تأثیر سالیسیلیک اسید بر برخی خصوصیات رویشی و بیوشیمیایی خیار (*Cucumis sativus* L.) تحت شرایط تنش مس

رسول آذرمی*

گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۷/۲۹)

چکیده

مسمومیت خاک و آب با مس مشکلات جدی در رشد و تولید گیاهان و سلامتی انسان ایجاد می‌کند. از آنجا که کاربرد برون‌زای سالیسیلیک اسید می‌تواند اثرات نامطلوب تنش مس را تعدیل نماید. در این تحقیق، به‌منظور بررسی تأثیر سمیت مس و سالیسیلیک اسید بر رشد، عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی خیار، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه سطح مس (۲۳، ٤٧ و ۹٤ میکرومولار) و دو سطح سالیسیلیک اسید (صفر و ۷۵۰ میکرومولار) با سه تکرار تحت شرایط کشت بدون خاک اجرا گردید. نتایج نشان داد که تنش مس حجم ریشه، وزن خشک ریشه، سطح برگ و وزن تر و خشک برگ را به صورت منفی تحت تأثیر قرار داد. بیشترین وزن تر ریشه، وزن خشک برگ و نسبت Fv/Fm در غلظت ۲۳ میکرومولار مس هم در تیمار محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و هم در تیمار بدون سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. مس در ریشه با شدت بیشتری در مقایسه با ساقه تجمع یافت. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با افزایش غلظت مس در محلول غذایی افزایش یافت و بیشترین فعالیت آسکوربات پراکسیداز در گیاهان تغذیه‌شده با ۹٤ میکرومولار مس به‌دست آمد و فعالیت آنها در گیاهان تیمارشده با سالیسیلیک اسید شدیدتر بود در حالیکه فعالیت آنزیم پراکسیداز روند معکوسی نشان داد. حداکثر عملکرد (۵۳۰ گرم در بوته) در غلظت ۲۳ میکرومولار مس و تیمار سالیسیلیک اسید حاصل شد. اما کمترین عملکرد (۲۸۲ گرم در بوته) در غلظت ۹٤ میکرومولار مس و بدون تیمار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. براساس نتایج این آزمایش، به‌نظر می‌رسد که کاربرد ۷۵۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید می‌تواند اثرهای منفی تنش مس در غلظت‌های ٤٧ و ۹٤ میکرومولار بر رشد و پاسخ‌های بیوشیمیایی خیار را تعدیل نماید.

کلمات کلیدی: اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید، خیار گلخانه‌ای، رشد، فلزات سنگین

مقدمه

جمعیت جهان به سرعت در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ میلادی به حدود ۹ میلیارد نفر برسد (FAO, 2009). بنابراین چالش جهانی در آینده غلبه بر گرسنگی جهان از طریق کشاورزی پایدار و تولید مواد غذایی خواهد بود. محصولات کشاورزی در معرض تنش‌های غیرزیستی شدید در مزرعه از قبیل خشکی، شوری و فلزات سنگین قرار دارند. از میان این تنش‌ها، سمیت فلزات سنگین مهمترین عامل محدودکننده است که علاوه بر کاهش رشد گیاه، کیفیت محصولات و غذا را به خطر می‌اندازد. برخی از

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: r_azarmi@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

عناصر ریزمغذی از قبیل مس، منگنز و روی در مقادیر اندک برای رشد مطلوب گیاهان ضروری هستند اما در غلظت‌های بالا باعث مسمومیت گیاهان می‌شوند (Marschner, 2012; Wuana and Okieimen, 2011). به‌طور کلی، فلزات سنگین به فلزاتی اطلاق می‌شود که جرم حجمی آنها بیشتر از ۵ گرم در سانتی‌متر مکعب باشند و این عناصر به میزان کم در خاک وجود دارند (Barakat, 2011). غلظت مس در خاک ۲- ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت آن در گیاه در شرایط کمبود بحرانی ۵ میلی‌گرم در گیلوگرم در محدوده کفایت ۱۲- ٦ میلی‌گرم در گیلوگرم و حد سمیت غلظت بالای ۳۰-۲۰ میلی‌گرم در گیلوگرم وزن خشک گیاه است (Barker and Pilbeam, 2007). جذب بیش از حد مس باعث اختلال در فرایندهای سلولی از قبیل فتوسنتز، تنفس و متابولیسم دیواره سلولی، اختلال در ساختار سلول، غیرفعال‌شدن آنزیم، جلوگیری از رشد گیاه و به خطرافتادن بقا گیاهان می‌شود (Mostofa and Fujita, 2013; Zhao *et al.*, 2010). بیش‌بود مس با ایجاد مسمومیت سیتوپلاسمی و تحریک تنش باعث تأخیر در رشد گیاه، رشد ضعیف ریشه و کلروز برگ می‌شود (Bouazizi *et al.*, 2010). علاوه بر این، سمیت فلزات سنگین درگیاهان باعث عدم‌تعادل تغذیه گیاه می‌شود به طوریکه با افزایش غلظت آنها در محلول غذایی غلظت عناصر پتاسیم، منیزیم، کلسیم، سدیم و منگنز در اندام هوایی اسفناج کاهش می‌یابد (Alia *et al.*, 2015). مسمومیت مس با تحریک تنش اکسیداتیو به‌خاطر ویژگی اکسیداسیون و احیاء آن می‌تواند گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل اکسیژن منفرد، هیدروژن پراکسید، رادیکال سوپراکسید و هیدروکسیل تولید نماید (Contreras *et al.*, 2009). مقدار بالای گونه‌های فعال اکسیژن آسیب به ماکرومولکول‌ها را تحریک می‌کند (Ahmad *et al.*, 2010). سالیسیلیک اسید به‌واسطه افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از تنش اکسیداتیو جلوگیری می‌کند و به‌عنوان یک هورمون درون‌زا همانند تنظیم‌کننده‌های رشد در گیاهان عمل می‌کند که نقش‌های وسیع اما متفاوت در توسعه آسیب و سازگاری به تنش دارد. سالیسیلیک اسید در تنظیم تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و تعدیل تنش‌های غیرزیستی از قبیل شوری، خشکی، غرقابی و علف‌کش‌ها کاربرد دارد (Habibi, 2012; Radwan, 2012). همچنین این هورمون به‌عنوان یک مولکول سیگنالی مهم در گیاهان باعث فعالیت تعدادی از ژن‌های دفاعی گیاه می‌شود (Hayat *et al.*, 2010). Zengin (۲۰۱٤) با بررسی نقش سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش مس در لوبیا دریافتند که سالیسیلیک اسید می‌تواند به‌عنوان تنظیم‌کننده بالقوه رشد، در بهبود رشد گیاه و استفاده از عناصر معدنی، تحت تنش فلزات سنگین به‌کار برده شود. آلودگی زمین‌های کشاورزی به مس می‌تواند از طرق مختلف مانند استفاده از کودها، آفت‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، استفاده از پسماند فاضلاب‌ها، دفع ضایعات صنعتی و یا ته‌نشینی آلاینده‌های اتمسفری ایجاد شود (Barker and Pilbeam, 2007; Mackie *et al.*, 2012). منطقه پارس‌آباد مغان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در ایران به خاطر گرم و شرجی‌بودن مستعد آلودگی به بیماری سفیدک سطحی و دروغی در خیار است و کشاورزان برای پیشگیری از این بیماری از سموم ترکیبات مسی در چند نوبت استفاده می‌کنند و خیار به‌دلیل حساسیت بالا به مسمومیت مس علائم مسمومیت مس را نشان می‌دهد. بر این اساس آزمایشی برای بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف مس و سالیسیلیک اسید بر رشد و نمو خیار اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی، شرایط رشد و تیمارها: این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی در فصل بهار سال ۱۳۹۵ اجرا گردید. برای انجام آزمایش بذر خیار گلخانه‌ای (*Cucumis sativus* var. Nagen 792) از شرکت دودمان سبز تبریز تهیه و در سینی‌های محتوی پرلایت کشت شدند. دانهال‌ها به‌مدت ۳۰ روز در خزانه نگهداری و با نصف غلظت محلول غذایی Hoagland و Arnon (۱۹۵۰) که در جدول ۱ نشان داده شده است آبیاری گردید. با ظهور سومین برگ حقیقی دانهال‌ها به گلدان‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

جدول ۱- غلظت عناصر معدنی مورد استفاده در محلول غذایی

عنصر	غلظت (µM)	عنصر	غلظت (mM)	عنصر	غلظت (mM)
آهن	۱۷/۸	کلسیم	٤	آمونیوم	۰/٤
منگنز	۸	منیزیم	۱/۲	فسفر	۱/۱
بر	۸	نیترات	۱٤/٤	روی	۳
پتاسیم	٥/٦	گوگرد	۲	مولیبدن	۰/۳

حاوی پرلایت و کوکوپیت با نسبت ۱:۲ با حجم ۷ لیتر منتقل شدند. گیاهان از مرحله شش برگی با غلظت‌های ۲۳، ٤۷ و ۹٤ میکرومولار مس در محلول غذایی آبیاری شدند. تیمار مس با استفاده از کود سولفات مس ($CuSO_4.5H_2O$) تأمین گردید. غلظت ۲۳ میکرومولار مس در محلول غذایی، غلظت بهینه مس در محلول غذایی است و به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. اما غلظت‌های ٤۷ و ۹٤ میکرومولار مس در محلول غذایی به‌ترتیب بیانگر تنش ملایم و شدید مس می‌باشد. تیمار سالیسیلیک اسید یک هفته قبل از اعمال تیمار مس (پس از استقرار کامل بوته‌ها و در مرحله پنج برگی) در سه مرتبه با فاصله زمانی یک هفته و تیمار شاهد سالیسیلیک اسید با استفاده از آب‌مقطر محلول‌پاشی شدند (حبیبی و همکاران، ۱۳۹٤). برای اطمینان از نفوذ محلول سالیسیلیک اسید از محلول توین ۲۰ درصد استفاده گردید. pH محلول غذایی با افزودن ۰/۰۲٥ میلی‌لیتر در لیتر فسفریک اسید و ۰/۰٦۲ میلی‌لیتر در لیتر نیتریک اسید، در محدوده ٦/٥ تنظیم شد. هدایت الکتریکی محلول‌های غذایی با آبشویی بستر کشت به‌صورت هفتگی در محدوده ۲/۲- ۲ دسی‌زیمنس بر متر نگه داشته شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل تیمار مس در سه سطح ۲۳، ٤۷ و ۹٤ میکرومولار در محلول غذایی و فاکتور دوم سالیسیلیک اسید در دو سطح صفر و ۷٥۰ میکرومولار بودند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشد و عملکرد: در پایان آزمایش برای اندازه‌گیری وزن تر برگ و ریشه، بوته از طوقه قطع و به بخش‌های برگ و ریشه تقسیم‌شده و وزن تر آن یادداشت شد. وزن خشک هر اندام نیز پس از قراردادن به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون فن‌دار اندازه‌گیری شد. قبل از خشک‌کردن برگ‌ها در آون سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (LI-COR, Model Li-1300, USA) به ثبت رسید. برای ارزیابی عملکرد، میوه‌ها دو بار در هفته برداشت‌شده و وزن آنها در هر بوته ثبت گردید.

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل: یک هفته قبل از برداشت گیاهان حداکثر عملکرد فتوشیمیایی کوانتومی فتوسیستم ۲ (Fv/Fm) با استفاده از دستگاه فلورومتر (Handy pea Fluorescence, Hansatech, Chlorophyll) از برگ‌های توسعه‌یافته از ساعت ۹- ۱۱ قبل از ظهر ثبت گردید.

تعیین غلظت مس: برای اندازه‌گیری غلظت مس برگ و ریشه، ابتدا نمونه‌های خشک‌شده در آون با دستگاه خردکننده آسیاب شده و به‌صورت پودر همگن درآمد. سپس نمونه‌های گیاهی همگن به‌روش اسید هضم شدند. سرانجام از عصاره حاصل برای اندازه‌گیری غلظت مس با دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer, Model 110,USA) استفاده شد.

استخراج عصاره آنزیمی: مقدار ۰/٥ گرم بافت تر برگ در ٥ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم سرد (۱۰۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷/٥) محتوی پلی‌وینیل پیرولیدون ۱ درصد و EDTA همگن شده و به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۱٤۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. مایع رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و پروتئین محلول برگ مورد استفاده قرار گرفت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: مقداری از عصاره آنزیمی با بافر فسفات(۵۰ میلی‌مولار، pH=۷) حاوی آسکوربیک اسید ۲۵۰ میکرومولار، آب اکسیژنه ۱/۵ میلی‌مولار و EDTA ۰/۵ میلی‌مولار مخلوط شد و جذب در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد. پس از یک دقیقه توقف دوباره جذب خوانده شده و اختلاف جذب محاسبه و عدد نهایی به‌صورت واحد در گرم وزن تر گزارش گردید (Nakano and Asada, 1987).

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: برای سنجش فعالیت این آنزیم مقداری از عصاره آنزیمی با بافر فسفات (۵۰ میلی‌مولار، pH=۷/۸) حاوی گایاکول ۴۰ میلی‌مولار و آب اکسیژنه ۲۰ میلی‌مولار مخلوط شد. میزان تولید تتراگایاکول در ۴۷۰ نانومتر در یک دقیقه با طیف‌سنج نوری اندازه‌گیری و فعالیت ویژه آن به‌صورت واحد در گرم وزن تر بیان گردید (Hemeda and Kelin, 1990).

سنجش مقدار پروتئین محلول: برای اندازه‌گیری میزان پروتئین محلول در عصاره آنزیم از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. به این صورت که پس از استخراج مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده به ۲۹۵۰ میکرولیتر محلول برادفورد اضافه شد و به‌طور کامل به‌هم زده شد و پس از ۱۰ دقیقه میزان جذب مخلوط در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. برای تعیین غلظت پروتئین از سرم آلبومین گاوی به‌عنوان استاندارد استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: کلیه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها توسط نرم افزار SPSS (نسخه ۲۱) تجزیه آماری و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel ترسم شدند.

نتایج و بحث

وزن تر، خشک و حجم ریشه: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر اصلی و متقابل مس و سالیسیلیک اسید بر وزن تر ریشه معنی‌دار بود. اما صفات حجم ریشه و وزن خشک ریشه فقط متأثر از اثر اصلی تیمار مس قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها مشخص نمود که با افزایش غلظت مس از ۲۳ میکرومولار به ۹۴ میکرومولار در محلول غذایی، حجم و وزن خشک ریشه به‌ترتیب ۳۲ و ۳۹ درصد کاهش یافت. گیاهان تیمارشده با سالیسیلیک اسید در مقایسه با گیاهان شاهد آن حجم و وزن خشک ریشه بیشتری داشتند (جدول ۳). بیشترین وزن تر ریشه (۲۲۶ گرم) در گیاهان تغذیه‌شده با غلظت ۲۳ میکرومولار مس و با کاربرد سالیسیلیک اسید به‌دست آمد و کمترین وزن تر ریشه (۹۹ گرم) در خیارهای تیمارشده با ۹۴ میکرومولار مس و بدون کاربرد سالیسیلیک اسید حاصل شد (جدول ۳). عناصر سنگین رشد ریشه را کند یا متوقف می‌کنند. اولین اندامی که در معرض تنش عناصر سنگین قرار می‌گیرد ریشه است. عناصر سنگین با تجمع در دیواره سلول موجب کاهش انعطاف‌پذیری دیواره‌های سلول شده و تقسیم سلول را مختل می‌کند و درنتیجه باعث کاهش رشد می‌شود (El-Tayeb *et al.*, 2006). عناصر سنگین باعث می‌شود ریشه‌ها کوتاه، ضخیم و ضعیف باشند. چرخه تقسیم سلولی در گیاهان به‌ترتیب شامل مراحل اینترفاز، سنتز و میتوز است و عناصر سنگین از انتقال مرحله اینترفاز به مرحله سنتز ممانعت نموده و با جلوگیری از تقسیم سلولی رشد متوقف می‌گردد (Singh *et al.*, 2016). دلیل این امر بیان کمتر پروتئین کیناز وابسته به چرخه سلولی است که ممکن است گونه‌های فعال اکسیژن در چنین تغییراتی دخیل باشد (Pena *et al.*, 2012). Ali و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که تیمار ۱۵/۷ میکرومولار مس به‌مدت ۱۵ روز طول ریشه ذرت را تا ۹۰/۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد در حالیکه رشد ریشه در تیمارهای ۷۸/۷ و ۱۵۷ میکرومولار مس تقریباً صفر بود. Iseri و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی روی خیار و گوجه‌فرنگی دریافتند که با افزایش غلظت مس در محلول غذایی رشد ریشه نیز کاهش می‌یابد و ریشه‌های خیار در مقایسه با ریشه‌های گوجه‌فرنگی به بیش‌بود مس حساس‌تر است. مس باعث بازدارندگی طول ریشه در لوبیا در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی شد (Azmat and Riaz,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها بر صفات موفولوژیکی ریشه خیار

منابع تغییرات	درجه آزادی	حجم ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
مس	۲	۷۸۲۹/۰۰ **	۱۵۹۸٤/۰ **	۲٥٤/٥٥ **
سالیسیلیک اسید	۱	۳۲۰۰/۰۰ **	۱۸٦۰/٥ **	۳/۷۹ ns
مس × سالیسیلیک اسید	۲	۸٤/٥۰ ns	۲۹٤/۰ *	۱/۸۹ ns
خطای آزمایش	۱۲	۳٤۰/٥	۷۳/۲۲	٤/۸۷
ضریب تغییرات (٪)		۹/۸۷	٥/٦۱	۸/۱۲

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار**

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های ریشه خیار در سطوح مختلف مس و سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها

سالیسیلیک اسید (میکرومولار)	مس (میکرومولار)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
۰	۲۳	۲۰۲/٦ ab	۱۹۰/۳ b	۳۲/٥ ab
	٤۷	۱۸۱/۰ bc	۱۳۷/۰ c	۲۷/۱۸ c
	۹٤	۱۳٦/۰ d	۹۹/٦ d	۲۰/۳۷ d
۷٥۰	۲۳	۲۲۹/۰ a	۲۲٦/٦ a	۳۳/۷٥ a
	٤۷	۲۱٥/۳ ab	۱٤۷/۳ c	۲۹/۰۳ bc
	۹٤	۱٥٦/۰ cd	۱۱٤/۰ d	۲۰/۰٤ d

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم‌وجود اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها در سطح ۵ درصد

El- Tayeb و El-Enany (۲۰۰٦) گزارش کردند که کاربرد بیرونی سالیسیلیک اسید رشد ریشه آفتابگردان را هم در گیاهان شاهد و هم در گیاهان تحت تنش مس افزایش می‌دهد (2012).

ارتفاع گیاه، تعداد، سطح، وزن تر و وزن خشک برگ: بر پایه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برهمکنش مس و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک برگ تأثیر معنی‌داری داشت. در حالیکه تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر برگ فقط متأثر از اثر اصلی تیمار مس قرار گرفتند (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشینه وزن خشک برگ (۱۱/۳۱ گرم در بوته) در غلظت ۲۳ میکرومولار مس و در گیاهان شاهد سالیسیلیک اسید حاصل شد که اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و ۷۵۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید وجود نداشت در حالیکه کمترین آن (۷/۲٤ گرم در بوته) در غلظت ۹٤ میکرومولار مس و تیمار شاهد سالیسیلیک اسید حاصل شد (جدول ٥). در محلول غذایی افزایش غلظت مس باعث کاهش سطح کل برگ و وزن تر برگ و افزایش تعداد برگ و ارتفاع گیاه گردید. این آزمایش نشان داد که با کاهش سطح برگ تعداد برگ افزایش می‌یابد. ژنگ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که غلظت ۱/٥ میلی‌گرم در لیتر مس و یا بالاتر به‌مدت ۱۰ هفته سطح برگ و تعداد برگ خیار را کاهش داد. غلظت بیشتر مس (۱۰۰ گرم در هکتار) باعث کاهش سطح برگ، قطر و طول آنها شد (Barbosa *et al.*, 2013). در گیاهان آلی سمیت فلزات سنگین موجب توقف رشد و کاهش تولید بیوماس می‌شوند. ممانعت از انبساط سلول و تقسیم سلول، عدم‌تعادل هورمون، اختلال در متابولیسم نیتروژن، کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی و به‌هم خوردن وضعیت آبی گیاه توسط فلزات سنگین منجر به کاهش سطح برگ و بیوماس و رشد می‌شود (Xiong *et al.*, 2006; El-Tayeb *et al.*, 2006). این نتایج همسو با یافته‌های Wang

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها بر صفات مورفولوژیکی خیار

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	سطح برگ	وزن تر برگ	وزن خشک برگ
مس	۲	۲۵۹/۰۵ ns	٤/۰۵ **	۲٦۲۸۲٤/٦۰ **	۲۰۸٦/۲۰ **	۲۳/۱۰ **
سالیسیلیک اسید	۱	۲۸۰/۰۵ ns	۱/۳۸ ns	۱۲۵۲٤/۱۰ ns	۱۰/۸۸ ns	۰/۵٤٤ ns
مس × سالیسیلیک اسید	۲	۷/۳۸ ns	۷/۲۲ ns	۳٤۲/۹۰ ns	۰/۲۲۲ ns	۰/۸۹۳ *
خطای آزمایش	۱۲	۲۱۸/۸	۰/۵۵٦	٦٤۵٤/۵۰	٤۸/۸۸	۰/۲۰۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۷	۲/۸۹	٤/۸٤	۹/٦۳	۵/۰۱

****، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار**

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های رشد رویشی خیار در سطوح مختلف مس و سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها

سالیسیلیک اسید (µM)	مس (µM)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد برگ	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	وزن تر برگ (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)
۰	۲۳	۱۱۷/۳۳	۲۵/۰۰	۱۸٤٦/۸۰ a	۹۳/۰۰ a	۱۱/۳۱ a
	٤۷	۱۲۰/۳۳	۲٤/٦٦	۱٦۲۷/۵٦ b	٦۵/۰۰ b	۸/۰۱ c
	۹٤	۱۲۸/۳۳	۲٦/٦٦	۱٤۱۸/۵۰ c	۵۷/۳۳ b	۷/۲٤ c
۷۵۰	۲۳	۱۲۲/٦٦	۲۵/۳۳	۱۸۸۳/۱۳ a	۹٤/۳۳ a	۱۱/۰۲ a
	٤۷	۱۲۹/۳۳	۲٦/۰۰	۱٦۹۳/٦٦ b	٦٦/۳۳ b	۹/۲۲ b
	۹٤	۱۳۷/٦٦	۲٦/٦٦	۱٤۷٤/۳۳ c	۵۹/۳۳ b	۷/۳۷ c

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم‌وجود اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها در سطح ۵ درصد

و همکاران (۲۰۰٤) بود. بیش‌بود مس در آفتابگردان باعث کاهش در وزن تر و خشک اندام‌های مختلف گردید و کاربرد سالیسیلیک اسید رشد ریشه، ساقه و برگ را هم در گیاهان شاهد و هم در گیاهان تحت تنش مس بهبود بخشید (El-Tayeb, 2005). از آنجا که محلول‌پاشی با غلظت کم سالیسیلیک اسید باعث افزایش در تقسیم و تمایز سلول‌ها و همچنین سبب افزایش بافت‌های استحکامی و جلوگیری از تخریب دیواره سلولی می‌شود. بنابراین به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با غلظت‌های کم سالیسیلیک اسید می‌تواند با جلوگیری از کاهش تقسیم و اندازه سلولی، اثرات منفی تنش مس را بر میزان رشد گیاه تعدیل نماید (مداح و فلاح‌پور ۱۳۸۵).

نسبت Fv/Fm: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات اصلی و متقابل مس و سالیسیلیک اسید بر نسبت Fv/Fm از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ٦). به طوریکه با افزایش تنش مس نسبت Fv/Fm کاهش یافت. در برگ‌های سالم و شاهد نسبت Fv/Fm نزدیک ۰/۸ بود و حداکثر نسبت Fv/Fm در تیمار سالیسیلیک اسید۷۵۰ میکرومولار مشاهده شد (جدول ۷). نتایج این پژوهش همسو با یافته‌های Afrousheh و همکاران (۲۰۱۵) بود. نسبت Fv/Fm بیانگر عملکرد کوانتومی فتوسیستم ۲ است همچنین این نسبت اغلب به‌عنوان شاخص تنش به‌کار برده می‌شود. نسبت کمتر Fv/Fm نشان می‌دهد که مراکز واکنش فتوسیستم ۲ آسیب دیده است. رشد برگ‌ها تحت شرایط سمیت مس موجب کاهش محتوای کلروفیل، تغییر ساختار کلروپلاست و ترکیب غشاء تیلاکوئید می‌شود (Yruela, 2005). حساسیت فتوسیستم ۲ به سمیت مس بیشتر از فتوسیستم ۱ است. سمیت مس هم در دو جایگاه دهنده و پذیرنده الکترون در فتوسیستم ۲ اثر مخرب دارد. مس می‌تواند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها بر برخی صفات بیوشیمیایی و عملکرد خیار

منابع تغییرات	درجه آزادی	نسبت Fv/Fm	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز	پروتئین محلول
مس	۲	۰/٤۳۷ **	۳۱۰/۳۹ **	۱٤۸/۷۷ **	۰/۰٦۲ **
سالیسیلیک اسید	۱	۰/۰۳۸ **	٦۹/۲۲ **	۷۷/۲۹ **	۰/۳۹۹ **
مس × سالیسیلیک اسید	۲	۰/۰۰٦ *	۳/۰۸ **	۳/۱۷۷ ns	۰/۰۲۱ *
خطای آزمایش	۱۲	۰/۰۰۱ *	۰/۷۷۹	۵/۰۰۷	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (٪)		۳/۹۹	۱۹/٤۷	۱۰/۱۱	۳/۷٤

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار**

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی خیار در سطوح مختلف مس و سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها

سالیسیلیک اسید (µM)	مس (µM)	نسبت Fv/Fm	آسکوربات پراکسیداز (U g^{-1} FW)	پراکسیداز (U g^{-1} FW)	پروتئین محلول (mg g^{-1} FW)
۰	۲۳	۰/۸۱٦ a	۹/۹۳ e	۲۳/۷۳	۱/۹۰۷ b
	٤۷	۰/۷۸۳ c	۱۹/۰۳ c	۲۱/۰٦	۱/۷۲۷ c
	۹٤	۰/۷٦۰ e	۲۳/۵٦ b	۱۵/٤۰	۱/۵۸۸ d
۷۵۰	۲۳	۰/۸۲۰ a	۱۲/۸٦ d	۲۹/۰۰	۲/۰۹۳ a
	٤۷	۰/۷۹۹ b	۲٤/٦۰ b	۲۵/۷۳	۲/۰۱٤ ab
	۹٤	۰/۷٦۸ d	۲٦/۸۳ a	۱۷/۹۰	۲/۰۰۹ ab

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها در سطح ۵ درصد

از طریق واکنش با یون‌های ضروری مثل کلر، کلسیم و منگنز در کمپلکس پروتئینی باعث تخریب ترکیب پلی‌پپتیدی کمپلکس آزادکننده اکسیژن شده و منتهی به کاهش کارائی فتوسیستم ۲ می‌شود (Krupa and Baszynski, 1995).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و پروتئین محلول: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی و متقابل مس و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از نظر آماری معنی‌دار بود اما فعالیت آنزیم پراکسیداز فقط متأثر از اثرات اصلی مس و سالیسیلیک اسید قرار گرفت (جدول ٦). براساس مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش غلظت مس در محلول غذایی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت در حالیکه روند فعالیت آنزیم پراکسیداز بر عکس آسکوربات پراکسیداز بود بدین صورت که با افزایش غلظت مس در محلول غذایی فعالیت آنزیم پراکسیداز کاهش نشان داد. کاربرد سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار شاهد آن باعث افزایش فعالیت هر دو آنزیم گردید (جدول ۷). به‌طور کلی تنش یونی سبب ایجاد تنش ثانویه‌ای به نام تنش اکسیداتیو می‌شوند که منجر به تولید رادیکال سوپراکسید و به‌دنبال آن سایر گونه‌های فعال اکسیژن (Abdul Jaleel *et al.*, 2009) می‌گردد. تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان به‌طور بسیار کارآمدی اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن را برطرف می‌نماید (Ashraf and Ali, 2008). سالیسیلیک اسید می‌تواند تنش اکسیداتیو ناشی از مسمومیت مس را در لوبیا تعدیل نماید. کاهش آسیب اکسیداتیو ممکن است تا حدودی مرتبط با خصوصیات آنتی‌اکسیدانی سالیسیلیک اسید و همچنین نقش سالیسیلیک اسید در فعالیت واکنش‌های آنتی‌اکسیدانت باشد (Zengin, 2014; Popova *et al.*, 2009). پراکسیداز نقش مهمی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

سرعت بخشیدن به تبدیل H_2O_2 به H_2O و O_2 دارد (Gratao *et al.*, 2005). آسکوربات پراکسیداز همراه با مونودهیدرو آسکوربات ردااکتاز، دهیدرو آسکوربات ردااکتاز و گلوتاتیون ردااکتاز H_2O_2 را به H_2O از طریق مسیر آسکوربات- گلوتاتیون تبدیل می‌کند. آسکوربات پراکسیداز اولین آنزیم در این مسیر است که H_2O_2 را با استفاده از آسکوربات به‌عنوان یک دهنده الکترون در یک واکنش اکسایش - کاهش حذف می‌کند (Noctor and Foyer, 1998). تعادل میان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یک فاکتور اساسی و بحرانی برای تعیین سطح پایدار رادیکال‌های سوپراکسید و هیدروژن پراکسید است. این تعادل برای جلوگیری از تشکیل بیش از اندازه رادیکال‌های هیدروکسیل بسیار مهم است (Mittler, 2002). تولید گونه‌های فعال اکسیژن و واکنش آنتی‌اکسیدانت‌ها بستگی به گونه‌گیاهی، شدت و مدت زمان تنش مس دارد به طوریکه با افزایش غلظت مس در بستر رشد، تولید گونه‌های فعال اکسیژن نیز بیشتر شد. در بیشتر گونه‌های گیاهی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تا محدوده معینی افزایش یافت و سپس فعالیت آنزیم کاهش نشان داد دلیل این امر ممکن است ناشی از شدت تنش مس در گیاهان باشد (Olteanu *et al.*, 2013). براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر ساده و متقابل مس و سالیسیلیک اسید بر پروتئین محلول برگ معنی‌دار گردید (جدول ٦). بیشترین کاهش در مقدار پروتئین محلول در غلظت ۹٤ میکرومولار مس به ثبت رسید. کاربرد سالیسیلیک اسید توانست غلظت پروتئین محلول را در برگ‌های خیار افزایش دهد (جدول ۷). سنتز کمتر پروتئین محلول تحت شرایط بیش‌بود فلزات سنگین ممکن است از فعالیت زیاد گونه‌های فعال اکسیژن و به‌دنبال آن آسیب اکسیداتیو پروتئین ناشی شود که این امر باعث تغییرات در اسیدآمینه، تقسیم زنجیره پپتیدی و تغییر در بار الکتریکی می‌گردد (Davies, 2003). بیش‌بود مس مقدار پروتئین محلول در کلم و جو را کاهش داد (Guo *et al.*, 2007; Chatterjee and Chatterjee, 2000). سالیسیلیک اسید باعث تحریک سنتز پروتئین در قسمت‌های مختلف گیاهان شاهد و تحت تنش مس می‌شود دلیل این امر ممکن است ناشی از تأثیر متقابل فلزات سنگین با سالیسیلیک اسید باشد (Kang *et al.*, 2003).

غلظت مس شاخساره و ریشه: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها غلظت مس در شاخساره و ریشه متأثر از اثر اصلی تیمار مس قرار گرفت (جدول ۸). به طوریکه با افزایش غلظت مس در محلول غذایی مقدار مس در ریشه و شاخساره افزایش یافت. مس جذب‌شده عمدتاً در ریشه‌ها تجمع‌یافته بود. تجمع مس در ریشه و شاخساره خیار در غلظت ۹٤ میکرومولار مس در مقایسه با ۲۳ و ٤۷ میکرومولار مس در محلول غذایی بیشتر بود (جدول ۹). کاهش شدید رشد ریشه در بیش‌بود مس ممکن است به‌خاطر تجمع بیشتر مس در ریشه باشد. سالیسیلیک اسید تأثیری روی تجمع مس نداشت اما آن تغییرات متابولیکی زیادی را در گیاهان تحریک می‌کند. این نتایج با یافته‌های Kopittk و Menzies (۲۰۰٦) همخوانی دارد که تجمع بیشتری از مس در ریشه در مقایسه با شاخساره را مشاهده نمود.

عملکرد میوه: نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد میوه (۵۳۰ گرم در بوته) در غلظت ۲۳ میکرومولار مس و تیمار سالیسیلیک اسید حاصل شد. اما کمترین عملکرد میوه (۲۸۲ گرم در بوته) در غلظت ۹٤ میکرومولار مس و بدون تیمار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۹). افزایش غلظت مس در محلول غذایی همچنین در برگ و ریشه باعث کاهش عملکرد (جدول ۱۰) و همچنین محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید باعث بهبود در عملکرد خیار گردید. کاهش عملکرد خیار ممکن است ناشی از رشد کمتر ریشه، سطح برگ پایین و ماده خشک کمتر برگ باشد.

علائم مسمومیت برگ: براساس مشاهدات این آزمایش علائم سمیت در برگ‌های خیار ابتدا به‌صورت رنگ پریدگی و به‌دنبال آن به‌صورت سوختگی بین رگبرگ‌ها در غلظت‌های ٤۷ و ۹٤ میکرومولار مس در محلول غذایی ظاهر گردید (شکل ۱). در حالیکه در تیمار ۲۳ میکرومولار مس هیچ گونه علائم سمیت مس مشاهده نگردید. این علائم در غلظت ۹٤ میکرومولار شدیدتر از ٤۷ میکرومولار مس بود. اما استفاده از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس تأثیر مس و سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد خیار

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	مس شاخساره	مس ریشه
مس	۲	٦٨٨٥٤/١ **	١٣٠٩/٣٨ **	٣٩٥٨٣٢٢/٠ **
سالیسیلیک اسید	١	٨٣٦٣/٥٥ **	٢٢/٢٢ ns	٠/٨٨٨ ns
مس × سالیسیلیک اسید	٢	١٩/٠٥ ns	٧/٣٨ ns	١٠٠/٧٢ ns
خطای آزمایش	١٢	٥٢٠/٨٣	٢٢/٤٤	٣٨٧٨/٦٦
ضریب تغییرات (٪)		٥/٩١	١٢/٨٨	٦/٦٨

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار**

جدول ۹- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد خیار در سطوح مختلف مس و سالیسیلیک اسید و برهمکنش آنها

سالیسیلیک اسید (µM)	مس (µM)	عملکرد (g plant^{-1})	مس شاخساره (µg g^{-1} DW)	مس ریشه (µg g^{-1} DW)
٠	٢٣	٤٨٣/٣٣ b	٢٢/٦٦ c	٢٧١/٣٣ c
	٤٧	٣٢٧/٣٣ d	٣٦/٦٦ b	٦٩٠/٠٠ b
	٩٤	٢٨٢/٦٦ e	٥٤/٣٣ a	١٨٣٣/٠٠ a
٧٥٠	٢٣	٥٣٠/٣٣ a	٢٢/٣٣ c	٢٦٦/٦٦ c
	٤٧	٣٦٩/٦٦ c	٣٥/٠٠ b	٦٨٤/٣٣ b
	٩٤	٣٢٢/٦٦ de	٤٩/٦٦ a	١٨٤٢/٠٠ a

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم‌وجود اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها در سطح ۵ درصد

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین برخی صفات مهم در تیمار مس و سالیسیلیک اسید خیار گلخانه ای

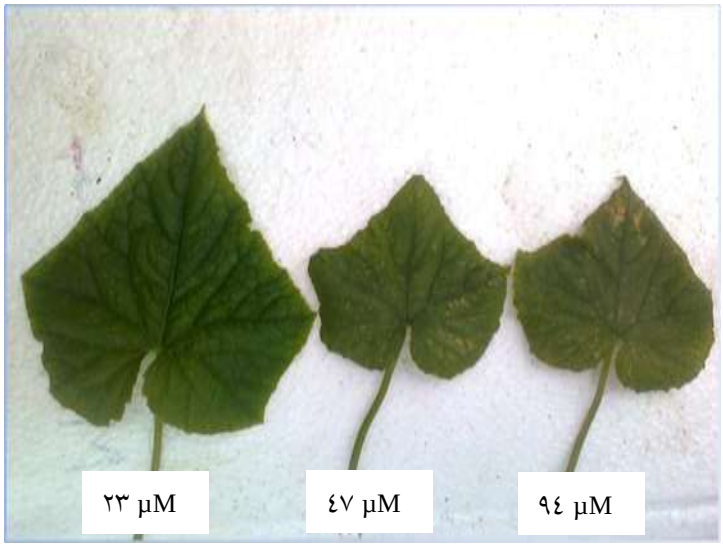
صفت	عملکرد	مس شاخساره	مس ریشه	پروتئین	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز
عملکرد	١	-٠/٧٩١ **	-٠/٨٤٨ **	-٠/٦٠٥ **	-٠/٨٢٥ **	٠/٧٢٩ **
مس شاخساره		١	٠/٩٢٥ **	-٠/٨٠٤ ns	٠/٧٩٥ ns	٠/٨٢٧ **
مس ریشه			١	-٠/٤٥٤ ns	٠/٨٠٦ **	-٠/٧٩٤ **
پروتئین				١	-٠/١٨٢ ns	٠/٦٩٤ **
آسکوربات پراکسیداز					١	-٠/٥٤٥ *
پراکسیداز						١

****، * و ns** به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

سالیسیلیک اسید باعث کاهش سوختگی برگ در تیمار ٤٧ میکرومولار در مقایسه با غلظت ٩٤ میکرومولار مس شد. علائم مسمومیت مس در خیار توسط Rouphael و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش شده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]



شکل ۱- علائم مسمومیت مس. برگ سمت چپ تیمار ۲۳ میکرومولار مس، برگ وسط تیمار ٤۷ میکرومولار مس و برگ سمت راست تیمار ۹٤ میکرومولار مس در محلول غذایی

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت بهینه مس برای رشد و نمو مناسب خیار گلخانه‌ای در سیستم هیدروپونیک ۲۳ میکرومولار است. اما غلظت‌های ٤۷ و ۹٤ میکرومولار باعث کاهش رشد و عملکرد خیار گلخانه‌ای می‌شود. محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید توانست از اثرات منفی مسمومیت مس بکاهد.

منابع

حبیبی، ق.، صادق‌پور، ز. و حاجی‌بلند، ر. (۱۳۹٤) تأثیر تیمار سالیسیلیک اسید بر گیاه توتون (*Nicotiana rustica*) تحت تنش خشکی. زیست‌شناسی گیاهی ایران ۷: ۲۸-۱۷.

مداح، م.، فلاحیان، ف. ا.، صباغ‌پور، ح. و چلبیان، ف. (۱۳۸۵) اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزاء عملکرد و ساختار تشریحی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی ۱: ۷۰-٦۱.

Abdul Jaleel, C., Riadh, K., Gopi, R., Manivannan, P., Ines, J., Al-Juburi, H. J., Chang-Xing, Z., Hong-Bo, S. and Panneerselvam, R. (2009) Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constrains. Acta Physiologia Plantarum 31: 427-436.

Afrousheh, M., Tehranifar, A., Shoor, M. and Safari, V. R. (2015) Salicylic acid alleviates the copper toxicity in *Tagetes erecta*. International Journal of Farming and Allied Sciences 4: 232-238.

Ahmad, P., Jaleel, C. A., Salem, M. A., Nabi, G. and Sharma, S. (2010) Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. Critical Reviews Biotechnology 30: 161-175.

Ali, N. A., Bernal, M. P. and Ater, M. (2002) Tolerance and bioaccumulation of copper in *Phragmites australis* and *Zea mays*. Plant and Soil 239: 103-111.

Alia, N., Sardar, K., Said, M., Salma, K., Sadia, A., Sadaf, S., Toqeer, A. and Miklas, S. (2015) Toxicity and bioaccumulation of heavy metals in spinach (*Spinacia oleracea*) grown in a controlled environment. International Journal of Environmental Research Public Health 12: 7400-7416.

Ashraf, M. and Ali, Q. (2008) Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determination of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany 63: 266-273.

Azmat, R. and Riaz, S. (2012) The inhibition of polymerization of glucose in carbohydrate under Cu stress in *Vigna radiata*. Pakistan Journal of Botany 44: 95-98.

Barakat, M. A. (2011) New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. Arabian Journal of Chemistry 4: 361-377.

Barbosa, R. H., Tabaldi, L. A., Miyazaki, F. R., Pilecco, M., Kassab, S. O. and Bigaton, D. (2013) Foliar copper uptake by maize plants: effects on growth and yield. Cienc Rural 43: 1561-1568.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

Barker, A. and Pilbeam, D. J. (2007) Handbook of Plant Nutrition. CRC, Taylor and Francis.
Bouazizi, H., Jouili, H., Geitmann, A. and Ferjani, E. E. (2010) Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. Ecotoxicology and Environmental Safety 73: 1304-1308.
Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annals Biochemistry 72: 248-254.
Chatterjee, J. and Chatterjee, C. (2000) Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. Environmental Pollution 109: 69-74.
Contreras, L., Mella, D., Moenne, A. and Correa, J. A. (2009) Differential responses to copper-induced oxidative stress in the marine macroalgae *Lessonia nigrescens* and *Scytosiphon lomentaria* (Phaeophyceae). Aquat Toxicol 94: 94-102.
Davies, M. J. (2003) Singlet oxygen-mediated damage to proteins and its consequences. Biochemical and Biophysical Research Communications 305: 761-770.
El-Tayeb, M. A. (2005) Response of barley grains to the interactive effect of salinity and SA. Plant Growth Regulation 45: 215-224.
El-Tayeb, M. A., El-Enany, A. E. and Ahmad, N. L. (2006) Salicylic acid induced adaptive response to copper stress in sunflower. International Journal of Botany 2: 372-379.
El-Tayeb, M. and El-Enany, A. (2006) Salicylic acid induced adaptive response to copper stress in sunflower (*Helianthus annus* L.). Plant Growth Regulation 50: 191-199.
FAO. (2009) FAO Land and plant nutrition management service. Available online at: http://www.fao.org/. Accessed 10 Jan 2015.
Gratao, P. L., Polle, A., Lea, P. J. and Azevedo, R. A. (2005) Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. Functional Plant Biology 32: 481-494.
Guo, T. R., Zhang, G. P. and Zhang, Y. H. (2007) Physiological changes in barley plants under combined toxicity of aluminum, copper and cadmium. Colloid Surfaces B: Biointerfaces 57: 182-188.
Habibi, G. (2012) Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. Acta Biologica Szegediensis 56: 57-63.
Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. (2010) Effect of exogenous SA under changing environment: a review. Environmental and Experimental Botany 68: 14-25.
Hemeda, H. M. and Kelin, B. P. (1990) Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. Journal of Food Science 55: 184-185.
Hoagland, D. R. and Arnon, D. S. (1950) The water culture method for growing plants without soil. California Agriculture Experimental Station Circular 374: 1-32.
Iseri, O. D., Korpe, D. A., Yurtcu, E., Sahin, F. I. and Haberal, M. (2011) Copper induced oxidative damage, antioxidant response and genotoxicity in *Lycopersicum esculentum* Mill. and *Cucumis sativus* L. Plant Cell Reports 30: 1713-1721.
Kang, G., Wang, C., Sun, G. and Wang, Z. (2003) SA changes activities of H_2O_2-metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. Environmental and Experimental Botany 34: 56-59.
Kopittk, P. M. and Menzies, N. W. (2006) Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant Soil 279: 287-296.
Krupa, Z. and Baszynski, T. (1995) Some aspect of heavy metal toxicity towards photosynthetic apparatus – direct and indirect effect of light and dark reactions. Acta Physiologia Plantarum 17: 177-190.
Mackie, K. A., Muller, T. and Kandeler, E. (2012) Remediation of copper in vineyards a mini review. Environmental Pollution 167: 16-26.
Marschner, P. (2012) Marschner Mineral Nutrition of Higher Plants 3 nd Ed. Elesevier Ltd.
Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7: 405-10.
Mostofa, M. G. and Fujita, M. (2013) Salicylic acid alleviates copper toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by up regulating antioxidative and glyoxalase systems. Ecotoxicology 22: 959-973.
Nakano, Y. and Asada, K. (1987) Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplast: in inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. Plant Cell Physiology 28: 131-140.
Noctor, G. and Foyer, C. H. (1998) Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. Annual Review of Plant Physiology 49: 249-279.
Olteanu, Z., Truta, E., Oprica, L., Magdalena, M., Craita, Z., Rosu, M. and Vochita, G. (2013) Copper induced changes in antioxidative response and soluble protein level in *Triticum aestivum* cv. Beti seedlings. Romanian Agricultural Research 30: 163-170.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

Pena, L. B., Barcia, R. A., Azpilicueta, C. E., Mendez, A. A. and Gallego, S. M. (2012) Oxidative post translational modifications of proteins related to cell cycle are involved in cadmium toxicity in wheat seedlings. Plant Science 196: 1-7.

Popova, L. P., Maslenkova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P., Szalai, G. and Janda, T. (2009) Exogenous treatment with SA attenuates Cd toxicity in pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry 47: 224-231.

Radwan, D. E. M. (2012) Salicylic acid induced alleviation of oxidative stress caused by clethodim in maize (*Zea mays* L.) leaves. Pesticide Biochemistry and Physiology 102: 182-188.

Rouphael, Y., Cardarelli, M. and Colla, G. (2008) Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. HortScience 43: 730-736.

Singh, S., Parihar, P., Singh, R., Singh, V. P. and Prasad, S. M. (2016) Heavy metal tolerance in plants: role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. Frontier in Plant Science 6: 1143.

Wang, S. H., Yang, Z. M., Yang, H., Lu, B., Li, S. Q. and Lu, Y. P. (2004) Coper-induced stress and antioxidative responses in root of *Brassica juncea* L. Botanica Bulletin of Academy Sinica 45: 203-212.

Wuana, R. A. and Okieimen, F. E. (2011) Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. International Scholarly Research Notices: Ecology 1-20

Xiong, Z. T., Liu, C. and Geng, B. (2006) Phytotoxic effects of copper on nitrogen metabolism and plant growth in *Brassica pekinsis* Rupr. Ecotoxicology and Environmental Safety 64: 273-280.

Yruela, I. (2005) Copper in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology 17: 145-156.

Zengin, F. (2014) Exogenous treatment with salicylic acid alleviating copper toxicity in bean seedlings. Proceedings of the National Academy of Science, India, Section B Biological Sciences 84: 749-755.

Zhao, S. L., Liu, Q., Qi, Y. T. and Duo, L. (2010) Responses of root growth and protective enzymes to copper stress in turfgrass. Acta Biologica Cracoviensia, series Botanica 52: 7-11.

Zheng, Y., Wang, L., Cayanan, D. F. and Dixon, M. (2010) Greenhouse cucumber growth and yield response to copper application. HortScience 45: 771-774.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]

Effect of salicylic acid on some vegetative and biochemical properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under copper stress

Rasoul Azarmi *
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(Received: 08/06/2018, Accepted: 21/10/2018)

Abstract

Soil and water toxicity with copper (Cu) create serious problems on plant growth and production as well as human health. Exogenous application of salicylic acid (SA) can alleviate adverse effects of Cu stress. In this research, in order to investigate the effect of salicylic acid (SA) on the morphological and physiological properties of cucumber under cupper (Cu) stress, an experiment was carried out as factorial based on completely randomized block design with three levels of cupper of 23, 47 and 94 µM and salicylic acid with two levels of 0 and 750 µM with three replications under hydroponics conditions. The results showed that copper stress negatively affected root dry weight, root volume, leaf area, leaf fresh and dry weight of cucumber plants. The greatest root fresh weight and Fv/Fm ratio was obtained with 23 µM cu treatment in both SA and non-SA treatments. Cu accumulated more heavily in roots than in shoots. The ascorbate peroxidase (APX) activity in the leaves was increased by increasing copper concentration and the highest activity of APX was observed in plants fed with 94 µM and was more pronounced in plants treated with SA, whereas, peroxidase (POX) activity showed reverse trend. The highest yield (530 g plant) was obtained in the concentration of 23 µM Cu and treated with salicylic acid, but the lowest yield (282 g plant) was achieved in the concentration of 94 µM Cu and without salicylic acid treatment. Based on the results of this experiment, application of 750 µM SA can alleviate the negative effects of Cu stress at concentrations of 47 and 94 µM on the growth and biochemical responses in cucumber.

Keywords: Ortho-hydroxy benzoic acid, Greenhouse Cucumber, Growth, Heavy metal

Corresponding author, Email: r_azarmi@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.13.3]