نقش یون‌های معدنی و پرولین در تحمل دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش مس

فریبا میقانی: موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، بخش تحقیقات علف‌های‌هرز
مه‌لقا قربانلی: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
بهاره اسدالهی: دانشگاه پیام نور، واحد تهران

چکیده

اثر غلظت‌های متفاوت(۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار) کلرید مس بر انباشتگی کاتیون‌های مس، آهن، منگنز و پتاسیم و همچنین غلظت پرولین در برگ و ریشه دو رقم کلزا(*Brassica napus* L.) (پی‌اف و هایولا) در مرحله طوقه‌ای در شرایط گل‌خانه بررسی شد. در مجموع، در پاسخ به تیمارهای کلرید مس تفاوت معنی‌داری بین رفتار فیزیولوژیک ارقام مورد بررسی مشاهده شد؛ بدین معنی که با افزایش غلظت کلرید مس در محیط، افزایش غلظت یون مس و پرولین و همچنین کاهش یون‌های آهن، منگنز و پتاسیم در رقم پی‌اف (به ویژه در ریشه) در مقایسه با رقم هایولا چشم‌گیرتر بود. بنا بر این، به نظر می‌رسد رقم پی‌اف توانایی بیش‌تری نسبت به هایولا برای مقابله با این تنش دارد. بدین ترتیب از دیدگاه بیوشیمیایی می‌توان رقم پی‌اف را به عنوان رقم متحمل‌تر به تنش فلز سنگین مس معرفی کرد.

مقدمه

گیاهان طی چرخه زندگی خود معمولاً در معرض انواع وسیعی از تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند که از جمله آن‌ها می‌توان به تنش فلزات سنگین اشاره نمود. دشواری اصلی گیاه در محیط محتوی فلزات سنگین مانند مس این است که اقدام به انباشتگی یون مس و کاهش غلظت کاتیون‌های ضروری مانند آهن، پتاسیم و منگنز می‌کند[۳۱].

آپوپلاست، نخستین جایگاه جذب فلزات در ریشه است[۱۶]. بخشی از فلزات جذب شده به آپوپلاست به ترکیبات دیواره سلولی متصل می‌شود. در دیواره سلولی، پکتین‌هایی مانند پلی‌گالاکتورونیک‌اسید و گروه‌های کربوکسیل با بار منفی آن به عنوان مبادله کننده‌های کاتیونی عمل می‌کنند. بخش دیگر فلزات جذب‌شده، به قسمت‌های دورتر آپوپلاست و قسمتی از آن‌ها نیز از طریق غشای پلاسمایی به سیتوپلاسم انتقال می‌یابند.

واژه‌های کلیدی: تنش مس، کاتیون‌های معدنی، پرولین، ارقام کلزا
دریافت ۸۵/۲/۳ پذیرش ۸٦/۹/۱۱

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

گیاهان مکانیسم‌های متفاوتی برای جذب فلزات سنگین دارند[۲۵]. جذب فلزات سنگین از جمله مس به دو صـورت فعال و غیرفعال آن‌جام می‌گیرد[۲]. ۳۰ درصد مس به صورت غیرفعال و بقیه آن به طور فعال جذب می‌شود که احتمالاً این عمل به وسیله آنزیم آتپاز صورت می‌گیرد[۸].

گیاهان در برابر اثرات سمی فلزات سنگین، مکانیسم‌های دفاعی متفاوتی نشان می‌دهند که از مهم‌ترین آن‌ها، غیرفعال‌کردن یون‌های فلزی از طریق تشکیل کمپلکس‌هایی با ترکیبات فیتوکلاتین و متالوتیونین است. سازش گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله تنش فلزات سنگین با انباشتن متابولیت‌هایی مانند ترکیبات نیتروژن‌دار (پرولین و سایر آمینواسیدها و پلی‌آمین‌ها) و کربوهیدرات‌ها(ساکارز، سایر اولیگوساکاریدها و پلی‌ساکاریدها) نیز آن‌جام می‌گیرد. از آن‌جا که این متابولیت‌ها تعارضی با واکنش‌های بیوشیمیایی ندارند، به متابولیت‌های سازگار معروفند. القای سنتز پرولین از نخستین پاسخ‌های گیاه به تنش‌های محیطی محسوب می‌شود[۲۸]. در بین آمینواسیدها، پرولین حساسیت بیش‌تری به تنش‌های محیطی نشان می‌دهد. افزایش پرولین باعث سازش بیش‌تر سلول با شرایط تنش و حفاظت از آنزیم‌های سیتوزول و ساختارهای سلولی می‌شود. پرولین نقش‌های متعددی مانند تنظیم pH سلول، پایدارکردن پروتیین، محافظت در برابر سرما و تنظیم پتانسیل ردوکس دارد. پرولین عمدتاً در سیتوپلاسم انباشته می‌شود تا پتانسیل اسمزی واکویل متعادل شود. بررسی‌های زیادی روی مسیرهای بیوسنتز و کاتابولیسم پرولین صورت گرفته است، اما در باره کدبندی پرولین بین سیتوپلاسم زمینه و واکویل گیاهان عالی یافته‌های محدودی در دست است[۳].

نظر به این‌که کلزا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی ایران و جهان به شمار می‌رود و با توجه به این‌که اثر تنش مس بر انباشتگی یون‌های معدنی و پرولین در این گیاه و نیز مقایسه ارقام کلزا از نظر تحمل تنش‌های محیطی به ویژه، تنش فلزات سنگین، کم‌تر مورد توجه محققان قرار گرفته است و انجام پژوهش حاضر ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

کشت گل‌خانه‌ای

برای آن‌جام این پژوهش، بذر دو رقم کلزا (پی‌اف و هایولا) از موسسه کشت دانه‌های روغنی تهیه شد. بذرهای نسبتاً هم‌اندازه و عاری از آسیب یا بیماری مورد استفاده قرار گرفتند. کشت بذر در گلدان‌های پلاستیکی محتوی حدود ۳ کیلوگرم مخلوطی از ماسه- رس به نسبت به ترتیب ۱:۳ آن‌جام گرفت. در هر گلدان ۱۰ بذر کاشته شد. آبیاری سطحی ابتدا با آب و سپس هفته‌ای ۲ بار با محلول غذایی هوگلند آن‌جام گرفت. گلدان‌های محتوی گیاه در گلخانه و در شرایط کنترل‌شده (شدت روشنایی: ۳۵۰۰ لوکس، دوره روشنایی ۱۶/۸ ساعت با تناوب دمایی۲۵/۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی: حدود ۵۰ در صد) نگه‌داری شدند[۲۶]. با رسیدن به

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

مرحله طوقه‌ای، گیاهان به محیط کشت هوگلند منتقل شدند و پس از ۳ روز تحت تیمارهای ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار کلرید مس قرار گرفتند. روزانه دو ساعت هوادهی صورت می‌گرفت. پس از ۳ هفته، گیاهان از محیط هوگلند خارج شدند. نیمی از گیاهان برای سنجش غلظت کاتیون‌های معدنی ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک و نیمی دیگر برای سنجش غلظت پرولین در دمای ۲۰- درجه نگه‌داری شدند.

سنجش کاتیون‌های معدنی

مقدار کاتیون‌های مس، آهن و منگنز با استفاده از دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی اندازه‌گیری شد. غلظت نهایی هر کاتیون بر اساس منحنی استانداردی که با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر رسم شده بود، تعیین شد. اندازه‌گیری یون پتاسیم با استفاده از روش فلیم‌فتومتری صورت گرفت. غلظت هریک از عناصر برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش شد.

سنجش پرولین

با استفاده از معرف اسید-نین‌هیدرین، غلظت پرولین بر اساس روش بیتس و همکاران سنجیده شد [۶].

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از آزمایش‌های مختلف، آنالیز واریانس شدند. یک طرح دو عاملی (عامل A: غلظت‌های مختلف کلرید مس، یعنی تیمارهای ۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار و عامل B : ارقام کلزا یعنی پی‌اف و هایولا) در نظر گرفته شد. هر آزمایش ۴ بار تکرار شد و نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS تحلیل شدند. داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن آنالیز آماری شدند.

نتایج

اثر کلرید مس بر جذب یون‌های معدنی

یون مس

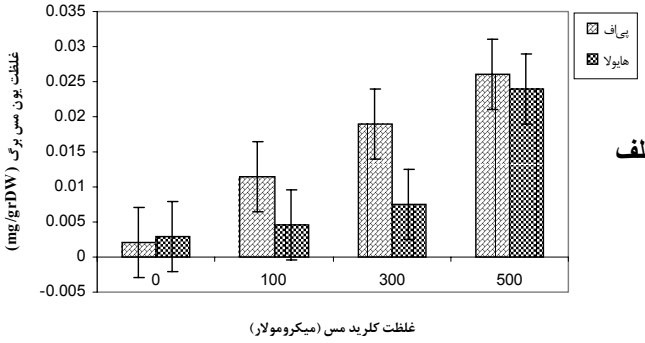
مقدار یون مس در برگ: در رقم پی‌اف، غلظت یون مس در پاسخ به تیمارهای ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار کلرید مس به ترتیب ۵/۸، ۹/۶ و ۱۳ برابر شاهد افزایش یافت. در رقم هایولا نیز غلظت یون مس با افزایش غلظت کلرید مس از ۱۰۰ به ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار به ترتیب ۱/۵، ۲/۴ و ۸ برابر شاهد افزایش نشان داد. تفاوت بین دو رقم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود(شکل ۱).

مقدار یون مس در ریشه: در ریشه رقم پی‌اف، افزایش معنی‌دار($p<$ ۰/۰۱) غلظت مس تحت تأثیر تیمارهای کلرید مس مشاهده شد. در بالاترین غلظت(۵۰۰ میکرومولار) کلرید مس، یون مس ۱۶ برابر و در

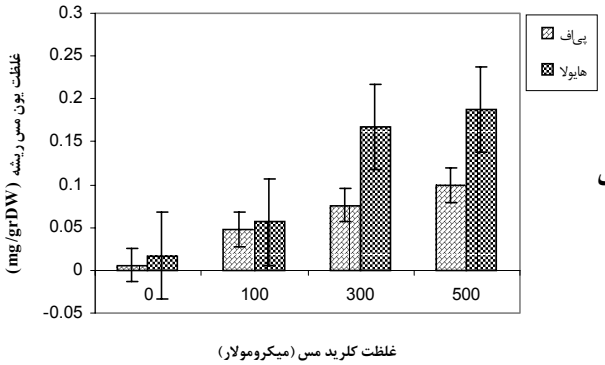
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار، به ترتیب ۸ و ۱۲ برابر شاهد افزایش نشان داد. در رقم هایولا نیز تیمارهای کلرید مس باعث افزایش غلظت یون مس شد. در بالاترین غلظت (۵۰۰ میکرومول) کلرید مس، غلظت مس ۱۱ برابر و در تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار به ترتیب ۳ و ۹ برابر شاهد افزایش نشان داد (شکل۲).

در مجموع، افزایش غلظت یون مس در رقم پی‌اف(به ویژه در ریشه) چشمگیرتر از رقم هایولا بود.



شکل۱. تغییرات غلظت یون مس در برگ کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند



شکل۲. تغییرات غلظت یون مس در ریشه کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند

یون پتاسیم

مقدار یون پتاسیم در برگ: افزایش غلظت کلرید مس در محیط، باعث کاهش غلظت یون پتاسیم در برگ رقم پی‌اف شد. تفاوت بین تیمارهای ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار کلرید مس با شاهد در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. در بالاترین غلظت(۵۰۰ میکرومول) کلرید مس، غلظت پتاسیم۳۷ و در ۳۰۰ میکرومولار کلرید مس،۶۷ درصد شاهد کاهش یافت. اثر تیمار ۱۰۰ میکرومولار کلرید مس، معنی‌دار نبود. در رقم هایولا غلظت پتاسیم برگ با افزایش غلظت کلرید مس از ۱۰۰ به ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار به ترتیب ۸۷، ۵۶ و ۳۹ درصد شاهد کاهش نشان داد. محاسبات آماری بیان‌گر تفاوت معنی‌دار بین دو رقم در سطح ۱ درصد است(شکل۳).

مقدار یون پتاسیم در ریشه: در رقم پی‌اف، تنش کلرید مس باعث کاهش غلظت پتاسیم ریشه شد. در بالاترین غلظت(۵۰۰ میکرومول) کلرید مس، یون پتاسیم ۲۵ و در تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ به ترتیب ۴۷ و ۴۴ درصد

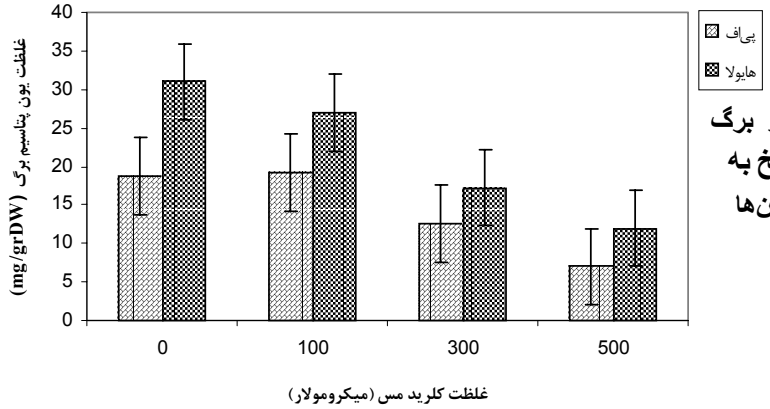
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

شاهد کاهش نشان داد. تفاوت بین دو تیمار اخیر معنی‌دار نبود. در رقم هایولا کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم ریشه در اثر تیمارهای کلرید مس مشاهده شد. در بالاترین غلظت(۵۰۰ میکرومول) کلرید مس، پتاسیم ۴۸ و در تیمار ۳۰۰ ، ۵۹ درصد شاهد کاهش نشان داد. اثر تیمار ۱۰۰ از نظر آماری معنی‌دار نبود، اما تفاوت بین دو رقم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود(شکل۴).

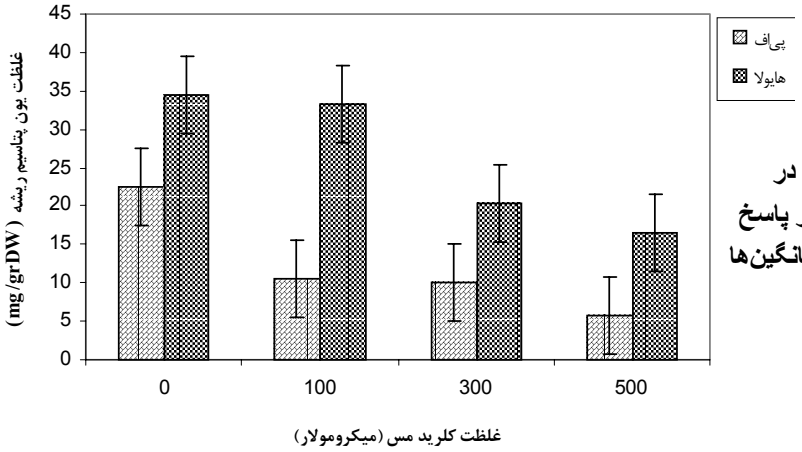
به طورکلی، غلظت یون پتاسیم در رقم پی‌اف(به ویژه در ریشه) کاهش بیش‌تری از رقم هایولا نشان داد.

یون منگنز

مقدار یون منگنز در برگ: در رقم پی‌اف، غلظت یون منگنز در پاسخ به تیمارهای ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار کلرید مس به ترتیب ۷۱، ۵۴ و ۴۶ درصد شاهد کاهش نشان داد. در رقم هایولا غلظت یون منگنز با افزایش غلظت کلرید مس از ۱۰۰ به ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار به ترتیب ۸۹، ۶۰ و ۵۵ درصد کاهش یافت. تفاوت بین دو رقم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود(شکل ۵).

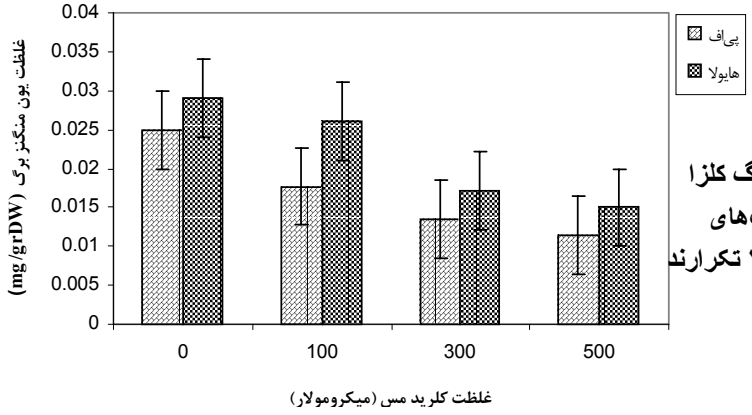


شکل ۳. تغییرات غلظت یون پتاسیم در برگ کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند



شکل ۴. تغییرات غلظت یون پتاسیم در ریشه کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند.

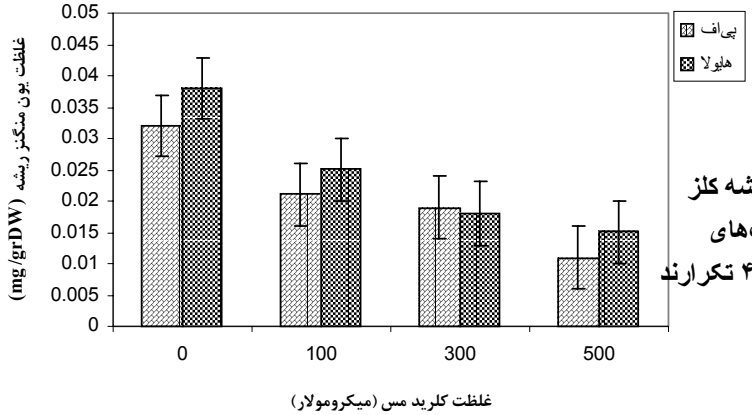
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل۵. تغییرات غلظت یون منگنز در برگ کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس.میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند

مقدار یون منگنز در ریشه: در رقم پی‌اف، تنش کلرید مس باعث کاهش غلظت یون منگنز شد. در بالاترین غلظت (۵۰۰ میکرومول) کلرید مس، یون منگنز ۳٤ و در تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ به ترتیب ۶۵ و ۶۰ درصد شاهد کاهش نشان داد. در رقم هایولا کاهش معنـــی‌دار غلظت یون منگنز در پاسخ به تیمارهای کلرید مس مشاهده شد. در بالاترین غلظت(۵۰۰ میکرومول) کلرید مس، غلظت یون منگنز ۳۹ و در تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار به ترتیب ۶۶ و ۴۷ درصد شاهد کاهش نشان داد(شکل ۶).

در مجموع، کاهش غلظت یون منگنز تحت تیمارهای کلرید مس در رقم پی‌اف (به ویژه در ریشه) به طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم هایولا بود.

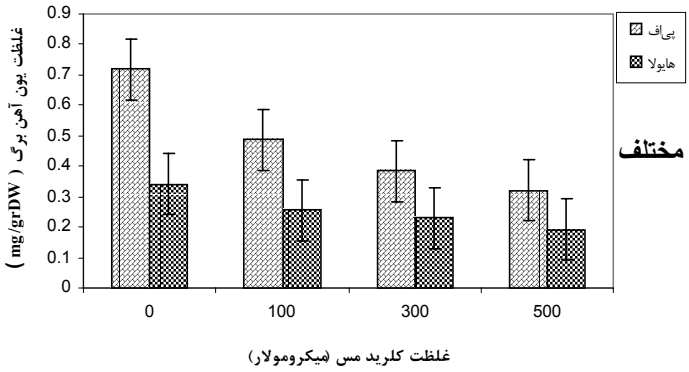


شکل۶. تغییرات غلظت یون منگنز در ریشه کلز (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند

یون آهن

مقدار یون آهن در برگ: تنش کلرید مس باعث کاهش غلظت یون آهن در برگ رقم پی‌اف و هایولا شد. در بالاترین غلظت(۵۰۰ میکرومول) کلرید مس، غلظت یون آهن ۴۵ و در تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ به ترتیب ۶۸ و ۵۳ درصد شاهد کاهش نشان داد. در رقم هایولا در پاسخ به تیمارهای ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار کلرید مس، غلظت یون آهن به ترتیب ۷۵، ۶۹ و ۵۸ درصد شاهد کاهش نشان داد(شکل۷).

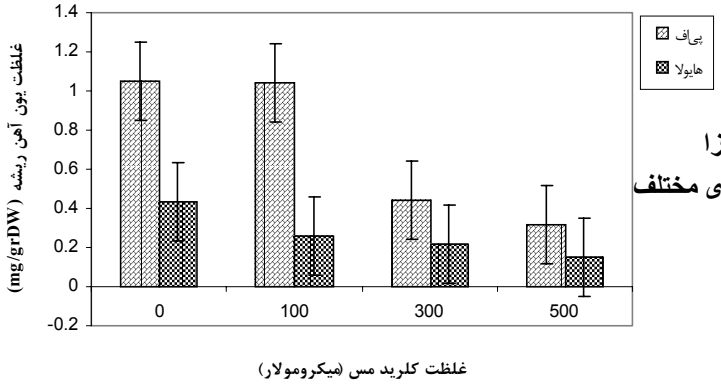
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل۷. تغییرات غلظت یون آهن در برگ کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند

مقدار یون آهن در ریشه: تنش کلرید مس باعث کاهش غلظت یون آهن در ریشه ارقام پی‌اف و هایولا شد. در بالاترین غـــلظت(۵۰۰ میکرومول) کلرید مس، غلظت یون آهن ۳۰ و در تیمار ۳۰۰ میکرومولار کلرید مس، ۴۲ درصد شاهد کاهش نشان داد. اثر تیمار ۱۰۰ از نظر آماری معنی‌دار نبود. در رقم هایولا، غلظت یون آهن با افزایش غلظت کلرید مس از ۱۰۰ به ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار به ترتیب ۶۰، ۵۱ و ۳۵ درصد شاهد کاهش نشان داد. تفاوت بین دو رقم درسطح ۱ درصد معنی‌دار بود(شکل۸).

به طورکلی، کاهش غلظت یون آهن در رقم پی‌اف (به ویژه در ریشه) چشم‌گیرتر از هایولا بود.



شکل۸. تغییرات غلظت یون آهن در ریشه کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند

اثر کلرید مس بر غلظت پرولین

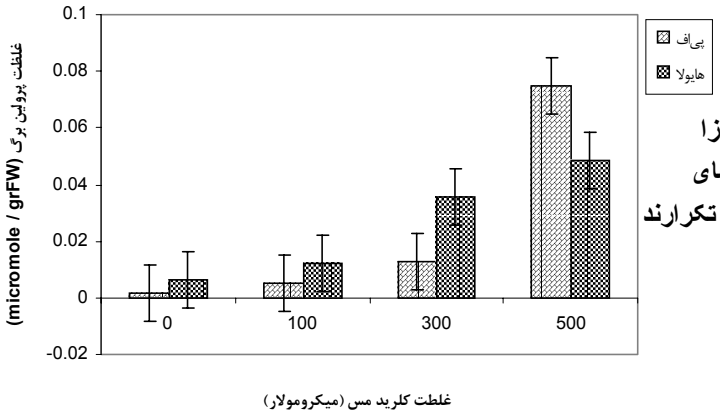
غلظت پرولین در برگ: در رقم پی‌اف، غلظت پرولین در پاسخ به تیمارهای ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار کلرید مس به ترتیب ۳، ۷ و ۱۲ برابر شاهد افزایش یافت. در رقم هایولا غلظت پرولین با افزایش غلظت کلرید مس از ۱۰۰ به ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار به ترتیب ۱/۹، ۵/۷ و ۷/۷ برابر شاهد افزایش یافت. تفاوت بین دو رقم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود(شکل ۹).

غلظت پرولین در ریشه: در رقم پی‌اف، غلظت پرولین در حضور تیمارهای ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار کلرید مس به ترتیب ۶، ۹/۵ و ۱۹ برابر شاهد افزایش یافت. در رقم هایولا غلظت پرولین با

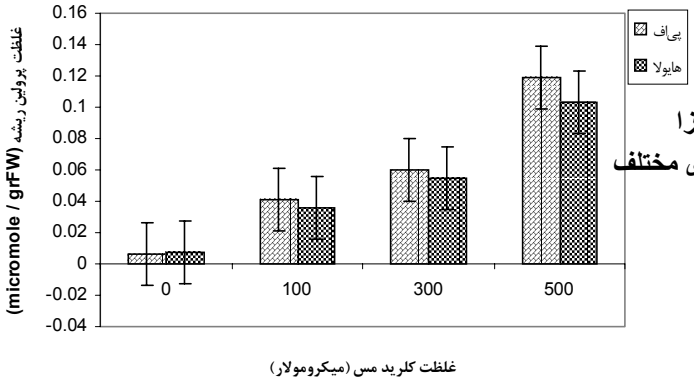
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

افزایش غلظت کلرید مس از ۱۰۰ به ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار به ترتیب ۵/۲، ۸ و ۱۵ برابر شاهد افزایش یافت. تفاوت بین دو رقم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود(شکل ۱۰).

در مجموع، غلظت پرولین در برگ و ریشه رقم پی‌اف نسبت به رقم هایولا افزایش بیش‌تری نشان داد.



شکل ۹. تغییرات غلظت پرولین در برگ کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند



شکل ۱۰. تغییرات غلظت پرولین در ریشه کلزا (ارقام پی‌اف و هایولا) در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید مس. میانگین‌ها مربوط به ۴ تکرارند

بحث

در بررسی حاضر، غلظت عناصر آهن، پتاسیم و منگنز در ارقام مورد بررسی (به ویژه پی‌اف) متناسب با افزایش غلظت کلرید مس در محیط، کاهش یافت. در صورتی که افزایش غلظت کلرید مس در محلول غذایی، باعث تجمع مس در ارقام مورد بررسی (به ویژه پی‌اف) گردید. در تایید نتایج حاضر، کاهش غلظت عناصر آهن، پتاسیم، منگنز و منیزیم در شرایط تنش در خیار [۱]، اسفناج، گندم[۲۳] و دانه‌رست‌های غان (*Betula pendule*) نیز گزارش شده است[۱۳]. به اعتقاد محققان، افزایش تجمع مس و کاهش غلظت پتاسیم، آهن و منگنز در بخش‌های مختلف گیاه به‌ویژه ریشه، به علت پراکسیده شدن لیپیدهای غشایی و آسیب غشای پلاسمایی و نشت پتاسیم، آهن و منگنز از سلول‌های تحت تنش مس است[۲۷] .

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

مس بر جذب، انتقال و تجمع عناصر ضروری در گیاه مؤثر است. اولین جایگاهی که از فلزات سنگین آسیب می‌بیند، غشای سلولی است[۱۸]. فلزات سنگین باعث خروج یون‌های هیدروژن و پتاسیم از سلول و کاهش غلظت پتاسیم در سلول‌های ریشه می‌شوند[۱۱]. اتصال مس به فسفولیپیدهای غشا، جایگاه‌های ویژه اتصال پتاسیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به این ترتیب، فعالیت آنزیم آتپاز را بازمی‌دارد. این عمل خود به طور غیرمستقیم بر جذب پتاسیم اثر می‌گذارد[۵]. البته، کاهش غلظت پتاسیم الزاماً به علت آسیب غشایی نیست و بر اثر جانشینی یون فلزات سنگین در کانال‌های یونی ویژه انتقال پتاسیم نیز روی می‌دهد[۲۰]. بدین‌ترتیب، کاهش غلظت پتاسیم در پاسخ به تیمارهای کلرید مس در ارقام مورد بررسی، قابل توجیه است. البته با توجه به انباشتگی بیش‌تر مس در رقم پی‌اف، کاهش بیش‌تر غلظت یون پتاسیم نیز در این رقم(در مقایسه با رقم هایولا) منطقی به نظر می‌رسد. مس مانع انتقال آهن در سویا می‌شود. مس جایگاه اتصال مشترک عناصر روی، آهن، منگنز و منیزیم در غشا را اشغال می‌کند[۷]. بنا بر این، کاهش غلظت عناصر آهن و منگنز در پژوهش حاضر با این واقعیت همراه است که رقابت مس با عناصر اخیر برای اشغال جایگاه‌های مشترک، باعث کاهش غلظت این عناصر ویژه در رقم پی‌اف(به علت انباشتگی بیش‌تر مس) می‌شود.

در پاسخ به تیمارهای کلرید مس، تجمع مس در ریشه ارقام بررسی شده(به ویژه پی‌اف) چشمگیرتر از برگ بود. به طورکلی، فلزات سنگین با داشتن وزن مولکولی زیاد، به کندی به سمت بالا حرکت می‌کنند. علاوه بر این، مقادیری از یون مس بر روی دیواره سلولی و همچنین پشت سلول‌های آندودرمی از حرکت بازداشته می‌شوند که خود تراکم مس را در ریشه افزایش می‌دهد. بدین ترتیب، حدود ۷۵ تا ۹۰ درصد مس جذب شده در ریشه تجمع می‌یابد و مقادیر کم‌تری از آن به اندام هوایی منتقل می‌شود. بنا بر این، معمولا فلزات سنگینی مانند مس در ریشه و در مقایسه بین برگ‌ها، در برگ‌های پایین‌تر و مسن‌تر تجمع می‌یابد[۳۱]. به گزارش محققان، به دام‌انداختن مس در ریشه به صورت کمپلکس متالوتیونین- مس از تجمع آن در بخش‌های هوایی می‌کاهد[۹]. تجمع زیاد مس در ریشه در مقایسه با برگ که در بررسی حاضر مشاهده شد با نتایج بررسی محققان متعددی روی (*Chlorella vulgaris*)[۱۷]، کیسه‌چوپان(*Thlaspi rotundifolium*)[۳۰]،خردل سفید(*Sinapis alba*) [۱۰]، پیچک صحرایی(*Convolunlus arvensis*)[۱۲]، بید[۱۴]، لویی(*Typha angustifolia*) و بارهنگ آبی(*Potamogeton pectinatus*)[۹] هم‌آهنگ است. البته انتقال مس از ریشه به ساقه، برگ و اندام‌های مصرف کننده به عوامل متعددی مانند رقم، گونه، نوع خاک و غلظت اولیه مس در خاک نیز بستگی دارد[۲۲]، [۲۷].

ازسوی دیگر، با افزایش غلظت کلرید مس، محتوای پرولین ریشه و برگ هر دو رقم (به ویژه پی‌اف) افزایش نشان داد. به طوری که در تیمار ۵۰۰ میکرومولار کلرید مس، غلظت پرولین به حداکثر رسید. با توجه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

به این‌که رادیکال‌های سمی اکسیژن در شرایط تنش از جمله تنش فلزات سنگین انباشته می‌شوند و یکی از وظایف مهم پرولین به عنوان متابولیت سازگار، جاروب‌کردن این ترکیبات سمی از سلول است[۳]،[۲۱]، افزایش سنتز پرولین در حضور تیمارهای کلرید مس در ارقام بررسی شد به عنوان یکی از مکانیسم‌های دفاعی بیوشیمیایی گیاه به تنش، منطقی به نظر می‌رسد. افزایش غلظت پرولین تحت تأثیر غلظت‌های شدید مس در *Armeria maritime* [۲۴]، در *Chlorella vulgaris* [۱۷]، گندم (*Triticum aestivum*) [۱۵] و *Trebouxia erici* [۴] نیز گزارش شده است.

با توجه به این‌که در حضور کلرید مس، ریشه (در مقایسه با برگ) انباشتگی بیش‌تر یون مس را نشان می‌دهد، القای بیش‌تر بیوسنتز پرولین در ریشه برای مقابله با این تنش قابل پیش‌بینی است. از سوی دیگر، با توجه به غلظت بیش‌تر یون مس در رقم پی‌اف (در مقایسه با رقم هایولا) و احتمالاً انباشتگی بیش‌تر رادیکال‌های سمی در رقم اول، سنتز پرولین نیز در این رقم قابل قبول خواهد بود.

در پایان، با توجه به این‌که رقم پی‌اف در حضور تیمارهای کلرید مس، قادر به انباشتن یون مس بیش‌تری است، به نظر می‌رسد این رقم تحمل بیش‌تری به تنش مس دارد. کاهش بیش‌تر غلظت یون‌های پتاسیم، آهن و منگنز نیز در این رقم منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا کاهش غلظت عناصر اخیر و انباشته‌شدن مس از مکانیسم‌های اصلی گیاه برای مقابله با اثرات سمی تنش مس محسوب می‌شود [۲۹]. از سوی دیگر، این رقم برای مقابله با تنش کلرید مس، اقدام به سنتز بیش‌تر ترکیبات سازگاری مانند پرولین می‌کند که این رقم را قادر به تحمل بیش‌تر تنش مذکور می‌کند. بدین ترتیب، از دیدگاه بیوشیمیایی می‌توان رقم پی‌اف را در مقایسه با رقم هایولا، رقم متحمل‌تری به تنش کلرید مس معرفی کرد.

منابع

1. Alavi- Sosse, B., Genet, P., Vinit – Dunand, F., Toussaint, M. L., Eproh, D. and Badot, P. M. *Plant Sci*., Vol. 166 (2004) 1213- 1218.
2. Alloway, B. J. 1990 . *Heavy metals in soils*. Black and Sons Ltd. New York.
3. Arnon, D. I. *Plant Physiol*., Vol. 24 (1949) 1-15.
4. Backor, M., Fahself, D. and Charlest, T. *Plant Sci*., Vol. 167 (2004) 151- 157.
5. Barcelo, J. and Poschenrieder, C. J. *Plant Nutr*., Vol. 13 (1990) 1-37.
6. Bates, L. S , Waldern R. P. and teare I.D. *Plant Soil*, Vol. 39 (1973) 205-024.
7. Cataldo, D. A , Garland, T. R. Wildung, R. E. *Plant Physiol*., Vol. 73 (1983) 884-848.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

8.Costa, G. and Spitz, E. *Plant Sci.*, Vol.128 (1997) 131- 140.

9.Demirezen, D. and Aksoy, D. *Chemphore*, Vol. 56 (2004) 685- 696.

10.Fargasova, A. and Beinrohr, E. *Chemspher*, Vol. 36 (1997) 1305- 1317.

11.Foy, C. D., Chaney, R. L. and white, M. C. Ann. Rev. *Plant Physiol*., Vol. 29 (1978) 511-566.

12.Gardea -Torresdey, J. L., Peralta -Videa, J. R., Montes, M., De La Rosa, G. and Corral -Diaz, B. *Bio. Technol*., Vol. 92 (2003) 229-235.

13.Gussarsson, M. J. *Plant Nutr.,* Vol. 17 (1994) 2151- 2163.

14.Laureysens, I. Blust, R., De Temmerman, L., Lemmens, C. and Ceulemans, R. *Environm Pollut*., Vol. 131 (2004) 485-494.

15. Lesko K , Stefanovits – Bonya I and Simon – Sarkadi L Cereal research communication. J. *Plant Nutr* Vol. 30 (2002) 103- 110.

16. Marschner, H. *Minreal Nutrition of Higher Plants.* Accademic Press Cambridge(1995).

17. Mehta, S. K. and Gaur. J. P. *New Phytol*., Vol. 143 (1999) 253- 259.

18.Mench, M., Morel, J. L., Cuckert, A. and Guillet, B. J. *Soil Sci*., Vol. 33 (1988) 521-527.

19.Mohan, B. S. *Environ pollut*., Vol. 98 (2) (1998) 233- 239.

20.Murphy, A. and Taiz, L. *New Phytol*., Vol. 136 (1997) 211- 222.

21.Nies, D. H. Plasmid, Vol. 27(1) (1992) 17-28.

22.Ouzounidou, G., Clamporova, M., Moustakas, M. and Karataglis, S. *Exp. Bot*., Vol. 35 (1995) 167-176.

23.Ouzounidou, G., Moustakes, M. and Eleftherions, E. P. *Arch. Environm. Contam. Toxical*., Vol. 32 (1997) 154-160.

24.Peterson P. J. *Plant Addpta* Vol. 9 (1992) 171-183.

25.Prasad, M. N. V. and Hagemeyer, J. *Heavy Metal Stress in Plants and Molecular Biology*. Springer, NewYork(1999).

26.Rascio, A, Plantani, C, Di-Fonzo, N. and Wittmer, G. Plant Physiol., Vol. 98 (1992) 906-912.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

27.Sauerbeck, D. 4th International Inphos Conference. *Phosphorus Life and Environment. Chent*. Belgium (1992) 8-11 September.

28. Sanito di Toppi , Gabbrielli R *Environmentol and Experimental Botany* Vol. 41(1999) 105-130.

29.Sawidis, *TEcotoxical. Environ*. Saf., Vol. 32 (1995) 73-80.

30.Seebba, F., Scbastioni, L. and Vitaglione, C. *Physiol Plant*., Vol.104 (1998) 747-752.

31.Van- Assache, F. and Clijsters, H. *Plant Cell Environm*., Vol. 13 (1990) 195-206.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]