Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Effect of nano- micronutrients and cytokinin foliar application growth regulators on wheat grain yield and quality in low under different irrigation conditions

Amir Faridnia[1], Farzad Paknejad[2*], Mehdi Sadeghi Shoa[3], Mohammad Nabi Ilkaei[4], Fayaz AghaYari[5]

[1] PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: Amirfaridnya@gmail.com
[2] Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: Farzadpaknejad@gmail.com
[3] Assistant Professor, Seed and Plant Breeding Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension, Karaj, Iran, Email: Mehdi.sadeghishoae@gmail.com
[4] Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: MN64_ilkaee@yahoo.com
[5] Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: aghayari_ir@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/04/11
Revised: 2022/07/10
Accepted: 2022/07/28

Keywords:
Fresh gluten
Grain phosphorus
Grain protein
Zeleni sediment volume

ABSTRACT

Background and objectives: Improper use of chemical fertilizers has caused a lack of balance of nutrients, especially trace elements, and attention to improving the quality of wheat grain is one of the important issues along with the quantity of production. Application of growth regulators, especially plant hormones (such as cytokinin), by affecting the antioxidant system and resource sink relations of plants, that used as a solution to reduce the effects of environmental stresses at the molecular, cellular, biochemical, physiological levels as well as to increase yield. Nutrient deficiency can be seen in almost all farms in the world and foliar application of micronutrients such as iron, zinc, selenium, have beneficial effects on plant photosynthesis and quantitative growth and quality of wheat grain. Therefore, a study was conducted to investigate the effect of Nano micronutrients and cytokinin foliar application on the quantitative and qualitative properties of wheat under different irrigation regimes.

Materials and Methods: This study was conducted in two regions of Karaj and Hamadan in 2019-2020 crop year as a split plot factorial in a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments include irrigation regimes with three levels (irrigation at 40% available moisture discharge throughout the growing season (control), Normal irrigation from planting date to pollination stage and thereafter irrigation at 60% available moisture discharge, normal irrigation from planting date to pollination stage then stage then cut off with holding irrigation till maturity), as the main and factorial factor of low-consumption Nano-elements with five levels: control (no Nano-micronutrients), zinc, iron, selenium and a combination of three elements) and cytokinin with four levels (control (non-consumption), consumption in flowering stage, consumption in lactation stage and consumption in flowering stage +

milking) were evaluated as a sub-factor. Traits such as grain protein, fresh gluten, grain potassium, grain phosphorus, grain zinc, zeleni sediment volume and grain hardness were measured.

Results: The results indicate that the effects of irrigation, cytokinin and Nano-micronutrient treatments on the studied traits were significant, but the interaction effects of these treatments were not significant. The results showed that the highest values of the most studied traits in this study were related to normal irrigation in planting date to pollination then cut off irrigation. Co-consumption of micronutrients Zinc + iron + selenium compared to other micronutrient element treatments increased the traits of this study and the highest values of traits in cytokinin treatments were related to the use of cytokinin in flowering + milky and milky stages. The highest amount of grain protein is related to irrigation treatments in 40% of available moisture discharge (normal) in the amount of 14.42%, as well as zinc + iron + selenium in the amount of 14.51% and application of cytokinin in the flowering stage + Milking and milking treatment were with values 13.94% and 13.65%, respectively.

Conclusion: Normal irrigation up to pollination and then irrigation cut increased all the studied traits in this research except for zinc and potassium, and the combined use of nano micronutrient elements (zinc + iron + selenium) led to an increase in seed quality in comparison with application each one indivitually. Cytokinin foliar application in the flowering + milking stage, as well as in the milking stage, increased the quality of wheat grain compared to the application in other stages. Drought stress (normal irrigation until pollination and then irrigation cuuting) caused a 28.73% increase in seed protein compared to normal irrigation conditions, and the combined application of nano micronutrient elements (zinc + iron + selenium) caused a 30.95% increase. The use of cytokinin in flowering + milking stage and milking treatment increased by 26.15% and 23.52%, respectively, compared to the control.

Cite this article: Miri, M., Amerian, M.R., Edalat, M., Baradaran Firouzabadi, M., Makarian, H. 2022. The effect of spermidine and melatonin on antioxidant enzymes, the amount of routine active ingredient and yield in Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) under drought stress. *Crop Production Journal*, 15 (4), 85-100.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2023.19985.2487
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تـولیـد گیـاهـان زراعـی
شـاپـا چـاپـی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نانو و هورمون سیتوکینین بر عملکرد و کیفیت دانه گندم در شرایط کم‌آبیاری

امیر فریدنیا[۱]، فرزاد پاک‌نژاد[۲]*، مهدی صادقی شعاع[۳]، محمدنبی ایلکایی[۴]، فیاض آقایاری[۵]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، رایانامه: Amirfaridnya@gmail.com
[۲] استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، رایانامه:Farzadpaknejad@gmail.com
[۳] استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه:Mehdi.sadeghishoae@gmail.com
[۴] دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، رایانامه:MN64_ilkaee@yahoo.com
[۵] استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، رایانامه:aghayari_ir@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۶

واژه‌های کلیدی:
پروتئین دانه
حجم رسوب زلنی
فسفر دانه
گلوتن تر

چکیده

سابقه و هدف: مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی سبب عدم توزان عناصرغذایی به‌ویژه عناصر کم مصرف شده است و توجه به بهبود کیفیت دانه گندم از جمله مسائل مهم در کنار کمیت تولید این محصول پراهمیت است. کاربرد تنظیم کننده‌های رشد، به خصوص هورمون‌های گیاهی (نظیر سیتوکینین)، با تأثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدانی و روابط منبع و مخزن گیاهان، به عنوان یک راه‌حل برای کاهش اثرات تنش‌های محیطی در سطوح مولکولی، سلولی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و همچنین، افزایش عملکرد به کار برده می‌شوند. کمبود عناصرغذایی تقریبا در تمامی مزارع جهان دیده می‌شود و کاربرد محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نظیر آهن، روی و سلنیوم، می‌تواند اثرات مفیدی بر فتوسنتز گیاه و رشد کمی و کیفیت دانه گندم داشته باشد. لذا پژوهشی جهت بررسی اثرات کاربرد عناصر ریزمغذی نانو و همچنین، هورمون سیتوکنین بر خصوصیات کمی و کیفی گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در دو منطقه کرج و همدان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری با سه سطح (آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس در تمام دوره رشدی (شاهد)، آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و آبیاری در ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس تا پایان دوره رشد، آبیاری نرمال تا گرده افشانی و قطع آبیاری تا پایان دوره رشد)، به عنوان عامل اصلی و فاکتوریل عناصر نانو کم‌مصرف با پنج سطح شامل محلول‌پاشی روی، آهن، سلنیوم، ترکیب سه عنصر و شاهد (عدم مصرف عناصر ریزمغذی نانو) و زمان استفاده از سیتوکنین با چهار سطح شامل مصرف در مرحله گل‌دهی، مصرف در مرحله شیری-شدن، مصرف در مرحله گلدهی+ شیری شدن و شاهد (عدم مصرف)، به عنوان عامل فرعی بررسی شدند. صفاتی نظیر پروتئین دانه، گلوتن‌تر، پتاسیم دانه، فسفر دانه، روی دانه، حجم

رسوب زلنی و سختی دانه اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج پژوهش بیان‌گر آن است که اثر تیمارهای کم آبیاری، سیتوکنین و عناصر ریزمغذی نانو، بر صفات مورد مطالعه در این پژوهش معنی‌دار شدند، اما اثرات متقابل این تیمارها معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقادیر اکثر صفات مورد مطالعه در این پژوهش مربوط به تیمار آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری بود. مصرف توأم عناصر ریزمغذی روی + آهن + سلنیوم نسبت به سایر تیمارهای عناصر ریزمغذی موجب افزایش صفات مورد مطالعه شد و بیش‌ترین مقادیر صفات در تیمارهای سیتوکنین نیز به ترتیب مربوط به کاربرد سیتوکنین در مرحله گلدهی + شیری‌شدن و مرحله شیری شدن بود. بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه مربوط به تیمارهای آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری به مقدار ١٤/٤٢ درصد، همچنین تیمار روی + آهن + سلنیوم، به مقدار ١٤/٥١ درصد و کاربرد سیتوکنین در مرحله گلدهی + شیری‌شدن و تیمار شیری شدن به ترتیب با مقادیر ١٣/٩٤ درصد و ١٣/٦٥ درصد بود.

نتیجه‌گیری: آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری، تمامی صفات مورد مطالعه در این پژوهش به غیر از روی و پتاسیم دانه را افزایش داد و و کاربرد توأم عناصر ریزمغذی نانو (روی + آهن + سلنیوم) منجر به افزایش کیفیت دانه گندم نسبت به کاربرد تک-تک آن‌ها شد. محلول‌پاشی سیتوکنین در مرحله گلدهی + شیری شدن و همچنین در مرحله شیری شدن، کیفیت دانه گندم را نسبت به مصرف در سایر مراحل افزایش داد. تنش خشکی (آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری) موجب افزایش ٢٨/٧٣ درصدی پروتئین دانه نسبت به شرایط آبیاری نرمال شد و کاربرد توأم عناصر ریزمغذی نانو (روی + آهن + سلنیوم) موجب افزایش ٣٠/٩٥ درصدی پروتئین نسبت به شاهد گردید. کاربرد سیتوکنین در مرحله گلدهی + شیری‌شدن و تیمار شیری شدن به ترتیب با مقادیر ٢٦/١٥ و ٢٣/٥٢ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت.

استناد: فریدنیا، ا.، پاک‌نژاد، ف.، صادقی شعاع، م.، ایلکایی، م.ن.، آقایاری، ف. (١٤٠١). اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نانو و هورمون سیتوکینین بر عملکرد و کیفیت دانه گندم در شرایط کم‌آبیاری. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ١٥ (٤)، ١٠٠-٨٥.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.19985.2487

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین محصولات غذایی جهان است و ٤٠ درصد از انرژی و غذای مورد نیاز مردم جهان را تأمین می‌کند (١). تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و با توجه به گسترش فعالیت‌های کشاورزی در اراضی حاشیه‌ای و دارای خاک‌های با حاصل‌خیزی کم، معضل کمبود آب مخصوصاً در این مناطق در آینده نزدیک مشهودتر خواهد شد (٢)، ارائه هر روش زراعی یا شیمیایی مناسب برای حفظ رشد محصولات در شرایط تنش خشکی بسیار ضروری است (٣، ١). گزارش‌ها حاکی از آن است که بسیاری از مسیرهای متابولیکی، ساختار غشایی و جذب مواد معدنی تحت تأثیر تنش آبی قرار گرفته و باعث تغییر محتوای هورمونی در گیاه می‌شوند. محققین بیان کردند که از جمله راهکارهای مهم مقابله با تنش خشکی و کاهش اثرات منفی ناشی از آن، کاربرد عناصر ریزمغذی نانو و هورمون سیتوکنین است (٤، ٥، ٦).

عناصر ریزمغذی، نقش حیاتی در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند و سهم مهمی در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی دارند (٧). بعضی عناصرغذایی کم‌مصرف همانند روی و آهن، در فرآیندهای فیزیولوژیکی، مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل دخالت دارند و کمبود آن‌ها می‌تواند موجب عدم توازن عناصرغذایی در گیاه و در نهایت کاهش کمی و کیفی محصول شود. به‌طور کلی ریزمغذی‌ها در گندم نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه، ارزش غذایی دانه و کیفیت پخت نان دارند. به‌عنوان مثال، گزارش شده است که محلول‌پاشی آهن و روی موجب افزایش عملکرد گندم و کیفیت دانه گندم گردید (٨). گلوتن باعث ایجاد خواص رئولوژیکی و کشش خمیر گندم می‌گردد. این صفت در بین غلات تنها در گندم به علت ویژگی‌های منحصر به فرد گلوتن دیده می‌شود. بنابراین، گلوتن به تنهایی اهمیت خیلی زیادی در تولید خصوصیات مناسب خمیر و نان دارد. این عامل را می‌توان به‌عنوان خصوصیات گلوتن گندم معرفی نمود (٩). برخی از ریزمغذی‌ها به‌صورت کودهای نانو نیز تولید شده‌اند و این کودها می‌توانند به علت اندازه ذرات بسیار ریزی که دارند، بسیار سریع‌تر و با حداکثر کارایی از منافذ برگ عبور کرده و جذب بافت‌های گیاه شوند (١٠، ١١، ١٢).

هورمون سیتوکنین، نقش‌های بسیاری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی و تکاملی مانند چرخه سلولی، فعالیت مریستم‌های ریشه و اندام هوایی، پیری برگ و تقسیم سلولی دارد و باعث افزایش ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی می‌شود (١٣، ١٤). سیتوکنین‌ها نقش به‌سزایی برای افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی دارند. مطالعات نشان داده است که افزایش سیتوکنین ممکن است به گیاهان کمک کند تا با افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی، تنش خشکی را بهتر تحمل نمایند (١٥). نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن است که کاربرد سیتوکنین منجر به افزایش عملکرد گندم، پروتئین گندم، افزایش تعداد سلول‌های آندوسپرم دانه در شرایط تنش خشکی شده است (١٦، ١٨، ١٧). گزارش شده است که کاربرد عنصر روی به همراه تنظیم‌کننده‌های رشد (هورمون‌های جیبرلیک اسید و سیتوکینین) موجب افزایش عملکرد و کیفیت دانه گندم شده است (١٩).

پتاسیم فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متعددی را در گیاهان تنظیم می‌کند از جمله می‌توان به تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرایند فتوسنتز، فعال شدن آنزیم‌ها، دخالت در تولید آدنوزین تری فسفات (ATP)، انتقال قندهای تولید شده در اثر

فتوسنتز به قسمت‌های مختلف گیاه و همچنین، در ذخیره‌سازی آن‌ها نقش دارد (۲۰، ۱۵) و بررسی مقدار آن در گیاه اهمیت به‌سزایی دارد. یکی از پراهمیت‌ترین ویژگی‌های مرتبط با کیفیت نهایی دانه گندم، حجم رسوب زلنی است که شاخصی برای بررسی کیفیت پروتئین و کیفیت نانوایی آردهای حاصله به شمار می‌آید (۲۱). لزوم تغذیه مناسب گندم در اراضی حاشیه‌ای از یک طرف و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی از طرف دیگر، انجام پژوهش در زمینه به‌کار بردن روش‌هایی که منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی خصوصاً در شرایط کم‌آبی می‌شود را ضروری ساخته است. بنابراین، با توجه به تحقیقات انجام شده و اثرات مفید هورمون سیتوکینین و ریزمغذی‌ها بر کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی، هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر عناصر ریزمغذی نانو و هورمون سیتوکنین و اثرات توأم آن‌ها بر کیفیت دانه گندم در شرایط کم آبیاری در دو منطقه کرج و همدان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه کرج و همدان در سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸) در منطقه کرج در تاریخ ۱۷ مهرماه و در همدان در تاریخ ١٤ مهرماه انجام شد. اطلاعات هواشناسی مربوط به سال‌های زراعی در جدول ۱ آورده شده است. تیمارهای آزمایش شامل رژیم آبیاری با سه سطح (آبیاری در ٤۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس در تمام دوره رشدی (شاهد)، آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و آبیاری در ٦۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس تا پایان دوره رشد، آبیاری نرمال تا گرده افشانی و قطع آبیاری تا پایان دوره رشد)، که در کرت‌های اصلی قرار گرفت و فاکتور دوم عناصر نانو کم‌مصرف با پنج سطح شامل روی، آهن، سلنیوم، ترکیب سه عنصر و شاهد (عدم مصرف عناصر ریزمغذی نانو) و زمان استفاده از سیتوکنین با چهار سطح شامل مصرف در مرحله گل‌دهی، مصرف در مرحله شیری‌شدن و مصرف در مرحله گلدهی + شیری شدن و شاهد (عدم مصرف)، که به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفت. زمان آبیاری به‌وسیله بلوک گچی بر اساس تخلیه رطوبتی زمین مشخص و آبیاری انجام گرفت. بلوک‌ها قبلا در مزارع مورد کشت مورد آزمایش واسنجی قرار گرفته بودند و از منحنی تخلیه رطوبتی قابل دسترس که قبلا به‌دست آمده است، استفاده شد. هورمون سیتوکنین با غلظت ۷۰ میکرومولار اسفاده شد. شرکت سازنده هورمون سیتوکینین Alpha Chemika بود. نانو کود روی باغلظت ۲/۵ در هزار و نانو کود آهن با غلظت ۲ در هزار و سلنیوم به میزان ۲۰ گرم در هکتار در دو مرحله ساقه‌دهی و سنبله مورد استفاده قرار گرفت. در حالت ترکیب کودها نیز همان مراحل اعمال شد. شرکت کود نانو روی ۱۲ درصد خضرا شماره ثبت کودی ۲۹۹۳٦ و شرکت کود نانو آهن ۹ درصد خضرا شماره ثبت کودی ۳٤٤۲۸ بود. محلول استوک نانو سلنیوم ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از شرکت Nanosany خراسان رضوی تهیه گردید.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی در دو منطقه کرج و همدان.

Table 1- Meteorological information in Karaj and Hamadan regions.

ماه‌های کشت Cultivation months		حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (◦C)		حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (◦C)		بارندگی(میلی‌متر) Precipitation (mm)		رطوبت(درصد) Humidity (%)	
		Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj
مهر	October	5	7	18	25	162.2	130.5	40	43
آبان	November	1	2	14	20	151.5	128.5	39	44
آذر	December	-2	-1	13	18	141.5	83	42	45
دی	January	-4	-3.2	10	14	143.5	97.5	43	42
بهمن	February	-7.5	-3.5	11	12	117.5	145.2	44	41
اسفند	March	-1	1	14	13.3	124.5	105.5	41	54
فروردین	April	3	5	16	15.5	121.2	97	38	48
اردیبهشت	May	9	11	16.5	19	112.6	104.5	42	42
خرداد	June	14	18	23.5	29.3	0	0	43	46

عملیات اجرایی در مهرماه سال ۱۳۹۸ با کشت بذر در مناطق کرج و همدان، با تراکم ٤۰۰ بوته در مترمربع، آغاز گردید. عملیات آماده‌سازی زمین در هر منطقه، شامل شخم عمیق، دیسک، لولرکشی و تسطیح لازم در پاییز بود. قبل از آماده‌سازی نهایی زمین، نمونه‌برداری مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری انجام و نسبت به تعیین میزان عناصر غذایی موجود در آن اقدام گردید (جدول ۲).

قبل از کشت، کود نیتروژن از منبع اوره محاسبه و با توجه به خاک مزرعه و براساس توصیه‌های متخصص تغذیه بر مبنای آزمون خاک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد و به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت در مرحله آماده‌سازی زمین، به صورت یکنواخت در مزرعه پخش شد و با دیسک به عمق حدود ۱۵ سانتی‌متری خاک‌اضافی شد رقم بذر گندم استفاده شده SHS ۰۲۲ بود و از مرکز تحقیقات کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید. روش کشت به صورت جوی و پشته‌ای توسط دستگاه کارنده غلات و با فاصله ۱۵ سانتی‌متر انجام شد، به‌طوری که فاصله هر پشته ٦۰ سانتی‌متر برای آبیاری بود که هر پشته شامل ٤ خط کشت ۱۵ سانتی‌متری و هر کرت شامل سه پشته و در مجموع ۱۲ خط کشت به طول ٦ متر بود. به صورتی که بین کرت‌های فرعی ٦۰ سانتی‌متر و بین کرت‌های اصلی ۱۸۰ سانتی‌متر فاصله بود. تاریخ برداشت در کرج ۱۹ تیرماه و در همدان ۲۵ تیرماه بود. جهت نمونه‌برداری از کرت‌ها خط شماره ۱ و خط شماره ۱۲ و همچنین نیم متر از بالا و نیم متر از پایین کرت به عنوان حاشیه حذف شد و عملیات نمونه‌برداری از خطوط ۲ و ٤ انجام شد. صفاتی نظیر پروتئین دانه، گلوتن‌تر، پتاسیم دانه، فسفر دانه، روی دانه، حجم رسوب زلنی و سختی دانه اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 2- Physical and chemical properties of soil.

منطقه Region	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity ($ds.m^{-1}$)	اسیدیته Acidity	نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) No_3 ($Mg.kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Potasium ($Mg.kg^{-1}$)	مواد آلی (درصد) Organic matter (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Phosphorus ($Mg.kg^{-1}$)	سدیم (میلی‌اکی والان بر لیتر) Sodium ($meq.l^{-1}$)	بافت خاک Soil Texture
Hamadan	1.14	7.67	7.44	509.12	0.81	13.12	6.83	Clay loam
Karaj	2.26	8.07	8.11	411.27	0.19	8.32	7.11	clay

اندازه‌گیری پروتئین دانه مطابق با استانداردهای انجمن بین‌المللی علوم و تکنولوژی غلات (ICC)[1] انجام شد. اصول این روش عبارت است از اکسیده کردن مواد آلی موجود در نمونه به‌وسیله سولفوریک اسید غلیظ و قرار دادن در مجاورت کاتالیزور که در نتیجه نیتروژن کل موجود در نمونه به آمونیوم سولفات (SO_4 $2(NH_4)$) تبدیل شد و سپس به کمک قلیا آمونیاک آمونیوم سولفات آزاد و تقطیر شده و آمونیاک آزاد شده تیتر گردید و سپس نیتروژن موجود در نمونه محاسبه و با ضرب نمودن مقدار نیتروژن در ضریب مربوط (۵/۷۵) میزان پروتئین دانه تعیین شد. گلوتن دانه به روش استاندارد ICC شماره ۱۳۷ با دستگاه گلوتاماتیک (شرکت GluWash) انجام شد. به‌طوری‌که ۲۵ گرم آرد و ۱۵ میلی‌لیتر آب را با هم مخلوط کرده و خمیر به‌دست آمد. ۵ دقیقه ورز داده شد، سپس ۳۵ دقیقه به آن استراحت داده و در زیر جریان آهسته شیر آب در حالی که یک صافی در زیر آن قرار داده شده بود، ورز داده شد. عمل شستن و ورز دادن تا جایی که نشاسته خمیر کاملاً شسته شود ادامه داده شد تا آب خروجی شفاف و یک توده چسب مانند در دست باقی ماند. برای جداسازی گلوتن از نشاسته از دستگاه گلوتن شوی گلوتامیک (شرکت GluWash) استفاده گردید و جداسازی گلوتنین و گلیادین با سانتریفیوژ گلوتن در دورهای بالا انجام گرفت. به منظور اندازه‌گیری پتاسیم دانه‌های برداشت شده در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده را با استفاده از آسیاب، پودر و سپس مقادیر پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر بر حسب میلی‌گرم بر گرم ماده خشک قرائت و اعداد به‌دست آمده از طریق مقایسه با نمودار حاصل از نمونه‌های استاندارد تعدیل شدند (۲۲). فسفر دانه بعد از هضم خشک نمونه‌ها به روش کالری‌متری (رنگ زرد وانادات مولیبدات) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۳). حجم رسوب زلنی با استفاده از دستگاه اینفورماتیک (Informatics) انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت روی از روش‌های متداول WHO استفاده شد (۲٤). به این ترتیب که نمونه‌ها با آب دیونیزه شسته شدند، سپس در کاغذهای آلومنیومی پیچیده و برای ۲٤ ساعت در آون خشک شدند. از هر نمونه ۱/۲ گرم در ارلن ریخته، سپس ۲۵ میلی‌گرم از ٦۵ HNO_3 درصد به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها قبل از گرما دادن به مدت یک شب در اسید قرار گرفتند. هضم با ظروف در باز در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت تا زمانی که محتوای مایع ظروف بخار و تقریبا خشک شوند. سپس ۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد برای تکمیل هضم به نمونه‌ها اضافه شد و مخلوط تا جوشیدن حرارت دید. محتوای

1.International Association for Cereal Chemistry

ظروف بعد از خنک شدن به ظروف استاندارد ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و با آب دیونیزه به حجم رسانده شد. برای تجزیه و تحلیل روی با دستگاه جذب اتمی Perkin-Elmer مدل ۲۳۸۰ استفاده گردید. میزان سختی دانه گندم با استفاده از روش توزیع اندازه ذرات (PSI) و مطابق با استانداردAACC۵۵-۳۰ به‌دست آمد. طبق این استاندارد رطوبت دانه‌های گندم باید بین ۱۱ تا ۱۳ درصد باشد و با محاسبه شاخص اندازه ذرات، سختی گندم از جدول ۳ مشخص شد (۲۵). تجزیه آماری با استفاد از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۳- میزان سختی دانه.

Table 3- Grain hardness

طبقه	فوق العاده سخت	خیلی سخت	سخت	نسبتا سخت	نسبتا نرم	نرم
Leval	Super hard	Very hard	Hard	Fairly hard	Fairly soft	Soft
PSI (%)	7<	8-12	13-16	17-20	21-25	26-30

نتایج و بحث

تجزیه واریانس: نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر منطقه و رژیم‌های آبیاری، دارای اثر معنی‌داری با احتمال خطای یک درصد و اثر عناصر ریزمغذی نانو و سیتوکینین دارای اثر معنی-داری با احتمال خطای پنج درصد در پروتئین دانه، گلوتن‌تر، پتاسیم، فسفر، روی، رسوب زلنی و سختی دانه بود (جدول ٤).

درصد پروتئین دانه: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پروتئین دانه در منطقه همدان بیش‌تر از کرج بوده است که گمان می‌رود به دلیل شرایط مساعد آب و هوایی برای گندم در منطقه همدان باشد. در میان تیمارهای آبیاری، با افزایش مقدار تنش خشکی، پروتئین دانه افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه مربوط به تیمار آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری به مقدار ١٤/٤٢ درصد بود. در عناصر ریزمغذی نانو، در میان سه عنصر (روی، آهن، و سلنیوم) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه مربوط به تیمار توام سه عنصر روی + آهن + سلنیوم، به مقدار ١٤/٥١ درصد بود و در محلول‌پاشی سیتوکینین نیز بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه مربوط به تیمار گلدهی + شیری‌شدن و همچنین تیمار شیری‌شدن به ترتیب با مقادیر ١٣/٩٤ درصد و ١٣/٦٥ درصد بود (جدول ٥). افزایش پروتئین دانه در شرایط تنش می‌تواند مقیاسی از درجه تحمل گیاه به شرایط خشکی باشد. اعمال تنش در مرحله پس از گرده‌افشانی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه و کوچک شدن آندوسپرم، کاهش وزن دانه و به دنبال آن افزایش درصد پروتئین دانه شد. در شرایط تنش خشکی میزان پروتئین موجود در دانه افزایش یافت که به‌نظر می‌رسد کاهش پتانسیل آب در برگ‌ها، موجب افزایش قابل توجهی در پلی‌ریبوزوم‌ها و مونوریبوزوم‌ها می‌شود که این امر، بیانگر افزایش سنتز پروتئین‌ها می‌باشد (۳، ۱۵). کاربرد عناصر کم مصرف، در تولید پروتئین نقش به‌سزایی دارد و در خصوص سازوکار این امر بیان شده است که نقش این عناصر در جذب و متابولیسم نیتروژن (مهم‌ترین عنصر در افزایش محتوای پروتئین دانه) و بیوسنتز پروتئین‌ها از طریق تنظیم فعالیت پپتیدازها و کنترل متابولیسم آن‌ها موجب افزایش پروتئین دانه شد و عنصر روی در فعال کردن آنزیم گلوتامیک دهیدروژناز تاثیر مستقیم دارد که این امر باعث افزایش گلوتن ذخیره شده در دانه و در نتیجه افزایش میزان پروتئین دانه خواهد شد (٢٦). کاربرد سیتوکنین

موجب القای تقسیم سلولی در انـدام هـوایی و سـنتز پروتئین‌ها می‌شود (٦). نتایج حاصل از ایـن پـژوهش با نتایج سایر محققین بر روی گندم مطابقـت داشـت. آن‌ها گزارش کردند که تنش خشکی غلظت پـروتئین گندم را کاهش داد که این واکنش را می‌توان به کاهش سنتز پروتئین‌ها در شرایط تنش خشـکی و یـا تجزیـه پروتئین‌ها به‌علت افزایش فعالیت پروتئازها نسبت داد (۲۷،۳).

گلوتن‌تر: منطقه همدان نسبت بـه منطقـه کـرج دارای گلوتن‌تر بیش‌تر بود. بررسی تیمارهای آبیاری بیان‌گـر آن است که، با افزایش مقدار تنش، گلوتن‌تر افـزایش یافت و بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به تیمـار آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعـد از آن قطـع کامـل آبیـاری بـه مقـدار ۲۹/۱٦ درصـد، بـود. در عناصـر ریزمغـذی نـانو، در میـان سـه عنصـر (روی، آهـن و سلنیوم) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و بیش‌تـرین مقدار گلوتن‌تر مربوط به ترکیب ایـن سـه عنصـر بـه مقدار ۲۸/٦٤ درصد بود. در محلول‌پاشی سیتوکنین نیز بیش‌ترین مقدار گلوتن‌تر مربوط بـه تیمـار گلـدهی + شیری‌شدن و همچنین تیمار شیری شدن به ترتیب بـا مقادیر ۲۷/۵۰ درصد) و ۲۷/۲٤ درصـد بـود (جـدول ۵). یکی از صفات مرتبط با پروتئین موجـود در دانـه گندم، میزان گلوتن دانه است. مقدار پروتئین در درجه اول مربـوط بـه پـروتئین‌هـای گلـوتن‌سـاز اسـت، اندازه‌گیری پروتئین موجود در گندم معمولاً مربوط بـه تعیین گلوتن مرطوب و خشک اسـت. کـاهش مقـدار نشاسته در شرایط تنش خشکی باعث افزایش گلـوتن می‌شود (۲۸). از نتایج فوق چنین استنباط می‌شود کـه مصرف کودهای نانو در هنگام رشـد گنـدم بـه دلیـل فراهمی مواد مغذی، باعث ایجاد دانه‌هایی می‌شود کـه میزان گلوتن مرطوب بـیش‌تـری در مقایسـه بـا عـدم مصرف کود دارد (۹).

پتاسیم دانه: نتایج مقایسـه میـانگین بیـان داشـت کـه پتاسیم دانه در منطقه همدان بیش‌تر از کـرج بـود کـه می‌توان گفت به دلیل وجود مقادیر بیش‌تر پتاسـیم در خاک همدان و جذب بهتر این عنصر توسط گیاه ایـن امـر رخ داد (جـدول ۲). بررسـی تیمارهـای آبیـاری بیان‌گر آن است که، با افزایش مقدار تنش، پتاسیم دانه کاهش یافت و بیش‌ترین مقدار آن مربـوط بـه تیمـار آبیاری در ٤۰ درصـد تخلیـه رطوبـت قابـل دسـترس (نرمال) به مقدار ۵/۲۸ درصد، بود. در میان سه عنصر (روی، آهن و سـلنیوم) اختلـاف معنـی‌داری مشـاهده نشد و بیش‌ترین مقدار پتاسیم دانه مربوط بـه ترکیـب این سه عنصر به مقدار ۵/۱۸ درصد بود. در محلـول-پاشی سیتوکنین نیز بیش‌ترین مقدار پتاسیم دانه مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف) و همچنـین گلـدهی بـه ترتیب بـا مقـادیر ۵/۲۳ درصـد و ٤/۹۷ درصـد بـوده است (جدول ۵). مقدار پتاسیم در شـرایط کم‌آبیـاری کاهش یافته است که می‌توان گفت دلیل این امـر ایـن است که در شرایط کم آبیاری، رشد ریشه و همچنـین انتشار کاتیون پتاسیم در خاک هر دو محدود می‌شـود و جذب پتاسیم توسـط ریشـه کـاهش مـی‌یابـد و در نتیجه تأمین پتاسیم کافی برای گیاه برای تحمل آن در مقابل خشکی امری ضروری است (۲۹، ۲۰). گزارش شده است که کاربرد سیتوکینین سبب افزایش پتاسـیم دانه گندم شد که با نتـایج پـژوهش حاضـر مطابقـت داشت (۳).

فسفر دانه: منطقه همدان فسفر دانه بیش‌تری را نسبت به کرج داشت که می‌توان گفت به دلیل شرایط آب و هوایی مناسب و بارش بیش‌تر این منطقـه نسـبت بـه کرج و وجود عنصر فسـفر بیش‌تـر در خـاک همـدان باشد. در تیمارهای آبیاری مشاهده شد که بـا افـزایش مقدار تنش، فسفر دانه افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار ایـن شـاخص مربـوط بـه تیمـار آبیـاری نرمـال تـا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیـاری بـه مقـدار ۰/۲ درصد بـود. در میـان سـه عنصـر (روی، آهـن و سلنیوم) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و بیش‌تـرین مقدار فسفر دانه مربوط به شاهد به مقدار ۰/۲ درصـد

بود. کاربرد سیتوکنین در مرحله گلدهی + شیری شدن افزایش ۸۳ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف آن) داشت (جدول ۵). کود نانو عناصر ریزمغذی نسبت به کودهای ریزمغذی معمول، به راحتی توسط اپیدرم برگ‌های منتقل شده به ساقه جذب می‌شود که جذب مولکول‌های فعال را تسهیل می‌کند، همچنین موجب رشد گندم و افزایش کیفیت دانه گندم، از جمله افزایش فسفر و پروتئین در دانه می‌شود (۱۰). پژوهش‌گران بیان کردند که کاربرد عنصر روی به‌طور معنی‌داری درصد پروتئین دانه و غلظت عنصر روی را افزایش داد، در حالی که غلظت فسفر دانه را کاهش داد. این محققین دلیل کاهش فسفر با کاربرد عنصر روی را اثرات آنتاگونیسمی بین این عناصر (فسفر و روی) برای جذب و ذخیره‌سازی توسط گیاه می‌دانند (۱۵). محققین عنوان کردند که کاربرد سیتوکنین به سبب فراهمی شرایط رشد برای گیاه، سبب افزایش فسفر و روی در شرایط تنش خشکی و شرایط غیرتنش در گندم شده است (۳). با توجه به اینکه برخی از عناصر برای جذب می‌توانند با فسفر اثر رقابتی داشته باشند، می‌توان گفت جذب عنصر پتاسیم در تیمار ترکیب سه عنصر (روی، آهن و سلنیوم) سبب کاهش فسفر شده است (۱۰).

میزان روی در دانه: منطقه کرج دارای مقدار روی دانه بیش‌تری نسبت به همدان بود که گمان می‌رود به دلیل افزایش نیتروژن موجود در خاک کرج نسبت به خاک همدان باشد. در شرایط کم آبیاری، روی دانه کاهش یافت و بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به تیمار آبیاری در ٤٠ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس (نرمال) به مقدار ٤١/٧٣ میلی‌گرم بر کیلوگرم، بود. در میان سه عنصر (روی، آهن و سلنیوم) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و بیش‌ترین مقدار روی دانه مربوط به ترکیب این سه عنصر به مقدار ٤٣/٢٦ میلی-گرم بر کیلوگرم بود. کاربرد سیتوکنین در مرحله گلدهی و همچنین شاهد منجر به افزایش روی دانه به ترتیب با مقادیر ۳۹/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۳۸/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد (جدول ۵). علت کاهش روی در دانه در شرایط کم آبیاری را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که با کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک عنصر روی در گیاه کاهش می‌یابد که همین امر باعث کاهش انتقال عنصر روی به دانه‌ها می‌شود. از طرف دیگر، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نانو، به‌ویژه عنصر روی، می‌تواند در جبران کمبود این عنصر نقش موثری داشته باشد. پژوهش‌گران بیان داشتند که محلول‌پاشی روی و آهن سبب افزایش مقدار روی و پتاسیم در دانه گندم شد که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت داشت (۳۰). سایر محققین گزارش کردند که محلول‌پاشی روی و آهن در مراحل آخر پرشدن دانه بسیار مؤثرتر از کاربرد خاکی آن است، زیرا گیاه در این مرحله بهره‌گیری بیش‌تری از عنصر روی دارد (۳۱، ۳۲).

حجم رسوب زلنی: افزایش تنش خشکی، سبب کاهش حجم رسوب زلنی شد که بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به تیمار آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری به مقدار ٣٩/٨٤ میلی‌لیتر بود. در میان سه عنصر (روی، آهن و سلنیوم) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و بیش‌ترین مقدار حجم رسوب زلنی مربوط به ترکیب این سه عنصر به مقدار ٣٩/٦٨ میلی‌لیتر بود. کاربرد سیتوکنین در مرحله گلدهی + شیری‌شدن و همچنین مرحله شیری‌شدن منجر به افزایش حجم رسوب زلنی به ترتیب با مقادیر ٣٨/٢٦ میلی‌لیتر و ٣٧/٦٤ میلی‌لیتر شد (جدول ۵). تنش خشکی باعث افزایش حجم رسوب زلنی گندم می‌شود و کاربرد عناصر ریزمغذی (آهن، روی، سلنیوم) نقش مهمی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌های ضروری گیاه دارند و سبب بهبود واکنش‌های فیزیولوژیک درگیر در سنتز پروتئین‌هایی می‌شود که در رسوب‌زلنی اثرگذار هستند و منجر به افزایش آن می‌شوند (۳۰، ۳۲).

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات کیفی دانه گندم.

Table 4- Analysis of variance of wheat grain quality traits

منابع تغییر S.O.V		درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares						
			پروتئین Protein	گلوتن تر Fresh Gluten	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	روی Zinc	رسوب زلنی Zeleni sediment	سختی Hardness
منطقه	Region (r)	1	471.25**	659.24**	27.69**	0.53**	76.89**	91.05**	64.17**
خطا (منطقه)	Error (Region)	4	12.90	19.74	5.71	0.74	6.31	7.62	12.48
آبیاری	Irrigation (i)	2	516.73**	986.48**	32.91**	2.77**	97.55**	86.21**	89.34**
منطقه × آبیاری	r×i	2	97.11^{ns}	31.78^{ns}	1.73^{ns}	0.21^{ns}	11.08^{ns}	13.46^{ns}	6.95^{ns}
خطای اصلی	Main error	8	26.17	25.96	3.22	1.04	4.69	6.42	9.21
عناصر ریزمغذی	Micronutrients (n)	4	617.33*	238.11*	58.47*	2.04*	58.18*	74.53*	94.57*
منطقه × عناصر ریزمغذی	r×n	4	28.65^{ns}	18.58^{ns}	2.06^{ns}	0.38^{ns}	7.41^{ns}	10.23^{ns}	5.46^{ns}
سیتوکینین	Cytokinin (c)	3	704.32*	16.10*	72.15*	1.05*	84.93*	93.11*	91.47*
منطقه × سیتوکینین	r×c	3	10.42^{ns}	22.87^{ns}	1.11^{ns}	0.12^{ns}	10.25^{ns}	23.82^{ns}	3.17^{ns}
آبیاری× عناصر ریزمغذی	i×n	8	13.97^{ns}	19.12^{ns}	0.97^{ns}	0.34^{ns}	3.89^{ns}	11.46^{ns}	2.64^{ns}
منطقه ×آبیاری× عناصر ریزمغذی	r×i×n	8	24.89^{ns}	16.30^{ns}	0.34^{ns}	0.06^{ns}	4.64^{ns}	9.20^{ns}	1.89^{ns}
آبیاری×سیتوکینین	i×c	6	33.72^{ns}	11.58^{ns}	1.02^{ns}	0.18^{ns}	5.22^{ns}	1.04^{ns}	11.13^{ns}
منطقه×آبیاری×سیتوکینین	r×i×c	6	29.16^{ns}	38.12^{ns}	2.11^{ns}	0.09^{ns}	9.53^{ns}	0.78^{ns}	3.48^{ns}
عناصر ریزمغذی ×سیتوکینین	n×c	12	21.55^{ns}	29.41^{ns}	1.16^{ns}	0.06^{ns}	5.89^{ns}	4.24^{ns}	5.73^{ns}
منطقه× عناصر ریزمغذی × سیتوکنین	r×n×c	12	18.34^{ns}	32.56^{ns}	1.08^{ns}	0.11^{ns}	4.43^{ns}	6.79^{ns}	2.61^{ns}
آبیاری× عناصر ریزمغذی × سیتوکینین	i×n×c	24	26.12^{ns}	28.97^{ns}	0.84^{ns}	0.14^{ns}	0.59^{ns}	2.73^{ns}	10.42^{ns}
منطقه×آبیاری× عناصر ریزمغذی × سیتوکینین	r×i×n×c	24	22.75^{ns}	19.04^{ns}	1.97^{ns}	0.12^{ns}	2.64^{ns}	1.55^{ns}	5.90^{ns}
خطای فرعی	Sub-Error	228	18.43	21.12	2.73	0.49	3.01	5.68	7.28
ضریب تغییرات (درصد)	C.V (%)		8.05	10.42	7.69	6.31	8.73	6.10	9.44

**،*به ترتیب بیان‌گر معنی‌داری با احتمال خطای ۱ و ۵ درصد است و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

. significance at the probability level of 1% and 5%, respectively, and ns is not significant * ,**

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات کیفی دانه گندم.

Table 5- Comparison of average quality traits of wheat grain.

Treatments تیمارها	پروتئین (درصد) Protein (%)	گلوتن‌تر (درصد) Fresh gluten (%)	پتاسیم (درصد) Potassium (%)	فسفر (درصد) Phosphorus (%)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zinc (mg/kg)	رسوب زلنی (میلی‌لیتر) Zeleni sediment (ml)	سختی Hardness
Region منطقه							
Hamadanهمدان	13.85^{a}	28.47^{a}	4.92^{a}	0.21^{a}	35.68^{b}	38.16^{a}	53.94^{a}
Karaj کرج	11.72^{b}	24.31^{b}	3.85^{b}	0.16^{b}	42.74^{a}	38.94^{a}	52.70^{b}
Irrigation regimesرژیم‌های آبیاری							
Normal irrigation آبیاری نرمال	11.03^{c}	22.12^{c}	5.28^{a}	0.13^{c}	41.73^{a}	33.12^{b}	57.23^{c}
Normal irrigation from in planting date to pollination stage and irrigation at 60% available moisture discharge afterward آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن آبیاری در ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس	12.87^{b}	26.45^{b}	4.63^{b}	0.19^{b}	36.94^{b}	34.28^{b}	61.34^{b}
Normal irrigation in from planting date to pollination stage then with holding cut off irrigation آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری	14.42^{a}	29.16^{a}	3.76^{c}	0.24^{a}	31.25^{c}	39.84^{a}	70.98^{a}
Micronutrients عناصر ریزمغذی							
Zinc+ Iron+Selenium روی+آهن+سلنیوم	14.51^{a}	28.64^{a}	5.18^{a}	0.11^{c}	43.26^{a}	39.68^{a}	68.74^{a}
Zincروی	12.43^{b}	25.73^{b}	4.71^{b}	0.19^{b}	37.32^{b}	36.07^{b}	65.29^{b}
Iron آهن	12.87^{b}	26.11^{b}	4.86^{b}	0.17^{b}	38.11^{b}	35.43^{b}	63.13^{b}
Selenium سلنیوم	12.69^{b}	25.96^{b}	4.59^{b}	0.16^{b}	36.84^{b}	35.56^{b}	64.87^{b}
Control شاهد	11.08^{c}	22.24^{c}	3.68^{c}	0.24^{a}	31.35^{c}	31.73^{c}	61.18^{c}
Cytokinin سیتوکینین							
Flowering stage + Milking development گلدهی+شیری شدن	13.94^{a}	27.50^{a}	3.71^{b}	0.22^{a}	32.46^{b}	38.26^{a}	69.70^{a}
Milking مرحله شیری شدن	13.65^{a}	27.24^{a}	3.94^{b}	0.18^{ab}	31.97^{b}	37.84^{a}	68.94^{a}
Anthesis مرحله گلدهی	11.23^{b}	22.31^{b}	4.97^{a}	0.16^{ab}	39.18^{a}	31.52^{b}	62.53^{b}
Control شاهد	11.05^{b}	22.19^{b}	5.23^{a}	0.12^{b}	38.50^{a}	30.83^{b}	61.28^{b}

اعداد دارای حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD می‌باشد.

Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

سختی دانه: مقدار سختی دانه در منطقه همدان بیش‌تر از کرج بود که می‌توان علت آن را به ارتباط مستقیم با افزایش پروتئین دانه نسبت داد (۳۳). در تیمارهای آبیاری مشاهده شد که با افزایش مقدار تنش، سختی دانه افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به تیمار آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری به مقدار ۷۰/۹۸، بود. در میان سه عنصر (روی، آهن و سلنیوم) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و بیش‌ترین مقدار سختی دانه مربوط به ترکیب این سه عنصر به مقدار ٦۸/۷٤ بود. کاربرد سیتوکنین در مرحله گلدهی + شیری شدن و همچنین مرحله شیری شدن منجر به افزایش سختی دانه به ترتیب با مقادیر ٦۹/۷۰ و ٦۸/۹٤ شد (جدول ٤). عوامل محیطی تاثیر بسیار کمی در میزان سختی دانه دارند. محققان با بررسی عوامل محیطی و ژنتیکی بر سختی بافت دانه گندم گزارش کردند که ژنتیک اثر بسیار قوی بر روی سختی دانه داشته و عوامل محیطی مانند شرایط اقلیمی، کود و مقدار آب مصرفی می‌تواند سبب تغییرات جزیی در سختی بافت دانه گندم شود و از طرفی پروتئین دانه در میزان سختی دانه بسیار نقش مهمی دارد (۳۳). یکی از عوامل مؤثر در سفت شدن بافت کریستالیزاسیون مجدد نشاسته ژلاتینه شده به خصوص آمیلوپکتین‌های کوتاه زنجیر، رتروگراداسیون آمیلوز (مکانیسمی است که سبب بیات شدن نان می‌شود)، اتصال آمیلوز و آمیلوپکتین به یکدیگر، انتقال رطوبت پس از کریستالیزاسیون نشاسته، جذب رطوبت خارج شده از نشاسته توسط گلوتن و کاهش مقدار رطوبت است (۳٤، ۱٦). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش سایر محققین مطابقت داشت، آن‌ها بیان کردند که کاربرد عناصر آهن و روی منجر به افزایش سختی دانه گندم شده است (۸).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر بیان‌گر آن است که آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و بعد از آن قطع کامل آبیاری موجب افزایش درصد پروتئین ۲۸/۷۳ درصد، گلوتن تر ۱۸/۳۹ درصد، فسفر ۸٤/٦۱ درصد، حجم رسوب زلنی ۲۰/۲۸ درصد و سختی دانه ۲٤/۰۲ درصد نسبت به آبیاری کامل گندم شد. کاربرد توأم عناصر ریزمغذی نانو (روی + آهن + سلنیوم) منجر به افزایش کیفیت دانه گندم نسبت به کاربرد تک‌تک آنها شد و پروتئین دانه افزایش ۳۰/۹۵ درصدی نسبت به شاهد داشت، لذا محلول‌پاشی توأم این سه عنصر (در مرحله ساقه‌دهی و سنبله) برای افزایش کیفیت دانه گندم توصیه می‌شود. محلول‌پاشی سیتوکنین در مرحله گلدهی + شیری شدن و همچنین در مرحله شیری شدن، کیفیت دانه گندم را نسبت به مصرف در سایر مراحل به کار برده شده در این پژوهش، افزایش داد و کاربرد سیتوکینین در مرحله گلدهی + شیری شدن و تیمار شیری شدن سبب افزایش پروتئین دانه به ترتیب با مقادیر ۲٦/۱۵ و ۲۳/۵۲ درصدی نسبت به شاهد شد.

References

1. Raza, M.A.S., Zaheer, M.S., Saleem, M.F., Khan. I.H., Ahmad, S., Aslam, M.U. and Iqbal, R. 2020. Drought ameliorating effect of exogenous applied cytokinin in wheat. Pak. J. Agri. Sci., Vol. 57: 5. 725-733.
2. Flexas, J., Niinemets, U., Galle, A., Barbour, M.M. and Centritto, M. 2013. Diffusional conductances to CO as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. Photosynt. Res. J. 117: 1. 45-59.
3. Zaheer, M.S., Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Erinle, K.O., Iqbal, R. and Ahmad, S. 2019. Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs. drought conditions. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 51: 20. 2521-2533.

4. Maheswari, M., Tekula, V.L., Yellisetty, V., Sarkar, B., Yadav, S.K., Singh, J., Babu, G.S., Kumar, A., Amirineni, S., Narayana, J. and Vanaja, M. 2016. Functional mechanisms of drought tolerance in maize through phenotyping and genotyping under well-watered and water stressed conditions. Eur. J. Agron. 79: 2. 43-57.
5. Noreen, Z., Abdul, W., Bilal Hafeez, M., Ullah, A., Kadambot, H.M. and Siddique, M.F. 2021. Grain development in wheat under combined heat and drought stress: Plant responses and management. Environ. Exp. Bot. 188: 1. 57-71.
6. Jana, S., Sivanesan, I. and Jeong, B.R. 2013. Effect of cytokinins on in vitro multiplication of Sophora tonkinensis. Pac. J. Trop. Biomed. 3: 1. 549-553.
7. Dewal, G.S. and Pareek, R.G. 2004. Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*). Ind J. Agron. 49: 160-162.
8. Gomaa, M.A., Radwan, F.I., Kandil, E.E. and El-Zweek, S.M.A. 2015. Effect of some macro and micronutrients application methods on productivity and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). Middle East J. Agric. Res. 4: 1. 1-11.
9. Ben Mariem, S., Soba, D., Zhou, B., Loladze, I., Morales, F. and Aranjuelo, I. 2021. Climate change, crop yields, and grain quality of C_3 cereals: A meta-analysis of [CO_2], temperature, and drought effects. Plants. J. 10: 2. 1052-1064.
10. Ali, N.S. and Salman, I.S. 2016. Efficiency of four bread wheat varieties growing in a calcareous soil to absorb Zinc. Iraqi J. Agric. Sci. 21: 2. 49-58.
11. Dimkpa, C.O., McLean, J.E., Britt, D.W. and Anderson, A.J. 2015. Nano-CuO and interaction with nano-ZnO or soil bacterium provide evidence for the interference of nanoparticles in metal nutrition of plants. EcoL. Environ. J. 24: 2. 119-129.
12. Qureshi, A., Singh, D.K. and Dwivedi, S. 2018. Nano-fertilizers: a novel way for enhancing nutrient use efficiency and crop productivity Microbiol. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 7: 2. 3325-3335.
13. Cortleven, A., Nitschke, S., Klaumünzer, M., Abdelgawad, H., Asard, H., Grimm, B., Riefler, M. and Schmülling, T. 2014. A novel protective function for cytokinin in the light stress response is mediated by the Arabidopsis histidine kinase2 and Arabidopsis histidine kinase3 receptors. Plant Physiol. J. 164: 3. 1470-1483.
14. Jameson, P.E., Dhandapani, P., Novak, O. and Song, J. 2016. Cytokinins and expression of SWEET, SUT, CWINV and AAP genes increase as pea seeds germinate. Int. J. Mol. Sci. 17: 13-20.
15. Xu, Z., Jiang, Y., Jia, B. and Zhou, G. 2016. Elevated-CO2 response of stomata and its dependence on environmental factors. Front. Plant Sci. 7: 3. 657-657.
16. Khosravi-nejad, F., Khavari-nejad, R.A., Moradi, F. and Najafi, F. 2022. Cytokinin and abscisic acid alleviate drought stress through changing organic acids profile, ion immolation, and fatty acid profile to improve yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Physiol. Mol. Biol. Plants. 34: 3. 73-90.
17. Khamdi, N., Nabipour, M., Roshanfekr, H. and Rahnama, A. 2018. Effect of seed priming and application of cytokinin and auxin on growth and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under Ahavz climatic conditions. J. Crop Sci. 21: 1. 31-44. (In Persian)
18. Nguyen, H.N., Perry, L., Kisiala, A., Olechowski H. and Neil Emery, R.J. 2020. Cytokinin activity during early kernel development corresponds positively with yield potential and later stage ABA accumulation in field-grown wheat (*Triticum aestivum* L.). Planta. J. 252: 4. 76-92.
19. Schmülling, T., Ramireddy, E. and Galuszka, P. 2018. Zn-fortified cereal grains in field-grown wheat by enhanced root cytokinin breakdown. Plant Signal. Behav. J. 10: 3. 44-48.
20. Arti, S., Surekha, A. and Minal, M. 2014. Potassium solublisers: Occurrence, mechanism and their role as competent biofertilizers. Int. J. Curr. Microbial. 3: 4. 622-629.
21. Haghparast, R., Rajabi, R., Najafian, G., Rashmeh Karim, K. and Aghaei Sarberzeh, M. 2009. Evaluation of indicators related to grain quality in advanced bread wheat genotypes in rainfed conditions. Plant Prod. Sci. 25: 2. 328-315. (In Persian)

22. Patterson, B., Macrae, E. and Ferguson, I. 1984. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). Anal. Biochem. J. 139: 2. 487-492.
23. Jaiswal, P.C. 2004. Soil, Plant and Water Analysis. Indhiana, India, Kalyani Publishers. India, Pp: 1-213.
24. Sekabira, K.H., Oryem Origa, T.A., Basamba, G., Mutumba, E. and Kakudidi, E. 2010. Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries. Int. J. Environ. Sci. Technol. 7: 4. 435-446.
25. Anonymous, A. 2000. AACC Method. Approved Methods of the AACC, 10th ed. Methods 55-30. AACC. Int. Soc. USA. Pp: 86-90.
26. Keram, K.S. 2014. Response of zinc fertilization to wheat on yield, quality, nutrients uptake and soil fertility grown in a zinc deficient soil. Eur. J. Acad. Res. 1: 1. 22-26.
27. Teimouri, N., Saeidi, M., Ghobadi, M.E. and Sasani, S. 2020. The effect of cut of irrigation at the end of the growing season on grain yield and some physiological characteristics of bread wheat cultivars. J. Plant Physiol. 12: 5. 111-129.
28. Peighambar Doust, S.H. 2017. Rheology test methods: wheat, flour and dough. Amidi. Press. Pp: 88. (In Persian)
29. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q. and Guo, S. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. Int. J. Mol. Sci. 14: 3. 7370-7390.
30. Saha, S., Mandal, B., Hazra, G.C., Dey, A., Chakraborty, M., Adhikari, B., Mukhopadhyay, S.K. and Sadhukhan, R. 2015. Can agronomic bio-fortification of zinc be benign for iron a cereals? J. Cereal Sci. 65: 1. 186-191.
31. Maryami, Z., Ana, B., Huertas-García, M., Azimi, R., Hernández-Espinosa, N., Payne, T., Cervantes, F., Govindan, V., Maria, I. and Guzman, C. 2020. Variability for glutenins, gluten quality, iron, zinc and phytic acid in a set of one hundred and fifty-eight common wheat landraces from Iran.Agron. 10: 11. 1797-1812.
32. Ramzan, Y., Hafeez, M.B., Khan, S., Nadeem, M., Rahman, S., Batool, S. and Ahmad, J. 2020. Bio fortification with zinc and iron improves the grain quality and yield of wheat crop. Int. J. Plant Prod. 14: 3. 501-510.
33. Alda, L.M., Lazureanu, A., Alda, S., Baluta, D., Sirbulescu, C. and Gogoasa, I. 2010. Wet gluten analysis depending on cultivar, fertilization, herbicide application and climate conditions, in winter wheat. Hort. Sci. Biotechnol. J. 14: 2. 23-26.
34. Ghiafeh Davoodi, M., Sahraiyan, B., Naghipour, F., Karimi, M. and Sheikholeslami, Z. 2014. The effect of the selected emulsifiers (E471, DATEMand SYTREM) and final fermentation time on reduction of staling and improvement of physical properties of Barbari bread using composite wheat- potato flour. FSCT. J. 42: 11. 81-93. (In Persian)