مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۴ ، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

مجله پژوهش‌های به زراعی

# اثر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد و کیفیت دانه سوپرگندم

**شمایل سالمی پاریزی[1]، محمدنبی ایلکایی[1]*، فرزاد پاک‌نژاد[1]، فیاض آقایاری[1]، مهدی صادقی شعاع[2]**

۱-گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۳**

## چکیده

پاکلوبوترازول یک تنظیم کننده رشد گیاهی است که موجب کاهش جیبرلین در گیاه می‌شود. در این پژوهش به بررسی اثر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و نیتروژن بر عملکرد و کیفیت دانه رقم هیبرید سوپرگندم در منطقه کرج، بر اساس طرحی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ پرداخته شد. عامل اصلی در این آزمایش سه سطح مختلف نیتروژن (۶۰، ۱۰۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره و عامل دوم دو سطح پاکلوبوترازول (صفر و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. نتایج نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول موجب افزایش عملکرد دانه و کیفیت دانه گندم شد و با افزایش مقدار نیتروژن عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه گندم افزایش یافت. بیشترین مقدار عملکرد دانه ۱۴/۰۵ تن در هکتار، تعداد دانه در سنبله ۸۹/۳۵ دانه، شاخص برداشت ۴۳/۴۱ درصد و پروتئین دانه ۱۲/۴۴ درصد مربوط به اثرات متقابل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کاربرد پاکلوبوترازول بود. بنابراین به منظور افزایش عملکرد و کیفیت دانه گندم مصرف پاکلوبوترازول به همراه نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قابل توصیه است.

**واژه‌های کلیدی:** پاکلوبوترازول، پروتئین دانه، سوپرگندم، عملکرد بیولوژیک، نیتروژن

* نگارنده مسئول (mohammad.ilkaei@kiau.ac.ir)

## مقدمه

گندم (*Tritticum aestivum* L.) یک گیاه استراتژیک مهم در افزایش توان اقتصادی و تأمین امنیت غذایی، از اولویت بسیار بالایی نسبت به سایر گیاهان زراعی برخوردار می‌باشد. گندم از مهم‌ترین غلاتی است که در دنیا همواره سطح زیر کشت زیادی را به خود اختصاص داده و در بحث امنیت غذایی در دنیا اهمیت زیادی دارد (Lu *et al.*, 2021). نیتروژن، عنصری است که باعث باروری خاک و افزایش تولید محصولات کشاورزی می‌شود و نسبت به سایر عناصر ضروری مقدار بیشتری از آن برای افزایش رشد و عملکرد گیاهان مورد نیاز است (Si *et al.*, 2020). حفظ حاصلخیزی خاک نیازمند تعادل منابع آلی و معدنی تامین‌کننده عناصرغذایی در خاک است. در بسیاری از خاک‌ها، مقدار بازیافت کودهای معدنی از طریق گیاهان اندک است. در رابطه با نیتروژن، بالاترین تخمین‌های کارایی استفاده از کودهای نیتروژن حدود ۵۰ درصد و یا حتی کمتر از آن است. اگرچه به کارگیری مواد آلی به عنوان منبع تامین کننده نیتروژن در زراعت، با نیاز گیاهان هم زمانی کافی ندارد، اما پژوهشگران زیادی بر نقش مواد آلی، در افزایش کارایی استفاده از نیتروژن تاکید کرده‌اند. استفاده بیش از حد مطلوب از کودهای نیتروژن‌دار، از یک سو با کاهش جذب نیتروژن در گیاهان همراه بوده و از سوی دیگر موجب افزایش هدر رفت نیتروژن نیز می‌گردد. مصرف نیتروژن کمتر از حد مطلوب نیز با کاهش عملکرد گیاهان همراه خواهد بود (Mingming *et al.*, 2018; Si *et al.*, 2020).

پاکلوبوترازول برای محافظت از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی متعدد مانند سرما، تنش کمبود آب، سیل و شوری استفاده شده است. پاکلوبوترازول با حفظ محتوای نسبی آب، شاخص پایداری غشاء، فعالیت فتوسنتزی، رنگدانه‌های فتوسنتزی به عنوان محافظ در برابر تنش عمل می‌کند و از طریق افزایش سطح اسمولیت‌ها، فعالیت‌های

آنتی‌اکسیدانی و سطح هورمون‌های درون‌زا از دستگاه‌های فتوسنتزی محافظت کرده و در نتیجه آن عملکرد افزایش می‌یابد (Soumya *et al.*, 2017). تیمار پاکلوبوترازول در گیاهان زراعی در کاهش ارتفاع بوته برای جلوگیری از خوابیدگی و افزایش تعداد و وزن دانه در گیاه، بهبود کیفیت دانه (افزایش پروتئین و کربوهیدرات) موثر می‌باشد. حفظ محتوای نسبی آب سطح برگ از طریق کاهش تبخیر و تعرق گیاه، در تحمل تنش به انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد که پاکلوبوترازول نقش مهمی در مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی دارد. پاکلوبوترازول مانند قارچ‌کش سیستمیک بسیار فعال عمل کرده و گیاه را در برابر برخی بیماری‌های قارچی مهم مصون نگه می‌دارد (Desta & Amare, 2021). پاکلوبوترازول با تاثیر بر مسیر ایزوپرنوئید و مهار ساخت جیبرلین و افزایش سطح سیتوکینین، بر تعادل هورمونی جهت تولید دانه موثر واقع شده و همچنین کاهش مصرف نیتروژن را به همراه دارد (Soumya *et al.*, 2017). گزارش سایر پژوهش‌ها حاکی از آن است که کاربرد پاکلوبوترازول موجب افزایش بهره‌وری و کارایی مصرف نیتروژن نسبت به شاهد شده است (Nouriyani *et al.*, 2012). بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر پاکلوبوترازول در سطوح مختلف نیتروژن، بر عملکرد و کیفیت دانه گندم اجرا شد تا مشخص شود آیا کاربرد پاکلوبوترازول همراه با استفاده از نیتروژن سبب افزایش عملکرد و کیفیت دانه گندم می‌شود یا خیر.

## مواد و روش‌ها

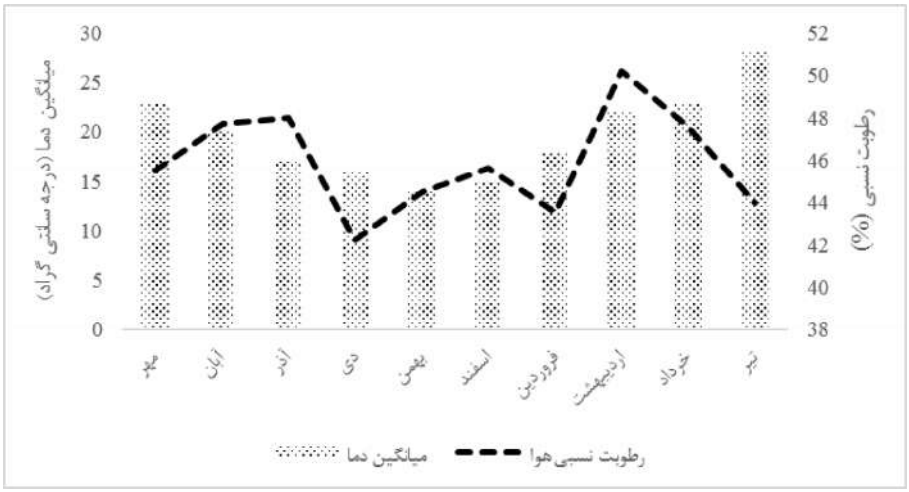
این پژوهش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه کرج بر روی رقم گندم سوپر گندم رقم هیبرید و پر محصول SHS 022 در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل عامل اول: نیتروژن (از منبع اوره) در سه سطح (۶۰، ۱۰۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) که در دو مرحله قبل از ساقه روی (شروع پنجه‌زنی تا آغاز ساقه روی) و قبل از ظهور

سنبله مصرف گردید و در کرت‌های اصلی قرار گرفت. ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار مقدار توصیه شده نیتروژن است و نسبت‌ها به صورت ۴۰ درصد کمتر از مقدار توصیه شده (۶۰ کیلوگرم در هکتار) و ۴۰ درصد بیشتر از مقدار توصیه شده (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) انتخاب شد. فاکتور دوم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در دو سطح (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و شاهد بود. قبل از کشت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). همچنین تغییرات آب و هوایی نیز ثبت گردید (شکل ۱).

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک**

| سدیم ($meq.l^{-1}$) | فسفر ($mg.kg^{-1}$) | کربن آلی (%) | پتاسیم ($mg.kg^{-1}$) | نیترات ($mg.kg^{-1}$) | اسیدیته | هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$) | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۷/۱۱ | ۸/۳۲ | ۰/۱۹ | ۴۱۱/۲۷ | ۴/۲ | ۸/۰۷ | ۲/۲۶ | شنی |

عملیات اجرایی در مهرماه سال ۱۳۹۶ با کشت بذر در منطقه کرج، با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع، آغاز شد. عملیات آماده‌سازی زمین در هر منطقه، شامل شخم عمیق، دیسک، لولرکشی و تسطیح لازم در پائیز بود. قبل از آماده‌سازی نهائی زمین، نمونه‌برداری مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری انجام و نسبت به تعیین میزان عناصرغذایی موجود در آن اقدام گردید. به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت در مرحله آماده سازی زمین، به صورت یکنواخت در مزرعه پخش شد و با دیسک به عمق حدود ۱۵ سانتی‌متری خاک اضافه شد. تیمار نیتروژن از منبع اوره و برای تنظیم میزان سطوح خالص نیتروژن ۶۰، ۱۰۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (۱۳۰، ۲۲۸ و ۳۲۶ کیلوگرم اوره) به‌دست آمد. پاکلوبوترازول در مرحله طویل‌شدن ساقه و مرحله سنبله‌دهی مصرف شد. محلول‌پاشی با استفاده از سمپاش دستی با فشار bar ۱۵ اجرا شد.




**شکل ۱- شرایط آب و هوایی در طی دوره رشد گیاه**

صفات مرفولوژیکی نظیر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت و صفات کیفیت دانه نظیر پروتئین دانه درصد گلوتن‌تر، میزان فسفر و پتاسیم بررسی شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه، دو ردیف اول و انتها و نیم متر از ابتدا و انتهای بقیه ردیف‌ها به‌عنوان حاشیه حذف و محصول از سطح باقیمانده برداشت شد. ارتفاع بوته و طول برگ پرچم با خط‌کش مدرج اندازه‌گیری شد. تعداد دانه در سنبله نیز بر مبنای میانگین ۲۰ سنبله تعیین شد. نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین شدند. پروتئین دانه و درصد گلوتن مطابق با استانداردهای انجمن بین‌المللی علوم و تکنولوژی غلات (ICC)[1] انجام شد. به منظور اندازه‌گیری پتاسیم دانه ابتدا دانه را برداشت نموده و سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده را با استفاده از آسیاب پودر سپس مقادیر پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر بر حسب میلی‌گرم بر گرم ماده خشک قرائت و اعداد قرائت و از طریق مقایسه با نمودار حاصل از نمونه‌های استاندارد تعدیل شدند

[1]- International Association for Cereal Chemistry

(Patterson *et al.*, 1984). فسفر دانه بعد از هضم خشک نمونه‌ها به روش کالریمتری (رنگ زرد وانادات مولیبدات) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. نمونه گیاهی با استفاده از روش اسپکتوفتومتری انجام گردید که شامل سه مرحله بود: خاکستر کردن ماده غذایی، تهیه محلول رنگی از خاکستر آماده شده و رسم نمودار استاندارد (Jaiswal, 2004). داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با احتمال خطای ۵ درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل نیتروژن و پاکلوبوترازول بر ارتفاع بوته دارای اثر معنی‌داری با احتمال خطای یک درصد بود (جدول۲). مصرف پاکلوبوترازول کاهش ارتفاع بوته را در پی داشت و با افزایش مقدار نیتروژن، ارتفاع بوته افزایش یافت. مطابق با نتایج مقایسه میانگین، بیشترین ارتفاع بوته ۱۵۸/۸۶ سانتی‌متر مربوط به نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار این شاخص نیز مربوط به برهمکنش نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار و مصرف پاکلوبوترازول بود (جدول ۳). نیتروژن نقش مهمی در افزایش رشد رویشی گیاهان دارد و با افزایش فتوسنتز سبب افزایش رشد گیاهان می‌شود (Hochman & Waldner, 2020). اثر بازدارندگی پاکلوبوترازول بر رشد بیش از حد گیاهان گندم احتمالاً باعث کاهش مصرف بیش از حد مواد مغذی و ذخیره فتوسنتزی برای حمایت از رشد دانه می‌شود (Li *et al.*, 2021). پیرو این امر گزارش شد که کاربرد پاکلوبوترازول سبب کاهش ارتفاع بوته گندم شد (Peng *et al.*, 2014).

### طول برگ پرچم

اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل نیتروژن و پاکلوبوترازول بر طول برگ پرچم با احتمال خطای یک درصد معنی‌داری شد

(جدول۲). استفاده از پاکلوبوترازول موجب افزایش طول برگ پرچم گندم شد و افزایش غلظت نیتروژن با افزایش طول برگ پرچم همراه بود. بیشترین طول برگ پرچم ۲۴/۱۲ سانتی‌متر، مربوط به اثرات متقابل نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پاکلوبوترازول و کمترین مقدار این شاخص ۱۵/۰۶ سانتی‌متر در شاهد پاکلوبوترازول و نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). طول برگ پرچم گندم تاثیر به سزایی در افزایش عملکرد گندم، به ویژه عملکرد دانه دارد. در مقادیر بیشتر نیتروژن سرمایه‌گذاری مواد فتوسنتزی در بخش‌های برگ و ساقه افزایش می‌یابد و در نهایت مواد تجمع یافته در دانه فزونی می‌یابد که افزایش عملکرد دانه را به دنبال دارد و افزایش مقدار نیتروژن و کاربرد پاکلوبوترازول نقش موثری در افزایش عملکرد دانه گندم از طریق افزایش طول برگ پرچم داشته است (Iftikhar *et al.*, 2020). پیرو این امر گزارش شده است که نیتروژن باعث افزایش طول برگ پرچم شده است (Hesham *et al.*, 2021).

## عملکرد دانه

اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل نیتروژن و پاکلوبوترازول با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌داری شد (جدول۲). نتایج نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد و افزایش غلظت نیتروژن با افزایش بر عملکرد دانه همراه بود. به طوری که بیشترین مقدار عملکرد دانه ۱۴/۰۵ تن در هکتار، مربوط به برهمکنش نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پاکلوبوترازول و کمترین مقدار این شاخص ۴/۳۴ تن در هکتار در شاهد و نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). افزایش عملکرد دانه می‌تواند به واسطه تاثیر مستقیم نیتروژن بر فرآیند رشد و نمو گیاه باشد. سوپر گندم تحت شرایط مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، از رشد مطلوب‌تری به دلیل تولید شاخص سطح برگ بیشتر برخوردار بوده است

که این امر سبب افزایش میزان فتوسنتز و مواد پرورده تولیدی بیشتری شده و در نتیجه گیاه با بهبود ذخایر بیشتر مواد غیرساختاری با بیوماس بالاتر و در هنگام پر شدن دانه‌ها، با سهم‌بندی بیشتری از مواد ذخیره انتقالی به دانه‌ها همراه شده است که در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه بیشتری نسبت به سایر سطوح نیتروژن شده است (Hesham *et al.*, 2021). نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش سایر محققان مطابقت داشت. آن‌ها بیان داشتند که کاربرد پاکلوبوترازول سبب افزایش عملکرد دانه شد (Kamran *et al.*, 2018).

## عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل نیتروژن و پاکلوبوترازول بر عملکرد بیولوژیکدارای اثر معنی‌داری با احتمال خطای یک درصد بود (جدول۲). مصرف پاکلوبوترازول کاهش عملکرد بیولوژیک را در پی داشت و با افزایش مقدار نیتروژن، عملکرد بیولوژیک افزایش یافت. مطابق با نتایج مقایسه میانگین، بیشترین عملکرد بیولوژیک ۳۵/۸۲ تن در هکتار مربوط به نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار این شاخص ۲۶/۳۴ تن در هکتار، مربوط به برهمکنش نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار و مصرف پاکلوبوترازول بود (جدول ۳). افزایش مصرف نیتروژن موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گندم شد. کاربرد نیتروژن به دلیل نقش مهمی که در افزایش رشد رویشی گیاه دارد، باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گندم شده و افزایش کاربرد نیتروژن با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی، منجر به افزایش نورساخت، مواد پروردهٔ بیشتر و مادهٔ خشک و عملکرد بالاتر شد. افزایش عملکرد بیولوژیک گندم در تیمارهای افزایشی کود نیتروژن را می‌توان به دلیل تأثیر باکتری‌ها در تثبیت نیتروژن و همچنین ترشح مواد تنظیم‌کننده و تحریک‌کنندهٔ رشد توسط این کود نسبت داد. مصرف نیتروژن سبب افزایش فتوسنتز در گیاهان می‌شود که پیرو این امر رشد گیاه و تجمع ماده خشک در گیاه افزایش می‌یابد

(Hochman & Waldner, 2020; Iftikhar *et al.*, 2020). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج سایر محققین مطابقت داشت. آن‌ها بیان کردند که کاربرد پاکلوبوترازول سبب افزایش عملکرد دانه، کاهش عملکرد بیولوژیک شد و از خوابیدگی گندم جلوگیری کرد (Peng *et al.*, 2014).

**جدول ۱- تجزیه واریانس صفات عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین دانه**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع بوته | طول پرچم | عملکرد دانه | عملکرد بیولوژیک | تعداد دانه در سنبله | شاخص برداشت |
| تکرار | ۲ | ۱۱/۲۹$^{ns}$ | ۱۹/۸۶$^{ns}$ | ۲۰/۳۴$^{ns}$ | ۳۵/۶۱$^{ns}$ | ۱۵/۳۳$^{ns}$ | ۱۲/۳۰$^{ns}$ |
| نیتروژن | ۲ | ۹۷۵/۳۶$^{**}$ | ۸۴۵۹/۵۳$^{**}$ | ۵۸۶/۷۵$^{**}$ | ۷۶۵/۲۱$^{**}$ | ۱۷۳۲/۴۱$^{**}$ | ۵۱۶۷/۳۲$^{**}$ |
| خطای اول | ۴ | ۴۶/۵۷ | ۱۷/۶۵ | ۲۱/۳۵ | ۳۸/۹۱ | ۲۱/۷۳ | ۳۱/۱۱ |
| پاکلوبوترازول | ۱ | ۹۶۱/۸۲$^{**}$ | ۶۵۹۸/۸۶$^{**}$ | ۱۰۲۸/۰۷$^{**}$ | ۲۲۹۷/۳۳$^{**}$ | ۱۳۵۶/۶۳$^{**}$ | ۸۹۱۷/۷۹$^{**}$ |
| پاکلوبوترازول× نیتروژن | ۲ | ۹۷۵/۳۶$^{**}$ | ۶۸۹۷/۲۵$^{**}$ | ۵۸۶/۷۵$^{**}$ | ۷۶۵/۲۱$^{**}$ | ۱۷۳۲/۴۱$^{**}$ | ۵۱۶۷/۳۲$^{**}$ |
| خطا | ۶ | ۴۲/۷۶ | ۹۴/۵۳ | ۱۹/۳۲ | ۳۴/۸۳ | ۱۶/۷۸ | ۲۹/۱۰ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۸/۵۸ | ۱۱/۵۶ | ۱۱/۹۸ | ۱۰/۳۱ | ۱۲/۹۴ | ۱۰/۷۵ |

**معنی‌دار با احتمال خطای ۱ درصد و ns بدون اختلاف معنی‌دار

**جدول ۲- مقایسه میانگین صفات عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین دانه**

| نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) | پاکلوبوترازول | ارتفاع بوته (cm) | طول برگ پرچم (cm) | عملکرد دانه (ton/ha) | عملکرد بیولوژیک (ton/ha) | تعداد دانه در سنبله | شاخص برداشت (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۵۰ | ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر | ۱۴۱/۱۹$^{b}$ | ۲۴/۱۲ $^{a}$ | ۱۴/۰۵ $^{a}$ | ۳۲/۲۹$^{b}$ | ۵۹/۳۵$^{a}$ | ۴۳/۴۱ $^{a}$ |
| | شاهد | ۱۵۸/۸۶$^{a}$ | ۲۰/۵۱ $^{b}$ | ۱۳/۱۴ $^{b}$ | ۳۵/۸۲$^{a}$ | ۵۵/۷۶$^{b}$ | ۳۶/۷۲ $^{c}$ |
| ۱۰۵ | ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر | ۱۳۲/۴۱$^{c}$ | ۲۰/۳۵ $^{b}$ | ۱۳/۲۱ $^{b}$ | ۳۰/۸۹$^{c}$ | ۵۴/۲۴$^{a}$ | ۴۱/۷۵$^{b}$ |
| | شاهد | ۱۳۲/۴۱$^{c}$ | ۱۸/۲۴ $^{c}$ | ۱۰/۹۵ $^{c}$ | ۳۲/۶۴$^{b}$ | ۵۱/۰۵$^{b}$ | ۳۳/۵۴$^{d}$ |
| ۶۰ | ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر | ۹۸/۴۳$^{e}$ | ۱۶/۸۸$^{d}$ | ۸/۵۳$^{d}$ | ۲۶/۳۴$^{e}$ | ۴۸/۵۰$^{c}$ | ۳۲/۴۸$^{d}$ |
| | شاهد | ۱۲۵/۷۷$^{d}$ | ۱۵/۰۶$^{e}$ | ۶/۳۴$^{e}$ | ۲۷/۷۷$^{d}$ | ۳۶/۳۳$^{d}$ | ۲۲/۹۳$^{e}$ |

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

**تعداد دانه در سنبله**

اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل نیتروژن و پاکلوبوترازول با احتمال خطای یک درصد بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار شد (جدول۲). نتایج نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول موجب افزایش تعداد دانه گندم شد و افزایش غلظت نیتروژن با افزایش تعداد دانه در سنبله همراه بود. به طوری‌که بیشترین تعداد دانه در سنبله ۸۹/۳۵ دانه، مربوط به اثرات متقابل نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پاکلوبوترازول و کمترین مقدار این شاخص ۳۶/۳۳ دانه در شاهد پاکلوبوترازول و نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). افزایش مصرف نیتروژن، افزایش تعداد دانه در سنبله را به همراه داشت. نیتروژن از طریق افزایش سطح برگ و تولید مواد فتوسنتزی در زمان تشکیل اجزای گل می‌تواند در افزایش تعداد دانه‌ها در سنبله در گندم موثر باشد (Hesham *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد کاربرد نیتروژن با افزایش تعداد دانه در سنبله باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. پاکلوبوترازول با افزایش فتوسنتز گیاه و انتقال کربوهیدرات و موادغذایی به سنبله‌ها موجب افزایش تعداد دانه در سنبله شده است (Kamran *et al.*, 2018).

**شاخص برداشت**

اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل نیتروژن و پاکلوبوترازول با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول۲). استفاده از پاکلوبوترازول شاخص برداشت را افزایش داد و با افزایش غلظت نیتروژن شاخص برداشت افزایش یافت. بیشترین مقدار شاخص برداشت ۴۳/۴۱ درصد مربوط به برهمکنش نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پاکلوبوترازول و کمترین مقدار این شاخص ۲۲/۹۳ درصد در شاهد و نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). شاخص برداشت نشان‌دهنده چگونگی توزیع مواد پرورده بین اندام‌های رویشی و دانه گیاه می‌باشد، بنابراین هر عاملی که مقادیر این

توزیع را تغییر دهد، باعث تغییر در شاخص برداشت می‌شود. پاکلوبوترازول با افزایش عملکرد دانه از طریق افزایش فتوسنتز گیاه و انتقال کربوهیدرات و موادغذایی به سنبله‌ها موجب افزایش شاخص برداشت گندم شد (Kamran *et al.*, 2018).

## پروتئین دانه

اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و برهمکنش نیتروژن و پاکلوبوترازول با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). استفاده از پاکلوبوترازول موجب افزایش پروتئین دانه شد و افزایش مقدار نیتروژن پروتئین دانه را افزایش داد. بیشترین مقدار پروتئین دانه ۱۲/۴۴ درصد مربوط به برهمکنش نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پاکلوبوترازول و کمترین مقدار این شاخص ۷/۰۳ درصد در شاهد و نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). پاکلوبوترازول باعث ارتقاء کیفیت دانه مانند پروتئین گندم می‌شود و به عنوان یک استراتژی مدیریتی برای افزایش راندمان جذب مواد معدنی و نیتروژن استفاده می‌شود. هنگامی که نیتروژن در گیاهان افزایش می‌یابد، می‌تواند به بهبود سنتز پروتئین در گیاهان کمک کند. بنابراین پروتئین دانه افزایش می‌یابد (Li *et al.*, 2021). یکی از عناصر مهم در حاصلخیزی خاک نیتروژن است که رابطه مستقیمی با درصد پروتئین دانه دارد. از آن جایی که اسیدهای آمینه واحد ساختمانی پروتئین‌ها هستند و نیتروژن نقش اساسی در ساختمان اسیدهای آمینه دارد، کاربرد کودهای نیتروژنی میزان نیتروژن قابل جذب در خاک را برای گیاه افزایش داده و سبب افزایش مقدار پروتئین دانه می‌شوند (Si *et al.*, 2020).

## درصد گلوتن‌تر

اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و برهمکنش آن‌ها با احتمال خطای یک درصد بر درصد گلوتن-تر معنی‌دار شد (جدول ۴). استفاده از پاکلوبوترازول موجب افزایش درصد گلوتن‌تر شد و با افزایش مقدار نیتروژن درصد گلوتن-تر افزایش یافت. بیشترین مقدار درصد

گلوتن‌تر دانه ۲۸/۶۴ درصد مربوط به برهمکنش نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پاکلوبوترازول و کمترین مقدار این شاخص ۱۸/۵۴ درصد در شاهد و نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). افزایش گلوتن تر در تیمارهای دارای نیتروژن بیشتر را می‌توان به دلیل در دسترس بودن نیتروژن برای گیاه نسبت داد که سبب بهبود سنتز گلوتن می‌شود. سطوح بالاتر پروتئین عمدتا سبب افزایش کیفیت نانوایی می‌شود و از خوب بودن کیفیت گلوتن حکایت دارد. کاربرد نیتروژن، در تولید پروتئین نقش به سزایی دارد و در خصوص سازوکار این امر بیان شده است که نیتروژن نقش مهمی در سنتز پروتئین و گلوتن تر دارد. 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 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 (Kumarjha *et al.*, 2019).

## فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل نیتروژن و پاکلوبوترازول بر فسفر دانهدارای اثر معنی‌داری با احتمال خطای یک درصد بود (جدول ۴). مصرف پاکلوبوترازول کاهش فسفر دانهرا در پی داشت و با افزایش مقدار نیتروژن، فسفر دانه افزایش یافت. مطابق با نتایج مقایسه میانگین، بیشترین فسفر دانه ۰/۳۱ درصد مربوط به نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار این شاخص ۰/۱۸ درصد نیز مربوط به برهمکنش نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار و مصرف پاکلوبوترازول بود (جدول ۵). کاربرد نیتروژن افزایش فسفر دانه را در پی داشت. افزایش نیتروژن خاک جذب فسفر توسط گیاه را از طریق افزایش رشد اندام‌های هوایی و ریشه، همچنین تغییر متابولیسم گیاه و افزایش قابلیت استفاده و حلالیت فسفر افزایش می‌دهد. گزارش شد

که کاربرد نیتروژن سبب افزایش فسفر در دانه گندم شد. همچنین نیتروژن در فعالیت‌های فتوسنتزی و ساخت کربوهیدرات‌ها و کلرفیل نقش دارد و منجر به افزایش رشد رویشی و تجمع ماده خشک در گیاه و افزایش فسفر دانه می‌شود (Aulakh *et al.*, 2012). همچنین محققان گزارش کردند که کاربرد اوره موجب افزایش فسفر دانه گندم شد. آن‌ها اظهار داشتند که افزایش جذب فسفر دانه از طریق افزایش رشد اندام‌های هوایی و ریشه، بهبود متابولیسم گیاه و افزایش قابلیت استفاده از حلالیت فسفر با مصرف نیتروژن صورت گرفته است (Mingming *et al.*, 2018).

**پتاسیم دانه**

اثر نیتروژن، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل آن‌ها با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). استفاده از پاکلوبوترازول موجب افزایش پتاسیم دانه شد و افزایش مقدار نیتروژن پتاسیم دانه را افزایش داد. بیشترین مقدار پتاسیم دانه ۶/۸۲ درصد مربوط به برهمکنش نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پاکلوبوترازول و کمترین مقدار این شاخص ۲/۲۵ درصد در شاهد و نیتروژن ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). پاکلوبوترازول با بهبود ظرفیت فتوستز گیاه سبب افزایش ساخت پتاسیم دانه می‌شود. علاوه بر این، پاکلوبوترازول با افزایش نفوذپذیری دیواره غشای سلوی در انتقال مواد از سلول به سلول و همچنین انتقال شیره پرورده در آوندهای چوبی و آبکش نقش موثری بر فراهم سازی انرژی لازم برای فعالیت‌های متابولیسمی در گیاه به ویژه در فتوسنتز و تنفس دارد که از این طریق در انتقال موثر سه عنصر روی، پتاسیم و فسفر به دانه‌ها به شکل مطلوبی تاثیرگذار بوده است. در همین راستا پژوهشگران اعلام کردند که کاربرد پاکلوبوترازول سبب افزایش پتاسیم، گلوتن و پروتئین دانه گندم شده است (Peng *et al.*, 2014).

**جدول ۴- تجزیه واریانس صفات کیفیت دانه**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | پتاسیم دانه | فسفر دانه | گلوتن تر | پروتئین دانه |
| تکرار | ۲ | ۱۰/۱۹$^{ns}$ | ۱۷/۰۵$^{ns}$ | ۱۶/۷۴$^{ns}$ | ۱۲/۲۸$^{ns}$ |
| نیتروژن | ۲ | ۱۰۰۳/۳۶$^{**}$ | ۲۵۶۳/۵۱$^{**}$ | ۸۳۴/۷۶$^{**}$ | ۹۷۸/۲۸$^{**}$ |
| خطای اول | ۴ | ۱۴/۲۴ | ۲۱/۳۲ | ۲۰/۴۴ | ۱۶/۷۵ |
| پاکلوبوترازول | ۱ | ۴۴۵۳/۸۲$^{**}$ | ۳۳۲۴/۸۶$^{**}$ | ۱۳۵۶/۰۷$^{**}$ | ۱۴۸۳/۳۳$^{**}$ |
| پاکلوبوترازول× نیتروژن | ۲ | ۸۵۳/۲۸$^{**}$ | ۹۲۱/۳۴$^{**}$ | ۱۰۱۲/۱۱$^{**}$ | ۳۷۹/۲۱$^{**}$ |
| خطا | ۶ | ۱۱/۵۸ | ۱۷/۸۳ | ۱۶/۳۱ | ۱۴/۷۵ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۱۰/۶۳ | ۸/۲۴ | ۱۲/۰۷ | ۹/۸۳ |

**معنی‌دار با احتمال خطای ۱ درصد و ns بدون اختلاف معنی‌دار

**جدول ۵- مقایسه میانگین صفات کیفیت دانه**

| نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) | پاکلوبوترازول | پروتئین دانه (%) | گلوتن تر (%) | فسفر دانه (%) | پتاسیم دانه (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱۵۰ | ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر | ۱۲/۴۴ $^{a}$ | ۲۸/۶۴ $^{a}$ | ۰/۲۸$^{b}$ | ۶/۸۲ $^{a}$ |
| | شاهد | ۱۰/۳۶ $^{b}$ | ۲۶/۰۵ $^{b}$ | ۰/۳۱$^{a}$ | ۵/۰۴ $^{b}$ |
| ۱۰۵ | ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر | ۱۰/۵۳$^{b}$ | ۲۶/۲۸$^{b}$ | ۰/۲۴$^{c}$ | ۵/۱۱ $^{b}$ |
| | شاهد | ۸/۲۱$^{c}$ | ۲۲/۱۱$^{c}$ | ۰/۲۴$^{c}$ | ۳/۹۵ $^{c}$ |
| ۶۰ | ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر | ۸/۴۲ $^{c}$ | ۲۱/۹۷ $^{c}$ | ۰/۱۸$^{e}$ | ۳/۸۲$^{c}$ |
| | شاهد | ۷/۰۳ $^{d}$ | ۱۸/۵۴ $^{d}$ | ۰/۲۱$^{d}$ | ۲/۲۵$^{e}$ |

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

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که نیتروژن عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه سوپر گندم را افزایش داد و با افزایش مقدار نیتروژن صفات مورد مطالعه در این پژوهش افزایش یافتند. نیتروژن عنصری پرمصرف است که نقش مهمی در افزایش سنتز کلروفیل، افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و در نهایت افزایش

صفات عملکرد داشته است. کاربرد پاکلوبوترازول به بهبود جذب نیتروژن سبب افزایش عملکرد و کیفیت دانه گندم شدف اما ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک را کاهش داد. پاکلوبوترازول با انتقال موادغذایی بیشتر از سلولی به سلول دیگر سبب افزایش رشد و عملکرد کیفی ارقام گندم شد. بنابراین جهت افزایش عملکرد و کیفیت دانه گندم مصرف پاکلوبوترازول و نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قابل توصیه است.

## منابع

**Aulakh, M. S., J.S. Manchanda, A.K. Garg, S. Kumar, G. Dercon, and M. Nguyen.** 2012. Crop production and nutrient use efficiency of conservation agriculture for soybean–wheat rotation in the Indo-Gangetic Plains of Northwestern India. Journal of Soil and Tillage Research. 120: 50–60.

**Desta, B. and G. Amare.** 2021. Paclobutrazol as a plant growth regulator. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 8: 1 127-141.

**Jaiswal, P.C.** 2004. Soil, Plant and Water Analysis. Indhiana, India, Kalyani Publishers, India 2:1-213.

**Hesham, F., M. Alharby, A. Rizwan, K. Iftikhar, M. Hussaini, M. Zia ur Rehman, A. Atif, B. Bamagoos, M. Alharbi, M. Asrar, T. Yasmeen, and A. Shafaqat.** 2021. Effect of gibberellic acid and titanium dioxide nanoparticles on growth, antioxidant defense system and mineral nutrient uptake in wheat. Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety. 221: 1-10.

**Hochman, Z. and F. Waldner.** 2020. Simplicity on the far side of complexity: optimizing nitrogen for wheat in increasingly variable rainfall environments. Journal of Environmental Research Letters. 16 049501.

**Iftikhar, A., M. Rizwan, M. Adrees, A. Ahfaghat, M. Zia ur Rehman, M. Farooq Qayyum, and A. Hussain.** 2020. Effect of gibberellic acid on growth, biomass, and antioxidant defense system of wheat (*Triticum aestivum* L.) under cerium oxide nanoparticle stress. Journal of Environmental Science and Pollution Research. 27: 33809–33820.

Agricultural Water Management. 255 (1): 21-37.

**Mingming, Z., D. Bao-di, Q. Yun-zhou1, S. Changhai, Y. Hong, W. Ya-kai, and L. Meng-yu.** 2018**.** Yield and water use responses of winter wheat to irrigation and nitrogen application in the North China Plain. Journal of Integrative Agriculture. 17(5): 1194-1206.

**Nouriyani, H., E. Majidi, S.M. Seyyednejad, S.A. Siadat, and A. Naderi.** 2012**.** Evaluation of nitrogen use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) as affected by nitrogen fertilizer and different levels of paclobutrazol. Field Crops Research. 13: 439–445.

**Patterson, B., E. Macrae, and I. Ferguson.** 1984**.** Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). Journal of Analytical Biochemistry. 139: 2. 487-492.

**Peng, D., X. Chen, Y. Yin, K. Lu, W. Yang, Y. Tang, and Z. Wang.** 2014**.** Lodging resistance of winter wheat (*Triticum aestivum* L.): Lignin accumulation and its related enzymes activities due to the application of

**Kamran, M., I. Ahmad, X. Wu, T. Liu, R. Ding, and Q. Han.** 2018**.** Application of paclobutrazol: a strategy for inducing lodging resistance of wheat through mediation of plant height, stem physical strength, and lignin biosynthesis. Environ Sci Pollut Res. 25, 29366–29378.

**Kumarjha, S., T.S. Ramatshaba, G. Wang, Y. Liang, H. Liu, Y. Gao, and A. Duan.** 2019**.** Response of growth, yield and water use efficiency of winter wheat to different irrigation methods and scheduling in North China Plain. Journal of Agricultural Water Management. 217: 292-302.

**Li, D., S. Mo, W.D. Batchelor, R. Cheng, H. Wang, and R. Li.** 2021**.** Effects of nitrogen topdressing and paclobutrazol at different stages on spike differentiation and yield of winter wheat. Journal of Life & Environmental Sciences. 32 (1): 24-38.

**Lu, J., T. Hu, C.H. Geng, X. Cui, J. Fan, and F. Zhang.** 2021**.** Response of yield, yield components and water-nitrogen use efficiency of winter wheat to different drip fertigation regimes in Northwest China. Journal of

of drip-irrigated winter wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management. 231: 106002.

**Soumya, P.R., P. Kumar, and M. Pal.** 2017**.** Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. Indian Journal of Plant Physiology. 22: 267–278.

paclobutrazol or gibberellin acid. Journal of Field Crops Research. 157 (15): 1-7.

**Si, Z., M. Zaina, M. Faisal, Y. Wanga, Y. Gaoa, and A. Duana.** 2020**.** Effects of nitrogen application rate and irrigation regime on growth, yield and water-nitrogen use efficiency

# The effect of foliar application of paclobutrazol at different levels of nitrogen on yield and quality of super wheat seeds

Sh. Salemi Parizi[1], M.N Ilkaee[1*], F. Paknejad[1], F. Aghayari[1], M. Sadeghi Shoa[2]

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
2- Seed and Plant Breeding Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

## Abstract

Paclobutrazol is a plant growth regulator that reduces gibberellin in plants. In this research, paclobutrazol and nitrogen foliar application was investigated on the yield and grain quality of superwheat hybrid cultivar in Karaj region, in the form of split plots in the form of randomized complete block design with three replications in the crop year 2017-2018. The main factor in this experiment included three different levels of nitrogen (60, 105 and 150 kg/ha) from the urea source, the second factor included two levels of paclobutrazol (zero and 200 mg/liter). The results showed that the application of paclobutrazol increased the grain yield and grain quality of wheat, and with the increase in the amount of nitrogen, the yield, yield components and quality of wheat grain increased. The highest amount of seed yield was 14.05 ton/ha, the number of seeds per spike was 89.35 seeds, the harvest index was 43.41% and the seed protein was 12.44% related to the mutual effects of nitrogen 150 kg per hectare and the application of paclobutrazol. Therefore, in order to increase the yield and quality of wheat grain, it is recommended to use paclobutrazol along with nitrogen at 150 kg per hectare.

**Keywords:** Biological Yield, Grain protein, Nitrogen, Paclobutrazol, Super wheat

* Corresponding author (mohammad.ilkaei@kiau.ac.ir)