نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۱۱-۱۰۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 33, No.1, Spring 2019, P. 101-111
ISSN: 2008 - 4730

واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی توت‌فرنگی تحت تأثیر عصاره جلبک دریایی در شرایط کمبود آهن

اعظم رحیمیان[۱] - محمود اثنی عشری[۲*] - حسن ساری خانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳

چکیده

استفاده از زیست محرک‌ها در کشاورزی ارگانیک و پایدار با هدف کاهش مصرف کودهای شیمیایی همواره مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی امکان جایگزینی کلات آهن در محلول غذایی با نوعی زیست محرک طبیعی محتوی عصاره جلبک دریایی به نام "اکتیویو" در کشت توت‌فرنگی ارقام کاماروسا و سلوا در سیستم کشت بدون خاک بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل تیمارهای شاهد (محلول غذایی حاوی کلات آهن با pH=۶)، محلول غذایی بدون آهن و حاوی اکتیویو با pH=۶، محلول غذایی حاوی کلات آهن با pH=۸ و محلول غذایی بدون آهن و حاوی اکتیویو با pH=۸ بود. نتایج نشان داد، عصاره جلبک دریایی روی همه صفت‌های اندازه‌گیری شده اثر معنی‌دار داشت، به‌طوری‌که وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، وزن تر ریشه‌ها و همچنین میزان کلروفیل و آهن فعال برگ‌ها در تیمار حاوی اکتیویو با pH=۶ مشابه گیاهان شاهد بود. ارزیابی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در برگ نیز نشان داد که کاربرد اکتیویو سبب افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در گیاهان در شرایط کمبود آهن شد. بر اساس نتایج این پژوهش عصاره جلبک دریایی توانست جایگزین کلات آهن برای پرورش توت‌فرنگی در محلول غذایی شده و امکان تولید این گیاه را با کاهش استفاده از ترکیبات مصنوعی آهن فراهم کند، به عبارت دیگر کاربرد اکتیویو به‌جای کلات آهن در pH=۶ محلول غذایی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اکتیویو، کشاورزی ارگانیک، کشت بدون خاک، محلول غذایی

مقدمه

امروزه روش‌های پرورش محصولات، در حال حرکت به سمت کشاورزی ارگانیک و کاربرد سیستم‌های پایدار و دوستدار محیط‌زیست است. کاهش استفاده از کودهای شیمیایی از اقدامات مؤثر برای رسیدن به این هدف است که با بهبود راندمان جذب و مصرف عناصر غذایی توسط گیاه می‌توان به این امر دست یافت (۳۷). این دغدغه‌ها به‌خصوص در مورد محصولاتی مانند توت‌فرنگی که سطح زیر کشت و تقاضای زیادی برای آن در کشور ما وجود دارد پررنگ‌تر است. اگر مدیریت بستر کشت، آبیاری و تغذیه در تولید این محصول به‌درستی انجام نشوند، سبب بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی شده و روی کیفیت محصول اثر منفی می‌گذارند؛ بنابراین به‌واسطه این نگرانی‌ها، سعی بر کاهش معنی‌دار حجم گسترده استفاده از آب و مواد غذایی در تولید این‌گونه محصولات وجود دارد (۳۴). سیستم‌های کشت بدون خاک به‌واسطه کاهش مصرف آب و مواد غذایی مزیت بزرگی در حفظ محیط‌زیست دارند، بااین‌حال استفاده از ترکیبات طبیعی برای جایگزینی ترکیبات مصنوعی مانند کلات‌های آهن در محلول غذایی می‌تواند گام مؤثری در رسیدن به اهداف کشاورزی ارگانیک در این زمینه باشد (۳۱).

نسل جدید عصاره‌های جلبک دریایی مانند اکتیویو[۲] ممکن است بتواند یک راهکار نویدبخش برای کاهش استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی باشد (۳۷). اکتیویو یک تقویت‌کننده متابولیسم است که از یک نوع جلبک قهوه‌ای بنام آسکوفیلوم ندوسوم[۳] به دست می‌آید، اما با شکل‌های قدیمی‌تر این نوع عصاره‌ها متفاوت بوده و ترکیب ثابت و متعادلی دارد. اکتیویو حاوی ترکیباتی نظیر کاهیدرین، آلژینیک اسید و بتائین‌هاست که در میزان اثرگذاری آن روی محصول نقش دارند (۳۱). کاهیدرین از مشتقات ویتامین K است. ویتامین K به‌طور طبیعی

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری علوم باغبانی، استاد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.esnaashari@basu.ac.ir
DOI: 10.22067/jhorts4.v33i1.67812

2- Actiwave
3- *Ascophillum nodosum*

در گیاه وجود داشته و احتمالاً در غشای پلاسمایی سلول‌های گیاهی مسئول نقل و انتقالات الکترون است. کاربرد خارجی ویتامین K سبب تحریک پمپ پروتون غشا و متعاقباً اسیدی شدن آپوپلاست می‌شود که به احیای آهن نامحلول به نوع محلول آن کمک کرده و سبب جذب آهن توسط گیاه می‌شود. ازآنجاکه اکتیویو حاوی مشتقات ویتامین K می‌باشد، فرض بر این است که با مشارکت در فرآیند فوق سبب تسهیل جذب آهن توسط ریشه گیاه می‌گردد (۳۷). از طرف دیگر آلژینیک اسید به‌عنوان عامل بهبوددهنده وضعیت خاک عمل می‌کند، به‌طوری‌که با رادیکال‌های فلزی ترکیب شده و تشکیل پلیمرهایی می‌دهد که ویژگی‌های نگه‌داری آب در ریزوسفر را افزایش می‌دهند (۳۵). افزایش رطوبت در ریزوسفر به ایجاد محیطی مناسب‌تر برای رشد ریشه و میکروارگانیسم‌های مفید همراه آن کمک می‌کند (۱۱). درنهایت بتائین‌ها حلال‌های سازگاری می‌باشند که به‌عنوان محافظهای اسمزی عمل می‌کنند و افزاینده تحمل گیاه به تنش خشکی و شوری هستند (۱۷). همچنین بتائین‌ها فعالیت شبه سیتوکینینی دارند و کاربرد خارجی آن‌ها محتوای کلروفیل برگ و رشد شاخه و ریشه را افزایش می‌دهد (۱۰ و ۳۷). گزارش شده است که اکتیویو سبب افزایش جذب عناصر معدنی و تحمل تنش‌های غیرزنده توسط گیاه می‌شود (۳۱).

در پژوهشی، کاربرد دو نوع عصاره FZB24 و اکتیویو به‌طور معنی‌داری سبب افزایش تعداد برگ، وزن‌تر و خشک برگ‌ها و عملکرد در کاهو پیچ شدند. در رابطه با عملکرد، اثر اکتیویو بیش از زیست محرک[1] دیگر بود و بیشترین مقدار کلروفیل، قند کل و کاروتنوئید و کمترین مقدار نیترات در برگ گیاهانی که با این دو زیست محرک تیمار شدند به دست آمد (۲۹). روی درختان سیب دارای سال آوری، اکتیویو با کاهش نوسان بین سال‌های آور و ناآور اثرات منفی این عارضه را تعدیل کرد (۳۰). در پژوهشی دیگر، کاربرد این ماده روی توت‌فرنگی رقم کوپین الیزا در گلخانه سبب افزایش رشد رویشی (۱۰ درصد)، محتوای کلروفیل برگ (۱۱ درصد)، تراکم روزنه (۶/۵ درصد)، نرخ فتوسنتز و تولید میوه (۲۷ درصد) و وزن میوه در شرایط کمبود آهن شد. مهم‌ترین نتیجه، افزایش زیست‌توده[2] گیاه بود، ماده خشک گیاه به بیش از ۲۷ درصد و ماده خشک ریشه به بیش از ۷۶ درصد افزایش یافتند. همچنین مشاهده شد که اکتیویو تأثیر مثبتی روی جمعیت میکروبی همراه ریشه دارد (۳۱). در پژوهشی دیگر، کاربرد اکتیویو سبب افزایش درصد ریشه‌زایی و میانگین وزن‌تر ریشه‌ها نسبت به شاهد در قلمه‌های گیاه کاملیا شد (۱۴). اکتیویو همچنین سبب افزایش معنی‌دار نمو ریشه، میزان کلروفیل و عملکرد و کاهش محتوای نیترات در گیاه منداب[3] در شرایط هیدروپونیک گردید (۳۶).

یکی از مشکلات کشاورزی در کشور ما وجود یون بی‌کربنات در خاک (خاک‌های آهکی) یا آب آبیاری است که سبب افزایش pH محیط ریشه گیاه می‌گردد. آشکارترین علامت زیاد بودن pH خاک، القای کلروز بین رگبرگی در برگ‌های جوان گیاه و بازماندن از رشد است. کلروز القا شده[4] در این حالت، به کمبود آهن به دلیل کاهش جذب آهن یا کاهش دسترسی به آن نسبت داده می‌شود (۷ و ۲۵). کاهش رشد گیاه همچنین می‌تواند به دلیل اثر بازدارنده بیکربنات روی فرآیندهای متابولیکی و تخریب فعالیت ریشه (۸) و نیز روی حلالیت عناصر غذایی باشد (۵). کاربرد زیست محرک‌ها ممکن است بتواند به بهبود پروتکل‌های کنونی کشت کمک کند. مواد زیست فعال[5] استخراج‌شده از جلبک‌های دریایی که به‌عنوان علف دریا[6] شناخته می‌شوند، به‌طور گسترده‌ای در کشاورزی و باغبانی استفاده‌شده و اثرات مفیدی روی کمیت و کیفیت محصولات داشته‌اند (۱۹). عصاره جلبک‌های دریایی که به شکل مایع یا پودر قابل‌حل در آب عرضه می‌شود، یک منبع غذایی در دسترس آسان می‌باشند که حاوی برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و همچنین اسمولیت‌های آلی مثل بتائین‌ها، اسیدهای آمینه، موادمعدنی، ویتامین و پیش سازهای ویتامین است (۶). برخلاف کودهای شیمیایی، عصاره جلبک‌های دریایی زیست‌تخریب‌پذیر[7] و غیر سمی بوده و برای انسان و حیوانات خطری ندارند (۱۲). گزارش‌های علمی و تجربی نشان می‌دهند که کاربرد این مواد سبب تسریع جوانه‌زنی بذور و استقرار گیاهان، افزایش رشد ریشه، جذب مواد غذایی و تشکیل میوه، افزایش مقاومت به آفات و بیماری‌ها و تنش‌های محیطی (مانند خشکی و شوری و دماهای زیاد) و بهبود کیفیت و عمر قفسه‌ای محصول می‌شود (۱۹ و ۲۷).

پژوهش‌های زیادی برای تعیین مناسب‌ترین راهکارها برای غلبه بر کلروز ناشی از کمبود آهن در توت‌فرنگی انجام شده است (۱۳ ، ۳۳ و ۴۰). امروزه کاربرد کلات‌های آهن و محلول‌پاشی برگی آن‌ها مقبول‌ترین شیوه برای رفع این مشکل تغذیه‌ای است (۲)، اما مصرف این مواد علاوه بر تحمیل هزینه‌های زیاد، سبب بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود؛ بنابراین جستجو برای یافتن راهکارهای جایگزین، ضروری به نظر می‌رسد. اکتیویو یک زیست محرک است که می‌تواند در این هدف مشارکت کند (۳۱). هدف از این پژوهش، بررسی امکان جایگزینی کلات آهن در محلول غذایی با اکتیویو در دو

1- Biostimulant
2- Biomass

3- *Eruca sativa*
4- Induced chlorosis
5- Bioactive
6- Sea weed
7- Biodegradable

pH متعارف و قلیایی و تأثیر آن روی برخی ویژگی‌های رویشی و بیوشیمیایی دو رقم توت‌فرنگی در سیستم کشت بدون خاک بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در گلخانه و آزمایشگاه پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان انجام شد. عصاره جلبک دریایی با نام تجاری اکتیویو ساخت شرکت والاگرو[1] کشور ایتالیا در بسته‌های یک لیتری از شرکت واردکننده این محصول (شرکت خدمات کشاورزی گل پروران واقع در مشهد) خریداری شد. اواخر زمستان سال ۱۳۹۴ نشاءهای توت‌فرنگی[2] ارقام کاماروسا و سلوا از مرکز تحقیقات کشاورزی استان کردستان تهیه گردیدند و در گلدان‌های ۴ لیتری محتوی کوکوپیت و پرلیت (به نسبت مساوی) کشت شدند و یک هفته پس از استقرار گیاهان برنامه آبیاری و تغذیه گیاهان به‌صورت دستی با تیمارهای غذایی موردنظر آغاز گردید. تغذیه گیاهان دو بار در هفته با مقادیر ۲۰۰-۱۰۰ میلی‌لیتر محلول هوگلند (شامل عناصر درشت مغذی: نیترات پتاسیم ۶، نیترات کلسیم ۴، فسفات آمونیوم ۲ و سولفات منیزیم ۱ میلی‌مولار و عناصر ریزمغذی: کلرید پتاسیم ۵۰، کلات آهن سکوسترین ۴۲/۵، اسید بوریک ۲۵، سولفات منگنز ۵/۵۹، سولفات روی ۱/۹۹، سولفات مس ۰/۵ و مولیبدات سدیم ۰/۱۲ میکرومولار) بسته به میزان رشد گیاه انجام شد. تنظیم pH و EC محلول غذایی توسط pH متر (۰/۱±۶) و EC متر (۰/۱ ±۱/۱ دسی زیمنس بر متر) انجام گرفت. به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک در اطراف ریشه گیاهان، گلدان‌ها هفته‌ای یک‌بار آبشویی شدند. طی دوره رشد، دمای حداکثر گلخانه ۱±۲۴ و دمای حداقل ۱±۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵±۶۵ درصد بود و گیاهان تحت نور طبیعی قرار داشتند (۱۱۰۰-۶۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه).

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور شامل رقم توت‌فرنگی در ۲ سطح (کاماروسا و سلوا) و تیمار آهن در ۴ سطح به شرح ذیل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل ۵ گلدان و هر گلدان محتوی یک بوته توت‌فرنگی بود. برای ارزیابی بهتر تأثیر اکتیویو، کلات آهن در یک تیمار از محلول غذایی حذف شد و به‌جای آن از اکتیویو استفاده گردید و در تیمار دیگر، شرایطی ایجاد شد که عملکرد اکتیویو در pH قلیایی (با کاهش دسترسی گیاه به آهن) بررسی شود. سطوح تیمارها به شرح ذیل بودند: محلول کامل هوگلند با pH معادل ۶ (شاهد)، محلول هوگلند با pH معادل ۶ بدون کلات آهن + ۰/۲۵ میلی‌لیتر در لیتر اکتیویو، محلول کامل هوگلند با pH معادل ۸ (حاوی بی‌کربنات پتاسیم با غلظت ۱۰ میلی‌مولار) و محلول هوگلند با pH معادل ۸ (حاوی بی‌کربنات پتاسیم با غلظت ۱۰ میلی‌مولار) بدون کلات آهن + ۰/۲۵ میلی‌لیتر در لیتر اکتیویو.

تغذیه گیاهان به شیوه بالا تا دو ماه ادامه یافت و در پایان ماه دوم وزن تر و خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد. همچنین میزان کلروفیل‌های a، b و کل و نیز کاروتنوئیدها به روش پورا (۲۲) توسط استخراج با استون ۸۰ درصد اندازه‌گیری گردید و درنهایت میزان جذب محلول‌های حاصل برای سنجش غلظت کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها به ترتیب در طول موج‌های ۶۶۴، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر یووی واریان مدل کری ۱۰۰[3] ساخت امریکا قرائت و با استفاده از روابط زیر محاسبه و برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بیان شد، که در آن‌ها A بیانگر جذب در طول موج‌های ذکر شده است:

کلروفیل a (۱) $Chl_a= (12.25\times A664)-(2.55\times A645)$

کلروفیل b (۲) $Chl_b = (20.31\times A645)-(4.91\times A664)$

کلروفیل کل (۳) $Chl_t = Chl_a + Chl_b$

کاروتنوئیدها (۴) $Carotenoids = 1000\times A470-1.82\ chl_a-85.02\ chl_b /198$

ارزیابی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در نمونه‌های برگ تازه به ترتیب با استفاده از روش ابی (۴) و رانیری و همکاران (۲۳) انجام شد. میزان جذب عصاره‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر یووی واریان مدل کری ۱۰۰ ساخت امریکا در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۵ دقیقه با فواصل ۲۰ ثانیه (برای کاتالاز) و طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه با فواصل ۲۰ ثانیه (برای آسکوربات پراکسیداز) قرائت شد و درنهایت فعالیت ویژه آنزیم‌ها با استفاده از فرمول‌های مربوطه برحسب میزان جذب میلی‌گرم پروتئین در هر دقیقه محاسبه گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری آهن کل و فعال موجود در برگ و ریشه، ابتدا نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس پودر شدند. عصاره گیری از نمونه‌ها به روش عبدالشافی و همکاران (۳) برای آهن کل و روش تاکار و کائور (۳۲) برای آهن فعال به عمل آمد و سپس میزان جذب عصاره‌های حاصل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی واریان مدل اسپکترا ۲۲۰[4] ساخت آمریکا قرائت شد و نهایتاً غلظت دو نوع آهن کل و فعال برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک محاسبه گردید.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

1- Valagro
2- *Fragaria ×ananassa*
3- UV,Varian, Carry 100
4- SpectrAA 220

نتایج و بحث

استفاده از اکتیویو اثر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) روی گیاهان از لحاظ وزن تر و خشک اندام هوایی برجا گذاشت. میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی در رقم کاماروسا بیشتر از سلوا بود. در رقم کاماروسا بین تیمار شاهد و تیمار جایگزینی اکتیویو با کلات آهن در pH=۶ اختلافی وجود نداشت و بیشترین میزان وزن تر و خشک از این تیمارها به دست آمد (به ترتیب ۴۰/۸ و ۱۱/۶ گرم). در مقابل، کمترین مقدار این ویژگی‌ها در تیمار محلول کامل هوگلند با pH= ۸ در رقم سلوا مشاهده شد (به ترتیب ۲۵/۱ و ۷/۸ گرم) (جدول ۱).

جدول ۱- اثر اکتیویو روی وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در دو رقم توت‌فرنگی

Table 1- The effect of Actiwave on shoots and root fresh and dry weight in two strawberry cultivars

تیمارها Treatments	وزن تر اندام‌های هوایی Fresh weight of shoots (g)	وزن خشک اندام‌های هوایی Dry weight of shoots (g)	وزن تر ریشه‌ها Fresh weight of roots (g)	وزن خشک ریشه‌ها Dry weight of roots (g)
رقم Cultivar				
C1	37.87a	10.76a	26.12a	5.24a
C2	31.79b	9.45b	18.95b	4.37b
تیمار غذایی Nutrient treatmet				
T1	38.75a	11.03a	22.58a	4.66a
T2	36.16ab	10.51a	24.08a	4.89a
T3	29.00c	8.61b	19.91b	4.60a
T4	35.41b	10.28a	23.58a	5.08a
اثر متقابل Interaction effect				
C1×T1	42.83a	12.06a	25.50b	5.01abc
C1×T2	40.83a	11.60ab	29.16a	5.39ab
C1×T3	32.83b	9.43c	21.33c	4.92abc
C1×T4	35.00b	9.96c	28.50ab	5.63a
C2×T1	34.66b	10.00c	19.66c	4.30c
C2×T2	31.50b	9.43c	19.00c	4.39bc
C2×T3	25.16c	7.80d	18.50c	4.29c
C2×T4	35.83b	10.60bc	18.66c	4.52bc

C1 : رقم کاماروسا، C2 : رقم سلوا، T1 : تیمار هوگلند کامل pH=6، T2 : تیمار هوگلند بدون آهن حاوی اکتیویوpH=6، T3: تیمار هوگلند کامل pH=8، T4: تیمار هوگلند بدون آهن حاوی اکتیویوpH=8

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

C1: Camarosa cultivar, C2: Selva cultivar, T1: Absolute Hoagland Treatment pH=6, T2: iron-free Hoagland containing Actiwave pH=6, T3: Absolute Hoagland Treatment pH=8, T4: iron-free Hoagland containig Actiwave pH=8

Columns and group's treatments with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

در مورد وزن تر ریشه‌ها نیز، اثر اکتیویو در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و همچنان رقم کاماروسا وزن تر ریشه بیشتری نسبت به سلوا نشان داد. تیمارهای جایگزینی اکتیویو با کلات در هر دو pH ۶ و ۸ در رقم کاماروسا به ترتیب با ۲۹/۱ و ۲۸/۵ گرم، بیشترین میزان وزن تر ریشه را نسبت به سایر تیمارها عرضه کردند. دو رقم توت‌فرنگی تنها از لحاظ وزن خشک ریشه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار (در سطح یک درصد) نشان دادند (وزن خشک ریشه کاماروسا بیشتر از سلوا بود)، اما بین تیمارها اختلاف معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد (جدول ۱).

در مورد میزان کلروفیل برگ‌ها، رقم سلوا کلروفیل a بیشتری از کاماروسا داشته و تیمار جایگزینی اکتیویو با کلات آهن در pH=۸ از این نظر بهتر از بقیه تیمارها بود. در مورد کلروفیل b ، بیشترین میزان مربوط به تیمار جایگزینی اکتیویو با کلات در pH=۸ رقم کاماروسا و کمترین آن مربوط به تیمار محلول کامل هوگلند با pH=۸ رقم سلوا بود. در مورد کلروفیل کل نیز همین نتایج در تیمارها وجود داشت. اثر اکتیویو روی میزان کاروتنوئید برگ‌ها نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید، به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در تیمار شاهد و کمترین آن در محلول کامل هوگلند با pH=۸ مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲- اثر اکتیویو روی محتوای رنگیزه‌ها و فعالیت آنزیم‌ها در دو رقم توت‌فرنگی

Table 2- The effect of Actiwave on pigment content and enzyme activities in two strawberry cultivars

تیمارها Treatments	کلروفیلa Chlorophyll a (mg/g FW)	کلروفیلb Chlorophyll b (mg/g FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g FW)	کاروتنوئیدها Carotenoids (mg/g FW)	کاتالاز Catalase (abs/min/mg protein)	پراکسیداز Peroxidase (abs/min/mg protein)
رقم Cultivar						
C1	1.20b	0.56a	1.76a	0.51a	0.08a	0.46a
C2	1.32a	0.51a	1.84a	0.50a	0.07a	0.54a
تیمار غذایی Nutrient treatmet						
T1	1.29ab	0.53a	1.83ab	0.57a	0.10a	0.61a
T2	1.20b	0.60a	1.80b	0.50ab	0.07b	0.51a
T3	1.16b	0.41b	1.57c	0.45b	0.05c	0.36b
T4	1.39a	0.60a	2.00a	0.52ab	0.07bc	0.54a
اثر متقابل Interaction effect						
C1×T1	1.19abc	0.48bc	1.68cd	0.56ab	0.09ab	0.65a
C1×T2	1.14bc	0.58ab	1.72bcd	0.52ab	0.07bc	0.50abc
C1×T3	1.09c	0.47bc	1.57d	0.45b	0.06bcd	0.33c
C1×T4	1.38ab	0.69a	2.07a	0.52ab	0.07bcd	0.38bc
C2×T1	1.39ab	0.58ab	1.98ab	0.58a	0.11a	0.57ab
C2×T2	1.25abc	0.62ab	1.87abc	0.47ab	0.07bc	0.53abc
C2×T3	1.23abc	0.34c	1.57d	0.45b	0.04d	0.38bc
C2×T4	1.41a	0.50b	1.92abc	0.52ab	0.06cd	0.69a

C1 : رقم کاماروسا، C2 : رقم سلوا، T1 : تیمار هوگلند کامل pH=6، T2 : تیمار هوگلند بدون آهن حاوی اکتیویو pH=6، T3: تیمار هوگلند کامل pH=8، T4: تیمار هوگلند بدون آهن حاوی اکتیویو pH=8

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

C1: Camarosa cultivar, C2: Selva cultivar, T1: Absolute Hoagland Treatment pH=6, T2: iron-free Hoagland containing Actiwave pH=6, T3: Absolute Hoagland Treatment pH=8, T4: iron-free Hoagland containig Actiwave pH=8

Columns and group's treatments with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

کاربرد اکتیویو اثر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) روی فعالیت آنزیم کاتالاز موجود در برگ‌ها گذاشت. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد (۰/۱) و کمترین آن در تیمار محلول کامل هوگلند با pH=۸ (۰/۰۵) وجود داشت. در مورد فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز نتایج مشابهی به دست آمد. تیمار محلول کامل هوگلند با pH=۸ کمترین میزان فعالیت آنزیم را نشان داده و بین بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۲).

شهاتا و همکاران (۲۹) بیان کردند که کاربرد اکتیویو سبب افزایش معنی‌دار تعداد برگ و وزن تر و خشک آن‌ها در کاهو پیچ شد و این اثرات با زیاد شدن غلظت ماده بیشتر و واضح‌تر بود. بیشترین مقدار کلروفیل و کاروتنوئید نیز از برگ گیاهانی که با این زیست محرک تیمار شدند به دست آمد. همچنین ورنیری و همکاران (۳۶) در آزمایشی مشابه دریافتند که اکتیویو به‌طور معنی‌داری سبب افزایش رنگ‌دانه‌های برگ در گیاه منداب شد. نتایج آزمایش حاضر در خصوص تأثیر این عصاره جلبک دریایی روی ویژگی‌های یادشده با یافته‌های محققین بالا مطابقت دارد.

علت این اثرات می‌تواند به دلیل محتوای ترکیبی اکتیویو شامل بتائین‌ها، آلژینات‌ها و کاهیدرین (از مشتقات ویتامین K) باشد. ازآنجاکه بتائین‌ها فعالیت سیتوکنینی دارند، می‌توانند باعث افزایش رشد ریشه از طریق بالا بردن میزان تقسیم سلول‌ها گردند (۹). افزایش محتوای کلروفیل نیز که می‌تواند نتیجه کاهش تجزیه کلروفیل باشد، احتمالاً به وجود بتائین‌ها در عصاره جلبک دریایی برمی‌گردد (۳۸).

در پژوهشی دیگر که توسط اسپینلی و همکاران (۳۱) انجام شد، استفاده از اکتیویو به‌طور معنی‌داری عملکرد رویشی گیاه توت‌فرنگی را تحت تأثیر قرار داد و سبب افزایش طول و وزن خشک طوقه، وزن تر و خشک ریشه و میزان کلروفیل برگ شد. در بررسی‌های ذکرشده به‌طورکلی اثر اکتیویو و کلات آهن روی پارامترهای مختلف رویشی گیاهان موردمطالعه مشابه بود که یافته‌های این آزمایش نیز این موضوع را تأیید کرد.

رشد رویشی بهتر و عملکرد بالاتر در گیاهان تیمار شده با عصاره جلبک دریایی نشان داد که عناصر غذایی و فتوآسیمیلات‌های بیشتری برای اندام‌های مختلف گیاه فراهم شده است. گیاهان تیمار شده با اکتیویو سیستم ریشه‌ای گسترده‌تری تولید کردند که می‌توانند به‌طور مؤثری روی افزایش جذب عناصر غذایی اثر داشته باشد. تحریک رشد ریشه و افزایش وزن آن پس از تیمار با اکتیویو در گیاهان دیگر نیز مشاهده شده است (۶، ۱۴ و ۳۷). به‌علاوه، حضور کاهیدرین و آلژینیک اسید در اکتیویو، با اسیدی کردن ریزوسفر سبب تحرک و آزادسازی بیشتر یون‌ها در اطراف ریشه شده که نتیجه آن دریافت بیشتر یون‌ها توسط گیاه و افزایش آسیمیلاسیون آن‌هاست (۳۷).

گزارش‌های مختلفی در مورد کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، تحت شرایط کمبود آهن وجود دارد زیرا این آنزیم‌ها حاوی آهن بوده و فعالیت آن‌ها در این شرایط تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این آنزیم‌ها در گیاهان خنثی‌کننده پراکسید هیدروژن هستند (۳۹). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد اکتیویو سبب کاهش تنش وارده به گیاهان در اثر کمبود آهن شده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش می‌دهد.

کاربرد اکتیویو اثر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) روی میزان آهن کل برگ‌ها داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در تیمار هوگلند کامل با pH=۶ در رقم سلوا (۸۷/۲ میلی‌گرم) و کمترین آن در همین تیمار با pH=۸ در رقم کاماروسا (۵۳/۴ میلی‌گرم) مشاهده شد. اثر اکتیویو روی میزان آهن کل ریشه معنی‌دار نشد، اما ارقام از این نظر تفاوت نشان دادند، به‌طوری‌که میزان آهن کل در ریشه رقم کاماروسا بیشتر از سلوا بود (جدول ۳).

جدول ۳: اثر اکتیویو روی محتوای آهن کل و آهن فعال برگ و ریشه در دو رقم توت‌فرنگی

Table 3: The effect of Actiwave on shoots and root's total and active iron in two strawberry cultivars

تیمارها Treatments	آهن کل برگ Total leaf Fe (mg/kg DW)	آهن کل ریشه Total root Fe (mg/kg DW)	آهن فعال برگ Active leaf Fe (mg/kg DW)	آهن فعال ریشه Active root Fe (mg/kg DW)
رقم Cultivar				
C1	58.23b	219.44a	17.60b	47.70b
C2	69.79a	169.38b	20.68a	52.65a
تیمار غذایی Nutrient treatmet				
T1	72.32a	190.03a	22.65a	48.99bc
T2	65.71ab	204.15a	20.07ab	54.38a
T3	61.76bc	194.10a	16.43c	46.07c
T4	56.25c	189.35a	17.41bc	51.25ab
اثر متقابل Interaction effect				
C1×T1	57.37cde	223.00ab	23.22a	44.83de
C1×T2	63.87bcd	235.42a	17.30bc	57.05a
C1×T3	53.43e	215.46ab	14.15c	42.62e
C1×T4	58.25cde	203.87abc	15.75bc	46.30cde
C2×T1	87.26a	157.06c	22.07a	53.15ab
C2×T2	67.56bc	172.87bc	22.85a	51.72abc
C2×T3	70.09b	172.75bc	18.72ab	49.53bcd
C2×T4	54.25de	174.83bc	19.07ab	56.20a

C1 : رقم کاماروسا، C2 : رقم سلوا، T1 : تیمار هوگلند کامل pH=6، T2 : تیمار هوگلند بدون آهن حاوی اکتیویو pH=6، T3: تیمار هوگلند کامل pH=8، T4: تیمار هوگلند بدون آهن حاوی اکتیویو pH=8

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

C1: Camarosa cultivar, C2: Selva cultivar, T1: Absolute Hoagland Treatment pH=6, T2: iron-free Hoagland containing Actiwave pH=6, T3: Absolute Hoagland Treatment pH=8, T4: iron-free Hoagland containig Actiwave pH=8

Columns and group's treatments with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

تفاوت بین ارقام و تیمارها از نظر میزان آهن فعال برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد، به‌طوری‌که رقم سلوا آهن فعال بیشتری نسبت به کاماروسا در برگ داشت، همچنین میزان این عنصر در برگ گیاهان تیمار شده با اکتیویو در pH=۶ مشابه گیاهان شاهد بود (۲۲/۶ در تیمار شاهد و ۲۰/۰۷ میلی‌گرم در تیمار اکتیویو). میزان آهن فعال برگ در تیمار جایگزینی اکتیویو با آهن در pH=۸ بالاتر از تیمار

حاوی آهن با pH=۸ بود، اما بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت. از لحاظ میزان آهن فعال ریشه نیز تفاوت در ارقام و تیمارها وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان آهن فعال به ترتیب در شرایط جایگزینی اکتیویو با کلات در pH ۶ و ۸ رقم کاماروسا و سلوا مشاهده گردید و کمترین میزان آهن فعال از ریشه رقم کاماروسا در تیمار هوگلند کامل با pH=۸ به دست آمد (جدول ۳). در کل رقم کاماروسا نسبت به سلوا حساسیت بیشتری به کمبود آهن نشان داد که به این موضوع در منابع نیز اشاره شده است (۱۶).

اثبات شده است که غلظت آهن در برگ همیشه شاخص مناسبی برای بررسی وضعیت آهن گیاه نیست و حتی تحت شرایط خاص، گیاهانی که کلروز آهن نشان می‌دهند مقدار آهن بیشتری در برگ‌ها نسبت به گیاهان بدون کلروز دارند (۳۹). در این مطالعه نیز میزان آهن کل برگ و ریشه در تیمار هوگلند با pH=۸ بالا بود که البته دلیل این امر هنوز کاملاً مشخص نشده است. برخی پژوهش‌ها این امر را به محدود شدن رشد برگ‌های جوان و تجمع آهن در بافت‌ها یا غیرفعال شدن آهن در بافت‌ها (با فرآیند قلیایی شدن در آپوپلاست برگ) نسبت می‌دهند (۳۹).

رویز و همکاران (۲۸) در مطالعه تعدادی از ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی نشان دادند که فعالیت آسکوربات پراکسیداز حاوی آهن و آهن استخراج شده با هیدروکلریدریک اسید، مؤثرترین شاخص‌ها برای بررسی وضعیت آهن گیاه هستند. ایتوربه و همکاران (۱۸) نیز دریافتند که فعالیت آسکوربات پراکسیداز حاوی آهن و کاتالاز همبستگی بیشتری با وضعیت آهن در گیاه نخود دارند و غلظت آهن کل گیاه در این رابطه اهمیت کمتری دارد.

بررسی رابطه بین شدت کلروز آهن برگ، غلظت آهن کل و فعالیت آنزیم‌های حاوی آهن در برگ دو رقم گوجه‌فرنگی حساس و مقاوم به کمبود آهن نیز نشان داد که در شرایط کمبود آهن که میزان کلروفیل برگ کاهش یافت، غلظت آهن کل برگ‌ها در دو رقم مشابه بود، اما فعالیت آنزیم‌های حاوی آهن وابستگی زیادی به شدت کلروز برگ داشت (۳۹). نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که برای بررسی وضعیت آهن برگ و مقاومت گیاه به کمبود آهن، اندازه‌گیری آنزیم‌های حاوی آهن در برگ قابل‌اعتمادتر از اندازه‌گیری غلظت آهن کل است. به نظر می‌رسد که در ارقام مقاوم به کمبود آهن، از لحاظ فیزیولوژیکی آهن قابل‌دسترس بیشتری در بافت‌ها نسبت به ارقام حساس وجود دارد (۳۹).

غلظت زیاد بی‌کربنات در محلول خاک، مهم‌ترین فاکتور القای کلروز آهن در گونه‌های دولپه بوده و از جذب آهن توسط ریشه‌ها و انتقال آن به شاخه‌ها و برگ‌ها جلوگیری می‌کند. بی‌کربنات یک بافر قوی pH است که پروتون رهاشده به‌وسیله پمپ پروتون غشای پلاسمایی ریشه را خنثی کرده و سبب افزایش pH آپوپلاست ریشه می‌گردد که نتیجه آن جلوگیری از احیای Fe^{3+} متصل به غشای پلاسمایی ریشه است (۲۴). علاوه بر اثر بی‌کربنات روی جذب آهن توسط ریشه‌ها، پیشنهاد شده که غیرفعال شدن آهن در برگ‌ها نیز می‌تواند عامل کلروز آهن باشد که همراه با افزایش pH آپوپلاست برگ و جلوگیری از فرآیندهای احیای Fe^{3+} در برگ است (۲۰). آهن فعال (Fe^{2+}) که از احیای Fe^{3+} در برگ به دست می‌آید اهمیت فیزیولوژیکی خاصی به‌ویژه برای بیوسنتز کلروفیل دارد (۱).

در بررسی نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات برای کاهش اثرات منفی قلیایی شدن محلول غذایی ناشی از وجود بی‌کربنات در کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی، پیشنهاد شده است که اثرات منفی قلیاییت با افزایش سهم آمونیوم در محلول کمتر شده و وجود آمونیوم سبب عملکرد بهتر گیاهان می‌شود (۲۶). احتمالاً در حضور مقادیر کم بی‌کربنات، گیاه سهم بیشتر نیتروژن را به فرم آمونیوم جذب می‌کند که سبب کاهش pH محیط می‌شود. pH پایین می‌تواند به دلیل فعال کردن Fe–رداکتاز سبب حلالیت بیشتر آهن و افزایش میزان آهن در گیاه شود (۱۵).

اضافه کردن اسید به آب، کاربرد بسترهایی با pH پایین، کاهش مقدار کلسیت یا دولومیت در زمان آماده‌سازی بستر، استفاده از ارقام و گونه‌های مقاوم و تغذیه اصولی، از عملیات باغبانی غلبه بر قلیاییت آب هستند. همچنین، کاربرد کودهای با واکنش اسیدی وسیله خوبی برای کنترل قلیاییت ملایم می‌باشند. (۲۱).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، کاربرد اکتیویو به‌جای کلات آهن در pH=۶ محلول غذایی باعث شد که وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، وزن تر ریشه‌ها، محتوای کلروفیل کل، فعالیت آنزیم پراکسیداز و آهن فعال برگ گیاهان توت‌فرنگی با گیاهان شاهد تفاوتی نداشته باشد، که نشان‌دهنده توانایی زیست محرک اکتیویو در کاهش تنش وارده به گیاهان بود. هم‌چنین کاربرد محلول غذایی حاوی آهن در pH=۸ سبب افت ویژگی‌های یادشده در گیاهان شد، اما استفاده از اکتیویو در این شرایط سبب بهبود آن‌ها گردید. زیست محرک اکتیویو با دارا بودن ترکیبات خاص مانند بتائین‌ها، آلژینات‌ها و کاهیدرین توانایی اصلاح و تعدیل فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه را داشته و از این طریق روی رشد و نمو و واکنش به تنش اثر می‌گذارد. درمجموع می‌توان گفت این زیست محرک امکان پرورش گیاه توت‌فرنگی را در شرایط هیدروپونیک بدون استفاده از ترکیبات مصنوعی آهن فراهم می‌کند.

منابع

1- Abadia J. 1992. Leaf responses to Fe deficiency: a review. Journal of Plant Nutrition, 15(10):1699-1713.
2- Abadia J., Álvarez-Fernández A., Morales F., Sanz M., and Abadia A. 2002. Correction of iron chlorosis by foliar sprays. Acta Horticulturae, 594:115-121.
3- Abdel-Shafy H.I., Hegemann W., and Teiner A. 1994. Accumulation of metals by vascular plants. Environment Management and Health, 5(2):21-24.
4- Aebi H. 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105:121- 126.
5- Alcántara E., Romera F.J., and De la Guardia M.D. 1988. Genotypic differences in bicarbonate-induced iron chlorosis in sunflower. Journal of Plant Nutrition, 11(1):65-75.
6- Berlyn G., and Russo R. 1990. The use of organic bio-stimulants to promote root growth. Belowground Ecology, 2:12–13.
7- Bertoni G.M., Pissaloux A., Morard P., and Sayag D.R. 1992. Bicarbonate-pH relationship with iron chlorosis in white lupine. Journal of Plant Nutrition, 15(10):1509-1518.
8- Biatczyk J., Lechowski Z., and Libik A. 1994. Growth of tomato seedlings under different HCO^{-}_{3} concentration in the medium. Journal of Plant Nutrition, 17(5):801-816.
9- Blunden G., Wildgoose P.B., and Nicholson F.E. 1979. The effects of aqueous seaweed extract on sugar beet. Botanica Marina, 22(8):539-542.
10- Blunden G., Jenkins T., and Liu Y.W. 1996. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. Journal of Applied Phycology, 8(6):535-543.
11- Chen S.K., Edwards C.A., and Subler S. 2003. The influence of two agricultural biostimulants on nitrogen transformations, microbial activity, and plant growth in soil microcosms. Soil Biology and Biochemistry, 35(1):9-19.
12- Dhargalkar V.K., and Pereira N. 2005. Seaweed: promising plant of the millennium. Science and Culture, 71(3-4): 60-66.
13- Erdal I., Kepenek K., and Kizilgöz I. 2006. Effect of elemental sulphur and sulphur containing waste on the iron nutrition of strawberry plants grown in a calcareous soil. Biological Agriculture and Horticulture, 23(3):263-272.
14- Ferrante A., Trivellini A., Vernieri P., and Piaggesi A. 2013. Application of Actiwave® for improving the rooting of Camellia cuttings. Acta Horticulturae, 1009:213-218.
15- Flores P., Carvajal M., Cerdá A., and Martínez V. 2001. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. Journal of Plant Nutrition, 24(10):1561-1573.
16- Hancock J.F. 1999. Strawberries: Crop Production Science in Horticulture Series. CABI Publishing, Wallingford, UK. 237 p.
17- Huang J., Hirji R., Adam L., Rozwadowski K.L., Hammerlindl J.K., Keller W.A., and Selvaraj G. 2000. Genetic engineering of glycinebetaine production toward enhancing stress tolerance in plants: metabolic limitations. Plant Physiology, 122(3):747-756.
18- Iturbe-Ormaetxe I., Moran J.F., Arrese-Igor C., Gogorcena Y., Klucas R.V., and Becana M. 1995. Activated oxygen and antioxidant defences in iron-deficient pea plants. Plant Cell and Environment, 18(4):421-429.
19- Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J., and Prithiviraj B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. Journal of Plant Growth Regulation, 28(4):386-399.
20- Mengel K., Planker R., and Hoffmann B. 1994. Relationship between leaf apoplast pH and iron chlorosis of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Plant Nutrition, 17(6):1053-1065.
21- Nelson P. V. 1998. Greenhouse Operation and Management. Prentice Hall. USA. 692 p.
22- Porra R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research, 73(1-3):149-156.
23- Ranieri A., Castagna A., Pacini J., Baldan B., Mensuali Sodi A., and Soldatini G.F. 2003. Early production and scavenging of hydrogen peroxide in the apoplast of sunflower plants exposed to ozone. Journal of Experimental Botany, 54(392):2529-2540.
24- Romera F.J., Alcántara E., and de la Guardia M.D. 1992. Effect of bicarbonate, phosphate and high pH on the reducing capacity of the Fe-deficient sunflower and cucumber plants. Journal of Plant Nutrition, 15(10):1519-1530.
25- Roosta H.R. 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentrations in lettuce. Journal of Plant Nutrition, 34(5): 717–731.
26- Roosta H.R. 2014. Effect of Ammonium: Nitrate ratios in the response of strawberry to alkalinity in hydroponics. Journal of Plant Nutrition, 37(10):1676–1689.
27- Ross R.E., Subramanium S., Sangha J.S., Critchley A.T., and Prithibiraj B. 2011. A review of seaweed extract induced suppression of plant diseases. pp: 19-24. In: 4th Congress International Society for Applied Phycology, 19-24 June 2011. Halifax, Canada.

28- Ruiz J.M., Baghour M., and Romero L. 2000. Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the response of some bioindicators. Journal of Plant Nutrition, 23(11-12):1777-1786.
29- Shehata S.M., Schmidhalter U., Valšíková M., and Junge H. 2016. Effect of bio-stimulants on yield and quality of head lettuce grown under two sources of nitrogen. Gesunde Pflanzen, 68(1):33-39.
30- Spinelli F., Fiori G., Noferini M., Sprocatti M., and Costa G. 2009. Perspectives on the use of a seaweed extract to moderate the negative effects of alternate bearing in apple trees. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 84(6):131-137.
31- Spinelli F., Fiori G., Noferini M., Sprocatti M., and Costa G. 2010. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. Scientia Horticulturae, 125(3):263-269.
32- Takkar P.N., and Kaur N.P. 1984. HCl method for Fe2+ estimation to resolve iron chlorosis in plants. Journal of Plant Nutrition, 7(1-5):81-90.
33- Türemis N., Ozguven A.L., Paydas S., and Idem G. 1997. Effects of sequestrene Fe-138 as foliar and soil application on yield and earliness of some strawberry cultivars in the subtropics. Acta Horticulturae, 441: 369–374.
34- Van Noordwijk M., and Cadisch G. 2002. Access and excess problems in plant nutrition. Plant and Soil, 247: 25–40.
35- Verkleij F.N. 1992. Seaweed extracts in agriculture and horticulture: a review. Biological Agriculture and Horticulture, 8(4):309-324.
36- Vernieri P., Borghesi E., Ferrante A., and Magnani G. 2005. Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality. Journal of Food Agriculture and Environment, 3(3/4):86-88.
37- Vernieri P., Borghesi E., Tognoni F., Serra G., Ferrante A., and Piagessi A. 2006 .Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. Acta Horticulturae, 718: 477–484.
38- Whapham C.A., Blunden G., Jenkins T., and Hankins S.D. 1993. Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract. Journal of Applied Phycology, 5(2):231-234.
39- Yildiz Dasgan H., Ozturk L., Abak K., and Cakmak I. 2003. Activities of Iron-Containing Enzymes in Leaves of Two Tomato Genotypes Differing in Their Resistance to Fe Chlorosis. Journal of Plant Nutrition, 26(10-11):1997-2007.
40- Zaiter H.Z., Saad I., and Nimah M. 1993. Yield of iron-sprayed and non-sprayed strawberry cultivars grown on high pH calcareous soil. Journal of Plant Nutrition, 24(11-12): 1421-1436.

Journal of Horticultural Science
Vol. 33, No.1, Spring 2019, P. 101-111
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۱۱-۱۰۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Physiological and Biochemical Responses of Strawberries Affected by Seaweed Extract under Iron Deficiency Conditions

Rahimian[1] – M. Esna-Ashari[2]* – H. Sarikhani[3]

Received: 10-03-2018
Accepted: 12-02-2019

Introduction: Nowadays, crop production methods are moving towards organic farming through reducing the use of chemicals in agriculture. The new generation of seaweed extracts, like Actiwave, could be a promising approach to achieve a part of this goal. Actiwave is a metabolic enhancer derived from a type of brown algae, called *Ascophyllum nodosum*, and contains compounds that play an important role in plant metabolism. The application of this product on various plants has often improved their vegetative and reproductive characteristics. One of the important problems in our agricultural lands is the presence of bicarbonate ion in soil (calcareous soils) or irrigation water, which increases pH around plant's root followed by chlorosis between the veins in the young leaves resulting in a reduction or halt in plant growth. The induction of chlorosis in calcareous soils is attributed to iron deficiency due to reduction of iron absorption or availability. The use of biostimulants may help to improve plant growth under such conditions. The aim of this study was to investigate the possibility of replacing iron chelates in nutrient solution with Actiwave in two optimal and alkaline pH and its effect on some of the vegetative and biochemical properties of two strawberry cultivars in a soil-less system.

Materials and Methods: Strawberry seedlings of Camarosa and Salva cultivars were cultivated in pots containing coco-peat and perlite (1:1), followed by plant's irrigation and nourishment through a plant nutritional program. The project was conducted in a factorial experiment (with two factors) based on a completely randomized design with three replications. The first factor was strawberry cultivar in two levels including Camarosa and Salva, and the second factor was iron treatment in four levels consisting of Hoagland nutrient solution containing iron chelate (pH=6), iron-free nutrient solution containing 0.25 ml/l Actiwave (pH=6), Hoagland nutrient solution containing iron chelate (pH=8), and iron-free nutrient solution containing 0.25 ml/l Actiwave (pH=8). Plants were fed for two months, at the end of which, the roots and shoot's fresh and dry weight, chlorophylls a, b and total as well as carotenoids contents, catalase and ascorbate peroxidase activities in fresh leaf samples and also total Fe and active Fe in dried leaf and root samples were measured.

Results and Discussion: The results showed that the algae extract had a significant effect on all the measured parameters, so that fresh and dry weights of the aerial parts, fresh weight of the roots, as well as chlorophyll and active iron content of leaves in the treatment containing Actiwave with pH=6 was similar to the control plants. Evaluation of the activity of catalase and peroxidase enzymes in the leaf also showed that Actiwave application reduced iron deficiency stress in plants increasing the activity of these enzymes under such conditions. The reason behind these effects can be due to the Actiwave ingredient content, which includes betaine, alginates and kahydrin (derived from vitamin K). Since betaines have cytokine activity, they can increase root growth by increasing the amount of cell division. Increasing the chlorophyll content, which can be the result of reduced chlorophyll degradation, is probably due to the presence of betaines in the seaweed extract. In addition, the presence of kahydrin and alginic acid in Actiwave, with the acidification of the rhizosphere, stimulated the release of more ions around the roots, resulting in more ions received by the plant and increased their assimilation. As observed in this study, It has been proven that iron concentration in the leaf is not always an appropriate indicator for checking the state of iron in plants. Some studies attribute this to limiting the growth of young leaves and the accumulation of iron in tissues or inactivation of iron in tissues occurred through the process of alkalization in leaf apoplast. It is found that activity of catalase and ascorbate peroxidase containing iron and the iron extracted with hydrochloric acid are the most effective indices for checking the iron status in plants, and the concentration of the total iron is less important in this regard. According to the results of this study, algae extract was able to replace iron chelate in nutrient solution for growing strawberry, and so made it possible to produce this fruit by reducing the use of synthetic iron compounds. In other words, application of Actiwave instead of iron chelate is recommended in nutrient solution with pH=6.

Keywords: Actiwave, Organic agriculture, Soil-less culture, Nutrient solution

1, 2 and 3 - PhD Student of Horticultural Science, Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.esnaashari@basu.ac.ir)