بررسی اثر متقابل روی و منگنز بر عملکرد برخی از شاخص‌های فتوسنتز و رشد در گیاه گوجه فرنگی

(*Lycopersicon esculentum.* Mill cv. Urbana Early 111)

سارا سعادتمند، رمضانعلی خاوری نژاد، *سمیه ابراهیمی

گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

چکیده

در این مطالعه اثر متقابل روی ($\mu MZnSo_4 7H_2O$ ۰,۲۰,۳۰,۶۰) و منگنز ($\mu MMnSo_4 H_2O$ ۰,۱۰,۲۰,۳۰) بر برخی از شاخص‌های فتوسنتز و رشد گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum.* Mill cv. Urbana Early 111)، طی مدت ۴۲ روز از دوره رشد رویشی گیاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گیاه گوجه فرنگی در برابر تنش روی و منگنز دارای مقاومت کمی است. علائم سمیت روی و منگنز بعد از تیمار به صورت برآمدگی سطح پارانشیمی و تجمع رنگیزه‌های برگی مشاهده شد. تحت تنش روی و منگنز شاخص‌های فتوسنتزی و رشد شامل مقدار پروتئین ریشه و برگ، مقدار قندهای محلول و نامحلول ریشه، محتوی کلروفیل‌های a و b، سرعت رشد نسبی، سطح ویژه برگ و نسبت سطح برگ کاهش پیدا کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد روی و منگنز در غلظت‌های بالا، در گیاه سمیت ایجاد می‌کند.

کلمات کلیدی: سمیت، رنگیزه‌های برگی، رشد، روی، گوجه فرنگی، منگنز

مقدمه

حضور فلزات سنگین حاصل از استخراج معادن و فعالیت‌های صنعتی، لجن فاضلاب‌ها یا اسیدی شدن خاک، مشکل عمده در کشاورزی و جنگلداری می‌باشد. آلودگی فلزات سنگین، یکی از بحرانی‌ترین مسایل محیطی بوجود آمده توسط فعالیت‌های امروزی بشر است که محدود کننده عملکرد گیاه و تهدید کننده سلامت بشر می‌باشد. نکته مهم، پایداری نسبتاً بالای فلزات سنگین در خاک می‌باشد که برخلاف آلاینده‌های آلی، تجزیه نشده و در خاک باقی می‌مانند و بنابراین می‌توانند بسیار مشکل آفرین باشند (Rauser, 1995). فلزات سنگین از طریق کمبود عناصر غذایی ضروری و مداخله در فتوسنتز سبب ایجاد تغییراتی در انتقال فرآورده‌های نوری و روابط آبی گیاهان می‌شوند (Shenker, 2003). روی و منگنز در محدوده وسیعی از روندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی شرکت نموده و برای عملکردهای بالای گیاه ضروری‌اند. قابلیت دسترسی دو فلز مذکور در خاک، به میزان زیادی توسط pH خاک تنظیم می‌شود و با کاهش pH خاک، دسترسی گیاه به این فلزات، افزایش می‌یابد.

*email:soebrahimi@yahoo.com

این دو عنصر، عناصر غذایی کم مصرف ضروری در کلروپلاست‌ها هستند که در ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌های مختلف فتوسنتزی شرکت می‌نمایند. به همین علت، غلظت مازاد روی یا منگنز به ویژه به کلروپلاست‌ها آسیب رسانده، باعث کاهش مقادیر کلروفیلی می‌شود و برخی از عملکردهای فتوسنتزی را در برگ‌ها باز می‌دارد (Shenker, 2003). با توضیحات مذکور، شناخت و مطالعه مکانیسم‌هایی که گیاهان را در مقابل تنش روی و منگنز بردبار یا حساس می‌سازد، ارزش بالایی خواهد داشت.

گوجه‌فرنگی، گیاهی اقتصادی است که در ایران در سطح وسیعی کشت شده و ارزش غذایی بالایی دارد. بنابراین تحقیق در مورد تأثیر برهم کنش روی و منگنز در گیاه مذکور، ضمن آشکار نمودن برخی مسایل مربوطه می‌تواند ارزش کاربردی نیز در جامعه داشته باشد. تعداد پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با برهم کنش این دو فلز سنگین، بسیار اندک می‌باشد. لذا تحقیق حاضر، پژوهشی در زمینه شناخت توانایی تحمل گیاه گوجه فرنگی یا ایجاد سمیت در این گیاه در برابر غلظت‌های بکاربرده شده، می‌باشد. این شناسایی می‌تواند به منظور جمع آوری غلظت‌های مازاد فلزات روی و منگنز از محیط و انباشته شدن آنها در گیاه گوجه فرنگی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش ها

روش کاشت و داشت گیاه

ابتدا بذور گیاه گوجه فرنگی، رقم اوربانا ۱۱۱ (*Lycopersicon esculentum*. Mill cv Urbana Early 111) از شرکت سهامی فلات ایران تهیه شد. تعداد ۵۰۰ عدد بذر یکنواخت و همگن انتخاب شدند و توسط محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۵ دقیقه ضد عفونی شدند و پس از چندین بار شستشو با آب مقطر استریل به ظروف پتری سترون ما بین دو کاغذ صافی مرطوب (و اتمن شماره ۲) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و تاریکی جهت جوانه‌زنی منتقل شدند. در مدت ٤ روز دانه‌های گوجه فرنگی کاملاً جوانه زدند. در این مرحله دانه رست‌های بسیار جوان یکنواخت از نظر رنگ و اندازه انتخاب شده و به گلدان‌های پلاستیکی حاوی پرلیت انتقال یافتند. سپس گلدان‌ها به شرایط نوری مناسب انتقال داده شدند و با محلول هوگلند با نسبت‌های مختلف ۰/۲، ۰/۵ و ۱ به مدت ۱۵ روز تغذیه شدند. در این مرحله همگن سازی بوته‌ها انجام گرفت و در نهایت در هر گلدان ۳ بوته باقی گذاشته شد. از آغاز هفته چهارم، زمانی که بوته‌ها در مرحله ٤-۳ برگی بودند تیمار دهی شروع شد.

تیمار روی در ٤ سطح (شاهد،۲۰، ۳۰ و ٦۰ میکرو مولار) و تیمار منگنز در ٤ سطح (شاهد، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میکرو مولار) اعمال شدند و برای هر تیمار ٤ تکرار در نظر گرفته شد. مدت تیمار ١٤ روز بود و در پایان هنگامی که بوته‌ها ٤۲ روزه بودند، برداشت انجام شد. سپس نمونه‌ها برای انجام تجزیه‌های شیمیایی و سنجش‌های فیزیولوژیکی لازم به آزمایشگاه انتقال پیدا کردند.

اندازه گیری شاخص‌های رشد

توزین بخش‌های مختلف بوته‌ها ازجمله ریشه، ساقه و برگ ها، به منظور بدست آوردن وزن تر (به منظور جلوگیری از تبخیر آب بافت‌های تر گیاهی) و همچنین اندازه گیری طول ریشه و ساقه، شمارش تعداد برگ‌ها و تعیین سطح برگی بلافاصله پس از برداشت انجام شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف آنالیز رشد

بدین منظور اطلاعات خام مربوط به شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده، در فرمول‌های مربوطه جایگذاری شد و شاخص‌های مختلف آنالیز رشد محاسبه شد. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به سرعت رشد نسبی، سطح ویژه برگ و محتوای آب در واحد سطح برگ اشاره کرد (خاوری نژاد، ۱۳۸۷).

آنالیز رنگیزه‌های فتوسنتزی

سنجش کلروفیل‌ها با استفاده از روش آرنون انجام شد (Arnon, 1949). در این روش جذب محلول در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر

انجام می‌شود. همچنین سنجش بتاکاروتن با استفاده از روش کریجی و هلباست انجام شد (خاوری نژاد، ۱۳۸۷). برای سنجش کاروتنوئیدها از حلال‌های آلی اتر نفت، متانول ۹۲ درصد، دی اتیل اتر و پتاس متانولی ۳۰ درصد برای جداسازی کاروتن و گزانتوفیل استفاده شد و برای تعیین تراکم کلی فرمول $C=\frac{V.A.F.10}{2500}$ به کار گرفته شد. در فرمول اخیر، V حجم عصاره بر حسب میلی لیتر، Aمیزان جذب در طول موج مورد نظر، F ضریب رقت C تراکم کلی رنگیزه‌های مورد نظر بر حسب میلی گرم در میلی لیتر می‌باشد. جذب کاروتن در طول موج ٤٥٥ نانومتر خوانده شد (خاوری نژاد، ۱۳۸۷). سنجش کربوهیدرات‌ها با استفاده از روش کوچرت (Kochert, 1978) و سنجش پروتئین با استفاده از روش لوری (Lowry et al., 1951) انجام شد.

تجزیه‌های آماری

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو عامل روی در ۵ سطح و منگنز در ۳ سطح هر کدام با ٤ تکرار انجام شد. بررسی نتایج آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد (خاوری نژاد، ۱۳۷۵). رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج

علایم مرفولوژیکی گیاهان

بوته‌های گوجه فرنگی رشد یافته در محیط دارای سولفات روی و سولفات منگنز به میزان ۳۰µM از لحاظ رشد ظاهری، تفاوتی نسبت به گیاهان شاهد نداشتند (شکل ۱۱). با کاربرد سولفات روی در غلظت ٦۰µM و سولفات منگنز در غلظت‌های ۰، ۱۰ و ۲۰ میکرومولار، با کاهش تعداد برگ، کاهش سطح پهنک، کاهش طول گیاه، کاهش رشد ریشه و تغییر مورفولوژیکی برگ‌ها دیده شد (شکل ۱۲). رشد گیاهان تحت تیمار $۳۰\mu M MnSo_4$ +$٦۰\mu M ZnSo_4$ باز هم کمتر بود و اثرات کاهشی شدیدتری را نشان دادند (شکل ۱۳).

آنالیز رشد

کاربرد همزمان سولفات روی در غلظت ۳۰ میکرومولار با سولفات منگنز در غلظت ۲۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد ولی استفاده از این ترکیب در غلظت‌های ٦۰ میکرومولار سولفات روی با غلظت های۰، ۲۰ و ۳۰ میکرومولار منگنز، سبب کاهش معنی‌داری در میزان رشد نسبی برگ شد (شکل ۷).

میزان همگون سازی خالص در تیمارهای برهم‌کنش ٦۰ میکرومولار روی با ۰، ۲۰ و ۳۰ میکرومولار منگنز کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل ۸). با توجه به این که بیشترین کاهش در تیمار برهم‌کنش ٦۰ میکرومولار روی با ۳۰ میکرومولار منگنز و کمترین کاهش معنی‌دار در شاخص مذکور در تیمار برهمکنش ٦۰ میکرومولار روی با صفر میکرومولار منگنز دیده شد پس می‌توان اینگونه احتمال داد که برهم‌کنش روی و منگنز سمیت بیشتری نسبت به سمیت روی به تنهایی ایجاد کرده است. باتوجه به اینکه در شاخص‌های میزان همگون سازی خالص سطح برگ اولیه و نهایی و وزن خشک اولیه و نهایی گیاه موثر است و با توجه به مشاهدات ظاهری نسبت به سطح برگ نتیجه می‌تواند قابل قبول باشد.

سطح مخصوص برگ در غلظت‌های ٦۰ میکرومولار روی و ۰،۲۰ و ۳۰ میکرومولار منگنز کاهش معنی‌داری نشان داد و برهم‌کنش روی ومنگنز در غلظت بالا سمیت نشان داد (شکل ۹).

سرعت رشد نسبی اساسی ترین قسمت تجزیه رشد است که در غلظت‌های سطح ٦۰ میکرومولار روی و ۰،۲۰ و ۳۰ میکرومولار منگنز کاهش معنی‌داری نشان داد و برهمکنش روی و منگنز در غلظت بالا سمیت نشان داد (شکل ۱۰).

محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی

محتوی کلروفیل a و b در تیمارهای بر هم‌کنش غلظت ٦۰ میکرومولار سولفات روی و غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میکرومولار سولفات منگنز کاهش یافته است (شکل‌های ۱و۲). مقدار بتاکاروتن در تیمارهای برهم‌کنش ٦۰ میکرومولار $ZnSo_4$ و ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میکرومولار سولفات منگنز افزایش نشان داد (شکل ۳).

قندهای محلول و نامحلول برگ

میزان قندهای محلول و نامحلول برگ‌ها تحت تاثیر روی و منگنز قرار گرفت (شکل‌های ٤و۵). در غلظت‌های بالا که

باعث سمیت در گیاه شد، به علت کاهش رشد و کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز مقدار قندهای محلول و نامحلول کاهش یافت.

مقدار پروتئین برگ

تیمار روی و منگنز سبب کاهش میزان پروتئین برگ گوجه فرنگی شد (شکل ٦).

بحث

علایم مرفولوژیکی گیاهان

در پژوهشی پاسخ‌های مورفوژنیکی و بیوشیمیایی در گیاه Bacopa monniera در محیط کشت سمیت با فلز روی موضوع تحقیق بود و کاهش رشد را که از علایم اصلی سمیت روی می‌باشد را نشان داد (Gayoor Ali, 1999). بر اساس بررسی که Madhava و Sresty (۱۹۹۹) انجام دادند، نشان داده شد که رشد طولی ریشه‌ها با غلظت بالای روی متوقف شد. همچنین آنها بیان داشتند که سلول‌های پوستی ریشه مورد آسیب شدیدی قرار گرفتند. Goldbold و Huttermann (۱۹۸۵) بیان داشتند که افزایش میزان روی در محلول کشت ایجاد شاخ و برگ را کاهش می‌دهد و این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش مربوط به مقاله حاضر مطابقت دارد.

محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی

در مطالعه‌ای بر روی گیاه *Lolium perenne* نیز، مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش فلز روی و منگنز در غلظت‌های بالا، کاهش یافت (Monnet et al., 2001). مکانیسم هایی که به طور مستقیم منجر به کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شوند، شامل بازدارندگی عمل آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز کلروفیل از قبیل دلتا آمینولوولینیک اسید و پروتوکلروفیلیدردوکتاز می‌باشد. هر دو فلز روی و منگنز، تاثیر منفی بر متابولیسم نیتروژن و پروتئین دارند که باعث کاهش مقدار کلروفیل و برخی عملکردهای فتوسنتزی در برگ‌ها می‌شوند (Demirevska-Kepova et al., 2004). آنزیم‌های اصلی درگیر در آسیمیلاسیون آمونیوم و نیز آنزیم نیترات ردوکتاز تحت تاثیر منفی سمیت قرار گرفته، در کل منجر به کاهش محتوی نیتروژن برگ می‌شود و از آنجایی که سنتز کلروفیل وابسته به فراهمی منابع نیتروژنی می‌باشد، در صورت کاهش آسیمیلاسیون نیتروژن در پی سمیت، کاهش محتوی کلروفیلی رخ خواهد داد.

یکی از مکانیسم‌های تشریحی کاهش غلظت کلروفیل توسط روی مازاد، رقابت بین روی و آهن می‌باشد به گونه ای که روی مانع جابجایی آهن می‌شود. کاهش غلظت کلروفیل برگی به احتمال قوی به علت کمبود آهن می‌باشد (Patsikka, 2002). فرضیه القای کمبود آهن در مورد منگنز نیز صادق است که علت احتمالی کاهش محتوی کلروفیلی در گیاهان آوندی تحت تیمار منگنز است، به دلیل اینکه آهن برای بیوسنتز کلروفیل مورد نیاز می‌باشد. به علاوه منگنز موجب آسیب مولکول‌های کلروفیل توسط جایگزینی با منگنز و آهن در بخش پورفیرین کلروفیل می‌شود (Agrwala et al., 1963) و بازداری سنتز کلروفیل ممکن است به علت حضور فیزیکی منگنز در کلروپلاست باشد که موجب آسیب ساختار کلروپلاستی می‌شود (Doncheva et al., 2005). در فرآیندهای بیوسنتز کلروفیل به آهن نیاز است و با توجه به رقابت شدید بین روی و آهن هنگامیکه گیاه در معرض مقدار بالای روی قرار می‌گیرد، باعث کمبود آهن و درنتیجه کاهش رنگدانه می‌شود (Woolhous, 1983). همچنین Defilipps و Pallaghy (۱۹۹٤) نتایج مشابهی را در مورد مقدار کلی کلروفیل در گیاه *euglena* تحت تنش غلظت بالای این فلزات بدست آوردند.

منگنز درغلظت مازاد به عنوان یک فلز متحرک در تشکیل رادیکال‌های آزاد و واکنش‌های متعاقب آن با ماکروملکول‌ها شرکت می‌نماید (Shi et al., 2005). کاروتنوئیدها گیاه را از اکسیداسیون نوری محافظت کرده و به طور فعال رادیکال‌های اکسیژنی و تشکیل آن را به حداقل می‌رساند. کاروتنوئیدها در سمیت زدایی کلروفیل برانگیخته سه تایی نقش دارند به نظر می‌رسد کاروتنوئیدها در چند سطح در کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد نقش دارند که از جمله واکنش با کلروفیل برانگیخته برای بازداری از تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژنی می‌باشد. بنابراین کاروتنوئیدها به عنوان یک سیستم حفاظتی در برابر تنش اکسیداتیو مطرح می‌باشند (Muller et al. 2001).

اثر سمی فلز سنگین تا حدودی مربوط به تولید رادیکال‌های آزاد توسط آنها می‌باشد (Candan and Tarhan., 2003). افزایش میزان آنتی اکسیدان‌های دارای وزن مولکولی پائین از قبیل کاروتنوئیدها ازجمله مکانیسم‌های حفاظتی است که به عنوان حذف کننده رادیکال‌های آزاد به کار می‌روند (Eredi et al., 2002). یون‌های روی در تولید رادیکال‌های آزاد در غشاءهای سلول گیاهی شرکت می‌کنند و سطوح افزایشی Zn^{2+} به افزایش تولید رادیکال‌های آزاد منتهی می‌شود که موجب تنش اکسیداتیو می‌شود (Demidchick et al., 1997; Malassia, 2006).

قندهای محلول و نامحلول برگ

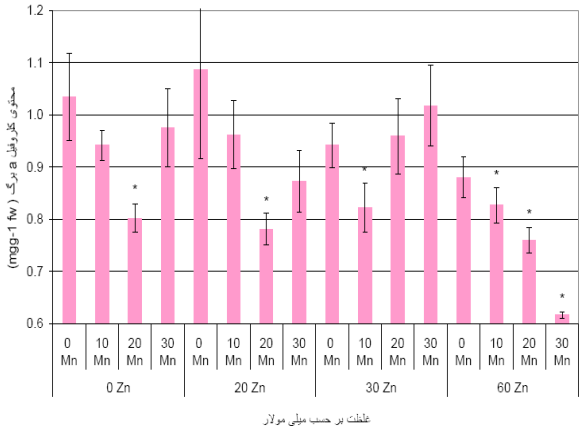
منگنز مازاد ممکن است هدایت روزنه ای را کاهش دهد که به شدت با میزان تبادل گازی CO_2 مرتبط می‌باشد (Ducic et al., 2005). تاثیر منگنز بر هدایت روزنه ای به طور غیر مستقیم از طریق مداخله با پتاسیم روی می‌دهد که تنظیم کننده مهم عملکرد روزنه ای است. همچنین منگنز با جذب آهن رقابت می‌کند که در انتقال الکترون فتوسنتزی، نقش مهمی دارد (Gavalas et al., 1971). با توجه این که سمیت فلز روی باعث آسیب به غشاء پلاسمایی می‌شود و همچنین باعث کاهش جابجایی عناصری مانند پتاسیم در ریشه می‌گردد و با توجه به نقش مثبت K^+ در جریان‌های آبکشی، کاهش K^+ در اثر سمیت می‌تواند موجب کاهش بارگیری آبکشی، کاهش انتقال قندها و در نتیجه تجمع قندها در برگ گردد، پس احتمالا میزان تولید قند کاهش پیدا کرده، ولی با توجه به کاهش بارگیری، کاهش در برگ معنی‌دار نبوده ولی کاهش در مقدار قندهای محلول و نامحلول در ریشه‌ها نمایان‌تر شده و سطح معنی‌داری را نشان می‌دهد (Ernst, 1998; Fecht, 2003).

مقدار پروتئین برگ

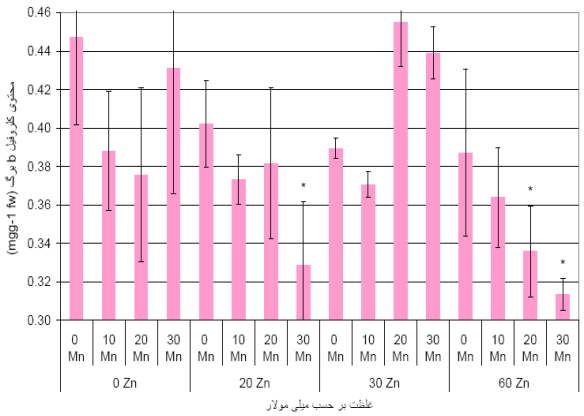
نتیجه بدست آمده با گزارش حاصل از تیمار روی و منگنز هر کدام جداگانه بر روی گیاهان جو مطابقت دارد که کاهش معنی‌داری در پروتئین محلول برگ در بالاترین سطوح روی و منگنز مشاهده گردید (Agarwala, 1963). در واقع این دو فلز تاثیر منفی بر متابولیسم نیتروژن و پروتئین دارند. روی در غلظت‌های بالا، منجر به تغییرات شدیدی در متابولیسم نیتروژن می‌شود که بر آنزیم‌های شرکت کننده در احیای نیترات و متابولیسم اسید آمینه موثرند و منجر به کاهش مقدار کل پروتئین‌ها می‌شوند (Demirevska-Kepova et al., 2004). مقدار پروتئین در برگ‌های گیاه *Bacopa monniera* نیز با افزایش غلظت $ZnSo_4$ کاهش می‌یابد (Ali et al., 1999). اثرات $ZnSo_4$ بر کمبود پروتئین، از اثرات رادیکال‌های آزاد به وجود آمده توسط یون‌های روی نتیجه می‌شود (Rout 2003). روی در غلظت مازاد، ممکن است با سایر فلزات در متالو پروتئین‌ها جایگزین شود یا این که مستقیماً با گروه‌های سولفیدریل پروتئین‌ها میان کنش نماید.

نتیجه‌گیری نهایی

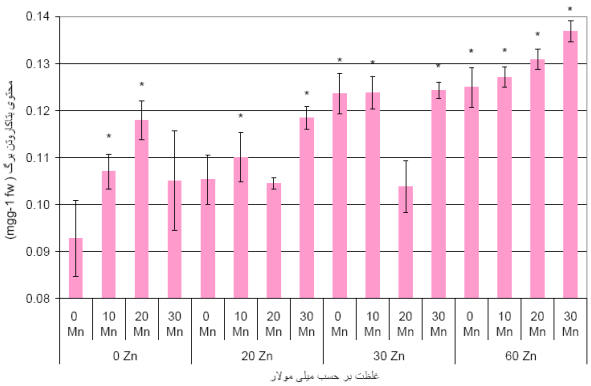
در این پژوهش مقدار تغییرات رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b و بتاکاروتن و قندهای محلول و نامحلول برگ، پروتئین برگ و شاخص‌های مختلف آنالیز رشد ضمن مطالعه اثر متقابل روی و منگنز در بوته‌های گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. محتوی کلروفیل a و b و پروتئین برگ در استفاده همزمان روی با غلظت ٦٠ میکرومولار و منگنز با غلظت‌های ١٠، ٢٠ و ٣٠ میکرومولار، کاهش نشان داد. مقدار بتا کاروتن در غلظت‌های ٦٠ میکرومولار روی و ١٠، ٢٠ و ٣٠ میکرومولار منگنز افزایش یافت. مقدار قندهای محلول و نامحلول برگ و ریشه در غلظت‌های مختلف استفاده شده تغییرات معنی‌داری نشان نداد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان داشت که سمیت ایجاد شده در بوته‌های گوجه فرنگی در استفاده همزمان غلظت‌های ٦٠ میکرومولار روی و ١٠، ٢٠ و ٣٠ میکرومولار منگنز رخ داده است.



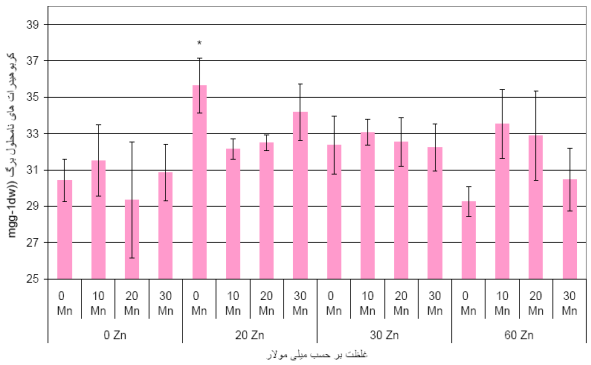
شکل ۱: مقدار تغییرات کلروفیلa



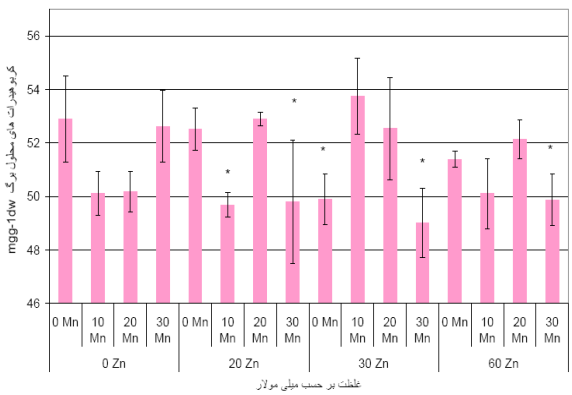
شکل ۲: مقدار تغییرات کلروفیلb



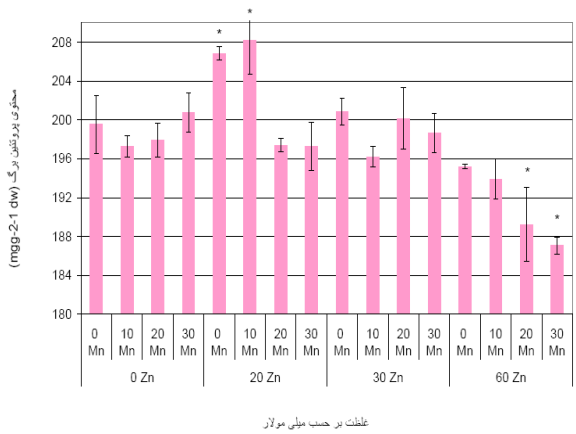
شکل ۳: مقدار تغییرات بتاکاروتن



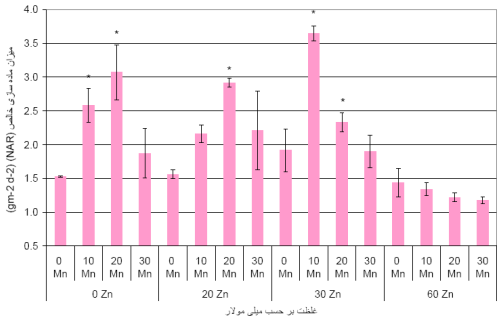
شکل ٤: مقدار تغییرات کربوهیدرات‌های نامحلول برگ



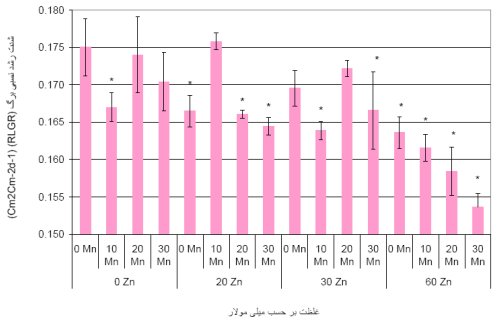
شکل ۵: مقدار تغییرات کربوهیدرات‌های محلول برگ



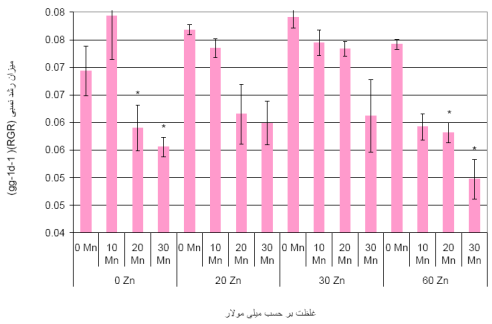
شکل ٦: مقدار تغییرات پروتئین برگ



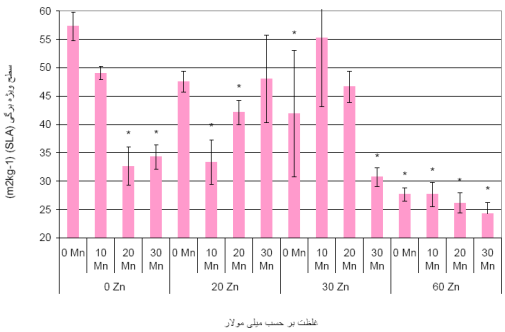
شکل ۸: مقدار تغییرات NAR



شکل ۷: مقدار تغییرات RLGR



شکل ۱۰: مقدار تغییرات RGR



شکل ۹: مقدار تغییرات SLA

شکل ۱۲: توقف رشد گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی بر اثر ایجاد سمیت (گلدان سمت چپ سمیت را نشان می‌دهد)

شکل ۱۱: عدم تغییر گیاهچه گوجه فرنگی از لحاظ رشد ظاهری در غلظت ۳۰ میکرومولار سولفات روی و منگنز نسبت به گیاه شاهد (گلدان سمت چپ سمیت را نشان می‌دهد)

شکل ۱۴: برآمدگی سطح پارانشیمی و تجمع رنگیزهای برگی بعد از تیمار

شکل ۱۳: کاهش سطح برگ در گیاهچه‌های گوجه فرنگی بر اثر سمیت ایجاد شده
(گلدان سمت چپ سمیت را نشان می‌دهد)

منابع

خاوری نژاد، ر. (۱۳۷۵) اصول آمار زیستی. انتشارات امید، ویرایش میکرو کامپیوتر.

خاوری نژاد، ر. (۱۳۸۷) فیزیولوژی گیاهی عملی. انتشارات امید.

Agarwala, S.C., Sharma, C. P. and Kumar, A. (1963). Interrelationship of iron and manganese supply in growth, chlorophyll, and iron porphyrin enzymes in *barley* plants. J. Plant Physiol. 42: 603-609.

Ali, G., Srivastava, P.S. and Iqbal, M. (1999). Morphogenic and biochemical responses of *Bacopa monniera* cultures to zinc toxicity. Plant Sci. 143: 187–193.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgasis*. J. Plant Physiol. 24: 1-5.

Candan, N. and Tarhan, L. (2003). Changes in chiorophyll-carotenoid contents, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in Zn-stressed Mentha pulegium. Turk 3 Chem. 27: 21-30.

Demirevska-Kepova, K., Simova-Stoilova, L., Stoyanova, Z. and Feller, U. (2004). Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese. Environ. Exp. Bot. 52: 3-266.

Doncheva, S., Georgieva, K., Vasssileva,V., Stoynova, Z., Popov, N. and Ignatov, G. (2005). Effects of succinate on manganese toxicity in pea plants. Plant Nutr. 28: 47-52.

Ducic, T. and Polle, A. (2005). Transport and detoxification of manganese and copper in plants. Braz.J. plant physiol. 17: 103-112.

Erdei, S., HegedtIs, A., Hauptmann, G. and Horv, G. (2002). Heavy metal induced physiological changes in the antioxidative response system. Acta Biologica. Szegediensis. 46: 89-90.

Ernst W. (1998). Effects of heavy metals in plants at the cellular and organismic level, in: Schuurmann G., Markert B. (Eds.), Bioaccumulation and Biological effects of chemicals, John Wiley. 587–620.

Fecht-Christoffers, M. Braun, H.P., Lemaitre-Guillier, C., Van Dorsselaer, A. and Horst, W. (2003). Effect of Manganese toxicity on the proteome of the leaf apoplast incowpea. J. Plant Physiol. 133: 1935-1946.

Foy, C.D., Scott, B. J. and Fisher, J. A. (1988). Genetic differences in plant tolerance to manganese toxicity. In: Graham, R.D., Hannam, R.J. and Uren, N.C. (Eds.), Manganese in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 293-307.

Gavalas, N. and Clark, H.E. (1971). On the Role of Manganese in Photosynthesis. J. Plant Physiol. 47: 139-143.

Godbold, D.L. and Huttermann, A. (1985). Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation of *Picea abies* (Karst.) seedlings, and the significance of these metals to forest die-back. Environ. Pollut. 38: 375–381.

Kochert, O. (1978). Carbohydrate determination by the phenolsulfuric acid method. Handbook Physiol. Meth., Camb. Univ. Press, 96-97.

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Forr, A.L. and Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.

Monnet, F., Vaillant, N., Vernay, P., Coudret, A., Sallanon, H. and Hitmi, A. (2001). Relationship between PSII activity, Co_2 fixation, and Zn, Mn and Mg contents of Lolium perenne under zinc stress. J. Plant Physiol. 158: 1137–1144.

Muller, P., Li, X.P. and Niyogi, K. (2001) Non-photochemical quenching.a response to excess light energy. J. Plant Physiol. 125: 1558-1566.

Patsikka, E., Kairavuo, M., Sersen, F., Aro, E. M. and Tyystjarvi, E. (2002). Excess copper predisposes photosystem II to photoinhibition in vivo by outcompeting iron and causing decrease in leaf chlorophyll. J. Plant Physiol. 129: 1359-1367.

Rauser, W.E. (1984). Estimating metallothionein in small root samples of *Agrostis gigantea* and *Zea mays* exposed to cadmium. J. Plant Physiol. 116: 253–260.

Rout, G. R. and Premananda, D. (2003). Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc, Agrono. 23: 3–11.

Shenker, M., Plessner, O.E. and Tel-Or, E. (2004). Manganese nutrition effects on tomato growth ,chlorophyll concentration and superoxide dismutase activity. J. Plant. physiol. 161: 197-202.

Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., He, Y., Qian, Q. and Yu, J. (2005). Silicon mediated alleviation of Mn toxicity in Cucumis sativus in relation to activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. Phytochemist. 66: 1551-1559.

Sresty T.V.S. and Madhava Rao, K.V. (1999). Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cells of pigeonpea. Environ. Exp. Bot. 41: 3–13.

Woolhouse, H.W. (1983). Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals, in: Lange O.L. (Ed.), Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 12, Part-C, Physiological Plant Ecology – III, Springer-Verlag, Berlin, 245–300.

The effects of interaction between Zinc and Manganese on the rate of growth and certain parameters of photosynthesis in tomato crop (*Lycopersicon esculentum.* Mill cv. Urbana Early 111)

Saadatmand, S., Khavari-nejad, R.A., *Ebrahimi, S.

Department of Biology, Faculty of Sciences, Islamic Azad University of Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Abstract

In this study, the effects of interaction between zinc (0, 20, 30, and 60 µM$ZnSo_4 7H_2O$) and manganese (0, 10, 20 and 30 µM$MnSo_4 H_2O$) on certain parameters of growth and photosynthesis in 42-day old of tomato crop (*Lycopersicon esculentum.* Mill cv Urbana Early 111), has been investigated. Results showed that the resistant of tomato crop against stress of Zinc and Manganese, was little. After the first week's treatment, toxicity symptoms of Zinc and manganese was observed as overhang of parenchyma level and pigment accumulation of leaf. Parameters of growth and photosynthesis including values of root and leaf protein, insoluble and soluble sugars in the root, content of chlorophylls a and b, relative growth rate, specific leaf area and leaf area ratio were decreased under zinc and Manganese stresses. The results of this study showed that using high concentrations zinc and manganese caused high toxicity in tomato plants.

Key Words: Growth, Manganese, Pigments of leaf, Tomato, Toxicity, Zinc

*email:soebrahimi@yahoo.com