کارایی روی- آمینوکلات‌های سنتز شده در تأمین روی مورد نیاز گندم

مژگان صدیق، امیرحسین خوشگفتارمنش و سمیه قاسمی[۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۸)

چکیده

به منظور بررسی کارایی آمینوکلات‌های سنتز شده روی شامل روی- گلیسین [$Zn(Gly)_2$]، روی- آرجینین [$Zn(Arg)_2$] و روی- هیستیدین [$Zn(His)_2$] در مقایسه با سولفات روی، در تغذیه روی سه رقم گندم با روی‌کارایی متفاوت شامل بک‌کراس‌روشن، کویر و دوروم، آزمایشی در گلخانه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۸۹ اجرا شد. تیمارهای کودی در دو مرحله کاشت و پنجه‌زنی گندم، با غلظت ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک اعمال گردید. نتایج نشان داد که کاربرد کودهای روی در مقایسه با شاهد، باعث افزایش مقدار کل روی شاخساره هر سه رقم گندم شد و در حضور $Zn(Gly)_2$ مقدار کل روی شاخساره رقم دوروم، ۳۳/۳ درصد بیشتر از سولفات روی بود. تأثیر آمینوکلات‌های روی بر فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز بسته به نوع آمینوکلات و رقم گندم متفاوت بود. آمینوکلات‌های روی باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم کویر و بک‌کراس‌روشن شدند؛ ولی تأثیری بر فعالیت این آنزیم در رقم دوروم نداشتند. هم‌چنین، در حضور آمینوکلات‌های $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$ در مقایسه با سولفات روی، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شاخساره هر سه رقم گندم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. براساس نتایج این مطالعه، آمینوکلات‌های روی علاوه بر افزایش جذب روی، با افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز می‌توانند نقش مؤثرتری در بهبود وضعیت تغذیه روی و در نتیجه افزایش عملکرد و کیفیت محصول گندم داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: آمینواسید، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، کیفیت دانه

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.ghasemi@ag.iut.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]

مقدمه

کمبود روی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی سرتاسر جهان بوده و سبب بروز نشانه‌های زردبرگی (کلروز)، برنزه شدن برگ‌ها، ریزبرگی و متوقف شدن رشد گیاهان می‌شود (۳). در سیستم‌های کشاورزی، به منظور رفع کمبود روی از نمک‌های معدنی سولفات روی و کلات‌های مصنوعی روی از قبیل Zn-EDTA و Zn-DTPA استفاده می‌شود (۳). ترکیبات معدنی روی به‌دلیل داشتن آلودگی فلزات سنگین و شرکت در واکنش‌های رسوب در خاک، کارایی زیادی ندارند. کلات‌های مصنوعی روی نیز اگرچه تأثیر قابل توجهی در برطرف کردن کمبود روی در خاک دارند، اما به‌دلیل هزینه زیاد، استفاده از آنها در بسیاری از موارد مقرون به صرفه نمی‌باشد (۱۸). هم‌چنین، این ترکیبات به‌دلیل تجزیه‌پذیری کم در خاک، ممکن است تأثیر زیان‌بار بر محیط‌زیست داشته باشند (۱۳). در مقابل، آمینواسیدها به‌عنوان عامل کلات‌کننده طبیعی نه تنها مشکلات ذکر شده در ارتباط با کلات‌های مصنوعی را ندارند، بلکه باعث تحریک رشد گیاه نیز می‌شوند (۱). کمپلکس شدن عناصر با آمینواسیدها یکی از مکانیسم‌های مهم در افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف در خاک و هم‌چنین جذب آنها توسط گیاه است (۳۲). نتایج برخی مطالعات نیز نشان داده‌اند که یکی از سازوکارهای روی-کارایی گیاهان، مربوط به ترشح ترکیبات کلات‌کننده روی از قبیل آمینواسیدها از ریشه می‌باشد (۲۵).

به‌طورکلی، کاربرد کودهای روی ممکن است باعث افزایش غلظت روی در گیاه شود. اما غلظت روی کل همیشه یک شاخص قابل اعتماد برای تشخیص وضعیت تغذیه روی در گیاه نیست. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که تنها بخشی از مقدار کل روی اندازه‌گیری شده از نظر فیزیولوژیک برای گیاه قابل استفاده است. بخش دیگر ممکن است به دیواره سلولی متصل شده و یا توسط لیگاندهای آلی کمپلکس شود و از نظر فیزیولوژیک به روی غیرفعال تبدیل گردد (۲۰). از این‌رو، در بیشتر موارد، برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای روی گیاهان، شاخص‌های زیست‌شیمیایی نظیر فعالیت آنزیم‌های حاوی روی، در مقایسه با غلظت کل روی، قابل اعتمادتر می‌باشند (۲۰).

روی یکی از عناصر ضروری در سیستم‌های آنزیمی گیاه بوده و تنها فلزی است که در ساختمان شش گروه آنزیمی شامل اکسیدازها، ترانسفرازها، هیدرولازها، لیازها، ایزومرازها و لیگازها شرکت دارد (۵). در آنزیم‌هایی که روی نقش ساختاری دارد مانند سوپراکسید دیسموتاز، کربونیک آنهیدراز و کاتالاز، روی با گروه‌های سولفور آمینواسید سیستئین کلات شده و باعث حفظ ساختار فضایی و بهبود فعالیت آنزیم‌ها می‌شود. در بسیاری از مطالعات نیز دیده شده که فعالیت آنزیم‌هایی نظیر کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، شاخص بهتری برای بیان وضعیت تغذیه روی در گیاه می‌باشد (۲۰). حاجی صالح اوغلو و همکاران (۱۴) بیان داشتند که کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شرایط کمبود روی، ناشی از نقش مستقیم روی در بیان ژن و ساخت پروتئین‌ها می‌باشد. تأثیر کمبود روی بر کاهش فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز نیز در بسیاری از گیاهان مانند گوجه‌فرنگی، مرکبات، اسفناج و گندم گزارش شده است (۲۰). در این ارتباط، رنگل (۲۶) نشان داد که در شرایط کمبود روی، علاوه بر کاهش فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز، سرعت فتوسنتز و وزن خشک گندم و برنج نیز کاهش یافت.

علاوه بر عنصر روی، آمینواسیدها نیز یکی از ترکیبات ضروری در تنظیم بیان ژن و ساخت، فعالیت و پایداری شکل فضایی آنزیم‌ها می‌باشند. آمینواسیدها از طریق تأثیر مستقیم بر mRNA، موجب تغییر فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند (۱۰). به‌عنوان مثال، آمینواسیدهای اسید گلوتامیک، اسید آسپارتیک، گلوتامین و آسپارجین در بسیاری از گونه‌های گیاهی از طریق آوند آبکش از برگ به ریشه گیاه انتقال یافته و با تأثیر مستقیم بر سطح رونوشت آنزیم‌ها، جذب عناصر را در گیاه کنترل می‌کنند (۴). ونگ و همکاران (۳۰) نشان دادند که آمینواسید گلیسین با تنظیم بیان ژن آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در جوانه فستوکا، باعث افزایش فعالیت این آنزیم‌ها شد. تأثیر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ویژگی	واحد	مقدار
بافت	-	رس سیلتی
پ- هاش	-	۷/۷
قابلیت هدایت الکتریکی	دسی‌زیمنس بر متر	۸/۲
کربنات کلسیم	درصد	۳۵/۵
کربن آلی	درصد	۱/۴
نیتروژن کل	درصد	۰/۱
روی قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۰/۲
پتاسیم	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۳۸/۹
سدیم	گرم بر کیلوگرم	۴/۴
کلسیم	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	۰/۰۵
منیزیم	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	۰/۰۳

کاربرد آمینواسید پرولین بر افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نیز توسط هوک و همکاران (۱۵) گزارش شده است.

آمینواسیدها علاوه بر این‌که نقش بسیار مهمی در افزایش حلالیت و قابلیت دسترسی عناصر کم‌مصرف از قبیل آهن و روی دارند (۳۲)، ممکن است با تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های حاوی روی، باعث بهبود وضعیت تغذیه روی در گیاه شوند. بنابراین، در این آزمایش گلخانه‌ای، با اندازه‌گیری جذب روی و فعالیت آنزیم‌های حاوی روی شامل کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز در شاخساره سه رقم گندم، کارایی مصرف خاکی آمینوکلات‌های روی در مقایسه با سولفات روی، در تأمین عنصر روی مورد نیاز گیاه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تجزیه خاک

نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری ایستگاه تحقیقاتی رودشت واقع در جنوب‌شرقی اصفهان تهیه گردید. نمونه‌های خاک در مجاورت هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. بافت خاک به روش هیدرومتر تعیین گردید. برای اندازه‌گیری پ- هاش و قابلیت هدایت الکتریکی از عصاره اشباع خاک استفاده شد. درصد کربنات کلسیم به روش خنثی‌سازی، درصد کربن آلی به روش اکسیداسیون تر در مجاورت بی‌کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ و درصد نیتروژن به روش کلدال تعیین گردید. غلظت پتاسیم و سدیم عصاره اشباع خاک به‌وسیله دستگاه شعله‌سنج، غلظت روی قابل‌جذب (عصاره‌گیری شده با DTPA) با دستگاه جذب اتمی و غلظت کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد.

کاشت، داشت و برداشت گندم

این پژوهش در سال ۱۳۸۹ به منظور بررسی کارایی آمینوکلات‌های روی برای تأمین روی مورد نیاز گندم، در گلخانه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان به اجرا در آمد. ابتدا بذر سه رقم گندم شامل بک‌کراس روشن (روی‌کارا)، کویر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]

جدول ۲. ویژگی‌های آمینوکلات‌های روی

آمینوکلات روی	وزن مولکولی	اندازه مولکولی	عناصر تشکیل‌دهنده (٪)			
			روی	نیتروژن	هیدروژن	کربن
$[Zn(Arg)_2]$ روی- آرجینین	۴۲۱	۱/۴	۱۵/۳	۲۶/۵	۶/۴	۳۴/۳
$[Zn(Gly)_2]$ روی- گلیسین	۲۱۴	۰/۷	۳۰/۶	۱۳/۱	۳/۸	۲۲/۵
$[Zn(His)_2]$ روی- هیستیدین	۳۹۲	۱/۱	۱۶/۴	۲۱/۵	۴/۹	۳۹/۷

(روی ناکارا) و دوروم (روی ناکارا) (۱۸) توسط آب اکسیژنه ۱٪ ضدعفونی گردید و در گلدان‌هایی به ارتفاع ۱۷ سانتی‌متر، قطر دهانه ۱۷/۲ سانتی‌متر و حاوی ۳ کیلوگرم خاک کاشته شدند. سپس ۱۰ میلی‌لیتر محلول حاوی سولفات روی و آمینوکلات‌های روی-گلیسین $[Zn(Gly)_2]$، روی- آرجینین $[Zn(Arg)_2]$ و روی-هیستیدین $[Zn(His)_2]$ با غلظت معادل ۲۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک، توسط قطره‌چکان در محل کاشت بذرها قرار داده شد. آمینوکلات‌های روی (جدول ۲) براساس روش ارائه شده توسط قاسمی و همکاران (۱۲) تهیه گردید. در مرحله پنجه‌زنی (۳۰ روز پس از کاشت) نیز تیمارهای کودی به‌صورت محلول در فاصله ۲ سانتی‌متری کنار طوقه و در عمق ۱ سانتی‌متری خاک تزریق شد. یک هفته پس از اعمال تیمارهای کودی، ریشه و شاخساره گیاهان به‌طور جداگانه برداشت شد. بخشی از شاخساره گیاهان در نیتروژن مایع پودر شده و به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شد. بقیه شاخساره گیاهان نیز به منظور اندازه‌گیری مقدار جذب روی، به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار گرفت.

غلظت روی

به منظور اندازه‌گیری غلظت روی شاخساره، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به ۰/۱ گرم نمونه گیاهی اضافه شد. پس از قرارگیری نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط، ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه و ۳ میلی‌لیتر آب دیونیزه به آنها اضافه و به‌مدت ۴۰ دقیقه در دستگاه مایکروویو مدل CEM Crop Matters, NCXP 1500 plus Teflon- PFA هضم شدند. پس از صاف کردن نمونه‌های هضم شده، غلظت روی توسط دستگاه جذب اتمی (Ray Leigh wfx-210) تعیین گردید. مقدار جذب کل روی شاخساره نیز از حاصل‌ضرب وزن خشک شاخساره در غلظت روی محاسبه شد.

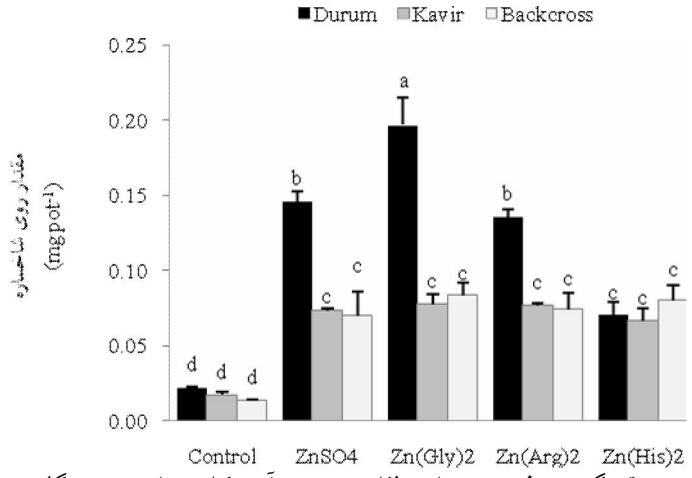
سنجش آنزیم

برای سنجش‌های آنزیمی از برگ تازه گیاه استفاده شد. مقدار ۰/۲۵ گرم نمونه گیاهی در نیتروژن مایع آسیاب و ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۷/۸) حاوی ترایتون (w/v ۰/۱٪) به آن اضافه شد. نمونه‌ها به‌مدت یک ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند. سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور g ۱۳۰۰۰ سانتریفوژ گردیدند. محلول صاف رویی استخراج و برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به‌صورت جداگانه استفاده شد (۱۶).

فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش کک‌مک و مارشنر (۹) با کمی تغییر اندازه‌گیری شد. کل حجم مخلوط به‌کار رفته برای اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز (۳ میلی‌لیتر) شامل بافر فسفات‌سدیم ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۷/۰) و پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار بود. واکنش با اضافه کردن ۱۰۰ میکرولیتر محلول آنزیمی استخراج شده شروع شد و فعالیت آنزیم با ناپدید شدن

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]



شکل ۱. مقدار روی شاخساره سه رقم گندم تغذیه شده با سولفات روی و آمینوکلات‌های روی- گلیسین [$Zn(Gly)_2$]، روی- آرجینین [$Zn(Arg)_2$] و روی- هیستیدین [$Zn(His)_2$]. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ آزمون LSD می‌باشند.

پراکسید هیدروژن در ۷۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز طبق روش ناکانو و آسادا (۲۲) اندازه‌گیری شد. کل مخلوط به‌کار رفته برای اندازه‌گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز (۳ میلی‌لیتر) شامل بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۷/۰)، پراکسیدهیدروژن ۱ میلی‌مولار، آسکوربات ۰/۲۵ میلی‌مولار و EDTA ۰/۱ میلی‌مولار بود. واکنش با اضافه کردن ۱۰۰ میکرولیتر محلول آنزیمی استخراج شده شروع شد و کاهش جذب نور در طول موج ۲۹۰ و در زمان صفر و ۷۰ ثانیه اندازه‌گیری شد.

طرح آماری

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل از سه ژنوتیپ گندم با روی‌کارایی متفاوت و چهار منبع تغذیه روی در ۳ تکرار انجام شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD انجام گردید.

نتایج و بحث

مقدار کل (جذب) روی شاخساره

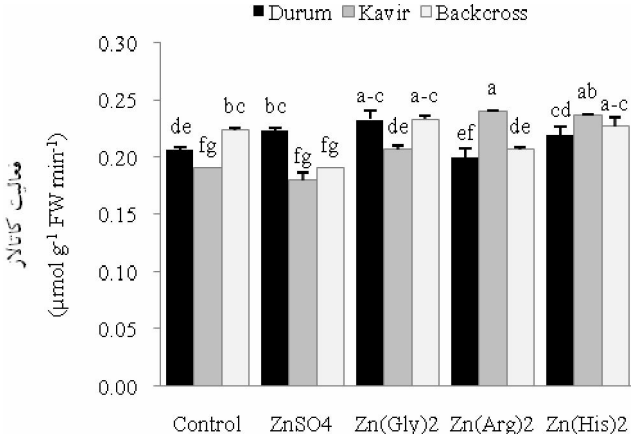
کاربرد روی، صرف‌نظر از منبع کودی، در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد کود روی)، باعث افزایش معنی‌دار جذب روی شاخساره سه رقم گندم مورد مطالعه شد (شکل ۱). تأثیر آمینوکلات $Zn(Gly)_2$ بر افزایش جذب روی شاخساره رقم دوروم بیشتر از سولفات روی بود. اما در ارقام کویر و بک‌کراس، از این نظر اختلاف معنی‌داری بین آمینوکلات‌های روی و سولفات روی وجود نداشت (شکل ۱). در حضور آمینوکلات $Zn(His)_2$ بین سه رقم گندم اختلاف معنی‌داری از لحاظ مقدار روی شاخساره دیده نشد. در حالی‌که در سایر تیمارهای کودی، جذب روی شاخساره رقم دوروم بیشتر از کویر و بک‌کراس بود.

فعالیت آنزیم کاتالاز

تأثیر کاربرد کود روی بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز بسته به رقم گندم و منبع روی متفاوت بود (شکل ۲). در حضور آمینوکلات‌های روی، فعالیت آنزیم کاتالاز ارقام کویر و بک‌کراس به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار سولفات روی بود. اما در رقم دوروم، اختلاف معنی‌داری بین فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهان تیمار شده با سولفات روی و آمینوکلات‌های روی دیده نشد. در تیمارهای $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$، فعالیت آنزیم کاتالاز شاخساره رقم کویر به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو رقم دیگر بود. در حالی‌که در سایر تیمارهای کودی، فعالیت این آنزیم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]



شکل ۲. فعالیت کاتالاز شاخساره سه رقم گندم تغذیه شده با سولفات روی و آمینوکلات‌های روی- گلیسین [$Zn(Gly)_2$]، روی- آرجینین [$Zn(Arg)_2$] و روی- هیستیدین [$Zn(His)_2$]. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ آزمون LSD می‌باشند.

در ارقام دوروم و بک‌کراس بیشتر از رقم کویر بود (شکل ۲).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

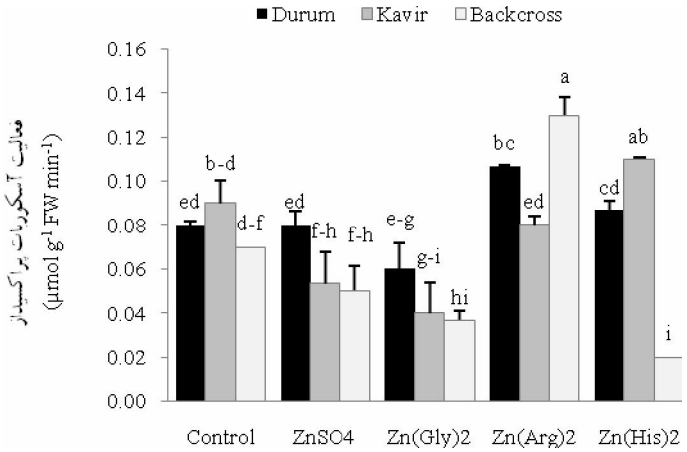
تأثیر رقم و منبع کود روی بر فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز معنی‌دار (سطح ۱٪) بود (شکل ۳). در ارقام بک‌کراس و دوروم، آمینوکلات $Zn(Arg)_2$ و در رقم کویر، آمینوکلات‌های $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$ در مقایسه با سولفات روی، سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شاخساره شدند. در حضور آمینوکلات‌های $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$، به‌ترتیب فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شاخساره رقم بک‌کراس و کویر به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم دوروم بود (شکل ۳).

بحث

براساس نتایج این مطالعه، کاربرد روی، صرف‌نظر از منبع کودی، سبب افزایش جذب روی شاخساره سه رقم گندم شد. در خاک مورد مطالعه، به‌علت پ- هاش قلیایی، غلظت بالای کربنات کلسیم و مقدار کم ماده آلی، قابلیت استفاده روی برای گیاهان بسیار کم بوده و نشانه‌های کمبود این عنصر شامل زردبرگی (کلروز)، ریزبرگی و کاهش رشد در گیاهان مشاهده شد. در این شرایط، کاربرد روی با استفاده از منابع مناسب کودی، ضروری است. هم‌چنین، نتایج به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر کارایی بیشتر برخی آمینوکلات‌های‌روی در مقایسه با سولفات روی، در تأمین روی مورد نیاز گیاه بود. در این مطالعه، آمینوکلات $Zn(Gly)_2$ در مقایسه با سولفات روی، تأثیر بیشتری بر افزایش جذب روی شاخساره رقم دوروم داشت. این موضوع ممکن است به‌علت پایداری بیشتر آمینوکلات‌ها در خاک مورد مطالعه باشد. براساس نتایج پژوهش‌های مختلف، حلالیت و پایداری کود بهترین شاخص تعیین‌کننده جذب روی توسط گیاه است (۳۱). با توجه به آهکی و قلیایی بودن خاک مورد مطالعه، روی موجود در سولفات روی، با کانی‌ها و اکسیدهای فلزی واکنش داده و به شکل غیرقابل جذب در می‌آید (۱۸). در حالی‌که در آمینوکلات‌های‌روی، آمینواسیدها از طریق گروه‌های عامل کربوکسیل و آمین با روی تشکیل کمپلکس‌های پایدار داده (۳۴) و در این حالت از تبدیل شدن آن به رسوب‌های نامحلول جلوگیری می‌شود. در این ارتباط، یثربی و همکاران (۳۳) با کاربرد ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم سولفات روی بر کیلوگرم خاک، در ۲۰ نوع خاک آهکی با پ- هاش حدود ۵/۸ تا ۷/۹ و مقدار کربنات ۱۶ تا ۵۸ درصد، مشاهده کردند که به‌دلیل غلظت زیاد کربنات خاک و رسوب روی، تقریباً ۶۰ درصد از روی به‌کار رفته برای گیاه ذرت غیر قابل‌دسترس بود. پراساد و سینها (۲۳)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]



شکل ۳. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شاخساره سه رقم گندم تغذیه شده با سولفات روی و آمینوکلات‌های روی- گلیسین[$Zn(Gly)_2$]، روی- آرجینین [$Zn(Arg)_2$] و روی- هیستیدین [$Zn(His)_2$]. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ آزمون LSD می‌باشند.

نیز به کارایی کم کاربرد سولفات روی در خاک، در مقایسه با کلات‌های مصنوعی و طبیعی، اشاره کردند. از سوی دیگر، برخی مطالعات نشان داده‌اند که به‌دلیل تحرک زیاد کلات‌های روی در خاک و آوند چوبی گیاه، جذب و انتقال کلات‌های روی بیشتر از یون آزاد می‌باشد. در گیاه، روی عمدتاً به شکل کمپلکس با لیگاندهای آلی بوده و به مقدار کم به شکل یون آزاد Zn^{2+} یافت می‌شود (۱۹). شول‌مریخ و همکاران (۲۸) مشاهده کردند که کمپلکس روی با آمینواسید هیستیدین حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد جذب روی توسط گیاه را در مقایسه با سولفات روی افزایش داد. تصور بر این است که کمپلکس روی- آمینواسیدها از شکاف‌های آندودرم در نوک ریشه‌های موئینه، جایی که نوار کاسپاری کامل نشده، وارد گیاه شده و از طریق مسیر آپوپلاسمی به آوند چوبی انتقال می‌یابد (۶).

آمینوکلات‌های مورد استفاده در این آزمایش، علاوه بر عنصر روی دارای آمینواسیدهای گلیسین، آرجینین و هیستیدین نیز می‌باشند. آمینواسیدها علاوه بر این که از قدرت کمپلکس‌کنندگی عناصر غذایی برخوردارند به‌عنوان منبع تغذیه نیتروژن برای گیاه نیز محسوب می‌شوند. تغذیه نیتروژن باعث افزایش فراوانی و فعالیت پروتئین‌های ناقل روی در غشای سلول‌های ریشه شده و به بهبود جذب روی توسط گیاه کمک می‌کند (۱۲). بنابراین، بخشی از تأثیر آمینوکلات‌های روی در مقایسه با سولفات روی، بر افزایش جذب روی شاخساره، ممکن است ناشی از تأثیر مثبت آمینوکلات‌ها بر تغذیه نیتروژن گیاه باشد. در این ارتباط کاتمن و همکاران (۱۷) مشاهده کردند که با مصرف ترکیب کودهای نیتروژن و روی، جذب روی در گیاه افزایش یافت. مورتوت و جیوردانو (۲۱) نیز نشان دادند که ترکیب منابع کود روی با کودهای نیتروژن نظیر آمونیوم و نیترات، قابلیت دسترسی روی را برای گیاه افزایش داده و تأثیر مثبت بر غلظت روی دانه گندم داشت.

در مطالعه حاضر، تأثیر کودهای روی بر افزایش جذب روی شاخساره گندم، بسته به نوع رقم متفاوت بود. به‌طوری‌که در حضور سولفات روی و آمینوکلات‌های $Zn(Gly)_2$ و $Zn(Arg)_2$، افزایش جذب روی شاخساره رقم دوروم بیشتر از ارقام کویر و بک‌کراس بود. پاسخ متفاوت سه رقم گندم به تغذیه روی، احتمالاً مربوط به اختلافات ژنتیکی بین ارقام و یا اختلاف نیاز آنها به عناصر غذایی می‌باشد (۱۲). دوروم از نظر فیزیولوژیک رقم روی‌ناکارا بوده و در مقایسه با دو رقم دیگر، حساسیت بیشتری به کمبود روی دارد (۱۸). بنابراین، یکی از دلایل پاسخ بیشتر رقم دوروم به کاربرد خاکی کودهای روی در این مطالعه، ممکن است نیاز بیشتر رقم دوروم به روی باشد.

اگرچه در این آزمایش مصرف کودهای روی، به‌ویژه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]

آمینوکلات‌ها، باعث افزایش جذب روی شاخساره سه رقم گندم شد، اما غلظت کل روی همیشه یک شاخص قابل اعتماد برای تشخیص وضعیت تغذیه روی در گیاه نیست. در این ارتباط، لوپزمیلان و همکاران (۲۰) بیان کردند که برخی گونه‌های گیاهی اصلاح شده در مقایسه با گونه‌های وحشی، قادر هستند مقدار زیادی روی را در تمام بافت‌های خود ذخیره کنند. اما با این وجود نشانه‌های کمبود روی را هم نشان می‌دهند. بنابراین، غلظت روی کل در بافت‌های گیاه نشان‌دهنده قابلیت استفاده فیزیولوژیک روی نیست. نتایج مطالعات مختلف نیز نشان داده‌اند که شاخص‌های بیوشیمیایی مانند فعالیت آنزیم‌های حاوی روی در مقایسه با غلظت روی کل برای ارزیابی وضعیت تغذیه روی گیاهان قابل اعتمادتر می‌باشند (۲۰). بنابراین در پژوهش حاضر به منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر آمینوکلات‌ها بر تغذیه روی، از فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز استفاده شد.

نتایج نشان داد که کاربرد کودهای روی در مقایسه با تیمار شاهد، موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز شاخساره ارقام کویر و دوروم شد. اما تأثیری بر فعالیت این آنزیم در رقم بک‌کراس نداشت. در رقم دوروم، با افزایش مقدار روی شاخساره، فعالیت آنزیم کاتالاز نیز افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین مقدار جذب روی شاخساره و فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به آمینوکلات $Zn(Gly)_2$ بود. این موضوع بیانگر وابستگی فعالیت آنزیم کاتالاز به تغذیه روی می‌باشد. تواللی و همکاران (۲۹) نیز در مطالعات خود به نقش تغذیه روی بر فعالیت آنزیم کاتالاز اشاره کردند. در این ارتباط، اسبارتای و همکاران (۲۷) مشاهده کردند که با افزایش غلظت روی در محیط کشت گوجه‌فرنگی، غلظت روی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز ریشه افزایش یافت. رحمتی و همکاران (۲۴) نیز گزارش نمودند که کاربرد روی در مقایسه با تیمار شاهد، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز داشت. براساس نتایج این مطالعه، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شاخساره سه رقم گندم نیز در حضور آمینوکلات‌های $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$، بیشتر از تیمار شاهد بود.

در مطالعه حاضر، با وجود آن‌که اختلاف معنی‌داری بین جذب روی شاخساره رقم‌های کویر و بک‌کراس تیمار شده با آمینوکلات‌ها و سولفات روی وجود نداشت، اما تأثیر آمینوکلات‌های روی بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به‌طور معنی‌داری بیشتر از سولفات روی بود. این مسأله ممکن است ناشی از نقش مستقیم آمینواسیدها در فعالیت‌های آنزیمی گیاه باشد. در آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز، آمینواسیدها با روی کلات شده و با تشکیل ساختارهای فضایی پایدار، مانع از اکسایش گروه سولفیدریل (SH-) و در نتیجه بهبود فعالیت‌های زیستی می‌شوند. هم‌چنین، آمینواسیدها از طریق تأثیر مستقیم بر بیان ژن و mRNA آنزیم‌ها، بر فراوانی و فعالیت آنزیم‌ها تأثیر می‌گذارند (۱۴).

تأثیر آمینوکلات‌های روی بر افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شاخساره بسته به رقم گندم و منبع کود متفاوت بود. نتایج نشان داد که آمینوکلات‌های $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$ در مقایسه با سولفات روی، باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شاخساره سه رقم گندم شدند. اما از این نظر اختلاف معنی‌داری بین آمینوکلات $Zn(Gly)_2$ و سولفات روی مشاهده نشد. براساس نتایج این مطالعه، $Zn(Gly)_2$ در مقایسه با آمینوکلات‌های $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$ تأثیر بیشتری بر افزایش جذب روی شاخساره رقم دوروم داشت. اما فعالیت آنزیم سوپراکسیداز شاخساره گیاهان تیمار شده با آمینوکلات‌های $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$ به‌طور معنی‌داری بیشتر از $Zn(Gly)_2$ بود. این موضوع ممکن است به‌دلیل تفاوت درصد نیتروژن آمینوکلات‌ها باشد. نیتروژن موجود در ساختار آمینواسیدها نقش بسیار مهمی در ساخت آنزیم‌ها دارد (۷). نتایج تجزیه عنصری آمینوکلات‌ها نیز نشان داد که درصد نیتروژن آمینوکلات‌های $Zn(Arg)_2$ و $Zn(His)_2$ بیشتر از $Zn(Gly)_2$ می‌باشد (جدول ۲). ونگ و همکاران (۳۰) بیان کردند که کاربرد آمینواسید گلیسین به عنوان منبع تغذیه نیتروژن، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز جوانه فستوکا شد. تأثیر کاربرد آمینواسید آرجینین بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]

نیز توسط عبدالمنعم (۲) گزارش شده است.

براساس نتایج این مطالعه، تأثیر کاربرد کودهای روی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های حاوی روی و در نتیجه بهبود وضعیت تغذیه روی در گیاه، بسته به رقم متفاوت است. در ارقام کویر و دوروم، کاربرد کودهای روی در مقایسه با تیمار شاهد، موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز شاخساره شد. اما در رقم بک‌کراس از این نظر اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و تیمارهای کودی مشاهده نشد. این امر ممکن است مربوط به ویژگی‌های ژنتیکی رقم بک‌کراس می‌باشد. بک‌کراس رقم روی‌کارا بوده و در شرایط کمبود روی به کمک سازوکارهای مختلف، نظیر ترشح ترکیبات کلات‌کننده، باعث افزایش قابلیت جذب روی توسط گیاه و هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های حاوی روی می‌شود (۱۱). کک‌مک و همکاران (۸) نیز به افزایش فعالیت آنزیم‌های حاوی روی از قبیل سوپراکسید دیسموتاز و کربونیک آنهیدراز در ارقام گندم روی‌کارا، در شرایط کمبود روی اشاره کردند. از سوی دیگر در تمام تیمارهای کودی، به‌جز $Zn(His)_2$، جذب روی شاخساره رقم دوروم بیشتر از کویر و بک‌کراس بود. در حالی‌که فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز شاخساره رقم بک‌کراس و کویر در اغلب تیمارها بیشتر از رقم دوروم بود. لوپزمیلان و همکاران (۲۰) بیان کردند که غلظت روی در گونه‌های گیاهی اصلاح شده در مقایسه با گونه‌های وحشی، بیشتر بود. اما این گیاهان اختلاف معنی‌داری از نظر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و قابلیت دسترسی زیستی روی نداشتند.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده، به‌طورکلی آمینوکلات‌های روی علاوه بر افزایش جذب روی شاخساره، با افزایش فعالیت آنزیم‌های حاوی روی، نقش مهمی در بهبود وضعیت تغذیه روی گیاه گندم داشتند. تأثیر کودهای روی بر افزایش جذب روی شاخساره گندم، بسته به نوع رقم متفاوت بود. آمینوکلات $Zn(Gly)_2$ در مقایسه با سولفات‌روی، تأثیر بیشتری بر افزایش جذب روی شاخساره رقم دوروم داشت. بیشترین فعالیت آنزیمی شاخساره نیز در تیمار آمینوکلات $Zn(Arg)_2$ مشاهده گردید.

سپاسگزاری

از کلیه کارشناسان محترم مرکز کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان، به‌دلیل فراهم آوردن امکانات لازم برای انجام این پژوهش، تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

1. Abdul-Qados, A. M. S. 2009. Effect of arginine on growth, yield and chemical constituents of wheat grown under salinity condition. *Academic Journal of Plant Science* 2: 267-278.
2. Abd El-Monem, A. A. 2007. Polyamines as modulators of wheat growth, metabolism and reproductive development under high temperature stress. PhD Thesis, Ain Shams University, Cairo, Egypt.
3. Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. IZA Publications, Brussels.
4. Aslam, M., R. Travis and D. W. Rains. 2000. Differential effect of amino acids on nitrate uptake and reduction systems in barley roots. *Plant Science* 160: 219-228.
5. Auld, D. S. 2001. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. *Biometals* 14: 271-313.
6. Berkelaar, E. and B. A. Hale. 2003. Accumulation of cadmium by durum wheat roots: Base of citrate-mediated exceptions to the free iron model. *Environmental Science Technology* 22: 1155-1161.
7. Bouchelaghem, S., R. Rouabhi, M. R. Djebar and H. Berrebbah. 2011. Impact of nitrogen fertilizer NPK (15.15.15) on metabolic parameters and enzyme in roots of wheat *Triticum durum*. International Conference on Biology, Environment and Chemistry, Singapoor.
8. Cakmak, I. 1997. Concentration of zinc and activity of copper/zinc superoxide dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency. *Journal of Plant Physiology* 151: 91-95.
9. Cakmak, I. and H. Marschner. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascrobate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology* 98: 1222-1227.
10. Deng, M. D., T. Moureaux, I. Cherel, J. P. Boutin and M. Caboche. 1991. Effects of nitrogen metabolites on the regulation and circadian expression of tobacco nitrate reductase. *Plant Physiology and Biochemistry* 29: 239-247.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]

11. Gence, Y., G. K. McDonald and R. D. Graham. 2006. Contribution of different mechanisms to zinc efficiency in bread wheat during early vegetative stage. *Plant and Soil* 281: 353-367.
12. Ghasemi, S., A. H. Khoshgoftarmanesh, H. Hadadzade and M. Jafari. 2012. Synthesis of iron-amino acids chelates and evaluation of their efficacy as iron source and growth stimulator for tomato in nutrient solution culture. *Journal of Plant Growth Regulation* 31: 498-508.
13. Gonzalez, D., A. Obrador and J. M. Alvarez. 2007. Behavior of zinc from six organic fertilizers applied to a navy bean crop grown in a calcareous soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 7084-7092.
14. Hacisalihoglu, G., J. J. Hart, J. Y. H. Wang, I. Cakmak and L. V. Kochian. 2003. Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of zinc-requiring enzymes in wheat. *Plant Physiology* 131: 595-602.
15. Hoque, M. A., M. N. A. Banu, E. Okuma, K. Amako, Y. Nakamura and Y. Shimoishi. 2007. Exogenous proline and glycinebetain increases NaCl-induced ascorbate glutathione cycle enzyme activities and proline improves salt tolerance more than glycinebetain in tobacoo Bright Yellow-2 suspension-cultured cell. *Journal of Plant Physiology* 164: 1457-1468.
16. Kang, G., C. Wang, G. Sun and Z. Wang. 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2-metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 50: 9-15.
17. Kutman, U. B., B. Yildis, L. Ozturk and I. Cakmak. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. *Cereal Chemistry* 87: 1-9.
18. Khoshgoftarmanesh, A. H., R. Schulin, R. L. Chaney, B. Daneshbakhsh and M. Afyuni. 2010. Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 83-107.
19. Koksal, A. L., H. Dumanoglu, N. T. Gunes and M. Aktas. 1999. The effects of different amino acid chelate foliar fertilizers on yield, fruit quality, shoot growth and Fe, Zn, Cu, Mn content of leaves in Williams pear cultivar (*Pyrus Communis* L.). *Turkish Journal* of *Agriculture and Forest* 23: 651-658.
20. Lopez-Millan, A. F., D. R. Ellis and M. A. Grusak. 2005. Effect of zinc and manganese supply on the activities of superoxide dismutase and carbonic anhydrase in *Medicago truncatula* wild type and *raz* mutant plants. *Plant Science* 168: 1015-1022.
21. Mortvedt, J. J. and P. M. Giordano. 1967. Crop response to zinc oxide applied in liquid and granular fertilizers. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 1: 118-122.
22. Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867-880.
23. Prasad, B. and M. K. Sinha. 1981. The relative efficiency of zinc carriers on growth and zinc nutrition of corn. *Plant and Soil* 62: 45-52.
24. Rahmati, M., M. Yazdani and F. Ghanati. 2004. Effect of excess amount of Mn on activation of certain enzymes antioxidant system in suspension-cultured tea cells. The 2nd Congress on Applied Biology, Mashhad, Iran. (In Farsi).
25. Rasouli-Sadaghiani, M. H., B. Sadeghzadeh, E. Sepehr and Z. Rengel. 2011. Root exudation and zinc uptake by barley genotypes differing in Zn efficiency. *Journal of Plant Nutrition* 34: 1120-1132.
26. Rengel, Z. 1995. Carbonic anhydrase activity in leaves of wheat genotypes differing in Zn efficiency. *Journal of Plant Physiology* 147: 251-256.
27. Sbartai, H., M. R. Djebar, R. Rouabhi, I. Sbartai and H. Berrebbah. 2011. Antioxidative response in tomato plants *Lycopersicon esculentum* L. roots and leaves to zinc. *American-Eurasian Journal of Toxicology Science* 1: 41-46.
28. Scholmerich, J., A. Ferudemann and E. Kottgen. 1987. Bioavailability of zinc from zinc-histidine complexes. I. Comparison with zinc sulphate in healthy men. *American Journal of Clinical Nutrition* 45: 1480-1486.
29. Tavallali, V., M. Rahemi, S. Eshghi, B. Kholdebarin and A. Ramezanian. 2010. Zinc alleviates salt stress increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedling. *Turkish Journal of Agriculture* 34: 349-359.
30. Wang, W., H. Yin, J. Xu, X. Liu, Q. Mi and J. Ma. 2012. Effect of glycine pretreatment on the growth and oxidative damage in heat-stressed festuca sinensis keng seedling. *Journal of Lanzhou University* 48: 1-4.
31. Westfall, D. G., J. J. Mortvedt, G. A. Peterson and W. J. Gangloff. 2005. Efficient and environmentally safe use of micronutrients in agriculture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36: 169-182.
32. Xu, W. H., H. Liu, Q. F. Ma and Z. T. Xiong. 2007. Root exudates, rhizosphere Zn fractions, and Zn accumulation of ryegrass at different soil Zn levels. *Pedosphere* 17: 389-396.
33. Yasrebi, J., N. Karimian, M. Maftoun, A. Abtahi and A. M. Sameni. 1994. Distribution of zinc in highly calcareous soils as affected by soil physical and chemical properties and application of zinc sulphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25: 2133-2145.
34. Zayed, M. E. and R. A. Ammar. 2011. Some transition metal ions complexes of tricine (Tn) and amino acids: pH-titration, synthesis and antimicrobial activity. *Journal of Saudi Chemical Society.* (In Press).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.14.7]