Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Effect of Glycine Amino Acid Chelated Zinc and Iron on Yield, and Macro and Micronutrient Contents of Rice Aerial Tissues

Shahram Mahmoud Soltani✉[1], Maryam Hossieni Chaleshtori[2], Kobra Tajaddodi Talab Rashti[1], Hassan Shokri Vahed[3], Maryam Shakouri Katigari[4]

1. Corresponding Author, Assistant Professor of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, shmsoltani@gmail.com
2. Associate Professor of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, mhkhossieni@gmail.com
3. Assistant Professor of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, dr2eng@yahoo.com
4. Research Instructor of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, shokri_v@yahoo.com
5. Senior Researcher of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, maryamshakouri@ymail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Jan. 10, 2022

Received: Apr. 26, 2022

Accepted: May. 2, 2022

Published online: June. 22, 2022

Keywords:
Grain yield,
Macronutrients,
Micronutrients,
Rice,
Straw

ABSTRACT

Compared to the other micronutrient fertilizers, chelated amino acid can significantly improve rice growth, increase grain yield, and macro and micronutrient contents of rice aerial tissues due to better uptake, higher efficiency and nitrogen content. In this study, the effect of glycine amino acid chelated zinc and iron on yield, grain biofortification, and macro and micronutrient contents of rice aerial tissues was compared to zinc sulfate. The experimental treatments were conducted in a randomized complete block design with three replications on the most common Iranian local rice cultivar (Hashemi). The experimental treatments were the foliar application of 0.5, 1, and 1.5 kg ha^{-1} of Zn and Fe glycine amino acid chelates and $ZnSO_4$ under recommended and 50% of the recommended NPK application. The highest increase in the grain yield was recorded at 0.5 $kgha^{-1}$ Fe-glycine amino acid chelate by about 29.2%. The maximum increase percentage of Fe, Zn, N, P, and K content of rice grain was observed through foliar application of glycine amino acid chelated zinc and iron by about 32, 22,23,17 and 7%, respectively. This trend also was recorded for white rice and rice straw, but milling processes through removing of rice husk significantly reduced head rice iron, zinc, nitrogen, phosphorus and potassium content by about 10 to 15.5, 0.5, 6.5, 3.8 to 8, and 8 to 12 times compared to rice grain.

Cite this article Mahmoud Soltani, Sh., Hossieni Chaleshtori, M., Tajaddodi Talab Rashti, K., Shokri Vahed, H., & Shakouri Katigari, M. (2022). Effect of Glycine Amino Acid Chelated Zinc and Iron on Yield, and Macro and Micronutrient Contents of Rice Aerial Tissues. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (4), 763-776.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/ijswr.2022.337158.669181

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۴ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تأثیر کاربرد روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین بر عملکرد و ترکیب عناصر پر مصرف و کم مصرف در اندام‌های هوایی برنج

شهرام محمود سلطانی[1]✉، مریم حسینی چالشتری[2]، کبری تجددی‌طلب رشتی[3]، حسن شکری واحد[4]، مریم شکوری کتیگری[5]

۱. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران، shmsoltani@gmail.com
۲. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران، mhkhossieni@gmail.com
۳. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران، dr2eng@yahoo.com
۴. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران، shokri_v@yahoo.com
۵. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران، maryamshakouri@ymail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۴/۱

واژه‌های کلیدی:
عناصر پرمصرف،
عناصر کم‌مصرف،
برنج،
عملکرد دانه،
کاه و کلش

چکیده

کودهای کم مصرف کلاته شده با اسیدآمینه به دلیل جذب بهتر، کارایی بیشتر و دارا بودن نیتروژن بهتر از سایر منابع کودهای کم مصرف به بهبود رشد، افزایش عملکرد و مقدار عناصر در اندام‌های گیاهی کمک می‌کنند. در این پژوهش تأثیر محلول‌پاشی روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین در مقایسه با محلول‌پاشی سولفات‌روی بر عملکرد و دینامیک عناصر پر مصرف و کم مصرف در اندام‌های هوایی برنج رقم هاشمی مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ کیلوگرم در هکتار آهن و روی کلات شده با اسیدآمینه گلایسین تحت شرایط مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK) به مقدار توصیه شده و نصف مقدار توصیه شده بود. نتایج نشان داد حداکثر عملکرد (۴۴۳۰ کیلوگرم شلتوک برنج در هکتار) از محلول‌پاشی با آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) ۲۹ درصد افزایش داشت. اگرچه تفاوت معنی داری با محلول‌پاشی سولفات‌رویندشت. بیشترین درصد افزایش آهن، روی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه در اثر محلول‌پاشی با یک کیلوگرم در هکتار آهن و روی کلات شده با اسیدآمینه گلایسین به ترتیب ۳۲، ۲۲، ۲۳، ۱۲ و ۷ درصد به ثبت رسید. که در بیشتر صفات تفاوت معنی داری با محلول‌پاشی با سولفات‌رویداست. این روند در کاه و کلش و برنج سفید نیز دیده شد. با انجام عملیات سفید کردن و حذف لایه‌های بیرونی دانه (سبوس) مقدار آهن بین ۱۰ تا ۱۵/۵ برابر و مقدار روی تا ۵۰ درصد، مقدار نیتروژن بطور متوسط ۶/۵ درصد، مقدار فسفر بین ۳/۸ تا ۸ برابر، مقدار پتاسیم بین ۸ تا ۱۲ برابر کاهش یافت.

استناد: محمودسلطانی، شهرام؛ حسینی چالشتری، مریم؛ تجددی‌طلب رشتی، کبری؛ شکری واحد، حسن؛ و شکوری کتیگری، مریم (۱۴۰۱) تأثیر کاربرد روی و آهن کلات شده با اسیدآمینه گلایسین بر عملکرد و ترکیب عناصر پر مصرف و کم مصرف در اندام‌های هوایی برنج. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۴)، ۷۶۳-۷۷۶.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/ijswr.2022.337158.669181

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از غذاهای اصلی بیش از ۴ میلیارد نفر جمعیت جهان به ویژه در آسیا و آفریقا است. این گیاه تامین‌کننده ۲۱درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز جمعیت ساکن در کشورهای برنج خیز می‌باشد (Depar, 2011; Tonini et al., 2011). براساس برآوردهای سازمان خواربار جهانی (فائو) برای تغذیه‌ی پایدار جمعیت رو به افزایش جهان، به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک تا سال ۲۰۲۵ نیاز خواهد بود (FAO, 2018). این در حالی است که افزایش تولید برنج در واحد سطح تنها چشم‌اندازی است که می‌تواند با بحران کمبود مواد غذایی به طور پایدار مقابله کند (Von Grebmer et al., 2008). علی‌رغم پیشرفت‌های ژنتیکی و به‌زراعی طی پنجاه سال گذشته که سبب افزایش سه برابری عملکرد دانه برنج شده است (Khoshgoftarmanesh et al., 2009)، اما نیاز به افزایش عملکرد برنج از یک طرف و ارتقای برخی از عناصر مهم (به ویژه آهن و روی) در بخش‌های خوراکی محصولات کشاورزی (کاه و دانه) همچنان به طور غیرقابل‌انکاری از نگرانی‌های بزرگ پژوهشگران و مصرف کنندگان است (Ghasemi et al., 2014). اگرچه معرفی واریته‌های پرمحصول، روش‌های آبیاری پیشرفته و کنترل بهتر آفات و بیماری‌ها به طور چشمگیری افزایش داشته‌اند، ولی انسان، برای دست‌یابی به منابع غذایی که از نظر کمی و کیفی پایدار و مطمئن باشند همچنان به طور جدی و علمی به عرضه مناسب و متعادل عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف وابسته است.

روی از (Zn) مهم‌ترین عناصر کم‌مصرف می‌باشد که پس از کمبود نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیشترین تأثیر منفی را بر رشد و نمو و عملکرد گیاه برنج دارد. این عنصر در تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و ساز وکارهای سوخت‌وساز آن ازجمله فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم، سنتز پروتئین‌ها، فرآیند متابولیسم کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم لقاح (تشکیل دانه گرده) دخالت دارد (Mahmoud-Soltani, 2018). آهن نقش بسیار مهم در ساخت کلروفیل داشته و برای انتقال الکترون در فتوسنتز–در ترکیب پروفیرین آهن و فرودوکسین‌ها که جز ترکیبات ضروری در فاز نوری فتوسنتز هستند– مورد نیاز می‌باشد. آهن به عنوان پذیرنده الکترون در واکنش‌های اکسیداسیون و کاهش و نیز به عنوان فعال‌کننده چندین آنزیم نقش‌های زیادی را در رشد و نمو گیاه بازی می‌کند (Ghasemi et al., 2014).

علاوه بر تأثیر کمبود آهن و روی بر رشد و نمو گیاه برنج و کاهش کمیت و کیفیت عملکرد دانه، امروزه کمبود آهن و روی در مواد غذایی یکی از جدی‌ترین چالش‌های سلامت جامعه جهانی به حساب می‌آید. در حدود ۲۵ درصد جمعیت کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه تحت تأثیر درجات گوناگونی از کم‌خونی ناشی از فقر آهن قرار دارند (Di Renzo et al., 2015). عنصر روی نیز نقش بسیار کلیدی در چرخه رشد انسان مانند رشد فیزیکی اندام‌ها، عملکرد ایمنی بدن، سیستم عصبی و تولید مثل، بلوغ و توسعه بهداشت آن بازی می‌کند (MahmoudSoltani, 2018).

در سیستم‌های مختلف کشاورزی (به‌ویژه برنج) نمک‌های معدنی روی و آهن مانند روی و آهن کلاته شده با ای دی تی ای (Fe-EDTA و Zn-EDTA)، سولفات‌های آهن و روی و کلات‌های مصنوعی روی برای رفع کمبود استفاده می‌شود (Mahmoud Soltani et al., 2020; Ghasemi et al., 2014). اما این ترکیبات معدنی به دلیل داشتن آلودگی فلزات سنگین و شرکت در واکنش‌های رسوب در خاک به‌ویژه در شرایط غرقابی، هزینه زیاد، تجزیه‌پذیری کم در خاک و تاثیرات زیان‌بار زیست‌محیطی تأثیر قابل‌توجهی در برطرف کردن کمبود این عناصر در خاک‌های شالیزاری نداشته و استفاده از آنها در بسیاری از موارد مقرون به صرفه نمی‌باشد (Khoshgoftarmanesh et al., 2010؛ Ghasemi et al., 2012). در مقابل، اسیدهای آمینه‌ای مانند گلایسین به عنوان عامل کلات‌کننده طبیعی نه تنها مشکلات ذکر شده در ارتباط با کلات‌های مصنوعی را ندارند، بلکه به دلیل شعاع یونی کوچکتر و نفوذ بیشتر در سلول‌های گیاهی، بار الکتریکی صفرو داشتن حدود ۲۰ درصد نیتروژن قابل جذب، محرک بهتری برای رشد گیاه می‌باشند. همچنین کمپلکس‌شدن عناصر با آمینواسیدها یکی از مکانیسم‌های مهم در افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف درخاک و همچنین جذب آنها توسط گیاه است (Abdul-Qados, 2009).

Yuan et al., (2013) در بررسی تأثیر کلات‌های اسیدآمینه روی و آهن بر عملکرد و میزان این دو عنصر در دانه ۱۵ رقم برنج ایندیکا و ژاپونیکا نشان داد که مصرف اسیدآمینه آهن تأثیر مثبت معنی‌داری بر غلظت آهن در برنج قهوه‌ای داشته و مقدار آن را در مقایسه با شاهد به طور میانگین ۱۴/۵ درصد افزایش داد. همچنین هرگاه مصرف اسیدآمینه آهن با روی همراه شد این مقدار به ۴۲/۴ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، عملکرد نیز به طور متوسط با مصرف اسیدآمینه آهن ۷ درصد و در ترکیب آهن و روی ۱۳/۳ درصد افزایش داشت. مطالعات Souri and Hatamian (2019) و Souri and Yarahmadi (2016) نشان داد که کلات‌های اسیدآمینه عناصر کم‌مصرفی مانند روی و آهن بر روی صفات رویشی گیاهان زراعی مانند ارتفاع، تعداد برگ، ساقه و ساقه‌های جانبی و در نهایت رشد اقتصادی آنها تأثیر مثبت و معنی‌دار دارد. این تأثیر مثبت در شرایط محلول‌پاشی می‌تواند ناشی از حضور توامان شکل‌های مختلف نیتروژن در ساختار آمینو اسیدها به همراه عناصر کم‌مصرف با حلالیت بهتر و قابلیت جذب بیشتر برای گیاه باشد. همچنین نشان داده شده است که وجود این دو عنصر در کلات‌های اسیدآمینه می‌تواند سبب بهبود خصوصیات مربوط به برگ و ساقه شود (Sadak et al., 2015; Souri and Hatamian, 2019). Yuan et al., (2013) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن، اسیدآمینه نیکوتین آمید و سولفات‌روی به‌تنهایی و در ترکیب با هم بر خصوصیات کیفی دانه (میزان پروتئین و اسیدآمینه کل) در ارقام ایندیکا، ژاپونیکا و ژاپونیکای هیبرید نشان دادند که تمام تیمارهای اعمال شده نسبت به شاهد سبب افزایش معنی‌دار میزان پروتئین و اسیدآمینه کل شدند. بر اساس نتایج این پژوهش مصرف همزمان اسیدآمینه و آهن، و مصرف همزمان اسید آمینه، آهن و روی نسبت به شاهد به ترتیب ۴ و ۱۳ درصد میزان پروتئین برنج سفید را افزایش داد.

علی‌رغم مطالعات زیادی که در زمینه تأثیر کاربرد روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه بر روی برنج در کشورهای دیگر انجام شده است، تاکنون پژوهش‌های اندکی از تأثیر این ترکیبات بر عملکرد و مقدار عناصر پرمصرف و کم مصرف در بافت‌های گوناگون برنج ارقام محلی (مانند هاشمی) گزارش شد. بنابراین آزمایش حاضر به منظور پاسخ‌گویی به این خلاءهای تحقیقاتی طراحی، تدوین و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش مزرعه‌ای طی سال زراعی ۱۳۹۹ درمزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و بر روی رقم برنج هاشمی (محلی) و در سه تکرار انجام گردید. بعد از عملیات شخم کرت‌هایی به ابعاد (۵×۴)۲۰ مترمربع با مرزبندی مشخص ایجاد و برای جلوگیری از تداخل تیمارهای کودی مرزها با پلاستیک پوشانده شدند. از کرت‌های گزینش شده نمونه‌های خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه گردید. نمونه‌های خاک در معرض هوا خشکانده شد و پس از عبور از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن¬ها مانند بافت خاک، درصد جرمی رطوبت اشباع، اسیدیته در عصاره اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع، ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده و عناصر کم مصرف اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱ – ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مزارع آزمایشی پیش از شروع آزمایش

مکان	pH	EC	SP	کربن آلی	ماده آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب	رس	سیلت	شن	بافت خاک
		dS/m		درصد			میلی‌گرم بر کیلوگرم				درصد			
رشت	۷/۱۱	۰/۴۵	۸۷	۱/۴	۲/۴۱	۰/۱۳	۱۰	۱۹۸	۱۰۲	۲/۶	۵۴	۲۸	۱۸	رسی

Ec، pH و SP به ترتیب عبارتند از هدایت الکتریکی ، اسیدیته عصاره اشباع خاک و درصد جرمی رطوبت اشباع

در این بررسی فسفر به مقدار ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم نیز به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم (K_2O) از منبع سولفات پتاسیم پیش از نشاکاری به کرت‌ها اضافه شد. نیتروژن نیز به مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در دو مرحله، به عنوان کود پایه (دو سوم) و کود سرک، یک هفته قبل از آبستنی (یک سوم باقی‌مانده) به تمامی کرت‌ها (به غیر از تیمارهای که نصف مقادیر NPK ذکر شده را دریافت می‌کنند) اضافه شد. گیاهچه‌های یک‌دست ارقام هاشمی به فواصل ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه کاشته و کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه شده توسط موسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرت‌ها به صورت یکسان اعمال شد. تاریخ خزانه‌گیری و نشاکاری به ترتیب ۲۰ اردیبهشت و ۲۰ خردادماه ۱۳۹۹ بود.

تیمارهای کودی T0، T1، T2، T3، T4، T5، T6، T7، T8، T9، T10 و T11 به ترتیب عبارتند از کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده موسسه تحقیقات برنج کشور، کاربرد نصف مقادیر کودهای نیتروژنی فسفری و پتاسیمی توصیه شده موسسه تحقیقات برنج کشور، ۰/۵ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسیدآمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسیدآمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسیدآمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۰/۵ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات‌روی(حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات‌روی(حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات‌روی(حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، نیم کیلوگرم کوداسیدآمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم کوداسیدآمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵ کیلوگرم کوداسیدآمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده و کاربرد یک کیلوگرم کود اسیدآمینه روی و یک کیلوگرم کود اسیدآمینه آهن به اضافه کاربرد نصف کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی توصیه شده.کلیه تیمارهای کودی در دو مرحله‌ی حداکثر پنجه‌زنی و آغاز مرحله آبستنی در کرت‌ها مصرف شد (در هر مرحله نیمی از مقادیر ذکر شده). کودهای روی و آهن کلات شده با اسیدآمینه گلایسین (تولیدشده توسط شرکت پاک‌گستر پرند)به ترتیب دارای ۲۶ و ۲۷ درصد عنصر روی و آهن می‌باشد. به منظور یکسان‌سازی شرایط رطوبتی در شاهد و سایر تیمارها، در شاهد فقط آب مقطر بر روی گیاه پاشیده شد. برای اندازه¬گیری عملکرد دانه گیاه برنج، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه، ده بوته تصادفی انتخاب و پس از جداسازی کاه از خوشه، خوشه¬ها توزین و سپس تصحیح وزن در رطوبت ۱۴ درصد انجام شد. سپس غلظت روی، آهن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه، کاه و برنج سفید شده به روش (1998)

Campbell and Plank اندازه¬گیری شد. در این روش نمونه ابتدا به روش خاکستر خشک سوزانده و پس از عصاره گیری، مقدار عناصر مورد نظر توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شد. پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها ابتدا از آزمون آماری کولموگرف–اسمیرونوف برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین نیز با روش حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با نرم افزار MSTATC انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد که تمامی تیمارها به استثنای T4 (محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی– محلول‌پاشی با آب معمولی) بر عملکرد دانه تأثیر مثبت و معنی‌دار داشتند. بیشترین میزان تأثیر به ترتیب ناشی از کاربرد تیمار T8 (محلول‌پاشی با آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار) (۴۴۳۰ کیلوگرم در هکتار) تیمار T6 (محلول‌پاشی با سولفات‌روی ۲۲ درصد و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار) (۴۴۱۹ کیلوگرم در هکتار)، و تیمار T5 (محلول‌پاشی با سولفات‌روی ۲۲ درصد و به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار) (۴۳۳۵ کیلوگرم در هکتار) بودند که بدون تفاوت معنی‌دار با هم نسبت به شاهد (۳۴۳۰ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب۲۹، ۲۸ و ۲۶/۴ درصد افزایش عملکرد داشتند. نکته حائز اهمیت در مقایسه تیمار T1 (مصرف خاکی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار نصف میزان توصیه شده) با تیمار T11 (محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار از هرکدام به همراه تیمار T1) بدست آمده است که نشان می‌دهد محلول‌پاشی روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین سبب افزایش ۶۲/۸ درصدی عملکرد دانه (۴۰۱۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۲۴۶۳ کیلوگرم در هکتار) و ۱۷ درصد افزایش عملکرد نسبت به شاهد (۳۴۳۰ کیلوگرم در هکتار) شده است (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و ترکیب عناصر پر مصرف و کم مصرف در اندام‌های مختلف هوایی برنج رقم هاشمی در تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		GY	NS	PS	KS	ZnS	FeS	NG	PG
تیمار	۱۱	۹۱۱۸۶۸/۸۸**	۰/۰۱۸**	۰/۰۰۸**	۰/۰۳۹**	۵۳۳/۸۲**	۶۲۵۴۷/۵۴**	۰/۰۸۵**	۰/۰۲۱**
تکرار	۲	۴۴۳۸/۷۵ns	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۵ns	۱/۳۳ns	۳۸/۵۶ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۰ns
اشتباه آزمایش	۲۲	۱۸۷۴۱/۷۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۱۶/۳۴	۱۴۱/۳۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات		۳/۶۵	۷/۱۳	۱۰/۸۷	۴/۱۱	۹/۸۵	۳/۶۶	۲/۱۵	۲/۲۵

GY، BY، NS، PS، KS، ZS، FS، NG، PG، KP، ZG، FG، NW، PW، KW، ZW و FW، به ترتیب عبارتند از عملکرد دانه مقدار نیتروژن در کاه و کلش، مقدار فسفر در کاه و کلش، مقدار پتاسیم در کاه و کلش، مقدار روی در کاه و کلش، مقدار آهن در کاه و کلش، مقدار نیتروژن دانه، مقدار فسفر دانه، مقدار پتاسیم دانه، مقدار روی دانه، مقدار آهن دانه، مقدار نیتروژن دانه سفید، مقدار فسفر دانه سفید، مقدار پتاسیم دانه سفید، مقدار روی دانه سفید، مقدار آهن دانه سفید.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و ترکیب عناصر پر مصرف و کم مصرف در اندام‌های مختلف هوایی برنج رقم هاشمی در تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		KP	ZnG	FeG	NW	PW	KW	ZW	FW
تیمار	۱۱	۰/۱۳**	۳/۱۹**	۵۵۵۸/۵۲**	۰/۰۳۱**	۰/۰۱۳**	۰/۰۰۰۳**	۴/۳۲**	۰/۰۰۸**
تکرار	۲	۰/۰۰۲ns	۰/۱۲ns	۱/۴۸ns	۰/۰۰۱s	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰۱*	۰/۸۰ns	۰/۰۰۰ns
اشتباه آزمایش	۲۲	۰/۰۰۳	۰/۱۹	۳۷/۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۱۰	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات		۶/۲۲	۲/۶۹	۴/۴۶	۴/۱۷	۱۱/۳۰	۶/۶۵	۳/۵۸	۲/۳۳

GY، BY، NS، PS، KS، ZnS، FeS، NG، PG، KP، ZnG، FeG، NW، PW، KW، ZnW و FeW، به ترتیب عبارتند از عملکرد دانه مقدار نیتروژن در کاه و کلش، مقدار فسفر در کاه و کلش، مقدار پتاسیم در کاه و کلش، مقدار روی در کاه و کلش، مقدار آهن در کاه و کلش، مقدار نیتروژن دانه، مقدار فسفر دانه، مقدار پتاسیم دانه، مقدار روی دانه، مقدار آهن دانه، مقدار نیتروژن دانه سفید، مقدار فسفر دانه سفید، مقدار پتاسیم دانه سفید، مقدار روی دانه سفید، مقدار آهن دانه سفید.

جدول ۳- مقایسه میانگین تیمارهای محلول‌پاشی روی و آهن بر عملکرد و ترکیب عناصر پر مصرف و کم مصرف در اندام‌های مختلف هوایی برنج

تیمار	میانگین مربعات							
	GY	NS	PS	KS	ZnS	FeS	NG	PG
	کیلوگرم در هکتار			میلی‌گرم در کیلوگرم				
T0	۳۴۳۰de	۰/۴۱c	۰/۱۹de	۲/۰۴a	۳۱/۹۰ef	۱۵۴i	۱/۶۷ef	۱/۲۴c
T1	۲۴۶۳f	۰/۳۵de	۰/۱۹de	۱/۶۱f	۲۲/۵۰g	۱۴۷i	۱/۵۴g	۱/۱۲d
T2	۳۸۴۱bc	۰/۴۰cd	۰/۲۲cd	۱/۹۹ab	۵۲/۱۷bc	۱۹۰h	۱/۹۲bcd	۱/۳۵ab
T3	۳۹۸۸b	۰/۶۰a	۰/۲۲cd	۱/۸۱e	۵۶/۳۳b	۴۸۲c	۱/۹۴bc	۱/۲۶c
T4	۳۳۹۹e	۰/۴۸b	۰/۲۳c	۱/۸۲de	۶۴/۱۳a	۲۴۴g	۱/۸۷d	۱/۳۹a
T5	۴۳۳۵a	۰/۴۴c	۰/۳۶a	۱/۹۰bcde	۴۲/۴۷d	۲۵۳g	۱/۶۱f	۱/۳۷a
T6	۴۴۱۹a	۰/۴۵bc	۰/۲۸b	۱/۸۷bcde	۴۹/۲۰cd	۲۵۶g	۱/۹۴bc	۱/۳۶ab
T7	۳۵۳۴de	۰/۳۴e	۰/۱۷e	۱/۹۵abcd	۵۰/۹۷bc	۲۹۸g	۱/۸۷cd	۱/۳۷a
T8	۴۴۳۰a	۰/۳۴e	۰/۲۱cde	۱/۹۷abc	۲۷/۱۷fg	۴۲۳d	۲/۰۶a	۱/۳۷a
T9	۳۴۷۰de	۰/۴۵bc	۰/۲۱cde	۱/۹۹ab	۲۸/۵۰fg	۵۱۷b	۱/۶۶ef	۱/۳۲b
T10	۳۶۳۶cd	۰/۴۰cd	۰/۱۷e	۱/۸۷bcde	۳۵/۴۰e	۵۷۰a	۱/۷۰e	۱/۳۹a
T11	۴۰۱۰b	۰/۳۳e	۰/۱۸de	۱/۸۶cde	۳۱/۵۳ef	۳۵۹e	۱/۹۸b	۱/۲۲c

ادامه جدول۳ – مقایسه میانگین تیمارهای محلول‌پاشی روی و آهن بر عملکرد و ترکیب عناصر پر مصرف و کم مصرف در اندام‌های مختلف هوایی برنج

تیمار	میانگین مربعات							
	KG	ZnG	FeG	NW	PW	KW	ZnW	FeW
	میلی‌گرم در کیلوگرم							
T0	۰/۸۲bc	۲۲/۳۳f	۱۱۵fg	۱/۶۹bc	۰/۲۳de	۰/۱۰ab	۱۴/۸۰g	۱۲/۳۷ef
T1	۰/۷۳d	۲۰/۴۳g	۱۰۷g	۱/۶۹bc	۰/۱۴g	۰/۰۹b	۱۵/۴۳efg	۱۲/۱۰f
T2	۰/۸۴b	۲۷/۰۳ab	۱۲۷de	۱/۷۳b	۰/۲۷cd	۰/۰۹b	۱۷/۶۳ab	۱۳/۲۷d
T3	۰/۷۵cd	۲۸/۲۳a	۱۴۶c	۱/۷۶ab	۰/۳۳a	۰/۰۹b	۱۵/۳۷efg	۱۳/۶۷cd
T4	۰/۹۳a	۲۵/۰۰cde	۹۱h	۱/۸۷a	۰/۱۷fg	۰/۰۹b	۱۸/۱۰a	۱۴/۱۰bc
T5	۰/۸۲bc	۲۶/۰۰bcd	۱۲۵ef	۱/۷۱b	۰/۲۰ef	۰/۱۰a	۱۵/۸۷def	۱۴/۳۰b
T6	۰/۸۴b	۲۶/۰۳bc	۱۳۴de	۱/۸۵a	۰/۳۴a	۰/۱۰ab	۱۵/۱۷fg	۱۴/۰۳bc
T7	۰/۸۵ab	۲۵/۶۷bcd	۹۱h	۱/۶۴bc	۰/۳۲ab	۰/۰۷c	۱۷/۱۳bc	۱۲/۶۷e
T8	۰/۸۷ab	۲۴/۵۰de	۱۴۸c	۱/۷۲b	۰/۲۱ef	۰/۰۹b	۱۵/۸۰ef	۱۲/۵۷ef
T9	۰/۷۴cd	۲۴/۰۰e	۱۶۴b	۱/۵۹cd	۰/۲۸c	۰/۰۹b	۱۶/۰۳de	۱۴/۴۳b
T10	۰/۷۴d	۲۴/۸۳de	۲۵۳a	۱/۶۷bc	۰/۳۱abc	۰/۰۷c	۱۵/۴۷gef	۱۴/۵۳b
T11	۰/۸۸ab	۲۵/۱۷cde	۱۳۵d	۱/۵۰d	۰/۲۱ef	۰/۱۰ab	۱۶/۵۷cd	۱۶/۳۷a

GY، NS، PS، KS، ZnS، FeS،NG، PG، KP، ZnG، FeG، NW، PW، KW، ZnW و FeW، به ترتیب عبارتند از عملکرد دانه، مقدار نیتروژن در کاه و کلش، مقدار فسفر در کاه و کلش، مقدار پتاسیم در کاه و کلش، مقدار روی در کاه و کلش، مقدار آهن در کاه و کلش، مقدار نیتروژن دانه، مقدار فسفر دانه، مقدار پتاسیم دانه، مقدار روی دانه، مقدار آهن دانه، مقدار نیتروژن دانه سفید، مقدار فسفر دانه سفید، مقدار پتاسیم دانه سفید، مقدار روی دانه سفید، مقدار آهن دانه سفید، ؛ T0، T1، T2، T3، T4، T5، T6، T7، T8، T9، T10 و T11 به ترتیب عبارتند از کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده موسسه تحقیقات برنج کشور، کاربرد نصف مقادیر کودهای نیتروژنی فسفری و پتاسیمی توصیه شده موسسه تحقیقات برنج کشور، ۰/۵ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسیدآمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسیدآمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسیدآمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۰/۵ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات‌روی(حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات‌روی(حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات‌روی(حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، نیم کیلوگرم کوداسیدآمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم کوداسیدآمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵ کیلوگرم کوداسیدآمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده و کاربرد یک کیلوگرم کود اسیدآمینه روی و یک کیلوگرم کود اسیدآمینه آهن به اضافه کاربرد نصف کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی توصیه‌شده.

محلول‌پاشی عناصری همچون آهن و روی همواره به عنوان یک روش سریع و موثر بر ارتقای عملکرد و افزایش آهن و روی در دانه برنج مطرح بوده است (MahmoudSoltani et al., 2020). کاربرد منابع و روش‌های مصرف روی به سرعت منجر به افزایش دسترسی مواد مغذی مورد

نظر و افزایش جذب آن توسط اندام‌های گیاه و انتقال بیشتر آنها به محل هدف می‌شود (MahmoudSoltani et al., 2019). همچنین روی هنگامی‌که با سایر عناصر همراه شود در افزایش و تعادل مواد مغذی در گیاهان برای مدت زمان طولانی کمک می‌کند. این افزایش به دلیل بهبود محیط تغذیه‌ای در ریزوسفر و متعاقباً در سیستم‌های داخلی گیاهان است (Kumar et al., 2020). Bagheri and Nazaran (2011) در بررسی تأثیر کاربرد کلات آهن بر عملکرد برنج رقم شیرودی نشان دادندکه تمامی تیمارهای به‌کاررفته (محلول‌پاشی یک، دو و سه مرحله‌ای آهن) باعث افزایش عملکرد شده و بهترین تیمار موثر، محلول‌پاشی سه مرحله‌ای بوده که باعث بهبود عملکرد کمی به میزان ۱۱ درصد در دانه برنج گردیده و همچنین کیفیت برنج از نظر عطر و پخت از متوسط به خوب بهبود یافت. این موضوع ناشی از افزایش میزان عناصر آهن، روی و کلسیم در این تیمار به ترتیب ۳۱/۲۵ درصد، ۲۸/۵ درصد و ۵۰ درصد نسبت به شاهد و افزایش اجزای عملکردی مانند تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه و طول خوشه در این تیمار مرتبط بوده است. از طرف دیگر، اگرچه کاربرد نمک‌های روی و آهن تأثیر بسزایی در رفع کمبود این عناصر داشته و منجر به افزایش عملکرد دانه برنج و سایر محصولات زراعی شده است ولی بهبود کمی و کیفی عملکرد دانه در گیاهان زراعی بر اثر مصرف کودهای اسیدآمینه به دلیل جذب بهتر، کارایی بیشتر، بهبود رشد رویشی همواره بهتر از مصرف آنها به‌صورت بنیان‌های نمکی بوده است. همچنین کلات‌های اسیدآمینه عناصر کم‌مصرف، نقش مهمی در کمک به تامین نیتروژن با قابلیت جذب بالا برای محصولات کشاورزی ایفا می‌کنند. چرا که این آمینو اسیدها دارای بین ۲ تا ۲۰ درصد نیتروژن به شکل اسیدآمینه هستند (Souri and Hatamian, 2016 and Souri and Hatamian, 2019). از آنجائی‌که نیتروژن مهم‌ترین عنصر موثر در رشد و توانایی تولید محصول در تمامی گیاهان به ویژه محصولات زراعی است، اهمیت این نوع کودها بیش از بیش روشن می‌شود. بنابراین این کودها علاوه بر رفع کمبود عناصرکم‌مصرف، می‌توانند اثرات منفی کمبود عناصر پرمصرف (در این پژوهش کمبود نیتروژن در تیمار کاربرد کودهای اصلی به میزان نصف مقدار توصیه شده) را با توجه به قابلیت جذب و انتقال بین اندامی بهتر (Souri et al., 2016)، مرتفع نمایند.

محتوای عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در دانه، برنج سفید، و کاه و کلش

محتوای آهن دانه، برنج سفید و کاه و کلش

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر محتوای آهن دانه، برنج سفید و کاه و کلش برنج رقم هاشمی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد بیشترین مقدار محتوای آهن دانه ناشی از محلول‌پاشی با آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار (۲۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) بوده که نسبت به شاهد ۲/۲ برابر افزایش داشت. همچنین بیشترین میزان افزایش در محتوای آهن برنج سفید تأثیر ناشی از محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار از هرکدام (۱۶/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) به ثبت رسید که نسبت به شاهد ۳۲/۳۳ درصد افزایش داشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار محتوای آهن کاه و کلش با اختلاف معنی‌دار به ترتیب ناشی از محلول‌پاشی با آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) (۵۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) (۵۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) بوده که نسبت به شاهد به ترتیب ۳/۷۰ و ۳/۳۵ برابر افزایش داشتند. نکته حائز اهمیت در مقایسه تیمار T1 (مصرف خاکی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار نصف میزان توصیه شده) با تیمار T11 (محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار از هرکدام در تیمار T1) بدست آمده است که نشان می‌دهد محلول‌پاشی روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین سبب افزایش ۲۶/۲۰ درصدی محتوای آهن دانه (۱۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۱۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم)، افزایش ۳۵/۲۹ درصدی محتوای آهن برنج سفید (۱۶/۳۷میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۱۲/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و افزایش ۲/۴۴ برابری محتوای آهن کاه و کلش (۳۵۹میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۱۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) شده است (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد کاربرد اسیدآمینه گلایسین حاوی نیتروژن، روی و آهن قابل‌جذب حتی در شرایطی که عناصر پرمصرف چه در حد کفایت و چه کمتر (ولی متعادل) مصرف می‌شوند می‌تواند تأثیر مثبت خود را در افزایش پرشدن دانه برنج و افزایش محتوای آهن دانه و کاه برنج و برنج سفید نشان داده و حتی تأثیر کمبود عناصر غذایی پرمصرف را خنثی نمایند. Yuan et al., 2013 نشان دادند که محلول‌پاشی آهن، اسیدآمینه نیکوتین آمید و سولفات‌روی به‌تنهایی و در ترکیب با هم سبب افزایش میزان آهن در دانه برنج و برنج قهوه‌ای دو رقم برنج ایندیکا، سه رقم برنج ژاپونیکا و شش برنج هیبرید ژاپونیکا شده و میزان متوسط آن در برنج قهوه‌ای حدود ۱۵/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده که ۱۴/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داده است. این در حالی است که درصد افزایش در دانه برنج ۲۵/۷ درصد نسبت به شاهد بیان شده است. بیشینه افزایش در هر دو صفت در تیماری بدست آمده است که روی و آهن در آن با هم وجود دارند. این با یافته‌های Wei et al.,(2012) در یک راستا بود که در آن محلول‌پاشی آهن از منابع سولفات‌آهن، سولفات‌آهن و نیکوتین آمید، و ترکیب سولفات‌آهن و سولفات‌روی به ترتیب سبب افزایش ۱۷، ۳۰ و ۲۷ درصدی غلظت آهن در برنج سفید شد. این یافته تاکیدی است بر این نکته که وجود ترکیبات آمینو اسیدی در کودهای مصرفی به غنی‌سازی زیستی و افزایش بیشتر این عناصر در اندام‌های گیاه برنج می‌انجامد. Yuan et al., 2013 و Souri and Hatamian., 2019 دو دلیل را برای این تأثیر بیان داشتند: در وهله اول هرگاه

این عناصر به صورت کلات با اسیدآمینه در می‌آیند شعاع یونی آنها کوچک شده و در نتیجه مقاومت به نفوذ به داخل برگ برای آنها کاهش یافته بنابراین آسان‌تر و بیشتر وارد فضای دورن سلولی برگ شده و در بافت‌های گیاه منتقل می‌شوند. در وهله دوم زمانی که این مولکول‌های کوچک جذب شده و وارد فضای بین سلولی شدند حتی می‌تواند با آهن داخل بافتی گیاه یک ترکیب با تحرک بیشتر تولید کرده و امکان انتقال آسان را به بافت هدف فراهم کنند. از طرف دیگر با کاربرد آمینو اسیدهای آهن و جذب آنها به درون بافت گیاه واکنش آپوپلاستیک برگ کاهش یافته و در نتیجه جذب سیمپلاستیک آهن نیز بهبود می‌یابد. این موضوع به عنوان پیشران کمکی غنی‌سازی زیستی آهن در گیاه در نتیجه متحرک‌سازی دوباره آهن موجود در بافت عمل می‌کند.

محتوای روی دانه، برنج سفید، و کاه و کلش

بر اساس نتایج مندرج در جدول تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر غلظت روی در دانه، کاه و کلش، و برنج سفید رقم محلی هاشمی معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد بیشترین میزان افزایش غلظت روی در برنج سفید ناشی از محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار (۱۸/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود که نسبت به شاهد ۲۲/۲۹ درصد افزایش داشت. بیشترین میزان افزایش مقدار روی موجود در دانه بدون اختلاف معنی‌دار به ترتیب ناشی از محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار (۲۸/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار (۲۷/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود که نسبت به شاهد به ترتیب ۲۶/۴۲و ۲۱/۰۵ درصد افزایش داشتند. بیشترین میزان افزایش در روی کاه و کلش به ترتیب ناشی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) (۶۴/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار (۵۶/۳۳ میل گرم در کیلوگرم) به ثبت رسید که نسبت به شاهد به ترتیب ۲ و ۱/۷۶ برابر افزایش داشتند. نکته حائز اهمیت در مقایسه تیمار T1 (مصرف خاکی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار نصف میزان توصیه شده) با تیمار T11 (محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار از هرکدام در تیمار T1) بدست آمده است که نشان می‌دهد این ترکیب کودی سبب افزایش ۲۰/۵۵ درصدی محتوای روی دانه (۱۶/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۱۵/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)، افزایش ۲۳/۲۰ درصدی محتوای روی برنج سفید (۲۶/۴۲میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۲۱/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و افزایش ۱/۴ برابری محتوای روی کاه و کلش (۳۱/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۲۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) شده است (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد کاربرد اسیدآمینه گلایسین حاوی نیتروژن، روی و آهن قابل‌جذب (به ویژه روی) حتی در شرایطی که عناصر پرمصرف چه در حد کفایت و چه کمتر (ولی متعادل) مصرف می‌شوند می‌تواند تأثیر مثبت خود را در افزایش پرشدن دانه برنج نشان داده و حتی تأثیر کمبود عناصر غذایی پرمصرف را خنثی نمایند. به اعتقاد پژوهشگران محلول‌پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Rehman et al., 2012). همچنین مطالعات نشان داده است که محلول‌پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحله گرده‌افشانی برنج سبب انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ‌های با میزان روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ‌های با مقدار روی پایین شد (Wu et al., 2010). همچنین، گزارش شده است که محلول‌پاشی سولفات‌روی کلاته باعث افزایش غلظت روی به مقدار ۴۵–۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در برنج قهوه‌ای و ۳۷–۹ میلی‌گرم در کیلوگرم در برنج سفید شد (Fageria et al., 2002). از طرف دیگر گزارشات بسیاری نیز از تأثیر بهتر کاربرد آمینو اسیدها به‌تنهایی و یا به صورت کلات با روی در افزایش میزان روی در بافت‌های گیاه برنج دیده شده است (Yuan et al., 2013; Zhang et al., 2009). Yuan et al., (2013) نشان دادند که محلول‌پاشی آهن، اسیدآمینه نیکوتین آمید و سولفات‌روی به‌تنهایی و در ترکیب با هم سبب افزایش میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی برنج ارقام IR2، JR1، JHR1 JHR2 شده است. اگرچه مقدار روی در دانه و اندام‌های هوایی در ارقام مختلف ایندیکا و ژاپونیکا به صورت آشکاری با هم تفاوت دارد. این نتایج نشان داد که هرگاه سولفات‌روی به کلات اسیدآمینه –آهن افزوده شد مقدار غلظت روی در ارقام مختلف بین ۱۸ تا ۴۵ درصد افزایش داشت. در بررسی مقایسه کارایی کلات‌های روی و اسیدآمینه گلایسین و سولفات‌روی، Seddigh et al., (2013) بیان داشتند جذب روی در شاخساره‌های گندم از منبع کلات‌های روی و اسیدآمینه گلایسین به طور معنی‌داری بیشتر از سولفات‌روی بود. در یک مطالعه مزرعه‌ای Rafie et al., (2017) نشان دادند که کلات اسیدآمینه لای‌سین، متیونین و ترونین در مقایسه با سولفات‌روی نه تنها عملکرد و اجزای عملکرد را در محصولات زراعی افزایش داد بلکه کلات اسیدآمینه لای‌سین به طور معنی‌داری سبب افزایش روی در دانه شد.

محتوای نیتروژن دانه، برنج سفید، و کاه و کلش

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر غلظت نیتروژن کل در دانه، کاه و کلش، و برنج سفید رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد که بیشترین میزان افزایش نیتروژن دانه مربوط به محلول‌پاشی با آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۰/۵کیلوگرم در هکتار) (۲/۰۶ درصد) بوده که نسبت به شاهد ۲۳/۵

درصد افزایش یافت. بیشترین میزان افزایش نیتروژن در برنج سفید ناشی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) (۱/۸۷ درصد) به ثبت رسید که نسبت به شاهد به ترتیب ۱۰/۶۹درصد افزایش داشت. همچنین بیشترین میزان افزایش مقدار نیتروژن ناشی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار) (۰/۶۰ درصد) بوده که نسبت به شاهد ۴۶/۳۴ درصد افزایش را نشان داد. نکته حائز اهمیت در مقایسه تیمار T1 (مصرف خاکی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار نصف میزان توصیه شده) با تیمار T11(محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار از هرکدام در تیمار T1) به دست آمده است که نشان می‌دهد محلول‌پاشی روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین سبب افزایش ۲۸/۵۷ درصدی محتوای نیتروژن دانه (۱/۹۸ درصد) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۱/۵درصد) شده است (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد کاربرد اسیدآمینه گلایسین حاوی نیتروژن، روی و آهن قابل‌جذب (به ویژه روی) حتی در شرایطی که عناصر پرمصرف چه در حد کفایت و چه کمتر (ولی متعادل) مصرف می‌شوند می‌تواند تأثیر مثبت خود را در افزایش درصد پروتئین دانه برنج نشان داده و حتی تأثیر کمبود عناصر غذایی پرمصرف را خنثی نمایند. مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد کودهای اسیدهای آمینه حاوی عناصر کم‌مصرف نه تنها بر روی عملکرد واجزای عملکرد، بلکه بر روی ویژگی‌های بیوشیمیایی و کیفی بخش‌های خوراکی محصولات زراعی نیز به‌طور معنی‌داری تأثیر مثبت دارد (Rafei et al., 2017). ,.Souri et al (2016, 2017 and 2019) گزارش نمود که بخش عمده نیتروژن موجود در کلات‌های آمینو اسیدی به صورت اسیدآمینه و یا آمونیوم بوده و به محض تماس با برگ و یا دیگر بخش‌های هوایی گیاه جذب شده و در آنجا ذخیره و یا به بخش‌های هدف مانند بخش خوراکی منتقل می‌شود. همچنین Souri and Hatamian, (2019) بیان داشتند کلات‌های آمینو اسیدی در مقایسه با سایر منابع کودی تأثیر بیشتری در افزایش مقدار عناصر غذایی مختلف در گیاه می‌شود. Ghasemi et al., (2014) عنوان نمودند که تأثیر تمامی انواع کلات آمینو اسیدهای گلایسین، آرجنین و هیستیدین با آهن کاربردی در مقایسه با Fe-EDTA بر میزان نیتروژن موجود در بخش هوایی گیاه گوجه فرنگی تأثیر مثبت داشته و باعث افزایش آن شده است. Essa (2002) بیان داشت این موضوع به نقش کلات‌های آمینو اسیدهای آهن در بهبود یکپارچگی دیواره سلولی و کاهش نفوذپذیری آن مرتبط است. علاوه براین Ge et al. (2009) بیان داشتند که مصرف کلات اسیدآمینه آهن و روی با ارائه نیتروژن بیشتر و قابل جذب‌تر به افزایش رشد گیاه و در نتیجه جذب بیشتر نیتروژن خاک منجر شده و در نهایت به افزایش آن در تمامی بافت‌های گیاه خواهد انجامید. Al-Juthery et al., (2009) گزارش نمود که با کاربرد کودهای حاوی اسیدآمینه میزان نیتروژن به میزان ۲/۲۳ درصد رسید که در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری داشته است.

محتوای فسفر دانه، برنج سفید، و کاه و کلش

براساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر غلظت فسفر کل در دانه، کاه و کلش، و برنج سفید رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد که تمامی آنها در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی– محلول‌پاشی با آب معمولی) (۱/۲۴ درصد) بر غلظت فسفر دانه تأثیر مثبت و معنی‌دار داشتند. بیشترین میزان افزایش در مقدار فسفر دانه بدون اختلاف معنی‌دار به ترتیب ناشی از محلول‌پاشی با آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) (۱/۳۹ درصد) و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) (۱/۳۹ درصد) به ثبت رسیده است که نسبت به شاهد به ترتیب ۱۲/۱، ۱۲/۱ درصد افزایش داشتند. بیشترین میزان افزایش در مقدار فسفر برنج سفید مربوط به محلول‌پاشی با سولفات‌روی ۲۲ درصد به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار) (۰/۳۴ درصد)، محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار) (۰/۳۳ درصد) و محلول‌پاشی با سولفات‌روی ۲۲ درصد به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) (۰/۳۲ درصد) بود که نسبت به شاهد به ترتیب ۴۷/۸۰، ۴۳/۴۷ و ۳۹/۱۴ درصد افزایش داشتند که اختلاف معنی‌داری نیز با یکدیگر نداشتند. همچنین بیشترین میزان افزایش در مقدار فسفر کاه و کلش به ترتیب ناشی از محلول‌پاشی با سولفات‌روی ۲۲ درصد به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) (۰/۳۶ درصد) بوده که نسبت به شاهد ۸۹ درصد افزایش داشت (جدول ۳). نکته حائز اهمیت در مقایسه تیمار T1 (مصرف خاکی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار نصف میزان توصیه شده) با تیمار T11 (محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار از هرکدام در تیمار T1) بدست آمده است که نشان می‌دهد محلول‌پاشی روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین سبب افزایش ۵۰ درصدی محتوای فسفر برنج سفید (۰/۲۱درصد) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۰/۱۴ درصد) شده است. به‌نظر می‌رسد کاربرد اسیدآمینه گلایسین حاوی نیتروژن، روی و آهن قابل‌جذب (به ویژه روی) حتی در شرایطی که عناصر پرمصرف چه در حد کفایت و چه کمتر (ولی متعادل) مصرف می‌شوند می‌تواند تأثیر مثبت خود را در افزایش محتوای فسفر برنج سفید نشان داده و حتی تأثیر کمبود عناصر غذایی پرمصرف را خنثی نمایند.

محتوای پتاسیم دانه، برنج سفید، و کاه و کلش

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر غلظت پتاسیم دانه، برنج سفید و کاه تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد بیشترین میزان افزایش پتاسیم دانه بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر به ترتیب ناشی از محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار) (۰/۸۸ درصد) و محلول‌پاشی با آهن

کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۰/۵کیلوگرم در هکتار) (۰/۸۷ درصد) به ثبت رسیده که نسبت به شاهد به ترتیب ۷/۳ و ۷/۳ درصد افزایش داشتند. مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای به‌کاررفته در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی– محلول‌پاشی با آب معمولی) بر مقدار پتاسیم برنج سفید دیده نشد. براساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر غلظت پتاسیم کاه و کلش تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۱). اگرچه نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد که هیچ‌کدام از آنها در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی– محلول‌پاشی با آب معمولی) (۲/۰۴ درصد) بر محتوای پتاسیم کاه و کلش تأثیر مثبت و معنی‌دار نداشته و تنها تیمار T2، T8 و T9 اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. نکته حائز اهمیت در مقایسه تیمار T1 (مصرف خاکی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار نصف میزان توصیه شده) با تیمار T11 (محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار از هرکدام در تیمار T1) به دست آمده است که نشان می‌دهد محلول‌پاشی روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین سبب افزایش ۱۵/۵ درصدی محتوای پتاسیم کاه و کلش (۱/۸۶ درصد) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۱/۶۱ درصد) شده است (جدول ۳). محلول‌پاشی روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین سبب افزایش ۲۰/۵۵ درصدی محتوای نیتروژن دانه (۰/۸۸ درصد) نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف (۰/۷۳درصد) شده است. به‌نظر می‌رسد کاربرد اسیدآمینه گلایسین حاوی نیتروژن، روی و آهن قابل‌جذب حتی در شرایطی که عناصر پرمصرف چه در حد کفایت و چه کمتر (ولی متعادل) مصرف می‌شوند می‌تواند تأثیر مثبت خود را در افزایش درصد پروتئین دانه برنج نشان داده و حتی تأثیر کمبود عناصر غذایی پرمصرف را خنثی نمایند. مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد کودهای اسیدهای آمینه حاوی عناصر کم‌مصرف نه تنها بر روی عملکرد واجزای عملکرد، بلکه بر روی ویژگی‌های بیوشیمیایی و کیفی بخش‌های خوراکی محصولات زراعی به ویژه محتوای عناصر کم مصرف و پر مصرف آنها نیز به‌طور معنی‌داری تأثیر مثبت دارد (Saeedi et al., 2015; Rafei et al., 2015; Souri et al., 2019) گزارش نمودند که بخش عمده نیتروژن موجود در کلات‌های آمینو اسیدی به صورت اسیدآمینه و یا آمونیوم بوده و به محض تماس با برگ و یا هر بخش هوایی دیگر گیاه جذب شده و در آنجا ذخیره و یا به بخش‌های هدف مانند بخش خوراکی منتقل می‌شود. همچنین Souri and Hatamian. (2019) بیان داشتند کلات‌های آمینو اسیدی در مقایسه با سایر منابع کودی تأثیر بیشتری در افزایش مقدار عناصر غذایی مختلف در گیاه می‌شود. Mohammadi and Khoshgoftarmanesh (2014) نشان دادند که مصرف کلات اسیدآمینه روی (گلایسین–روی) در مقایسه با سولفات‌روی میزان پتاسیم در ریشه و برگ گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. Ghasemi et al. (2014) عنوان نمودند که تأثیر تمامی انواع کلات آمینو اسیدهای گلایسین، آرجنین و هیستیدین با آهن به‌کاررفته در مقایسه با Fe-EDTA بر میزان پتاسیم اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی نیز دیده شده است. و در بین انواع اسیدهای آمینه، گلایسین تأثیر بیشتری بر مقدار پتاسیم داشته است که می‌تواند به میزان بیشتر نیتروژن موجود در گلایسین در مقایسه با سایر اسید های آمینه و Fe-EDTA مرتبط باشد. این در حالی است که در خصوص افزایش پتاسیم مکانیسم دیگری دخالت دارد. Essa (2002) بیان داشت این موضوع به نقش کلات‌های آمینو اسیدها ی آهن در بهبود یکپارچگی دیواره سلولی و کاهش نفوذپذیری آن مرتبط دانست. Al-Juthery et al. (2019) گزارش نمود که با کاربرد کودهای حاوی اسیدآمینه میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه گندم به میزان قابل قبول ۲/۲۳ درصد، ۱۲۸/۳۹ و ۳۶/۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم رسید که در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری داشته است.

تغییرات مقدار عناصر پرمصرف و کم مصرف در فرآیند سفید کردن برنج

مقایسه مقدار آهن و روی موجود در دانه (شلتوک) و برنج سفید حاوی این نکته حائز اهمیت است که با انجام عملیات سفید کردن و حذف لایه‌های بیرونی دانه (سبوس) مقدار آهن بین ۱۰ تا ۱۵/۵ برابر و مقدار روی تا ۵۰ درصد، مقدار نیتروژن بطور متوسط ۶/۵ درصد، مقدار فسفر بین ۳/۸ تا ۸ برابر، مقدار پتاسیم بین ۸ تا ۱۲ برابر کاهش یافت (شکل ۱). به نظر می‌رسد نیتروژن نسبت به آهن ، روی، فسفر و پتاسیم که در اثر حذف لایه آلئورون غنی از عناصر غذایی و جنین کاهش چشمگیری داشتند از پراکنش مناسب‌تری در قسمت‌های مختلف دانه برخوردار است و حذف سبوس تأثیر چندانی بر مقدار آن ندارد. پژوهش‌های مرتبط با ارزش غذایی برنج حاکی از این است که اگرچه برنج سفید شده منبع غذایی غیر قابل جایگزین جهت تامین انرژی و به میزان کمتری از آن فراهم کننده پروتئین مورد نیاز جوامع انسانی به ویژه در مناطق برنج خیز دنیا می‌باشد (Depar et al., 2011)، ولی خروج لایه آلئورون غنی از عناصر غذایی و همچنین جنین آن‌را تبدیل به یک منبع فقیر از نظر عناصر ضروری (به ویژه آهن و روی) که برای تغذیه و تندرستی انسان ضروری است، می‌سازد (Bouis and Welch, 2010; Yang et al., 2012)). برنج سفید در مقایسه با سایر غلات دارای مقدار کمتری از آهن است (Fe; 2.5 mg kg^{-1} (Martínez et al., 2010)), 2mg kg^{-1} (Wei et al., 2012)). این مقدار با مقدار هدف گذاری شده جهانی برای آهن (۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) بسیار فاصله دارد (He et al., 2013). Tajddodi and Habibi (2019) نیز نشان دادند که با تبدیل شلتوک به برنج سفید از مقدار آهن، روی، منگنز، سدیم و پتاسیم به ترتیب سه برابر، دو برابر، ۵۰ درصد، ۷ برابر و ۵۰ درصدکاسته شده است. این نتایج با یافته‌های Sabouri (2013) در خصوص کاهش مقدار آهن، روی و منگنز در اثر لایه‌برداری بیشتر از برنج قهوه‌ای در یک راستا است. کاهش مقدار مواد معدنی در فرآیند تبدیل توسط بسیاری از پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Rosniyana et al., 2006; Shruti et al., 2014). Rosniyana et al., (2006) گزارش کردند که مقدار فسفر و پتاسیم برنج قهوه‌ای در فرآیند تبدیل به ترتیب ۲ برابر و ۴۰ درصد کاهش یافت. این

در حالی بود که مقدار کاهش برای سدیم و کلسیم تا ۳ برابر نیز اندازه‌گیری شده بود.

شکل ۱- تأثیر سفید کردن برنج بر میزان عناصر کم مصرف و پرمصرف آن در تیمارهای مختلف آزمایشی

T0، T1، T2، T3، T4، T5، T6، T7، T8، T9، T10 و T11 به ترتیب عبارتند از کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده موسسه تحقیقات برنج کشور، کاربرد نصف مقادیر کودهای نیتروژنی فسفری و پتاسیمی توصیه شده موسسه تحقیقات برنج کشور، ۰/۵ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسید آمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسید آمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود اسید آمینه روی (حاوی ۲۶درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۰/۵ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات روی (حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات روی (حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵کیلوگرم عنصر روی از منبع‌کود سولفات روی (حاوی ۲۲درصد روی) در هکتار به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، نیم کیلوگرم کوداسید آمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱ کیلوگرم کوداسید آمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده، ۱/۵ کیلوگرم کوداسید آمینه آهن (حاوی ۲۷درصد آهن) به اضافه کاربرد کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی به مقدار توصیه شده و کاربرد یک کیلوگرم کود اسید آمینه روی و یک کیلوگرم کود اسید آمینه آهن به اضافه کاربرد نصف کودهای نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی توصیه شد؛ Average برابر است با میانگین صفت در تمامی تیمارها.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

استراتژی‌های مختلف به‌زراعی موثر بر عملکرد کمی و کیفی گیاه برنج که ستون فقرات آن منابع و روش‌های کاربرد کودهای آلی و معدنی است به طور گسترده ای برای مقابله با کمبود آهن و روی ، افزایش روی و آهن قابل جذب خاک و در نتیجه قابلیت دسترسی این عناصر برای رشد و نمو بهینه گیاهان زراعی و همچنین غنی‌سازی زیستی دانه در مزارع شالیزاری استفاده می‌شود. اما بازیابی کم یا تبدیل سریع به اشکال نامحلول، خطر شستشوی بالقوه بالا، کاربرد میزان کافی کلات اسیدهای آمینه این عناصر را به عنوان راه حلی پایدار معرفی نموده است. نتایج نشان داد محلول‌پاشی کلات‌های گلایسین آهن و روی به طور قابل توجهی بر عملکرد و غنی‌سازی بیولوژیکی آهن و روی و سایر عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه، کاه برنج و برنج سفید موثر بود. حداکثر عملکرد از محلول‌پاشی با آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار) (۴۴۳۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد افزایش داشت. بیشترین درصد افزایش آهن، روی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه در اثر محلول‌پاشی با آهن و روی کلات شده با اسیدآمینه گلایسین به ترتیب ۳۲، ۲۲، ۲۳، ۱۲ و ۷ درصد به ثبت رسید. این روند افزایش در کاه و کلش و برنج سفید نیز دیده شد. اگرچه مقدار این عناصر در برنج سفید به ترتیب به میزان حداکثر ۱۵، ۰/۵، ۶، ۸ و ۱۲ برابر نسبت به دانه در اثر فرآیند تبدیل کاهش یافت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مصرف دو مرحله‌ای این ترکیبات می‌تواند نه تنها بر عملکرد کمی دانه و کاه تأثیر مثبت و افزایشی داشته باشد بلکه بر روی کیفیت دانه نیز به طور معنی‌داری اثرات مثبت و بهبود دهنده دارد. همچنین نکته حائز اهمیت در مقایسه تیمار T1 (مصرف خاکی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار نصف میزان توصیه شده) با تیمار T11 (محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین و به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار از هرکدام در تیمار T1) به دست آمده است که نشان می‌دهد محلول‌پاشی روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین سبب افزایش بسیاری از صفات اندازه گیری شده نسبت به عدم مصرف آن علی‌رغم مصرف فقط نیمی از کودهای عناصرپرمصرف شده است. به‌نظر می‌رسد کاربرد اسیدآمینه گلایسین حاوی نیتروژن، روی و آهن قابل‌جذب حتی در شرایطی که عناصر پرمصرف چه در حد کفایت و چه کمتر (ولی متعادل) مصرف می‌شوند می‌تواند تأثیر مثبت خود را در افزایش این صفات نشان داده و حتی تأثیر کمبود عناصر غذایی پرمصرف را خنثی نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

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.

Al-Juthery, H.W.A., Hardan, H.M., Al-Swedi, F.G., Obaid, M.H. and Al-Shami, Q.M.N. (2019). November. Effect of foliar nutrition of nano-fertilizers and amino acids on growth and yield of wheat. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 388(1)12046.

Bagheri, N., Nazaran, M.H. (2011). Evalluation of Nano chelated Fe fertilizer on yield and yield components of rice (Shiroudi Var.). *The first National congress of new concept of agriculture*. Saveh. Iran.

Bouis, Howarth E., and Ross M. Welch. (2010). Biofortification—a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop science*, 50, S-20.

Campbell, C. R., and Plank, C. O. (1998). Preparation of plant tissue for laboratory analysis. *Methods for Plant Analysis*, 37.

Depar, N., Rajpar, I., Memon, M.Y. and Imtiaz, M. (2011). Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes. *Pakistan Journal of Agriculture: Agricultural Engineering Veterinary Sciences* (Pakistan).

Di Renzo, G.C., Spano, F., Giardina, I., Brillo, E., Clerici, G. and Roura, L.C. (2015). Iron deficiency anemia in pregnancy. *Women's Health*, 11(6),891-900.

Essa, T.A. (2002). Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (Glycine max LMerrill) cultivars. *J. Agron. Crop Sci*., 188, 86–93.

Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark, R.B. (2002). Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, 77, 185-268.

FAO. (2018). Rice market monitor. Vol. XVI, *Trade and Markets Division*. Rome.

Ge, T., S. Song, P. Roberts, D. L. Jones, D. Huang, and K. Iwasaki. (2009). Amino acids as a nitrogen source for tomato seedlings: the use of dual-labeled (13C, 15N) glycine to test for direct uptake by tomato seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 66(3), 357–61.

Ghasemi, S., A. H. Khoshgoftarmanesh, M. Afyuni, and H. Hadadzadeh. (2014). Iron (II)–amino acid chelates alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*, 165, 91–8.

Ghasemi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Hadadzadeh, H. and Jafari, M. (2012). Synthesis of iron-amino acid chelates and evaluation of their efficacy as iron source and growth stimulator for tomato in nutrient solution culture. *Journal of*

plant growth regulation, 31(4), 498-508.
He, W., Shohag, M.J.I., Wei, Y., Feng, Y. and Yang, X. (2013). Iron concentration, bioavailability, and nutritional quality of polished rice affected by different forms of foliar iron fertilizer. *Food chemistry*, 141(4), 4122-4126.
Khoshgoftarmanesh, A. H., R. Schulin, R. L. Chaney, B. Daneshbakhsh and M. Afyuni. (2010). Micronutrientefficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 83-107.
Khoshgoftarmanesh, A.H., Sadrarhami, A., Sharifi, H. R., Afiuni, D. and Schulin, R. (2009). Selecting zinc-efficient wheat genotypes with high grain yield using a stress tolerance index. *Agronomy Journal*, 101(6), 1409-1416.
Kumar, R., Kumar, M., Yadav, S. and Kumar, R. (2020). Effect of Sources and Methods of Zinc Application on Productivity, Nutrient Uptake and Zinc Use Efficiency of Basmati rice (Oryza sativa L.). International *Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1), 2231-2242.
Mahmoudsoltani, S. (2019). Quantitative and qualitative improvement of rice grain in paddy field through macro and micronutrient management strategies (focus on phosphorus and zinc). *Final project report. Rice research institute of Iran*. Rasht. Iran.
Mahmoudsoltani S, Mohamed, M.H., Samsuri, A., Syed, M. and Sharifah, K. (2017). Lime and Zn application effects on soil and plant Zn status at different growth stages of rice in tropical acid sulphate paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, 4(4), 127-138.
Mahmoudsoltani, S. (2020). Zn biofortification, grain protein content, and zinc and phosphorus content of rice tissues at different growth stages affected by zinc and phosphorus foliar application. *Iran J Soil Water Res*. (Accepted).
Mahmoudsoltani, S. (2018). Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. *Technical Bulletin. Rice research institute of Iran*.31p.
Martínez, C., Borrero, J., Taboada, R., Viana, J.L., Neves, P., Narvaez, L., Puldon, V., Adames, A. and Vargas, A. (2010). Rice cultivars with enhanced iron and zinc content to improve human nutrition. *In 28th International rice research conference*.
Mohammadi, P. and Khoshgoftarmanesh, A.H. (2014). The effectiveness of synthetic zinc (Zn)-amino chelates in supplying Zn and alleviating salt-induced damages on hydroponically grown lettuce. *Scientia Horticulturae*, 172, 117-123.
Pirzadeh, M., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A. and Schulin, R. (2010). Micronutrient status of calcareous paddy soils and rice products: implication for human health. *Biology and fertility of soils*, 46(4), 317-322.
Rafie, M. R., A. H. Khoshgoftarmanesh, H. Shariatmadari, A. Darabi, and N. Dalir. (2017). Influence of foliar-applied zinc in the form of mineral and complexed with amino acids on yield and nutritional quality of onion under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 216, 60–8.
Rehman, H. U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A. and Rengel, Z. (2012). Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant and Soil*, 361(1-2), 203-226.
Rosniyana, A., Rukunudin, I.H. and ShariffahNorin, S.A. (2006). Effects of milling degree on the chemical composition, physicochemical properties and cooking characteristics of brown rice. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 34(1), 37- 44
Saburi. S. (2013). Effect of milling on physicochemical properties and nutritional properties of rice. Final report. *Rice Research Institute of Iran*. No. 45807 (in Farsi)
Sadak, M., M. T. Abdoelhamid, and U. Schmidhalter. (2015). Effect of foliar application of aminoacids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with sea water. *Acta Biol_ogica Colombiana*, 20 (1), 141–52.
Saeedi, R., N. Etemadi, and A. Nikbakht. (2015). Calcium chelated with amino acids improves quality and postharvest life of lisianthus (Eustoma grandiflorum cv. Cinderella lime). *HortScience*, 50,1394–8.
Seddigh M, Khoshgoftarmanesh A H, Ghasemi S. (2013). The Effectiveness of Synthesized Zinc-Amino Chelates in Supplying Zinc for Wheat. *Journal of Crop Production and Processing*. 3 (9), 177-187
Shruti, P., Bhavnita, D. and Navdeep Singh S. (2014). Effect of degree of milling (Dom) on overall quality of rice A Review. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR)*. l5, 474-489
Souri, M. K. (2016). Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. Open Agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 77(1), 118–23.
Souri, M. K., and B. Yarahmadi. (2016). Effect of amino chelates foliar application on growth and development of marigold (Calendula officinalis) plants. *Iranian Journal of Plant Production Technology*, 15 (2),109–19.
Souri, M. K., F. Yaghoubi Sooraki, and M. Moghadamyar. (2017). Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean plants under foliar and soil applications of an aminochelate fertilizer. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 58 (6), 530–536.
Souri, M.K. and Hatamian, M. (2019). Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 42(1), pp.67-78.
Tonini, A. and Cabrera, E. (2011). Opportunities for global rice research in a changing world (No. 2215-2019-1630).
Von Grebmer, K., Fritschel, H., Nestorova, B., Olofinbiyi, T., Pandya-Lorch, R. and Yohannes, Y. (2008). Global hunger

index: The challenge of hunger 2008. Bonn, Washington D.C., Dublin.

Wei, Y., Shohag, M.J.I., Yang, X. and Yibin, Z. (2012). Effects of foliar iron application on iron concentration in polished rice grain and its bioavailability. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(45), 11433-11439.

Yang, J., Roy, A. and Zhang, Y. (2012). BioLiP: a semi-manually curated database for biologically relevant ligand–protein interactions. *Nucleic acids research*, 41(1), 1096-1103.

Yuan, L., Wu, L., Yang, C. and Lv, Q. (2013). Effects of iron and zinc foliar applications on rice plants and their grain accumulation and grain nutritional quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*(2), 254-261.

Zhang, J., Wang, M. Y., and Wu, L. H. (2009). Can foliar iron-containing solutions be a potential strategy to enrich iron concentration of rice grains (Oryza sativa L.)?. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science*, *59*(5), 389-394.