در هر ترکیب شیمیایی، مساوی وزن اتمی آن عنصر با در نظر گرفتن ضریب آن عنصر می‌باشد. مثلاً در ترکیب نمک سولفات روی ($ZnSo_4$)، میزان روی ۶۵ گرم و میزان اکسیژن ۶۴ گرم در هر مولکول‌گرم یا مول سولفات روی می‌باشد. برای به دست آوردن یک گرم روی در ترکیب مربوطه، از تقسیم وزن مولکولی ترکیب سولفات-روی (۱۶۱) به وزن اتمی روی (۶۵)، مقدار ترکیب شیمیایی مورد نیاز (۲/۵=۱۶۱/۶۵) به دست می‌آید. یعنی در هر ۲/۵ گرم سولفات‌روی خالص، یک گرم روی خالص وجود دارد. اگر این مقدار سولفات‌روی در ۱۰۰۰ لیتر آب حل شود، به‌میزان یک میلی‌گرم در لیتر (ppm) روی (Zn) در محلول غذایی خواهیم داشت. در این ارتباط جدول ۱۱، میزان گرم مورد نیاز ترکیبات شیمیایی در ۱۰۰۰ لیتر آب را برای به دست آوردن غلظت یک میلی-گرم در لیتر (ppm) از عناصر غذایی مشخص شده نشان می‌دهد. به عنوان مثال برای داشتن غلظت یک میلی‌گرم در لیتر نیتروژن، می‌بایست ۵/۸۶ گرم نیترات کلسیم را در ۱۰۰۰ لیتر آب حل نماییم.

در تهیه و ساخت محلول‌های غذایی، نکات ذیل حائز اهمیت است. برای ساخت محلول‌های غذایی، مواد شیمیایی باید به دقت وزن شوند. بعد از توزین نمک‌های مورد نیاز، تمامی آن‌ها را داخل مخزن کود ریخته و با آب هم زده شوند. توصیه می‌شود ابتدا نمک‌های حاوی عناصر غذایی پرمصرف را در آب گرم حل کرده و در آب به حجم مورد نظر رسانده شود. ضروری است تا نمک‌های حاوی کلسیم به طور جداگانه و در مخزن دیگری در آب حل شوند. این نمک‌ها با نمک‌های سولفاته و فسفاته ترکیب شده و رسوب غیرقابل حل فسفات کلسیم و سولفات کلسیم می‌دهد. پس از حل کردن نمک‌ها، pH محلول می‌بایست تنظیم شود. مواد شیمیایی حاوی عناصر کم‌مصرف می‌بایست، پس از تنظیم pH محلول، مصرف شوند.

جدول ۱۱ - مقدار مواد شیمیایی قابل استفاده (برحسب گرم) در ساخت ۱۰۰۰ لیتر محلول غذایی به‌منظور رساندن عناصر غذایی به میزان یک میلی‌گرم در لیتر(ppm) (مسون و هاریسون، ۲۰۰۵)

مواد شیمیایی مرکب در ترکیب	عنصر غذایی تأمین شده	درصد عنصر موجود در کود	گرم
سولفات آمونیوم	نیتروژن	۲۱	۴/۷۲
نیترات کلسیم	نیتروژن	۱۵/۵	۵/۸۶
	کلسیم	۱۹	۴/۰۹
نیترات پتاسیم	نیتروژن	۱۳	۷/۲۲
	پتاسیم	۳۶/۵	۲/۵۹
اوره	نیتروژن	۴۶	۲/۱۷
فسفات منوپتاسیم	پتاسیم	۲۸	۳/۴۸
	فسفر	۲۳	۴/۳۹
سوپر فسفات تریبل	فسفر	۴۶	۸/۴
اسید بوریک	بور	۱۷	۵/۷۲
سولفات مس	مس	۲۵	۳/۹۳
سولفات آهن (فرو)	آهن	-	۴/۹۷
کلرور منگنز	منگنز	۴۴	۳/۶۰
سولفات منیزیم (ایپسوم)	منیزیم	۱۰	۱۰/۱۴
مولیبدات آمونیوم	مولیبدن	۵۴	۱/۷۳
سولفات روی آب‌دار (هفت ملکول آب)	روی	۳۶	۴/۴۰

کیفیت محلول‌های غـذایی بـه کیفیـت اجـزای سـازنده و زمـان صـرف شـده بـرای فرمول‌سازی آن‌ها بستگی دارد. مواد سازنده محلول‌های غذایی باید دارای کیفیت مطلوب بوده و از مراکز معتبر خریداری شوند. اگر گلخانه‌دار از کودهای مخلوط استفاده می‌کند، توجه به برچسب این محصول الزامی است که نشان‌دهنده مواد تشکیل‌دهنده، منابع مورد استفاده و نام شرکت سازنده است. برای وزن کردن مواد باید از دستگاه‌های دقیق استفاده کرد، زیرا مواد گوناگون، جرم‌های متفاوت دارند. استفاده از حجم مواد برای اندازه‌گیـری دقیق، مناسب نیست مگر این‌که از پیمانه‌های اندازه‌گیری مدرج استفاده شود. در هنگام مخلوط کردن محلول‌های کودی، آب گرم به حل شدن سریع مواد کمک مـی‌کنـد. اگـر مقدار مواد کم باشد، می‌توان از مخلوط‌کن مکانیکی استفاده کرد، در صورتی‌که حجم مواد زیاد باشد، می‌توان از همزن‌های برقی بزرگ استفاده کرد. بهتر است که ابتدا مـواد را در حجم‌های کم باهم مخلوط کنیم و سپس آن‌ها را به یک مخزن بزرگ‌تر منتقل کنیم.

در بیشتر سیستم‌های تولیدی، حداقل دو مخزن ذخیره مورد نیاز است، زیـرا برخـی منابع کودی زمانی‌که به‌صورت متمرکز باهم مخلوط می‌شوند، به رسوب‌های غیرقابل حل تبدیل می‌شوند. معمول‌ترین نمونه‌ها فسفات کلسیم (مخلوط نیترات کلسیم و مواد حاوی فسفر) و سولفات کلسیم (مخلوط نیترات کلسیم و سولفات منیزیم) می‌باشد. بیشتر مراکز تولیدی دارای دو مخزن می‌باشند که در یکی نیترات پتاسیم، نیترات کلسیم و کلات آهن ذخیره می‌شود و در مخزن دیگر منابع فسفر، سولفات منیزیم، عناصر کم‌مصرف و کلریـد پتاسیم و در مواردی نیترات پتاسیم نگهداری می‌شود. برای محاسبه دقیق غلظـت مـواد غذایی باید از حجم مخازن و انبارهای ذخیره تجزیه کود و برخی معادلات اطلاع داشـته باشیم.

مثال‌های زیر مواردی از محلول‌های غذایی نهایی است که برای گیاهان استفاده شده و شامل ۱۵۰ ppm کلسیم و ۱۵۰ ppm نیتروژن می‌باشند. در معادلات زیر روش‌هایی برای استخراج میزان مواد کودی گوناگون نیترات پتاسیم (KNo_3)، نیترات کلسیم ($CaNo_3$) و نیترات پتاسیم (KNo_3) می‌باشد که در نهایت محلول غذایی مناسب برای گیـاه سـاخته می‌شود. در اینجا به ذکر یک مثال کاربردی می‌پردازیم.

فرض کنید ظرفیت مخزن کود (ظرفیت مخزن نگهداری محلول کودی غلیظ) ۱۰۰ لیتر باشد. تزریق کننده کود، از نسبت یک به صد استفاده می‌کند (کود مخزن را ۱۰۰ برابر رقیق می‌کند). محاسبه کنید برای ساخت محلول پایه غلیظ (۱۰۰ برابر) چه مقدار نیترات کلسیم لازم است، برای آن‌که نهایتاً غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و نیتروژن را پای بوته داشته باشیم.

برای شروع محاسبه، با نیترات کلسیم آغاز می‌کنیم، زیرا این کود تنها کودی است که دارای کلسیم می‌باشد. قرار است که در محلول غذایی، ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم داشته باشیم. نمک نیترات کلسیم حاوی ۱۹ درصد کلسیم خالص می‌باشد. پس از تقسیم ۱۵۰ بر ۰/۱۹، عدد ۷۹۰ به دست می‌آید که مقدار نیترات کلسیم برحسب میلی‌گرم است که چنانچه در یک لیتر آب حل شود، غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، کلسیم خالص تولید می‌کند. چون قرار است محلول غلیظ ۱۰۰ برابر داشته باشیم، پس در هر لیتر محلول باید ۷۹۰۰۰ میلی‌گرم یا ۷۹ گرم، نیترات کلسیم حل نماییم. از آنجایی‌که ظرفیت مخزن، ۱۰۰ لیتر است، پس از ضرب کردن عدد ۷۹ در عدد ۱۰۰، که مساوی ۷۹۰۰ است، مشخص می‌شود که نیاز به ۷۹۰۰ گرم یا ۷/۹ کیلوگرم نیترات کلسیم است که داخل مخزن ۱۰۰ لیتری ریخته شود و در آب حل گردد تا پس از رقیق‌سازی به نسبت یک به صد، غلظت کلسیم در محلول نهایی مساوی ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر باشد.

ممکن است بخشی از کلسیم از طریق آب چاه تأمین شود و این موضوع فقط با تجزیه شیمیایی آب مشخص می‌شود. میزان کلسیم موجود در آب چاه می‌تواند از سطح مطلوب ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کم شود، بنابراین لازم است که کلسیم کمتری از نیترات کلسیم ($CaNo_3$) تأمین شود. این نمک (نیترات کلسیم)، نیتروژن مورد نیاز گیاه را نیز تأمین می‌کند. زیرا حاوی ۱۵/۵ درصد نیتروژن (N) می‌باشد. بنابراین، چنانچه ۷/۹ کیلوگرم نیترات کلسیم در مخزن ۱۰۰ لیتری آب حل شود، معادل ۷۹۰۰ گرم یا ۷۹۰۰۰۰۰ میلی‌گرم نمک نیترات کلسیم در ۱۰۰ لیتر محلول، حل شده است. از آن‌جایی که نیترات کلسیم حاوی ۱۵/۵ درصد نیتروژن است، پس از تقسیم این عدد (۷۹۰۰۰۰۰) بر ۱۵/۵، عدد ۵۰۹۶۷۷ به‌دست می‌آید که معادل میلی‌گرم در لیتر نیتروژن در کل ۱۰۰ لیتر محلول است. از تقسیم این عدد (۵۰۹۶۷۷) بر عدد ۱۰۰ (حجم محلول)، عدد ۵۰۹۶ حاصل می‌شود که غلظت نیتروژن برحسب میلی‌گرم در لیتر محلول می‌باشد. از آنجایی

که محلول غلیظ (استوک)، توسط تزریق کننده، به نسبت یک به صد، رقیق می‌شود، پس نهایتاً غلظت نیتروژن محلول نهایی پای بوته به عدد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. از آنجائی که ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن مورد نیاز است، مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن اضافی از منبع دیگری مانند نیترات پتاسیم (KNo_3) تأمین خواهد شد.

برای شروع محاسبه، با نیترات پتاسیم آغاز می‌کنیم، زیرا این کود دارای ۱۳ درصد نیتروژن می‌باشد. قرار است که در محلول غذایی، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن داشته باشیم. نمک نیترات پتاسیم حاوی ۱۳ درصد نیتروژن خالص می‌باشد. پس از تقسیم عدد ۱۰۰ (میلی‌گرم در لیتر نیتروژن) بر عدد ۰/۱۳ (درصد نیتروژن موجود در نیترات پتاسیم)، عدد ۷۷۰ به دست می‌آید که مقدار نیترات پتاسیم برحسب میلی‌گرم است که چنانچه در یک لیتر آب حل شود، غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نیتروژن خالص تولید می‌کند. چون قرار است محلول غلیظ ۱۰۰ برابر داشته باشیم، پس در هر لیتر محلول باید ۷۷۰۰۰ میلی‌گرم یا ۷۷ گرم، نیترات پتاسیم حل نماییم. از آن‌جایی‌که ظرفیت مخزن، ۱۰۰ لیتر است، پس از ضرب کردن عدد ۷۷ در عدد ۱۰۰، که مساوی ۷۷۰۰ است، مشخص می‌شود که نیاز به ۷۷۰۰ گرم یا ۷/۷ کیلوگرم نیترات پتاسیم نیاز است که داخل مخزن ۱۰۰ لیتری ریخته شود و در آب حل گردد تا پس از رقیق‌سازی به نسبت یک به‌صد، غلظت نهایی نیتروژن ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل نماید. همان‌گونه که ملاحظه شد، کمبود ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن، از حل نمودن ۷/۷ کیلوگرم نیترات‌پتاسیم داخل مخزن ۱۰۰ لیتری جبران شد. از آن‌جایی‌که نیترات پتاسیم حاوی ۳۶/۵ درصد پتاسیم است، پس با مصرف این میزان نمک نیترات پتاسیم، غلظت نهایی ۲۸۱ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم را نیز خواهیم داشت.

۹- اندازه‌گیری غلظت مواد غذایی محلول

گلخانه‌داران بیشتر مایل‌اند تا سطح مواد غذایی را در محلول غذایی کنترل کنند. این یک کار سودمند است، اما باید به شیوه‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری مواد غذایی بسیار توجه کرد.

یک شیوه رایج، سریع و آسان (اما پُرخطا) اندازه‌گیری نمک قابل حل یا سطح هدایت الکتریکی(EC) است. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آسان و سریع است، اما این شیوه تنها میزان نسبی کل « نمک‌ها » را در محلول به گلخانه‌دار نشان می‌دهد و چیزی درباره نوع ماده غذایی حل شده در محلول ارائه نمی‌دهد. اگر استفاده‌کننده از این روش، با دیگر روش‌ها و نحوه استفاده از آن‌ها برای محاسبه و اندازه‌گیری مواد غذایی ویژه آشنا نباشد، به دردسر می‌افتد. به‌طور مثال فرض می‌کنیم که گلخانه‌دار به هنگام استفاده از کود مخلوط با حلالیت بالا، عادت به حفظ هدایت الکتریکی دو دسی‌زیمنس در محلول غذایی دارد. چنانچه گلخانه‌دار کود با حلالیت پایین‌تر استفاده کند، اما هدایت الکتریکی را در حد دو نگه دارد، در این حالت سنجش هدایت الکتریکی او را در ارتباط با غلظت واقعی مواد غذایی همچون نیتروژن، فسفر و یا پتاسیم به اشتباه می‌اندازد. استفاده از هدایت الکتریکی تنها در کنترل غلظت‌های کامل نمک در محلول‌های غذایی مفید است که به‌دقت بررسی و ثابت شده است. بالا و پایین بردن غلظت محلول کود بر اساس هدایت الکتریکی، منجر به افزایش و کاهش عمومی غلظت عناصر غذایی می‌گردد. این عمل می‌تواند به کمبودها یا مسمومیت‌هایی به‌ویژه در مورد عناصرکم مصرف منتهی گردد. بهترین شیوه برای کنترل غلظت محلول، تجزیه شیمیایی محلول غذایی برای عناصر غذایی ویژه است. غلظت عناصر غذایی برای محلول غذایی باید برحسب میلی‌گرم در لیتر محاسبه گردد و فرموله کردن محلول غذایی در جهت رسیدن به این غلظت‌ها باشد. تغییرات مورد نیاز در غلظت‌های عناصر غذایی، تنها با تنظیم مقدار نمک عنصر غذایی ایجاد می‌شود که آن عنصر غذایی ویژه را فراهم می‌کند.

۱۰- فرمول‌های عمومی محلول غذایی در کشت هیدروپونیک

در این مبحث به انواع سیستم تغذیه محصولات گلخانه‌ای و چند نوع فرمول غذایی رایج و مورد مصرف بیشتر گیاهان گلخانه‌ای اشاره می‌گردد. به طور کلی، دو سیستم تغذیه گیاهان در کشت هیدروپونیک وجود دارد. سیستم باز، که در آن عناصر غذایی (ماکرو و میکرو) که گیاه به آن‌ها نیاز دارد در قالب محلول غذایی، فقط یک‌بار در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و بعد از استفاده، از پایین بسترهای کشت به وسیله سوراخ‌های تعبیه شده از قبل در زیر بسترها، خارج می‌شود. سیستم دیگر، سیستم بسته است که در آن

مواد غذایی محلول در آب، بیشتر از یک‌بار استفاده می‌شوند. برای این‌که محلول غذایی در سیستم بسته با افت کیفیت روبرو نشود، باید دائماً به وسیله دستگاه‌های کنترل کیفیت، اندازه‌گیری شود و آن بخش از عناصر محلول غذایی که جذب ریشه شده‌اند و محلول دیگر آن‌ها را با خود ندارد، به محلول نهایی اضافه شوند.

یکی از آن‌ها محلول غذایی هوگلند می‌باشد. این محلول غذایی طیف کاربرد وسیعی برای بیشتر گیاهان به‌ویژه برای سبزی‌ها و گل‌ها دارد. دیگری محلول غذایی اشتاینر است که برای صیفی‌جات مثل گوجه‌فرنگی استفاده می‌شود. هم‌چنین فرمول غذایی کوپر که برای بیشتر گیاهان قابل استفاده بوده و در یک شرایط مطلوب محیطی بسیار خوب جواب داده است، مورد بحث قرار می‌گیرد.

به‌طور کلی می‌توان گفت که برای گیاهان پرشاخ و برگ، محلول غذایی که دارای نیتروژن بیشتری می‌باشد، مورد نیاز است. در صورتی‌که سبزی‌های غده‌ای به فسفر بیشتری در محلول غذایی نیازمندند. با این وصف، برای سبزی‌های پرشاخ و برگ که نیاز بیشتری به نیتروژن دارند، محلول غذایی کوپر مناسب‌تر است، چون در مقایسه با سایر محلول‌های غذایی حاوی نیتروژن بیشتری است (۲۳۶ میلی‌گرم در لیتر) (جدول ۱۲). این محلول غذایی هم‌چنین در مقایسه با سایر محلول‌های غذایی حاوی پتاسیم بیشتری است (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و برای محصولاتی که نیاز بالایی به پتاسیم دارند، مناسب‌تر است (جدول ۱۲). در طول مصرف محلول‌های غذایی استاندارد برای گیاهان، در محلول بازیافتی از سیستم که به مخزن اصلی ریخته می‌شود، میزان برخی عناصر کم و یا زیاد می‌شود. پس از آماده‌سازی محلول‌های غذایی لازم است از نیاز گیاهان به میزان محلول غذایی در مراحل گوناگون رشد، اطلاع کافی داشت. علاوه بر آن، چهار عامل دیگر در میزان مصرف محلول‌های غذایی به شرح زیر تأثیرگذار می‌باشند:

۱- دما: چنانچه دما از حدود مورد نیاز بالاتر رود، علاوه بر مصرف بیش‌تر محلول غذایی توسط گیاه، مقدار بیش‌تری از آب محلول غذایی نیز تبخیر می‌گردد.

۲- میزان سطوح برگ‌ها و تعداد آن‌ها: هرچه سطح برگ‌ها افزایش یابد میزان مصرف محلول غذایی بالاتر می‌رود.

۳- میزان سطح تماس محیط مرطوب بستر کاشت با هوای آزاد: بدیهی است هرچه سطح تماس بیش‌تر باشد تبخیر نیز بیش‌تر می‌شود که ممکن است به دو علت باشد، یکی افزایش سطح بستر مرطوب با هوای آزاد و دوم عدم استفاده از لیکا یا ماسه‌های درشت به عنوان پوشش بسترهای مرطوب به منظور جلوگیری از تبخیر.

۴- جنس شبکه‌های نگه‌دارنده بستر کاشت: که به‌عنوان مثال اگر از جنس سفال باشد مصرف محلول بالاتر می‌رود.

علاوه بر مسائل فوق، باید توجه نمود که گیاهان همیشه بخشی از عناصر غذایی را جذب می‌نمایند و بخشی دیگر به‌صورت نمک در پای ریشه‌ها باقی می‌ماند که به‌مرور باعث تجمع نمک‌ها در بستر کاشت می‌شود. توصیه می‌گردد به طور متوسط هر یک تا دو هفته یک‌بار، محیط کشت آبشویی شود. در مواقعی که مصرف بالاتر رود یا سطوح تبخیر زیاد باشد و یا محلول بازیافتی مجدداً مورد استفاده قرا گیرد، فواصل زمانی بین دو آبشویی باید کوتاه‌تر گردد.

فرمول‌های زیادی برای ساخت محلول غذایی وجود دارد که بسته به نوع محصول تولیدی متفاوت می‌باشد. یکی از معروف‌ترین این فرمول‌ها، فرمول غذایی هوگلند است که در جدول ۱۲ آورده شده است. محلول هوگلند یک محلول عمومی برای کشت هیدروپونیک می‌باشد و تاکنون تحقیقات فیزیولوژی گیاهی زیادی بر اساس محلول غذایی مذکور انجام شده است.

جدول ۱۲- فرمول محلول غذایی هوگلند (هوگلند و آرنون، ۱۹۵۰)

محلول مادر	غلظت	جرم مولی به گرم	میلی‌لیتر در لیتر- میزان کاربرد
محلول ۱			
پتاسیم دی هیدروژن فسفات	یک مولار	۱۳۶	۱
نیترات پتاسیم	یک مولار	۱۰۱	۱
نیترات کلسیم	یک مولار	۲۳۶	۵
سولفات منیزیم	یک مولار	۲۴۶	۲
محلول۲			
فسفات دی هیدروژن آمونیوم	یک مولار	۱۱۸	۱
نیترات پتاسیم	یک مولار	۱۰۱	۶
نیترات کلسیم	یک مولار	۲۳۶	۴
سولفات منیزیم	یک مولار	۲۴۶	۲
ریزمغذی‌های محلول پایه			میزان کاربرد، گرم در لیتر
اسید بوریک	-	-	۲/۸۶
کلرید منگنز	-	-	۱/۸۱
سولفات روی	-	-	۰/۲۲
سولفات مس	-	-	۰/۰۸
اسید مولیبدیک	-	-	۰/۰۲
آهن			میزان کاربرد، میلی‌لیتر در لیتر
برای محلول شماره ۱: سیترات آمونیوم آهن	۰/۵ درصد		۱
برای محلول شماره ۲: کلات آهن	۰/۵ درصد		۲

علاوه بر محلول غذایی هوگلند، محلول‌های غذایی معروف دیگری نیز مثل محلول غذایی کوپر، لارسون، جِنسِن و جانسُون نیز وجود دارند که بیشتر جنبه عمومی برای سبزی‌های گلخانه‌ای دارند. جدول ۱۳، ترکیب این‌محلول‌های غذایی و جدول ۱۴، غلظت عناصر غذایی را در محلول‌های غذایی ذکر شده، نشان می‌دهد.

جدول ۱۳- ترکیب برخی از محلول‌های تولید سبزی‌های گلخانه‌ای (جونز، ۲۰۰۵)

منبع	Cooper	Larson	Jensen	Johnson
نیترات پتاسیم	۲۲۱	۶۷	۷۷	۹۵
فسفات منو پتاسیم	۹۹	-	۱۰۳	۵۴
سولفات منیزیم پتاسیم	-	۱۶۷	-	-
سولفات پتاسیم	-	۱۳۰	-	-
نیترات کلسیم	۳۸۰	۳۶۰	۱۸۹	۱۷۳
سولفات منیزیم	۱۹۴	-	۱۸۷	۹۵
اسید فسفریک درصد۷۵	-	۴۰ml	-	-
کلات آهن FeDTPA	۳۰	۱۲	۹/۶	۹
اسید بوریک	۰/۶	۲/۲	۱	۰/۵
سولفات مس	۰/۱۵	۰/۵	-	۰/۰۱
کلرید مس	-	-	۰/۰۵	-
سولفات منگنز	۲/۳	۱/۵	۰/۹	۰/۳
سولفات روی	۰/۱۷	۰/۵	۰/۱۵	۰/۴
اسید مولیبدیک	-	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰۵
مولیبدات آمونیوم	۰/۱۴	-	-	-

* میزان مصرف-گرم در ۱۰۰ گالن آب (هر گالن ۳/۸ لیتر آب است)

غلظت عناصر غذایی در محلول‌های فوق به شرح جدول ۱۴ می‌باشد.

جدول ۱۴- غلظت مناسب و توصیه شده عناصر غذایی در محلول‌های غذایی میلی‌گرم در لیتر
(جونز، ۲۰۰۵)

منبع	Johnson	Jensen	Larson	Cooper
نیتروژن	۱۰۵	۱۰۶	۱۷۲	۲۳۶
فسفر	۳۳	۶۲	۴۱	۶۰
پتاسیم	۱۳۸	۱۵	۳۰۰	۳۰۰
کلسیم	۸۵	۹۳	۱۸۰	۱۸۵
عناصر کم مصرف				
بور	۲۳	۰/۴۶	۱	۰/۳
مس	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۳	۰/۱
آهن	۲/۳	۳/۸	۳	۰/۱
منگنز	۰/۲۶	۰/۸۱	۱/۳	۲
مولیبدن	۰/۰۰۷	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۲
روی	۰/۰۲۴	۰/۰۹	۰/۳	۰/۱

۱۱- فرمول‌های اختصاصی محلول غذایی برای سبزی‌ها در کشت هیدروپونیک

گونه‌های گوناگون گیاهی از جمله محصولات سبزی‌وصیفی، در ابتدای رشد احتیاج به اصلاح در ترکیب محلول غذایی دارند. بعضی از محصولات نسبت به دیگر محصولات حساسیت بیشتری دارند. بنابراین، امکان دارد فرمولی که برای یک محصول مناسب است، برای گیاه دیگر مناسب نباشد. به همین جهت، با پیشرفت علم هیدروپونیک و تجاری شدن موضوع، کارشناسان به فکر طراحی و تنظیم فرمول‌های اختصاصی برای محصولات گوناگون افتادند. جدول ۱۵، غلظت مناسب عناصر پرمصرف را در محلول غذایی برای تولید برخی سبزیجات نشان می‌دهد. همان‌گونه که از جدول ۱۵ مشخص است، تفاوت عمده‌ای در غلظت عناصر غذایی در محصولات گوناگون به چشم می‌خورد که ناشی از نیاز غذایی متفاوت این محصولات می‌باشد.

جدول ۱۵- غلظت مناسب عناصر پرمصرف (میلی‌گرم در لیتر) محلول غذایی در برخی محصولات سبزی و صیفی (Schon, 1992)

محصول	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم
خیار	۲۳۰	۴۰	۳۱۵	۱۷۵	۴۲
بادمجان	۱۷۵	۳۹	۲۳۵	۱۵۰	۲۸
سبزی‌های برگی	۲۱۰	۸۰	۱۷۵	۱۸۰	۶۷
کاهو	۲۰۰	۵۰	۳۰۰	۲۰۰	۶۵
هندوانه	۱۸۶	۳۹	۲۳۵	۱۸۰	۲۵
فلفل	۱۷۵	۳۹	۲۳۵	۱۵۰	۲۸
گوجه فرنگی	۲۰۰	۵۰	۳۶۰	۱۸۵	۴۴

مثال دیگری در این خصوص در جدول ۱۶ درج شده است. در این جدول، فرمول ساخت محلول غذایی برای گوجه‌فرنگی و کاهو آورده شده است. در این‌گونه فرمول‌های غذایی، یک غلظت ثابت از ابتدا تا انتهای رشد برای تولید محصول در نظر گرفته شده است. حال آن‌که واضح است نیاز غذایی گیاه در طول زمان رشد ثابت نیست و در مراحل گوناگون فنولوژیک متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال، نیاز به کلسیم در اوایل رشد کم می‌باشد، اما در طول تشکیل میوه نیاز گیاه به شدت بالا می‌رود. بنابراین منطقی است که

ترکیب و غلظت عناصر غذایی در محلول غذایی، با زمان تغییر کند و متناسب با نیاز و برداشت گیاه باشد. ذیلاً به ارائه فرمول محلول غذایی مناسب برای هر محصول می‌پردازیم.

جدول ۱۶- فرمول ساخت محلول غذایی برای گوجه‌فرنگی و کاهو (گرم در هزار لیتر آب)
(Van Zinderen Bakker, 1986)

منبع	گوجه‌فرنگی	کاهو
نیترات کلسیم	۶۸۰	۴۰۷
سولفات منیزیم	۲۵۰	۹۸۵
نیترات پتاسیم	۳۵۰	۴۰۴
کلرید پتاسیم	۱۷۰	-
فسفات منو پتاسیم	۲۰۰	۱۳۶
نیترات آمونیوم	-	۶۰
کلات آهن	۱۵	۲۰
سولفات منگنز	۱/۸	۱
بور	۲/۴	۱
سولفات روی	۰/۳	۰/۵
سولفات روی	۰/۱	۰/۱
مولیبدات سدیم	۰/۱۳	۰/۱۳

۱۱-۱- خیار گلخانه‌ای

بخش اعظمی از سطح زیر کشت گلخانه‌های تولید سبزی و صیفی در کشور، زیر کشت خیار گلخانه‌ای می‌باشد. در محلول غذایی خیار، می‌بایست نسبت یک به یک بین نیتروژن و پتاسیم لحاظ گردد. در ضمن خیار گلخانه‌ای به شدت به کمبود منیزیم حساس می‌باشد. یکی از معروف‌ترین محلول‌های غذایی برای تولید خیار گلخانه‌ای، محلول غذایی پاپادوپولوس می‌باشد که در جدول ۱۷ آورده شده است. در این جدول براساس تاریخ کشت، دو فصل کشت پاییزه و بهاره در نظر گرفته شده است که از امتیازات این فرمول غذایی می‌باشد که در سایر فرمول‌های محلول غذایی ارائه شده دیده نمی‌شود. ضمناً طول فصل کشت به ۲۳ هفته تقسیم گردیده است که از مزایای این فرمول تغذیه‌ای می‌باشد. این فرمول محلول غذایی بسیار کاربردی است و در تحقیقات تغذیه گیاهی خیار گلخانه‌ای نیز کاربرد دارد.

جدول ۱۷- فرمول ساخت محلول غذایی کشت خیار گلخانه‌ای درکشت بهاره و پائیزه

(پاپادوپولوس، ۱۹۹۱)

هفته بعد از کاشت	محلول۱ (گرم در ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری)			محلول۲ (گرم در ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری)			نیاز آبی هر بوته (لیتر در روز)	شوری آب آبیاری پس از افزایش کود (میلی موس بر سانتی‌متر)
	نیترات کلسیم	نیترات پتاسیم	نیترات آمونیوم	منوپتاسیم فسفات	سولفات پتاسیم	سولفات منیزیم		
کشت بهاره								
۱	۵۰۰	۰	۰	۱۰۰۰	۲۵۰	۰	۰/۴	۱/۳
۲	۵۰۰	۳۵۰	۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۰/۶	۱/۴
۳	۳۵۰	۵۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۰/۶	۱/۴
۴	۳۵۰	۵۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۱	۱/۶۵
۵	۳۵۰	۵۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۱/۲	۱/۷
۶	۳۵۰	۶۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۱/۶	۱/۷۵
۷	۳۵۰	۶۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۲	۱/۸
۸	۳۵۰	۷۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۲/۲	۱/۸۵
۹	۳۵۰	۷۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۲/۴	۱/۸۵
۱۰	۳۵۰	۷۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۲/۶	۱/۸۵
۱۱	۳۵۰	۷۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۰	۲/۸	۱/۸۵
۱۲-۱۷	۳۵۰	۶۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۰	۳۵۰	۴	۱/۶۵
۱۸-۲۲	۳۵۰	۵۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۰	۳۵۰	۵	۱/۶
۲۳ تا پایان	۳۵۰	۵۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۰	۳۵۰	۴	۱/۵۵
کشت پائیزه								
۱	۵۰۰	۰	۰	۱۰۰۰	۲۵۰	۵۰۰	۰/۴	۱/۳
۲	۵۰۰	۳۵۰	۰	۱۵۰	۲۵۰	۵۰۰	۰/۸	۱/۴
۳	۳۵۰	۵۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۵۰	۵۰۰	۱	۱/۵
۴	۳۵۰	۵۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۵۰۰	۱/۲	۱/۶۵
۵-۱۲	۳۵۰	۵۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۰	۳۵۰	۳	۱/۶۵
۱۳ تا پایان	۳۵۰	۵۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۰	۳۵۰	۴	۱/۶

غلظت‌های پیشنهادی محلول‌های یک و دو در طول هفته به‌صورت مصرف یک روز در میان برای هر محلول ارائه شده‌اند. همراه با مصرف محلول دو، مصرف ۱۰ گرم کود مخلوط کلات عناصر کم‌مصرف حاوی ۷ درصد آهن، ۲ درصد منگنز، ۱/۳ درصد بور، ۰/۴ درصد روی، ۰/۱ درصد مس و ۰/۰۶ درصد مولیبدن در ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری، در هر هفته ضروری می‌باشد. شوری آب آبیاری بدون مصرف کود ۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شده است. لذا مصرف کود در مناطقی که شوری آب آبیاری بیش از این مقدار است، باید متناسب با ماکزیمم شوری ارائه شده در جدول تعدیل شود. فرمول غذایی دیگری توسط مار در سال ۱۹۹۴ برای کشت هیدروپونیک خیار گلخانه‌ای توصیه شد که در جدول ۱۸ آمده است.

جدول ۱۸- فرمول محلول غذایی برای کشت هیدروپونیک خیار (Marr, 1994)

	مرحله رشدی گیاهچه تا تشکیل اولین میوه			مرحله رشدی تشکیل میوه تا اتمام برداشت	
	گرم در هزار لیتر محلول از کود	نوع عنصر	میلی‌گرم در لیتر از عنصر	گرم در هزار لیتر محلول از کود	نوع عنصر	میلی‌گرم در لیتر از عنصر
سولفات منیزیم $MgSo_4.7H_2O$	۵۰۰	Mg	۵۰	۵۰۰	Mg	۵۰
مونو پتاسیم فسفات KH_2PO_4	۲۷۰	K P	۷۷ ۶۲	۲۷۰	K P	۷۷ ۶۲
نیترات پتاسیم KNO_3	۲۰۰	K N	۷۷ ۲۸	۲۰۰	K N	۷۷ ۲۸
نیترات کلسیم $Ca(NO_3)_2$	۳۸۰	N Ca	۱۱۶ ۶۵	۷۶۰	N Ca	۲۳۲ ۱۳۰
کلات آهن	۲/۵	Fe	۲/۵	۲/۵	Fe	۲/۵
سایر عناصر کم‌مصرف	به شرح جدول ۱۹					

جدول ۱۹- فرمول پایه محلول غذایی عناصرکم‌مصرف برای انواع کشت هیدروپونیک خیار (Marr, 1994)

نمک	عنصر	میلی‌گرم در لیتر از عنصر	گرم از هر نمک*
اسید بوریک H_3BO_3	B	۰/۴۴	۷/۵
کلرید منگنز $MnCl_2.4H_2O$	Mn	۰/۶۲	۶/۷
کلرید مس $CuCl_2.2H_2O$	Cu	۰/۰۵	۰/۳۷
تری‌اکسید مولیبدن MoO_3	Mo	۰/۰۳	۰/۱۵
سولفات‌روی $ZnSo_4.7H_2O$	Zn	۰/۰۹	۱/۱۸
جمع			۱۵/۹۵

* برای ساخت محلول پایه غذایی حاوی عناصر کم‌مصرف، به ۱۵/۹۵ گرم از مجموع نمک‌های حاوی عناصر غذایی کم‌مصرف، ۴۵۰ میلی‌لیتر آب اضافه گردد و به عنوان محلول پایه استفاده گردد. برای ساخت هر ۱۰۰۰ لیتر محلول غذایی کامل، ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول پایه عناصر غذایی کم‌مصرف استفاده گردد.

برای حصول اطمینان از تغذیه صحیح گیاه و کارایی محلول‌های غذایی، آگاهی از غلظت عناصر غذایی در بافت‌های گیاه ضروری است. با دانستن غلظت عناصر غذایی در برگ گیاه و مقایسه آن با حدود کفایت غلظت عناصر غذایی، می‌توان برآوردی از وضعیت تغذیه‌ای گیاه داشت. جدول ۲۰ استانداردهای مورد استفاده در تفسیر نتایج برگ خیار را در دو مرحله فنولوژیک رشد نشان می‌دهد.

جدول ۲۰-استانداردهای مورد استفاده در تفسیر نتایج برگ خیار گلخانه‌ای (ملاحسینی و بصیرت، ۱۳۹۴)
(نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ بالغ گیاه همراه با دمبرگ در مراحل گل‌دهی)

عنصر	واحد	کمبود	کم$^+$	نرمال	بالا$^+$	زیاد
نیتروژن (N)	٪	<۱/۸	۱/۸-۲/۵	۲/۵-۴/۵	۴/۵-۶	>۶
فسفر (p)	٪	<۰/۲	۰/۲-۰/۳	۰/۳-۰/۷	۰/۷-۱	>۱
پتاسیم (K)	٪	<۲	۲-۲/۵	۲/۵-۴	۴-۵	>۵
کلسیم (Ca)	٪	<۱	۱-۲/۵	۲/۵-۵	-	-
منیزیم (Mg)	٪	<۰/۱۵	۰/۱۵-۰/۳	۰/۳-۱/۵	۱/۵-۲/۵	>۲/۵
سولفور (S)	٪	-	<۰/۳	۰/۳-۱	-	-
سدیم (Na)	٪	-	-	۰-۰/۳۵	>۰/۳۵	-
کلر (Cl)	٪	-	-	۰-۱/۵	۱/۵-۲	>۲
مس (Cu)	mg/kg	<۳	۳-۸	۸-۲۰	۲۰-۳۰	>۳۰
روی (Zn)	mg/kg	<۱۵	۱۵-۲۰	۲۰-۱۰۰	۱۰۰-۳۰۰	>۳۰۰
منگنز (Mn)	mg/kg	<۱۵	۱۵-۶۰	۶۰-۴۰۰	۴۰۰-۵۰۰	>۵۰۰
آهن (Zn)	mg/kg	+++	<۵۰	۵۰-۳۰۰	-	-
بر (B)	mg/kg	<۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۷۰	۷۰-۱۰۰	>۱۰۰
مولیبدن (Mo)	mg/kg	<۰/۲	۰/۲-۰/۵	۰/۵-۲	-	-

۱۱-۲- گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

گوجه‌فرنگی، متداول‌ترین محصول هیدروپونیکی در جهان است، اما در ایران به دلیل امکان کشت و پرورش این گیاه در مزارع استان‌های جنوبی کشور مثل هرمزگان و کرمان، تولید گلخانه‌ای آن نسبت به خیار گلخانه‌ای از اهمیت و سطح زیر کشت کم‌تری برخوردار است. جدول۲۱، توصیه‌های کودی مورد نیاز کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای تحت آبیاری قطره‌ای در کشت بهاره را نشان می‌دهد. هم‌چنین جهت تنظیم اسیدیته آب آبیاری و خاک اطراف ریشه گیاه در محدوده ۶/۵ تا ۷، متناسب با آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات، می‌توان از اسیدهای سولفوریک، نیتریک و یا فسفریک استفاده نمود.

جدول ۲۱- توصیه کودهای مورد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای تحت آبیاری قطره‌ای درکشت بهاره

(پاپادوپولوس، ۱۹۹۱)

هفته بعد از کاشت	*محلول۱ (گرم در ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری)			*محلول۲ (گرم در ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری)			نیاز آبی هر بوته (لیتر در روز)	شوری آب آبیاری پس از افزایش کود ($dS.m^{-1}$)
	نیترات کلسیم	نیترات پتاسیم	نیترات آمونیوم	منو پتاسیم فسفات	سولفات پتاسیم	سولفات منیزیم		
کشت بهاره								
۱ تا ۴	۴۴۰	۶۰	۰	۲۲۰	۱۲۶۰	۵۰۰	۰/۴	۳/۵
۵ تا ۸	۴۴۰	۲۵۰	۰	۲۲۰	۱۰۸۰	۵۰۰	۰/۶	۳
۹ تا ۱۱	۴۴۰	۴۴۰	۰	۲۲۰	۶۸۰	۵۰۰	۱	۲/۵
۱۲ تا ۱۳	۴۴۰	۶۴۰	۰	۲۲۰	۰	۵۰۰	۱/۲	۲/۲
۱۴ تا ۱۵	۶۰۰	۶۴۰	۰	۲۲۰	۰	۵۰۰	۱/۴	۲/۲
۱۶ تا ۱۷	۷۶۰	۶۴۰	۷۰	۲۲۰	۰	۵۰۰	۱/۶	۲
۱۸ تا ۲۰	۷۶۰	۶۴۰	۲۲۰	۲۲۰	۰	۵۰۰	۱/۶	۱/۶
۲۱ تا ۲۵	۷۶۰	۶۴۰	۳۰۰	۲۲۰	۰	۵۰۰	۱/۶	۱/۶
۲۶ تا ۳۰	۷۶۰	۶۴۰	۳۰۰	۲۲۰	۰	۵۰۰	۱/۶	۱/۴

غلظت‌های پیشنهادی محلول‌های یک و دو در طول هفته به‌صورت مصرف یک روز در میان برای هر محلول ارائه شده‌اند. همراه با مصرف محلول دو، مصرف ۱۰ گرم کود مخلوط کلات عناصر کم‌مصرف حاوی ۷ درصد آهن، ۲ درصد منگنز، ۱/۳ درصد بور، ۰/۴ درصد روی، ۰/۱ درصد مس و ۰/۰۶ درصد مولیبدن در ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری، در هر هفته ضروری می‌باشد. شوری آب آبیاری بدون مصرف کود ۰/۳ دسی زیمنس بر متر در

نظر گرفته شده است. لذا مصرف کود در مناطقی که شوری آب آبیاری بیش از این مقدار است، باید متناسب با ماکزیمم شوری ارائه شده در جدول تعدیل شود. فرمول غذایی دیگری توسط مار در سال ۱۹۹۴ برای کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای توصیه شد که در جدول ۲۲ آورده شده است.

جدول ۲۲- فرمول محلول غذایی برای انواع کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی (مار، ۱۹۹۴)

	مرحله رشدی گیاهچه تا تشکیل اولین میوه			مرحله رشدی تشکیل میوه تا اتمام برداشت		
	گرم در هزار لیتر محلول از کود	نوع عنصر	میلی‌گرم در لیتر از عنصر	گرم در هزار لیتر محلول از کود	نوع عنصر	میلی‌گرم در لیتر از عنصر
سولفات منیزیم $MgSO_4.7H_2O$	۵۰۰	Mg	۵۰	۵۰۰	Mg	۵۰
مونو پتاسیم فسفات KH_2PO_4	۲۷۰	K P	۷۷ ۶۲	۲۷۰	K P	۷۷ ۶۲
نیترات پتاسیم KNO_3	۲۰۰	K N	۷۷ ۲۸	۲۰۰	K N	۷۷ ۲۸
نیترات کلسیم $Ca(NO_3)_2$	۵۰۰	N Ca	۸۵ ۱۲۲	۶۸۰	N Ca	۱۱۶ ۱۶۵
کلات آهن	۲/۵	Fe	۲/۵	۲/۵	Fe	۲/۵
سایر عناصر کم‌مصرف	به شرح جدول ۲۳					

جدول ۲۳- فرمول پایه محلول غذایی عناصر کم‌مصرف برای انواع کشت هیدروپونیک گوجه-فرنگی (مار، ۱۹۹۴)

نمک	عنصر	میلی‌گرم در لیتر از عنصر	گرم از هر نمک*
اسید بوریک H_3BO_3	B	۰/۴۴	۷/۵
کلرید منگنز $MnCl_2.4H_2O$	Mn	۰/۶۲	۶/۷
کلرید مس $CuCl_2.2H_2O$	Cu	۰/۰۵	۰/۳۷
تری اکسید مولیبدن MoO_3	Mo	۰/۰۳	۰/۱۵
سولفات روی $ZnSo_4.7H_2O$	Zn	۰/۰۹	۱/۱۸
جمع			۱۵/۹۵

* برای ساخت محلول غذایی حاوی عناصر کم‌مصرف، به ۱۵/۹۵ گرم از مجموع نمک‌های حاوی عناصر غذایی کم‌مصرف، ۴۵۰ میلی‌لیتر آب اضافه گردد و به عنوان محلول پایه استفاده گردد. برای ساخت هر ۱۰۰۰ لیتر محلول غذایی کامل، ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول پایه عناصر غذایی کم‌مصرف استفاده گردد.

برای حصول اطمینان از تغذیه صحیح گیاه و کارایی محلول‌های غذایی، آگاهی از غلظت عناصر غذایی در بافت‌های گیاه ضروری است. با دانستن غلظت عناصر غذایی در برگ گیاه و مقایسه آن با حدود کفایت غلظت عناصر غذایی، می‌توان برآوردی از وضعیت تغذیه‌ای گیاه داشت. جدول ۲۴ استانداردهای مورد استفاده در تفسیر نتایج برگ گوجه-فرنگی را در دو مرحله فنولوژیک رشد نشان می‌دهد.

جدول ۲۴- استانداردهای مورد استفاده در تفسیر نتایج برگ گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

(نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ بالغ گیاه همراه با دمبرگ در مراحل گل‌دهی)

عناصر پرمصرف	قبل از محصول‌دهی	در طول محصول‌دهی
	درصد در وزن خشک برگ	
نیتروژن (N)	۴-۵	۳/۵-۴
فسفر (p)	۰/۵-۰/۸	۰/۴-۰/۶
پتاسیم (K)	۳/۵-۴/۵	۲/۸-۴
کلسیم (Ca)	۰/۹-۱/۸	۱-۲
منیزیم (Mg)	۰/۵-۰/۸	۰/۴-۱
سولفور (S)	۰/۵-۰/۸	۰-۴-۰/۸
عناصر کم‌مصرف	**میکروگرم در گرم وزن خشک برگ**	
مس (Cu)	۸-۲۰	۸-۲۰
روی (Zn)	۲۵-۶۰	۲۵-۶۰
منگنز (Mn)	۵۰-۱۲۵	۵۰-۱۲۵
آهن (Zn)	۵۰-۲۰۰	۵۰-۲۰۰
بور (B)	۳۵-۶۰	۳۵-۶۰
مولیبدن (Mo)	۱-۵	۱-۵

۱۱-۳- فلفل شیرین

فلفل‌دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) گیاهی است یک‌ساله از خانواده‌ی بادمجانیان[1]، دارای ساقه‌ای محکم و ایستاده بوده و ارقام گلخانه‌ای آن، دارای ارتفاعی تا یک متر هستند که در بعضی از منابع ارتفاع آن را ۵۰ تا ۱۸۰ سانتی‌متر ذکر کرده‌اند. این گیاه انشعابات ساقه‌ای زیادی را تولید کرده و هرکدام از آن‌ها به یک غنچه‌ی گل ختم می‌شود.

1- Solanaceae

فلفل شیرین یکی از ارزشمندترین سبزی‌ها است که در سلامتی انسان نقش مهمی دارد و کشت گلخانه‌ای آن در استان‌هایی مثل تهران و اصفهان رایج می‌باشد. جدول ۲۵، غلظت بهینه و توصیه شده عناصر غذایی را در محلول غذایی فلفل شیرین برای کشت هیدروپونیک در دو مرحله فنولوژیک گیاه نشان می‌دهد.

جدول ۲۵- توصیه غلظت بهینه عناصر غذایی در کشت بدون خاک فلفل گلخانه

(گارسیالوزانو، ۲۰۰۵)

عنصر غذایی	نشانه شیمیایی	غلظت عنصر غذایی در محلول غذایی- میلی‌گرم در لیتر	
		نشا تا ظهور اولین گل	بعد از گلدهی
نیتروژن نیتراتی	$N\text{-}No_3$	۱۰۰	۲۰۰
نیتروژن آمونیومی	$N\text{-}NH_4$	۲۰	۴۰
فسفر	P	۵۰	۵۰
پتاسیم	K	۱۲۰	۲۰۰
کلسیم	Ca	۱۱۰	۱۹۰
منیزیم	Mg	۴۰	۵۰
گوگرد	S	۵۵	۶۵
بور	B	۰/۱	۰/۱
مس	Cu	۰/۰۵	۰/۰۵
منگنز	Mn	۰/۵	۰/۵
مولیبدن	Mo	۰/۰۵	۰/۰۵
روی	Zn	۰/۱	۰/۱
آهن	Fe	۰/۸	۰/۸

برای حصول اطمینان از تغذیه صحیح گیاه و کارایی محلول‌های غذایی، آگاهی از غلظت عناصر غذایی در بافت‌های گیاه ضروری است. با دانستن غلظت عناصر غذایی در برگ گیاه و مقایسه آن با حدود کفایت غلظت عناصر غذایی، می‌توان برآوردی از وضعیت تغذیه‌ای گیاه داشت. حدود کفایت، کمبود و بیش‌بود عناصر غذایی پُرمصرف در برگ فلفل شیرین در جدول ۲۶ و حدود کفایت، کمبود و بیش‌بود عناصر غذایی کم‌مصرف در برگ فلفل شیرین در جدول ۲۶ درج شده است. همان‌گونه که از اطلاعات جدول ۲۷ مشخص است، نیتروژن و پتاسیم بیشترین غلظت را در برگ فلفل شیرین به خود

اختصاص داده‌اند. کم‌ترین غلظت را بین عناصر غذایی پرمصرف را، فسفر به خود اختصاص داده است.

جدول ۲۶- حدود کفایت، کمبود و بیش‌بود عناصر غذایی در برگ فلفل شیرین (هوچموت، ۲۰۰۹)

عنصر غذایی	علامت شیمیایی	حد کمبود	حد کفایت	حد بیش‌بود
		درصد در ماده خشک		
نیتروژن	N	۲-۲/۵	۳-۴	۴-۵
فسفر	P	۰/۲۵	۰/۳-۰/۴	۰/۴-۰/۶
پتاسیم	K	۲	۳/۵-۴/۵	۴/۵-۵/۵
کلسیم	Ca	۲	۱/۵-۲	۵-۶
منیزیم	Mg	۰/۲۵	۰/۲۵-۰/۴	۰/۴-۰/۶

جدول ۲۷- حدود کفایت، کمبود و بیش‌بود عناصر غذایی کم‌مصرف در برگ فلفل شیرین
(هوچموت، ۲۰۰۹)

عنصر غذایی	علامت شیمیایی	حد کمبود	حد کفایت	حد بیش‌بود
		میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک		
آهن	Fe	۵۰-۱۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۵۰۰
منگنز	Mn	۲۵	۸۰-۱۲۰	۱۴۰-۲۰۰
روی	Zn	۲۵-۴۰	۴۰-۵۰	۶۰-۲۰۰
مس	Cu	۱۵	۱۵-۲۰	۲۴-۴۰
بور	B	۴۰	۴۰-۶۰	۶۰-۱۰۰
مولیبدن	Mo	۴	۴	۰/۶

۱۱-۴-کاهو

کاهو یکی از سبزی‌های برگی است که بیش‌ترین استفاده را دارد. این گیاه بومی شرق مدیترانه بوده و توسط مصریان در ۴۵۰۰ سال پیش از میلاد کشت می‌شده است. کاهو دارای سه تیپ اصلی کریسپ هد[1]، باترهد[2] و لوز لیف[3] می‌باشد که انواع باترهد و لوزلیف

1- Crisphead
2- Butterhead
3- Loose leaf

عمدتاً در گلخانه کشت می‌شوند. انواع کاهو به راحتی در سیستم‌های هیدروپونیک در گلخانه و فضای باز کشت می‌شوند و تولید آن به تخصص کم‌تری نیاز دارد (رایدر، ۱۹۹۹). سوختگی نوک برگ، رنگ‌پریدگی در اثر افزایش دمای محیط روی می‌دهد که در این حالت، افزایش میزان کلسیم محیط غذایی، کاهش نسبت پتاسیم به کلسیم و پایین نگه داشتن هدایت الکتریکی محلول غذایی این عارضه را کاهش می‌دهد. مورگان در سال ۲۰۰۰ فرمول مناسبی را برای محلول غذایی کاهو ارائه داد که در جداول ۲۸ و ۲۹ آورده شده است. کیفیت منبع آب مورد استفاده برای کشت کاهو در مقایسه با بقیه سبزی‌ها بایستی بهتر باشد. برای مثال، اگر آب حاوی ۳۵ میلی‌گرم سدیم باشد، اثر مخربی بر رشد و کیفیت کاهو خواهد داشت. کاهو به عنصر منیزیم حساسیت چندانی ندارد، ولی به عناصر کم‌مصرف از جمله منگنز، مولیبدن و مس نیاز بالایی داشته و به عناصر بور و روی در حد متوسط نیاز دارد.

جدول ۲۸- توصیه غلظت بهینه عناصر غذایی پرمصرف در کشت بدون خاک کاهو (مورگان، ۲۰۰۰)

عنصر	علامت شیمیایی	غلظت بهینه (میلی‌گرم در لیتر)
نیتروژن	N	۲۰۰
فسفر	P	۵۰
پتاسیم	K	۲۰۰
کلسیم	Ca	۲۰۰
منیزیم	Mg	۴۰
گوگرد	S	۵۵

جدول ۲۹- توصیه غلظت بهینه عناصر غذایی کم‌مصرف در کشت بدون خاک کاهو (مورگان، ۲۰۰۰)

عنصر	علامت شیمیایی	غلظت بهینه (میلی‌گرم در لیتر)
بور	B	۰/۷
مس	Cu	۰/۰۷
منگنز	Mn	۱
مولیبدن	Mo	۰/۰۵
روی	Zn	۰/۵
آهن	Fe	۷

۱۱-۵- توت‌فرنگی

توت فرنگی گیاهی علفی، دائمی و جزء گیاهان نهان‌دانه دولپه‌ای از تیره گل‌سرخیان بوده ویکی از بهترین میوه‌های مناطق معتدله به شمار می‌رود. این محصول به دلیل داشتن عطر و طعم عالی و محتویات سرشار از ویتامین، به‌خوبی شناخته شده و جایگاه خود را در رژیم غذایی میلیون‌ها نفر در جهان پیدا کرده است (کاشی و حکمتی، ۱۳۷۰). در شرایط ابرناکی محیط، بخشی از نیتروژن محلول غذایی بایستی به صورت آمونیوم باشد. برای رسیدن به اندازه بزرگ توت‌فرنگی، عملکرد بالا و طعم مناسب، غلظت پتاسیم در محلول غذایی بایستی بالا باشد، لذا نسبت پتاسیم به نیتروژن بیش از ۱ پیشنهاد شده است (مورگان، ۲۰۰۴). فرمول محلول غذایی مناسب توت‌فرنگی در جداول ۳۰ و ۳۱ آورده شده است.

جدول ۳۰- توصیه غلظت بهینه عناصر غذایی پرمصرف در کشت بدون خاک توت‌فرنگی
(مورگان، ۲۰۰۴)

عنصر	علامت شیمیایی	غلظت بهینه (میلی‌گرم در لیتر)
نیتروژن	N	۱۲۸
فسفر	P	۵۸
پتاسیم	K	۲۱۱
کلسیم	Ca	۱۰۴
منیزیم	Mg	۴۰
گوگرد	S	۵۴

جدول ۳۱- توصیه غلظت بهینه عناصر غذایی کم‌مصرف در کشت بدون خاک توت‌فرنگی
(مورگان، ۲۰۰۴)

عنصر	علامت شیمیایی	غلظت بهینه (میلی‌گرم در لیتر)
بور	B	۰/۰۷
مس	Cu	۰/۷
منگنز	Mn	۲
مولیبدن	Mo	۰/۰۵
روی	Zn	۰/۲۵
آهن	Fe	۵

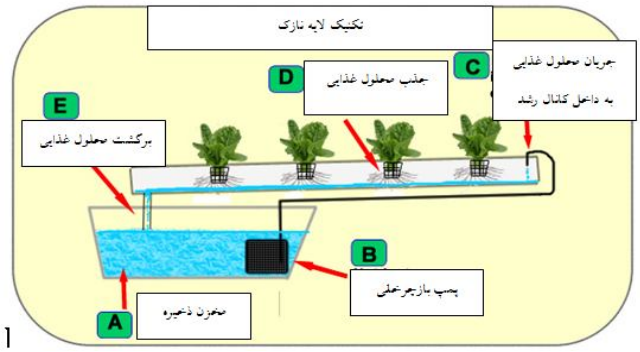
۱۲- تکنیک‌های کشت در سیستم هیدروپونیک

محیط کشت هیدروپونیک با یک محیط خارجی احاطه می‌شود که می‌تواند گلدان یا کیسه نیز باشد. در این سیستم کشت، محلول آب و کود که محلول غذایی نامیده می‌شود، با توجه به تقاضای گیاه به کار می‌رود. هیدروپونیک در عمل به معنی کاشت گیاهان در آب و محلول غذایی بدون استفاده از خاک می‌باشد. کشت هیدروپونیک این امکان را به گلخانه‌دار می‌دهد که در زمان کوتاه‌تر با زحمت کم‌تر، محصولی با راندمان بیشتر را کشت نماید. علم هیدروپونیک ثابت کرده است که برای رشد گیاهان به خاک احتیاجی نیست، اما به عناصری که در خاک موجود است (مواد معدنی، مواد آلی) نیاز مبرم است. هر گیاهی را می‌توان به صورت هیدروپونیک کشت کرد، ولی برخی از آن‌ها موفقیت بیش‌تری در این سیستم دارند. کشت هیدروپونیک برای محصولاتی مثل گوجه‌فرنگی، خیار، فلفل، سبزی‌های برگی مثل کاهو که رشد سریعی دارند، ایده آل است. در کشت هیدروپونیک در صورتی پیشرفت حاصل می‌شود که محلول غذایی صحیحی برای تأمین احتیاجات گیاه تهیه شود. بیشتر اعمالی که برای کشت هیدروپونیک انجام می‌شود، شبیه اعمال کاشت گیاهان در خاک است. کشت تجاری هیدروپونیک شامل ترکیبی از تکنولوژی هیدروپونیک با کنترل عوامل محیطی برای رسیدن به بهترین کیفیت محصول می‌باشد. تکنیک‌های گوناگونی برای اجرای سیستم هیدروپونیک وجود دارد که هرکدام مزایا و معایب خود را دارد. مهم‌ترین تکنیک‌ها به شرح ذیل می‌باشند.

۱۲-۱- تکنیک فیلم غذایی[1] (NFT)

مهم‌ترین پیشرفت مهم در زمینه هیدروپونیک در سال ۱۹۷۰ با ابداع تکنیک فیلم غذایی توسط آلن کوپر اتفاق افتاد. از این روش بیشتر با عنوان NFT یاد می‌شود. در این روش، ریشه گیاهان به حالت معلق در یک آبشخور یا کانالی از محلول غذایی در یک سیستم بسته قرار می‌گیرند و محلول غذایی در محیط گردش می‌کند.

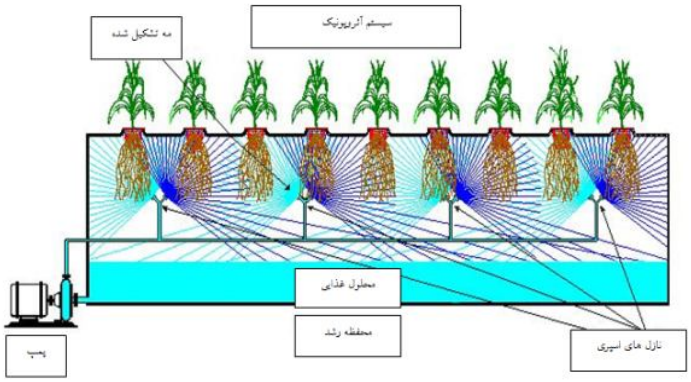
1- Nutrients film techniqe



شکل ۱۵- تکنیک فیلم غذایی در سیستم کشت هیدروپونیک

۱۲-۲- آئروپونیک

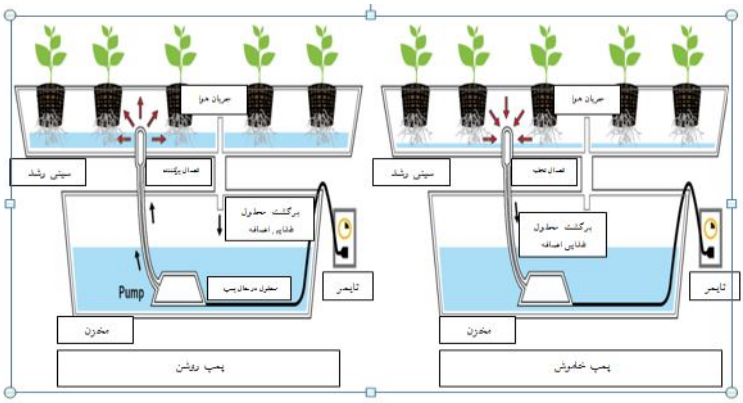
یکی از تکنیک‌های خوش‌آتیه هیدروپونیک، آئروپونیک است. در این روش توزیع آب و عناصر ضروری به ریشه گیاه توسط وسایل ریزکننده مثل مه‌پاش و میست (یک نوع ریز-کننده آب و محلول غذایی) انجام می‌شود. مزیت این روش، تهویه مناسب ریشه‌ها است. در این روش، ریشه‌ها در هوا رشد می‌کنند. این روش به صورتی طراحی شده است که امکان استفاده مناسب از آب و عناصر ضروری را فراهم می‌کند. ریشه‌ها در این روش باید مرتباً در معرض ارسال محلول غذایی قرار گیرند. در اکثر سیستم‌های آئروپونیک، در انتهای ریشه‌ها یک مخزن کوچک آب قرار داده می‌شود که ریشه‌ها همیشه به آب دسترسی داشته باشند.



شکل ۱۶- تکنیک آئروپونیک در سیستم کشت هیدروپونیک

۱۲-۳- سیستم‌های جذر و مد محلول غذایی

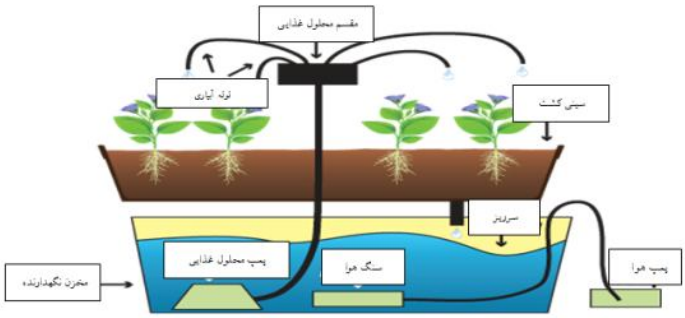
از این نوع سیستم‌های رشد هیدروپونیک، سالیان سال استفاده می‌کردند. امروزه از این سیستم به صورت اقتصادی در کشت و تولید برخی محصولات گلخانه‌ای مثل کاهو استفاده می‌شود. ترکیب این ساختار شامل یک محیط ریشه‌ای خنثی از قبیل گراول، ماسه و پوکه معدنی و ظروف رشد که حجم‌های یکسانی از محلول غذایی در داخل آن‌ها وجود دارد و لوله‌های تغذیه‌کننده و دریچه‌ها و پمپ‌های مورد نیاز می‌باشد.



شکل ۱۷- تکنیک جذر و مدی در سیستم کشت هیدروپونیک

۱۲-۴- سیستم‌های قطره‌چکانی

این سیستم هیدروپونیک، امروزه کاربرد معمول پیدا کرده است که به صورت تجاری در کشت گیاهان در یک محیط کیسه‌ای یا گلدانی به‌کار می‌رود. در این زمینه، پرلیت و کوکوپیت به عنوان نگهدارنده سیستم ریشه‌ای داخل گلدان یا کیسه، بیش‌ترین کاربرد را دارد. البته بعضاً اصلاحاتی در این سیستم برای تطبیق با محصولات گوناگون به‌وجود آمده است. برای مثال کیسه‌های عمودی آویزان برای کاهو و یا گیاهانی که در کناره کیسه‌ها قرار می‌گیرند. برای مثال گیاه توت‌فرنگی را در سوراخ‌های کناره کیسه‌های پرلیت قرار می‌دهند و محلول غذایی از بالای کیسه‌ها توسط قطره‌چکان‌ها به طرف پایین سرازیر می‌شود.



شکل ۱۸- تکنیک قطره‌چکان در سیستم کشت هیدروپونیک

۱۳- انواع بستر کشت گلخانه‌ای

بستر یا محیط کشت به مواد جامدی که به‌جای خاک در کشت هیدروپونیک می‌توان استفاده نمود اطلاق می‌شود. محیط کشت باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- بستر کشت باید از لحاظ شیمیایی خنثی باشد.
- بستر کشت باید از لحاظ شیمیایی پایدار باشد.
- بستر کشت باید تمیز باشد و قبل از کشت باید ضدعفونی شود.
- بستر کشت باید زهکش خوبی داشته باشد و آب اضافی از آن خارج شود.
- بستر کشت باید دارای ظرفیت نگهداری آب و هوای کافی با نسبت متعادل را داشته باشد.
- بستر کشت باید قابلیت بافری خوبی داشته باشد یعنی در برابر تغییر pH مقاومت کند.
- بستر کشت باید دارای قابلیت تبادل کاتیونی متوسط باشد.

دو گروه محیط کشت یا بستر متخلخل برای کشت هیدروپونیک بر اساس منشأ آن‌ها وجود دارد که عبارت‌اند از بستر کشت معدنی و بستر کشت آلی. در ادامه به توضیح هرکدام از موارد خواهیم پرداخت.

۱۳-۱- بستر کشت معدنی

بستر کشت معدنی شامل انواع مواد غیرآلی می‌شود و موارد زیر را شامل می‌شود:

۱۳-۱-۱- بستر کشت ماسه[1]: اندازه ذرات بستر ماسه باید کمتر از ۲ میلی‌متر باشد و بسته به قطر ذرات ماسه، قدرت نگهداری آب بستر متفاوت است. عمدتاً به آسانی در مناطق صحرایی و رودخانه‌ها قابل دسترسی است. ماسه‌های رودخانه‌ای به خاطر عدم شوری ارجح‌تر است. مزیت اصلی ماسه و سنگریزه خالص، این است که به‌صورت ثابت مانده و حالت خود را از دست نمی‌دهد، لذا نیاز به تعویض سالانه بستر وجود ندارد. اما عیب بستر کشت ماسه بالا بودن وزن آن است. در حال حاضر ترکیب ماسه و پرلایت استفاده می‌شود.

۱۳-۱-۲- بستر کشت سنگریزه[2]: بستر کشت سنگریزه بسیار ارزان است و همه‌جا در دسترس است. ذرات بستر کشت سنگریزه عموماً بین ۲ تا ۱۵ میلی‌متر است. قدرت نگهداری آب بستر کشت سنگریزه بسیار کم است و مواد غذایی به‌سرعت از دسترس ریشه خارج می‌شود. مخلوط ۳ به ۱ سنگریزه و ماسه محیط رشد خوبی برای ریشه گیاهان در محیط کشت بدون خاک فراهم می‌کند. البته سنگریزه و پرلیت نیز مناسب است.

۱۳-۱-۳- بستر کشت پشم‌سنگ[3]: در ابتدا برای عایق ابداع شد. برای ساخت بستر کشت پشم سنگ ابتدا ترکیبی از سنگ آهک و کک را در حرارت بالاتر از ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب نموده سپس به‌صورت الیاف یا رشته در آورده که پس از سرد شدن به‌وسیله صمغ مخصوص مثل اوره یا فرمول به‌هم چسبیده و به‌وسیله پوششی از مویان آب‌دوست پوشیده می‌شوند. بستر پشم سنگ دارای خاصیت جذب آب ۹۰٪ و هوای زیاد است. بستر پشم سنگ قابلیت تبادل کاتیونی ندارد و اثر کمی روی pH محلول غذایی می‌گذارد.

۱۳-۱-۴- بستر کشت پرلایت: بستر کشت پرلایت نوعی آلومینوسیلیکات بی‌اثر آتشفشانی است. سبک، جاذب رطوبت و نسبتاً خنثی و پایدار است. سنگ معدن پس از

1- Sand
2- Gravel
3- Rockwool

خرد شدن در دمای ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد تیمار می‌شود. در این دما، رطوبت ذرات تبخیر شده و باعث باز شدن ذرات از یکدیگر و ایجاد دانه‌های کوچک اسفنجی بسیار سبک می‌شود. تیمار با دمای بالا باعث تولید یک بستر کشت کاملاً استریل می‌گردد. بستر کشت پرلایت قدرت بافری دارد و ظرفیت تبادل کاتیونی این کانی پایین است. بستر کشت پرلایت آب را در سطح خود جذب کرده و به‌آرامی رها می‌کند. قابلیت جذب آب پرلایت ۳ تا ۴ برابر وزن آن می‌باشد. پرلایت باعث افزایش زهکش بستر کشت شده و تهویه آن را بیشتر می‌کند. دانه‌بندی مناسب برای استفاده از بستر کشت پرلایت در گلخانه بین ۱ تا ۵ میلی‌متر است. عیب اصلی پرلایت عدم دوام مکانیکی آن بوده به‌طوری که دانه‌های پرلایت به‌مرور و بعد از گذشت ۲ یا ۳ سال استفاده متلاشی شده و تبدیل به پودر خیلی نرم می‌شود. فرسایش پرلایت باعث فشردگی و در نهایت تولید خفگی ریشه گیاه خواهد شد. البته بستر کشت پرلایت بسیار ارزان می‌باشد و می‌توان زودتر بستر را تعویض نمود.

۱۳-۱-۵- بستر کشت ورمی‌کولایت: بستر ورمی‌کولیت از دو ماده معدنی با نام‌های ورمیکولایت و بنتونیت تشکیل یافته است. هنگامی‌که این مواد در دمای بالای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه حرارت می‌بینند، منبسط می‌شوند. محصول به‌دست آمده از لحاظ وزنی سبک، ضدعفونی شده و دارای خاصیت نگهداری آب و هوای زیاد است. بستر کشت ورمی‌کولایت دارای قابلیت بافری خوبی است یعنی در مقابل تغییر pH مقاومت می‌کند. قابلیت تبادل کاتیونی بالایی نیز دارد.

۱۳-۱-۶- بستر کشت زئولیت: بر اساس گزارش سازمان جغرافیایی ایران، زئولیت از نظر فراوانی، دومین کانی بعد از کانی آهن می‌باشد و کلینوپتیلولیت با درصد زئولیتی بین ۷۱ تا ۹۵ درصد، فراوان‌ترین نوع زئولیت در ایران است. وزن مخصوص آن شبیه ماسه است. معمولاً در ترکیب با سایر مواد و برای کشت هیدروپونیک توصیه می‌شود. بستر کشت زئولیت قدرت بالایی در جذب و از دست دادن آب و کاتیون‌ها دارند، بدون این‌که تغییر عمده در ساختمان آن‌ها رخ دهد.

۱۳-۱-۷- بستر کشت پوکه معدنی[1]: پوکه یا تفاله معدنی یک سنگ آتشفشان متخلخل به رنگ قهوه‌ای است که می‌توان با اندازه‌های گوناگون آن را تهیه کرد. ویژگی

1- Tuff

فیزیکی پوکه معدنی عالی است. اما pH آن می‌تواند تا حد زیادی تغییر کند و معمولا از ۷ تا ۱۰ تغییر خواهد کرد.

۱۳-۱-۸- بستر کشت رس بسط داده شده (لیکا): گلوله‌ها و دانه‌های حاصل از پرداخته شدن رس مرطوب به‌وسیله درجه حرارت‌های بالا (حدود ۱۱۰۰ درجه سلسیوس) می‌باشند. خلل و فرج بستر کشت رس بسط داده شده، درشت و بسته بوده و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب آن‌ها کم می‌باشد. pH بستر کشت مذکور خنثی و حدود ۷ است. ظرفیت تبادل این بستر کم بوده و به همین خاطر خاصیت شیمیایی خنثی دارد. ولی با توجه به روش تهیه و بخصوص کیفیت رس به کار برده شده گاهی از نظر شیمیایی فعال بوده و یون کلسیم آزاد می‌کند.

۱۳-۲- بستر کشت آلی

بستر کشت آلی شامل مواد زیر می‌شود:

۱۳-۲-۱- بستر کشت تراشه چوب یا خاک اره درشت: بستر کشت خاک اره، ذراتی بین ۰/۵ تا ۱/۵ سانتی‌متر است. خاک‌اره چوب‌های سخت مثل اکالیپتوس باید قبل از استفاده پوسیده شود. برخی خاک‌اره‌ها نباید استفاده شود زیرا برای گیاه سمی است. خاک‌اره‌ها در طی رشد گیاه تجزیه می‌شود. هم‌چنین ازت بستر کشت خاک‌اره کم است. ظرفیت تبادل کاتیونی این بستر کم است و میزان آب قابل دسترس گیاه در این بستر کم است.

۱۳-۲-۲- بستر کشت پیت[1]: پیت بقایای پوسیده گیاهان در شرایط غیرهوازی در آب می‌باشد که پس از پوسیدن، آن‌ها را خشکانیده و برای مصرف بسته‌بندی می‌کنند. پیت‌ها سه نوع‌اند:

الف) پیت‌ماس: از بقایای پوسیده خزه‌ها به‌خصوص نوعی خزه به نام اسفاگنوم به‌دست می‌آید. ده برابر وزن خود آب جذب می‌کند. بسیار اسیدی بوده (بین ۳.۸ تا ۴.۸) و مقدار جزئی نیتروژن دارد (شکل ۱۹).

1- Peat

ب) پیت علف‌های خانواده گرامینه: این نوع پیت کمتر از نوع قبل اسیدی می‌باشد (بین ۴/۵ تا ۷)

ج) پیت هوموسی: این نوع پیت بیشتر پوسیده شده و از پوسیدن خزه‌ها و علف-های خانواده گرامینه تشکیل شده است. دارای ۲ تا ۳/۵ درصد ازت و قدرت کمتری در جذب آب دارد.

۱۳-۲-۳- بستر کشت کوکوپیت یا پیت نارگیل[1]: پیت نارگیل که از فیبر نارگیل تهیه می‌شود دارای قابلیت نگهداری آب بالایی می‌باشد و حاوی مواد غذایی بالا و محیطی نسبتاً اسیدی است. کوکوپیت دارای pH ایده آل بین ۶ تا ۶/۵ بوده و موجب جذب متناسب مواد غذایی به ریشه خواهد شد (شکل۱۹).

۱۳-۲-۴- بستر کشت پوست درختان: شاید مهم‌ترین ماده آلی جایگزین پیت در حال حاضر، پوست درختان باشد. پوست درخت در کارخانه‌های چوب‌بری به‌وسیله ماشین‌های مخصوص از تنه درختان کنده می‌شود و سپس به‌وسیله آسیاب‌های چکشی آسیاب گردیده و از الک‌های مناسب عبور داده می‌شود.

۱۳-۲-۵- بستر کشت سبوس برنج: پوست شلتوک یک محصول ثانویه از فرآیند برنج‌کوبی است که به‌راحتی در دسترس می‌باشد. در واقع پوسته شلتوک یک محصول زائد و بدون استفاده صنعتی می‌باشد.

پیت ماس

خاک پیت

کوکوپیت

شکل ۱۹- انواع بسترهای آلی

1- Coco Peat

۱۴- منابع

۱. دهقانی، ف.، علایی یزدی، ف. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۸۰. بررسی کیفیت آب‌های آبیاری در استان یزد از دیدگاه اثرات سوء تغذیه‌ای. نشریه فنی ۲۰۶. نشر آموزش کشاورزی. معاونت تات. وزارت جهاد کشاورزی. کرج. ایران.

۲. رفیعی، غ. و آ. اکبرزاده. ۱۳۸۶. راهنمای آبکشت (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران.

۳. علیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه آب وخاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد. ایران.

۴. ملاحسینی، ح. و م. بصیرت. ۱۳۹۴. راهنمای تغذیه گیاهی در خیار مزرعه‌ای و گلخانه‌ای به منظور کاهش باقیمانده نیترات در محصول. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

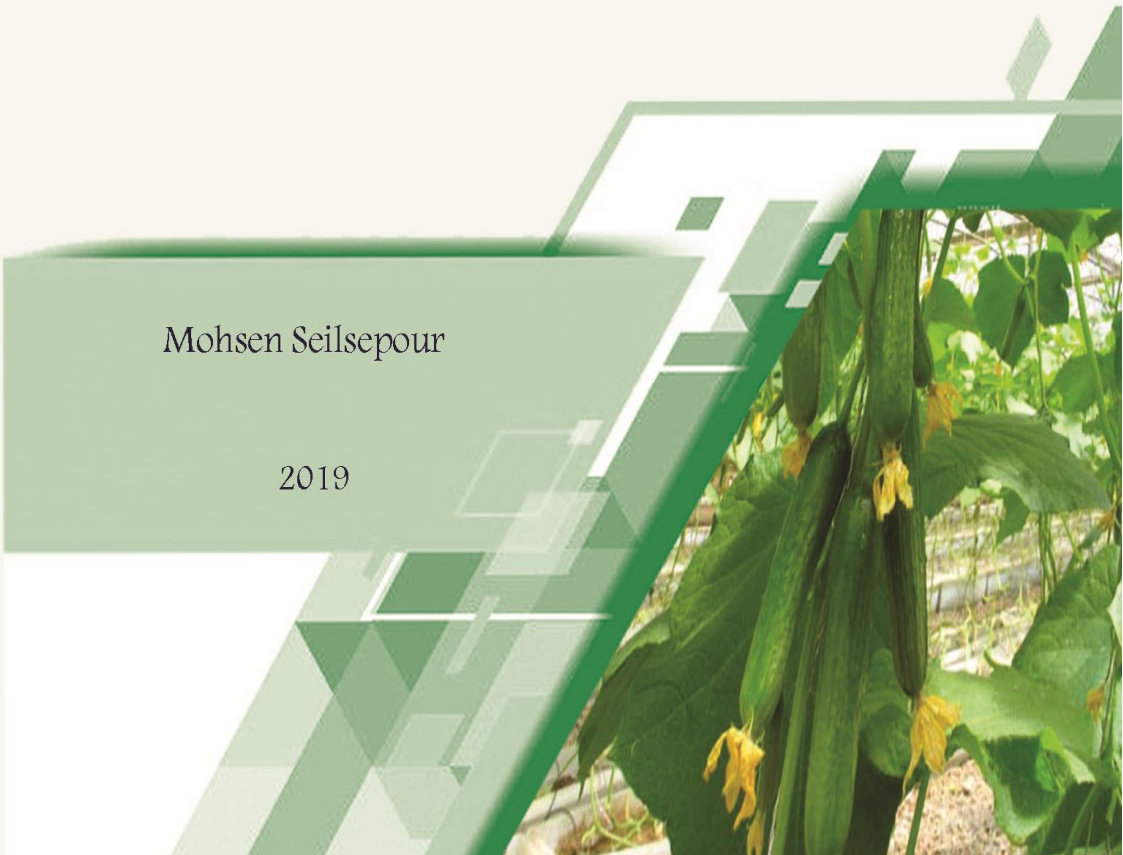
5. Bailey, D.A., Bilderback, T. and D. Bir. 1996. Water considerations for container production of plants. NC State University Hort. Info. Lflt. #557. (available at http:/ /www2.ncsu.edu/floriculture/).
6. Garcialozano, M. 2005. Green-pepper fertigation in soilless culture. Acta Horticulturae, 697, 543-547.
7. Hoagland, D.R. and D.S. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. California Agriculture Expriment. Statation publications. 374, 1–32.
8. Hochmuth, G. 2008. Fertilizer management for greenhouse vegetables, Florida, Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
9. Hochmuth, G. 2009. A Summary of N, P, and K Research with Pepper in Florida. Available: http://if-srvvedis. ifas.ufl.edu/pdffiles/CV/CV23000.pdf.
10. Jones, B. 1982. Hydroponics, its history and use in plant nutrition studies, J. Plant Nutr., 8, 1003 – 1030.
11. Jones, B. 2005. Hydroponics, a practical guide for soilless grower.2nd Edition.CRC press.
12. Kalbasi, M. 1995. Fe chlorosis in fruit trees. Isfahan University of Technology Press.Publication No. 13. (In Persian(Muleo, R., Fisichella, M., Lacona, C., Viti, R. and Cinelli, F. 1995. Different responses induced by bicarbonate and iron deficiency on micro shoots of quince and pear. Acta Horticulturae 596: 677-681 VIII International Symposium on Pear.
13. Lorenz, O.A. and D.N. Maynard. 1988. Knotts Handbook foe vegetables growers, 3rd ed. John wiley & sons, New York.
14. Maas, E.V. and S.R. Grattan.1999. Crop Yields as Affected by Salinity. In: Skaggs, R.W. and van Schilfgaarde, J., Eds., Agricultural Drainage Agronomy Monograph No. 38, ASA, Madison, 55-108.
15. Marr. C.W. 1994. Greenhouse vegetable production using hydroponic system. Kansas University. Agriculture Expriment Station and Coopreation Extension Service. Publication No.1169.

16. Mason, J. and I. Harrison. 2005. Plant nutrition. In: J. Mason (ed.) Comercial Hydroponics, 2nd Edition. Kangaroo Press. NSW, Australia.
17. Morgan, L. and D.J. Peckenpaugh. 2004. Hydroponic Solution, Vol. 1: Hydroponic growing Tips, New Moon Publshing, co., Covallis,Or.
18. Morgan, L. and S. Lennard. 2000. Hydroponic Capsicum Oroduction: A Comprehence practical and scientific guide to commercial Hydroponic Capsicum production. Caspar Oublication Pty Ltd, Narrabeen, Australia.
19. Papadopoulos, A.P. 1991. Growing greenhouse seedless cucumbers in soi1and in soilless media. Agriculture and Agri-Food Canada Publication 1902/E.
20. Ryder, E.J. 1999. Lettuce, Endive and Cbicory. Crop production Science in Horticulture Series 7, CABI publishing, Wallingford, Oxon, U.K.
21. Schon, M. 1992. Tailoring nutrient solution to meet the demands of your plants, pp. 1-7. In: D. Schact(ed), Proc. 13th Ann. Conf.Hydroponics. Hydroponic Soc.Amer. Concord, CA.
22. Tamson, B. and K. Parswell. 2003. Symptoms of potassium deficiency in vegetables crops. Fertilization Knowledge. No: 3.
23. Van Zineren Baker. E.M. 1986. Development of hydroponic system and a look into the futyre.pp 67-111 In: Proc.9th Ann.Conf. Hydroponics. Hydroponic Soc.Amer. Concord, CA.

Islamic Republic of Iran

MINISTRY OF AGRICULTURE – JAHAD
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil and Water Research Institute

Guide to Preparing and Using Nutrient Solutions for Cultivation of Greenhouse Vegetables in the Hydroponic Culture System



Mohsen Seilsepour

2019