

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر تقویت‌کننده‌های کودی بر برخی از اجزای عملکرد گندم در شرایط قطع آب آخر در شرایط مزرعه

مهرنوش اسکندری تربقان^{۱*} و سید فاضل فاضلی کاخکی^۲

^۱ محقق، بخش تحقیقات خاک و آب و ^۲ هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۳۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱)

چکیده

در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به مصرف محرک‌های رشد گیاهی نظیر اسیدهای آمینه و اسیدهای هیومیک به‌همراه ریزمغذی‌ها جهت تعدیل اثرات شرایط نامتعارف محیطی نظیر سرمای نابهنگام و یا شوری و خشکی در برنامه‌های تولید غلات صورت گرفته است. به‌منظور بررسی تأثیر تقویت‌کنندگان رشد بر جبران کمبود آسیمیلات انتقالی از منابع ذخیره‌ای به دانه در هنگام قطع آبیاری آخر در دو رقم گندم در شرایط مزرعه، آزمایشی به‌صورت کرت یک‌بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. دو رقم گندم به نام سیروان و رخشان (رقم معمول منطقه) در کرت‌های اصلی و تقویت‌کنندگان رشد شامل کود اسیدآمینه، ریزمغذی کامل، اسید هیومیک و شاهد بود. نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع بوته در رقم رخشان و با محلول‌پاشی اسید هیومیک به مقدار ۶۳/۸ سانتی‌متر حاصل شد. تأثیر محلول‌پاشی اسیدآمینه بر طول و وزن پدانکل در رقم رخشان بیشتر از سایر تیمارهای کودی بود. در رقم سیروان استفاده از کود اسیدآمینه بیشترین تعداد دانه در سنبله (۳۰/۲ عدد) و وزن دانه در سنبله ۱/۲۸ گرم را داشت. بیشترین تعداد و وزن سنبله در واحد سطح از اعمال کود اسیدآمینه حاصل شد. بیشترین وزن خشک بوته در متر مربع متعلق به رقم سیروان (۱۶۱ گرم) و رقم رخشان (۱۳۱ گرم) با کاربرد تیمار کودی اسیدهیومیک بود. بیشترین وزن دانه در واحد سطح (۹۱/۹ گرم در متر مربع) از تیمار کودی اسیدآمینه در رقم سیروان بدست آمد. بیشترین مقدار فتوسنتز ($13/6 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) و هدایت روزنه‌ای ($145/0 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) از تیمار کود اسیدآمینه حاصل شد. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد و وزن سنبله در واحد سطح ($r=0.94^{**}$) و بعد از آن با تعداد سنبله ($r=0.70^{*}$) وجود داشت. به‌طور کلی محلول‌پاشی با اسیدآمینه و نیز هیومیک اسید در دو مرحله پنجه‌دهی و سنبل‌دهی می‌تواند از طریق تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه، جبران کاهش عملکرد در گندم ناشی از قطع آب آخر را نماید.

کلمات کلیدی: تعداد دانه در سنبله، طول پدانکل، فتوسنتز، وزن خشک بوته

* نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: mehrnoosh.eskandary@gmail.com

مقدمه

در اقلیم‌های مدیترانه‌ای (در بسیاری از مناطق ایران) میزان بارندگی کم و بیشتر در فصل پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد و کمبود آب یکی از محدودکننده‌ترین عوامل تولید است که رشد و عملکرد گیاهان در این مناطق را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی در بسیاری از این مناطق، کشاورزان به واسطه بهره‌گیری از حداکثر پتانسیل کشت منطقه، آب آخر گندم را به محصولاتی از قبیل چغندر قند، سیب‌زمینی و یا ذرت می‌دهند. قطع آب آخر گندم منجر به بروز تغییر فنولوژیکی پیری زودرس در گیاه شده که معمولاً همزمان با پرشدن دانه در گندم اتفاق می‌افتد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۰). در طی پر شدن دانه مقدار کربوهیدرات لازم از دو منبع تأمین می‌شود: I) انتقال مواد آسیمیلات ساخته‌شده در برگ‌ها که مستقیماً به دانه منتقل می‌شود و II) مواد آسیمیلاته‌ای که در دوره‌های با منبع (Source) قوی (دوره رشد رویشی) و عدم وجود مخزن (Sink) مناسب تولیدشده و در مناطقی مانند ساقه ذخیره شده و مجدداً توزیع می‌یابد. انتقال مجدد این آسیمیلات‌های ذخیره شده از دم‌برگ و ساقه در گیاهان با بروز علائم پیری به صورت فعال و هدفمند به سمت دانه‌ها حرکت می‌کند.

پاسخ گیاهان به تنش خشکی حادث‌شده در هر مرحله رشدی فعالیت‌های متابولیسمی گیاه را تحت‌تأثیر قرار داده و فنولوژی و مورفولوژی گیاه تغییر می‌کند (Akram et al., 2008). که این موضوع منجر به کاهش عملکرد کمی و کیفی گندم می‌شود. پنجه‌دهی، گلدهی و پرشدن دانه مراحل حساس رشدی در گندم است که تولید آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Sokoto and Singh, 2013).

بررسی‌ها نشان داده است که بروز تنش خشکی بعد از گلدهی، سبب کاهش مقدار آسیمیلات تولیدی به مقدار ۵۷٪ شده که در همین شرایط مقدار انتقال مجدد ذخائر کربنی گیاه حدود ۳۶ درصد افزایش می‌یابد و در صورتی که مقدار تنش کمبود آب زیاد باشد بر روی انتقال مجدد نیز تأثیر گذاشته و کل کربن دانه را تا ۲۴ درصد همزمان با کاهش آب کاهش می‌دهد (Palta et al., 1994). Van Herwaarden و همکاران

(۱۹۹۸) اظهار داشتند که در طی کمبود آب در مرحله پرشدن دانه، ضمن کاهش مقدار آسیمیلات تولیدشده و کاهش عملکرد دانه، گیاهانی که کودهای نیتروژنی دریافت کرده‌اند نسبت به گیاهان فاقد کود نیتروژنی کاهش بیشتری را در عملکرد نشان می‌دهند. علت کاهش عملکرد دانه در گیاهانی که نیتروژن دریافت کردند یا به‌واسطه انتقال مجدد ناقص ذخایر و یا به‌واسطه کاهش ذخایر در دسترس برای انتقال مجدد بوده است. در مطالعه دیگری Xu و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که در گندم، به‌منظور جبران کاهش مقدار آسیمیلات تولیدشده در زمان تنش کمبود آب، افزایشی در انتقال مجدد کربن و نیتروژن از ذخایر گیاه به دانه افزایش می‌یابد. Liu و همکاران (۲۰۰۱) بیان داشتند که تعداد سنبله در واحد سطح قبل از شروع طویل‌شدن ساقه شکل می‌گیرد و تعداد گل در هر سنبله نیز بین ساقه‌دهی و خوشه‌دهی تشکیل می‌شود. لذا تنش خشکی در بعد از گلدهی می‌تواند در انتقال مجدد و یا انتقال آسیمیلات ساخته‌شده از برگ‌ها به دانه تأثیر گذاشته باشد، لذا کاهش ظرفیت فتوسنتزی و قابلیت دسترسی به آسیمیلات برای انتقال مجدد می‌تواند در کاهش وزن تعداد دانه در سنبله و در-نهایت عملکرد دانه تأثیرگذار باشد.

Altenbach و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که تنش آخر فصل رشد گندم، سبب کوتاه‌شدن دوره پرشدن دانه شده و در نتیجه اندازه دانه و عملکرد گندم کاهش می‌یابد. در مطالعه دیگری Zahedi و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که افزایش دما از ۲۰/۱۵ (شبانه/ روزانه) درجه سانتی‌گراد به ۳۰/۲۵ درجه سانتی‌گراد در طی دوره رشد بعد از گرده افشانی سبب کاهش طول دوره پرشدن دانه‌ها از ۶۲ تا ۲۳ روز در دو رقم گندم شد. با این حال در همین آزمایش سرعت پرشدن دو واریته گندم از دامنه ۱/۳۸ تا ۲/۰۵ به ۲/۲۱ تا ۲/۸۶ میلی‌گراد در روز رسید و بین دو واریته مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. نتایج مطالعه داوودی‌فرد و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که قطع آب، بعد از مرحله گل‌دهی و تیمار تلقیح بذر با باکتری و محلول‌پاشی با کود اسیدآمین به سبب افزایش ۳۰ درصدی عملکرد سنبله و ۳۳ درصدی عملکرد دانه در هکتار در مقایسه

با شاهد (قطع آبیاری و عدم مصرف هر گونه تیماری) در گندم شد. بالاترین میانگرم ساقه گندم، پدانکل نام دارد که تأمین‌کننده بخش مهمی از کربن دانه محسوب می‌شود و همواره بخش عظیمی از کربوهیدرات‌های مازاد بر نیاز گیاه در پدانکل ذخیره‌شده و انتقال مجدد آنها به دانه‌های در حال پر شدن که یکی از عوامل مهم در تعیین عملکرد است از وظایف پدانکل است. نتایج مطالعه نصیری خلیل‌الهی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی تنش خشکی آخر فصل بر خصوصیات زراعی ۲۰ رقم و لاین گندم نشان داد که طول پدانکل تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. وقوع تنش خشکی در مرحله گرده افشانی که معمولاً در اواخر فروردین و اوایل اردیبهشت اتفاق می‌افتد منجر به کاهش تعداد سنبلک بارور می‌شود (Erocli et al., 2007). دانه که نتیجه تلقیح این سنبلک‌ها و یکی از اجزای عملکرد (تعداد دانه در سنبله) گندم است، کاهش می‌یابد.

تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح از اجزای عملکرد است که نسبت به تنش خشکی حساس هستند. بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از ترکیبات پتاسیمی می‌تواند در افزایش دفاع گیاه در مقابل تنش‌های غیرزنده مؤثر باشد؛ به‌طوری‌که این عنصر در بارگیری و انتقال به مسافت دور کربوهیدرات‌ها از طریق آوند آبکش کارایی دارد. همچنین این عنصر در تقویت سنتز ATP و NADPH که کوآنزیم‌های اجتناب‌ناپذیری برای فرآیندهای فتوسنتزی هستند، اهمیت زیادی دارد. همچنین آزمایشات نشان داده است که پتاسیم نقش بیوفیزیکی دارد و به‌عنوان یک ماده تنظیم‌کننده فشار اسمزی (Osmoticum) اثر می‌کند (حق‌پرست‌تنها، ۱۳۷۱). Engels و Cakmak (۱۹۹۹) اشاره کردند که تحت تنش خشکی تقاضای داخلی پتاسیم افزایش می‌یابد و این به‌دلیل اهمیت بالای پتاسیم در فتوسنتز، تثبیت دی‌اکسید کربن، محافظت از کلروپلاست‌ها از خسارت اکسیداتیو نوری و تنظیم اسمزی است؛ بنابراین تغذیه برگ‌ی پتاسیم در کاهش (تعديل) تنش خشکی در گندم و پنبه تأثیرگذار است (Cakmak, 1997; Raza et al., 2014; Saleem et al., 2016). در دسترس قرار

داشتن ترکیباته نیتروژنه در مراحل قبل از گرده‌افشانی گندم به شدت روی تولید پنجه‌های بارده و تشکیل گلچه در گندم تأثیر دارد. نتایج نشان داده است که تولید زیست‌توده تابعی از متابولیسم کربن، آب، جریان مواد غذایی و فرآیندهای مربوطه در تسهیم این مواد است. گیاهان در شرایط تنش خشکی تمایل دارند تا آسیمیلات‌های کربن نیتروژن‌دار را در ابتدا صرف تقویت اندام‌هایی مانند ریشه‌ها در مراحل ابتدایی رشد نمایند. زمان و شدت تنش آب می‌تواند بر روی کارکرد نیتروژن در گیاه تأثیرگذار باشد به‌طوری‌که افزایش قابلیت دسترسی به ترکیبات نیتروژنی می‌تواند عملکرد و راندمان مصرف آب را در گندم افزایش دهد و یا در صورتی که این ترکیبات در زمان مناسب داده نشود از طریق افزایش زیست‌توده سبب تخلیه رطوبت خاک قبل از دوره پرشدن دانه شده که در شرایط تنش رطوبتی آخر فصل منجر به تشدید تنش و از دست‌دادن شدید عملکرد گندم خواهد شد (Rajala et al., 2009).

اسیدآمینها ترکیبات نیتروژن، کربن، هیدروژن و اکسیژن‌دار با فرمول $H_2NCHRCOOH$ هستند، که نقش مهمی در بیوشیمی دارند. بررسی‌ها نشان داده است که اسیدآمینها پیش‌ساز فیتوهورمون‌ها و مواد رشدی گیاه بوده و کارایی متابولیسمی گیاه را در عملکرد افزایش می‌دهند. از دیگر قابلیت‌های اسیدآمینها می‌توان به توانایی آنها در افزایش تحمل و قابلیت بهبود گیاه در شرایط تنش غیرزنده، تسهیل تولید مواد آسیمیله، انتقال و استفاده و تقویت فرآیندهای مرتبط با تنفس، سنتز پروتئین، تقویت رشد گیاه و تشکیل عملکرد در گیاه را نام برد. این ترکیبات آلی، سازنده بلوک‌های پروتئینی که نقش ساختمانی، متابولیکی و انتقالی در گیاه را به‌عهده دارند، هستند (Radkowski and Radkowska, 2018). از دیگر ترکیبات آلی تقویت‌کننده رشد گیاه، هیومیک‌ها هستند. هیومیک اسیدها حاوی گروه‌های کربوکسیلات و فنولات بوده که توانایی تشکیل کلات‌های پیچیده با عناصر و یون‌های غذایی را دارند (Ahmad et al., 2020). نتایج مطالعه Atarzadeh و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که استفاده از محلول‌پاشی با هیومیک اسید بعد از گرده‌افشانی سبب افزایش

۲۱ درصدی عملکرد گندم در متر مربع شد. در مطالعه دیگری تأثیر ترکیب کودهای هیومیکی با مقادیر متناسبی از پتاسیم و نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد گندم شد و اختلاف معنی‌داری در اجزای عملکرد (تعداد سنبله در سنبله، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع) بین ارقام گندم وجود داشت (Radwan et al., 2014).

با توجه به اینکه عملکرد گندم وابسته به جریان انتقال آسمیلات ساخته‌شده در برگ و انتقال مجدد مواد به دانه در طی پرشدن دانه است؛ و پاسخ عملکردی ارقام در شرایط تنش متفاوت است، لذا استفاده از تقویت‌کننده‌ها یا بهبوددهنده‌های کمکی برای عبور کم هزینه در شرایط قطع آب آخر در گندم به‌منظور جبران عملکرد، منطقی به‌نظر می‌رسد. لذا این مطالعه با هدف تأثیر محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی، اسیدآمین و هیومیک اسید به‌همراه سولوپتاس طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تقویت‌کنندگان رشد بر جبران کمبود آسمیلات انتقالی از منابع ذخیره‌ای به دانه در هنگام قطع آبیاری آخر بر روی دو رقم گندم در شرایط مزرعه، آزمایشی به‌صورت کرت یک بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی کاشمر در سال زراعی ۹۸-۹۹ اجرا شد. دو رقم گندم به نام سیروان و رخشان (رقم معمول منطقه) در کرت‌های اصلی و تقویت‌کنندگان رشد شامل کود اسیدآمین (۲ در هزار)، ریزمغذی کامل (۲ در هزار)، اسید هیومیک (۲ در هزار) و شاهد بود. استفاده از غلظت ۲ در هزار ریزمغذی‌ها براساس مطالعات گذشته (فرج‌نیا و خورشیدی بنام، ۱۳۸۶؛ فرهنگ و رشدی، ۱۳۹۲)؛ اسید هیومیک (سبزواری و خزاعی، ۱۳۸۸؛ سدیدی، ۱۳۹۵) و برای اسیدآمین (محمودی و همکاران، ۱۳۹۲؛ انتظاری و همکاران، ۱۳۸۷) و نیز بر طبق برجسب دستورالعمل نحوه مصرف آنها صورت گرفت. لازم به ذکر است تمامی این عناصر کودی به‌همراه ۸ کیلوگرم در هکتار سولوپتاس (استفاده از سولوپتاس به‌دلیل نقش این دو عنصر

ضروری در کاهش تنش خشکی صورت گرفت. پتاسیم کافی فراهم به‌عنوان جایگزینی کم‌هزینه برای افزایش غلظت املاح آلی در تنش خشکی و گوگرد برون‌زاد و مشتقات آن به‌عنوان آنتی‌اکسیدان، محافظ تنش و ایجاد پیام‌رسانی تنش از طریق فعل و انفعالات گوگرد با سایر مولکول‌های بیولوژیکی در کاهش تنش خشکی مؤثرند (Hasanuzzaman et al., 2018).

به‌صورت محلول‌پاشی در دو مرحله پنجه‌دهی و سنبله‌دهی انجام شد. زمین آزمایش سال گذشته به‌صورت آیش رها شده بود و خاک مزرعه قبل از انجام آزمایش جهت مشخص‌کردن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱). بذر سیروان و رخشان از ایستگاه تحقیقات کاشمر تهیه شد. عملیات آماده‌سازی زمین براساس عرف منطقه انجام شد. ابعاد کرت‌های اصلی ۱۵ متر در ۲۴ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۴ متر عرض و ۶ متر طول در نظر گرفته شد. هر کرت دارای ۸ ردیف ۰/۵ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی نیز یک متر و فاصله بین تکرارها سه متر در نظر گرفته شد. بذرها قبل از کاشت با قارچ‌کش ویتاواکس ضدعفونی و به‌صورت دستی با استفاده از فوکر در تاریخ اول آبان ۱۳۹۸ کشت شدند. تراکم کاشت، ۳۸۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. قبل از کاشت مقدار کود لازم براساس نتایج آزمایش خاک به زمین داده شد. کودهای مورد استفاده از بخش خاک و آب ایستگاه تحقیقات کاشمر تهیه و مقدار لازم برای هر کرت براساس دستورالعمل شرکت سازنده داده شد. در ۱۵ آذر همزمان با پنجه‌دهی اقدام به محلول‌پاشی با کودهای موردنظر شد. مقدار محلول لازم به گونه‌ای بود که محلول مورد نظر، تمام سطح برگ را پوشش دهد. در مرحله سنبله‌دهی در ۱۶۵ روز پس از کاشت (۱۵ فروردین) اقدام به محلول‌پاشی شد. آبیاری براساس عرف منطقه انجام شد و آب آخر گندم در تاریخ ۲۵ اردیبهشت به مزرعه داده نشد و در تاریخ ۲۰ خردادماه اقدام به برداشت محصول گردید.

یک هفته بعد از قطع آب آخر، در هوای صاف و بدون ابر در ساعت ۱۰ تا ۱۲ ظهر از برگ پرچمی، مقدار فتوسنتز با استفاده از دستگاه فتوسنتز متر (Li-Cor, Lincoln, USA) و

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

بافت خاک	هدایت الکتریکی EC	pH	وزن مخصوص ظاهری Bulk D.	کربن آلی O.C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	درصد آهک T.N.V.	درصد اشباع خاک SP
-	dS.m ⁻¹	-	g.cm ⁻³	%	%	ppm	ppm	%	%
سیلتی لوم	۲/۲	۸/۱	۱/۴۱	۰/۴۳	۳/۰	۹/۸	۱۹۸	۲۲/۳	۳۱/۵

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که دو واریته از نظر ارتفاع بوته طول مشابه داشتند (جدول ۳) اما اعمال تیمارهای کودی سبب بهبود ارتفاع بوته بین ۳ تا ۵ سانتی‌متر شد. بیشترین ارتفاع بوته از تأثیر کود هیومیک اسید و بعد آن از تأثیر کود اسیدآمین به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج برهم‌کنش تیمارها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در رقم رخشان (V2) و با محلول‌پاشی اسید هیومیک (T4) به مقدار ۶۳/۸ سانتی‌متر حاصل شد که نسبت به شاهد (T1) حدود ۱۱ درصد افزایش ارتفاع داشت. با این حال در هر دو رقم سیروان (V1) و رخشان اعمال تمامی تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند؛ تنها با تیمار شاهد این اختلاف مشاهده شد (جدول ۵). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییر سطوح هورمونی به خصوص اتیلن در شرایط تنش خشکی منجر به تغییرات در رشدونمو گیاهان و به‌ویژه ارتفاع می‌شود (Glick et al., 2005). هر چند کودهای به‌کار برده‌شده تنها توانستند ۵ سانتی‌متر سبب افزایش ارتفاع گیاه شوند با این حال تأثیر این کودها در مرحله پنجه‌دهی و سنبل‌دهی منجر به افزایش مقدار فتوسنتز و جهت‌دادن آسیميلات ساخته‌شده به سمت ریشه‌ها که افزایش حجم و توسعه ریشه را به‌دنبال داشته، گردید؛ لذا جذب بیشتر عناصر غذایی منجر به افزایش رشد اندام هوایی و ارتفاع گیاه شده است (شمشیری‌پور، ۱۳۸۷). نتایج Anwar و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد استفاده از کود هیومیک اسید به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ارتفاع گندم به اندازه ۳ درصد نسبت به شاهد شد. نتایج مطالعه نصیبی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که استفاده از اسیدآمین آرژنین سبب افزایش وزن تر ریشه در گندم شد.

هدایت روزنه‌ای توسط دستگاه پرومتر (Leaf Prometer, Model SC-1, Decagon Devices) اندازه‌گیری شد. در این زمان نیز نمونه‌هایی از برگ پرچمی تهیه و در آزمایشگاه براساس روش حسینیان و همکاران (۱۳۹۸) مقدار پرولین آنها اندازه‌گیری و ثبت شد. براساس این روش مقدار ۰/۵ گرم از برگ تازه گیاه ضمن سائیدن در هاون به‌تدریج با ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالیسیلیک به آن اضافه شد. محلول حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سائتریفوژ شد. پس از صاف‌کردن محلول، دو میلی‌لیتر برداشته و به آن دو میلی‌لیتر نین‌هیدرین اسید و دو میلی‌لیتر استیک اسید اضافه شد و در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت قرار داده و سپس در حمام آب یخ گذاشته شد. پس از اضافه‌کردن چهار میلی‌لیتر تولوئن، در هر لوله، دو فاز تشکیل شد. فاز بالایی که حاوی کمپلکس رنگی بود که برای اندازه‌گیری مقدار پرولین به‌کار برده شد و مقدار جذب آن در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و مقدار پرولین با نمودار استاندارد آن محاسبه شد. قبل از برداشت محصول، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (۰/۵ متر از هر طرف کرت حذف گردید) از هر کرت ده بوته انتخاب و برای اندازه‌گیری صفات: ارتفاع بوته، وزن و طول پدانکل، تعداد سنبلچه در سنبله، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله به آزمایشگاه ارسال و اندازه‌گیری انجام شد. وزن خشک تمام بوته‌ها و وزن دانه در کل هر کرت اندازه‌گیری و براساس متر مربع ثبت شد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MSTAT C و MINITAB Ver16 آنالیز واریانس شد و میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات: اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی در دو مرحله (پنجه‌دهی و سنبل‌دهی) در دو واریته گندم در سال ۱۳۹۸

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول پدانکل	وزن پدانکل	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه در سنبله	تعداد سنبله در واحد سطح
بلوک	۲	۴۷/۵۴**	۲۵/۴۴**	۰/۰۰۵*	۱۰/۷۰ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}	۲۳۲ ^{ns}
رقم	۱	۱۰/۱۲ ^{ns}	۲/۸۳ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۶۰ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۵۸۰ ^{ns}
خطا اصلی	۲	۶/۵۳	۴/۱۸	۰/۰۰۳	۳۰/۶۳	۰/۰۲۰	۳۵۹
تیمار کود	۳	۴۰/۳۲**	۷/۷۴**	۰/۰۱۲**	۹۵/۶۰*	۰/۳۴۶**	۳۹۵**
اثر متقابل کود × رقم	۳	۹/۱۶*	۷/۲۷**	۰/۰۰۳*	۱۹/۱۱**	۰/۰۴۳**	۵۲۱ ^{ns}
خطای فرعی	۱۲	۲/۷۸	۰/۸۱	۰/۰۰۱	۵/۸۴	۰/۰۱۸	۱۴۶
ضریب تغییرات (CV)		۱۵/۵	۱۱/۴	۸/۵۴	۱۳/۲	۱۰/۵	۷/۸۶

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن سنبله در واحد سطح	وزن خشک بوته در واحد سطح	وزن دانه در واحد سطح	پرولین	هدایت روزنه‌ای	فتوستتر
بلوک	۲	۲۰۹/۳ ^{ns}	۴۷/۵ ^{ns}	۷۱/۴ ^{ns}	۱۵۳۲ ^{ns}	۸۷/۶ ^{ns}	۱۸۷ ^{ns}
رقم	۲	۵۰۰۳/۱**	۶۶/۸ ^{ns}	۱۱۱۹/۷**	۴۸۱ ^{ns}	۱۱۵/۲ ^{ns}	۴۰۵ ^{ns}
خطا اصلی	۲	۴۰/۸	۹۵/۱	۳۱/۱	۱۵۰	۷۸/۱	۲۱۱
تیمار کود	۳	۴۰۲۳/۸**	۵۳۳۷**	۲۱۷۷/۱**	۳۸۷**	۹۷۴**	۲۸۹*
اثر متقابل کود × رقم	۳	۳۰۵۰/۱**	۱۲۱۸**	۹۰۵/۳**	۲۵۷ ^{ns}	۴۷۵ ^{ns}	۲۰۸ ^{ns}
خطای فرعی	۱۲	۴۰/۱	۸۴/۸	۴۱/۹	۸۴/۳	۱۳۶	۷۷/۱
ضریب تغییرات (CV)		۹/۱۱	۱۱/۶	۱۶/۷	۱۲/۶	۱۶/۷	۱۴/۸

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر رقم بر صفات اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی در دو مرحله (پنجه‌دهی و سنبل‌دهی) در دو واریته گندم در سال ۱۳۹۸

تیمار	ارتفاع بوته	طول پدانکل	تعداد سنبله در واحد سطح	تعداد دانه در سنبله	وزن پدانکل	وزن دانه در سنبله	وزن سنبله در واحد سطح	وزن خشک بوته در واحد سطح	وزن دانه در واحد سطح
	(cm)	(cm)	سطح	سنبله	پدانکل	در سنبله	واحد سطح	واحد سطح	واحد سطح
V1 (سیروان)	۶۰/۱ ^a	۲۱/۰ ^a	۶۵/۸ ^a	۲۶/۲ ^a	۰/۲۴۸ ^a	۱/۰۳ ^a	۹۱/۳ ^a	۱۰۹ ^a	۵۲/۴ ^a
V2 (رخشان)	۶۱/۴ ^a	۲۰/۴ ^a	۵۵/۶ ^a	۲۵/۹ ^a	۰/۲۵۸ ^a	۱/۰۵ ^a	۶۲/۴ ^b	۱۱۳ ^a	۳۸/۸ ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای کودی بر صفات: اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی در دو مرحله (پنجه دهی و سنبل دهی) در دو واریته گندم در سال ۱۳۹۸

تیمار	ارتفاع بوته	طول پدانکل	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در واحد سطح	وزن پدانکل	وزن دانه در سنبله	وزن سنبله در واحد سطح	وزن خشک بوته در واحد سطح	وزن دانه در واحد سطح
	(cm)	(cm)		سطح	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
T1	۵۷/۱ ^b	۱۹/۰ ^b	۲۰/۱ ^b	۵۲/۹ ^b	۰/۱۹۰ ^b	۰/۶۸۶ ^b	۴۹/۰ ^c	۷۸/۳ ^d	۲۴/۹ ^c
T2	۶۲/۲ ^a	۲۱/۵ ^a	۲۸/۱ ^a	۷۰/۰ ^a	۰/۲۸۶ ^a	۱/۲۰ ^a	۱۰/۱۰ ^a	۱۲۳ ^b	۶۸/۴ ^a
T3	۶۰/۸ ^a	۲۰/۷ ^a	۲۸/۵ ^a	۵۵/۲ ^b	۰/۲۵۰ ^a	۱/۳۶ ^a	۶۰/۷ ^b	۹۷/۱ ^c	۳۶/۳ ^c
T4	۶۲/۹ ^a	۲۱/۳ ^a	۲۷/۴ ^{ab}	۶۵/۳ ^a	۰/۲۸۶ ^a	۱/۱۴ ^{ab}	۹۶/۴ ^a	۱۴۶ ^a	۵۲/۸ ^b

میانگین های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری با هم ندارند.

T1: شاهد، T2: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + اسید آمینه (۲ در هزار)، T3: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + ریزمغذی کامل (۲ در هزار)، T4: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + اسید هیومیک (۲ در هزار)

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش رقم در کود بر صفات: اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی در دو مرحله (پنجه دهی و سنبل دهی) در دو واریته گندم در سال ۱۳۹۸

تیمار	ارتفاع بوته	طول پدانکل	وزن پدانکل	وزن دانه در سنبله	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در واحد سطح
	(cm)	(cm)	(g)	(g)	(g)	(g)
T1	۵۸/۲ ^{bc}	۱۹/۹ ^{bc}	۰/۱۷۱ ^c	۰/۵۷۳ ^c	۱۹/۵ ^c	۵۹/۶ ^a
T2	۶۱/۲ ^{abc}	۲۱/۴ ^{ab}	۰/۲۸۶ ^{ab}	۱/۲۸ ^a	۳۰/۲ ^a	۷۵/۳ ^a
T3	۵۹/۰ ^{abc}	۱۹/۸ ^{bc}	۰/۲۲۰ ^{abc}	۱/۰۸ ^{ab}	۲۶/۶ ^{abc}	۴۶/۵ ^a
T4	۶۲/۱ ^{ab}	۲۳/۰ ^a	۰/۳۱۵ ^a	۱/۱۸ ^{ab}	۲۸/۶ ^{ab}	۸۱/۶ ^a
T1	۵۶/۰ ^c	۱۸/۲ ^c	۰/۲۰۸ ^{bc}	۰/۷۹۹ ^{bc}	۲۰/۸ ^{bc}	۴۶/۲ ^a
T2	۶۳/۲ ^{ab}	۲۱/۷ ^{ab}	۰/۲۸۷ ^{ab}	۱/۱۳ ^{ab}	۲۶/۱ ^{abc}	۵۵/۳ ^a
T3	۶۲/۷ ^{ab}	۲۱/۶ ^{ab}	۰/۲۷۹ ^{ab}	۱/۱۸ ^{ab}	۳۰/۵ ^a	۶۴/۰ ^a
T4	۶۳/۸ ^a	۱۹/۷ ^{bc}	۰/۲۵۶ ^{abc}	۱/۱۰ ^{ab}	۲۶/۳ ^{abc}	۵۸/۳ ^a

میانگین های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری با هم ندارند.

V1: سیروان، V2: رخشان، T1: شاهد، T2: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + اسید آمینه (۲ در هزار)، T3: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + ریزمغذی کامل (۲ در هزار)، T4: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + اسید هیومیک (۲ در هزار)

طول و وزن پدانکل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع کود و برهمکنش کود در رقم تأثیر معنی داری بر طول و وزن پدانکل داشت (جدول ۲). هم در مقدار طول و هم در وزن پدانکل، محلول پاشی با کودهای اسید آمینه (T2)، ریز مغذی کامل (T3) و هیومیک اسید (T4) بیشتر از شاهد (T1) بود، با این حال بیشترین طول و وزن پدانکل از محلول پاشی با

کود اسید آمینه حاصل شد (جدول ۴). در رقم V1 بیشترین طول (۲۳ سانتی متر) و وزن (۰/۳۱۵ گرم) از محلول پاشی تیمار T4 حاصل شد که نسبت به شاهد در همین رقم به ترتیب حدود ۱۳ و ۴۵ درصد افزایش داشت. در رقم رخشان (V2) تأثیر تیمار T2 بیشتر از سایر تیمارهای کودی در طول و وزن پدانکل بود. در صفت وزن پدانکل در رقم V2 کاربرد دو تیمار

جدول ۶- جدول ضرایب همبستگی بین صفات اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی در دو مرحله (پنجه‌دهی و سنبل‌دهی) در دو وارته گندم در سال ۱۳۹۸

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱- ارتفاع گیاه								
۲- طول پدانکل	۰/۷۸۰**							
۳- وزن پدانکل	۰/۷۳۴**	۰/۷۸۶**	۱					
۴- تعداد دانه در سنبله	۰/۶۶۸**	۰/۵۹۹**	۰/۷۴۴**	۱				
۵- وزن دانه در سنبله	۰/۶۵۶**	۰/۵۰۱*	۰/۷۱۲**	۰/۸۸۲**	۱			
۶- وزن سنبله در واحد سطح	۰/۳۰۶ ^{ns}	۰/۴۶۲*	۰/۵۷۸**	۰/۵۵۵**	۰/۵۷۷**	۱		
۷- تعداد سنبله در واحد سطح	۰/۳۰۹ ^{ns}	۰/۴۶۸*	۰/۳۹۶ ^{ns}	۰/۲۷۸ ^{ns}	۰/۳۰۴ ^{ns}	۰/۷۳۳**	۱	
۸- وزن خشک بوته در واحد سطح	۰/۵۱۶*	۰/۴۵۵*	۰/۶۹۳**	۰/۵۳۷**	۰/۶۹۶**	۰/۷۳۵**	۰/۵۹۹**	۱
۹- وزن دانه در واحد سطح	۰/۳۸۰*	۰/۴۵۳*	۰/۵۷۹**	۰/۵۹۰**	۰/۶۴۱**	۰/۹۴۰**	۰/۷۰۰**	۰/۶۷۰**

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

بیشتر در میانگرمه آخر در زمان پرشدن دانه، این اندام از شدت فتوستنز بالاتری برخوردار است و از طرفی نزدیکی آن با سنبله نقش مهمی در پرکردن دانه‌ها دارد.

تعداد و وزن دانه در سنبله: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع تیمار کودی و برهمکنش کود در رقم بر تعداد و وزن سنبله معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج جدول ۴ نشان داد که استفاده از کودهای مورد استفاده به‌طور متوسط سبب افزایش ۲۸ درصدی در تعداد دانه و افزایش حدود ۴۰ درصدی در وزن دانه در سنبله شد. در رقم V1 استفاده از تیمار T2 بیشترین تعداد دانه در سنبله (۳۰/۲ عدد) و وزن دانه در سنبله ۱/۲۸ گرم را داشت که نسبت به شاهد (T1) در همین رقم به‌ترتیب حدود ۳۵ درصد در تعداد دانه و ۵۵ درصد در وزن دانه در سنبله افزایش داشت. در رقم رخشان هر چند تأثیر کلیه تیمارهای کودی از نظر آماری معنی‌دار نبود با این حال کاربرد کود ریزمغذی کامل (T3) بیشترین تعداد دانه و وزن دانه در سنبله را داشت (جدول ۵). نتایج مطالعه Rajala و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که رخداد تنش خشکی قبل از گرده‌افشانی در گندم سبب کاهش تعداد گل تلقیح‌شده به میزان ۳۱ درصد در سنبله شد اما زمانی که تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی اتفاق افتاد از تعداد گل تلقیح‌شده کاسته نشد. در همین

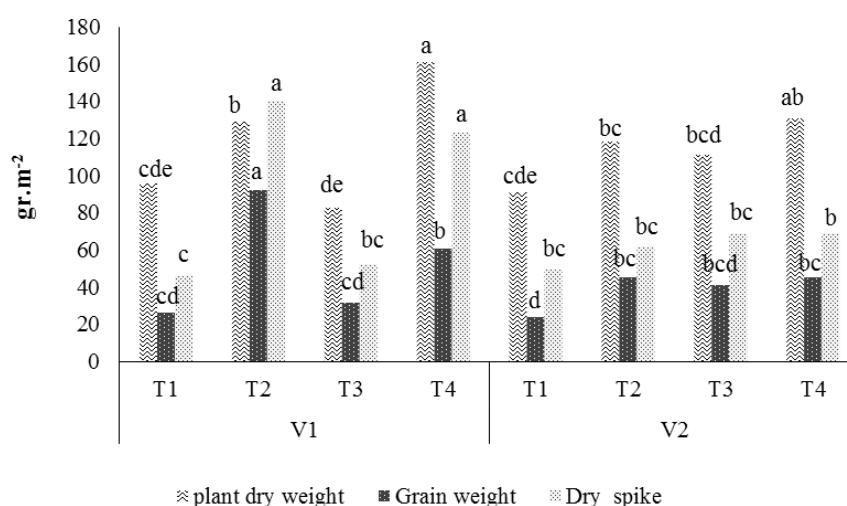
T2 و T3 از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. در خصوص صفت وزن پدانکل در هر دو رقم مورد مطالعه کاربرد تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۵). نتایج مطالعه گلستانی‌فر و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که با اعمال تنش خشکی در گندم از ۲۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، مقدار کاهش طول پدانکل ۲۶ درصد بود. در آزمایش حاضر طول و وزن پدانکل با عملکرد دانه در متر مربع همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۶). Ehdaie و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تجمع مواد فتوستنزی پدانکل و انتقال مجدد آنها به دانه یکی از دلایل وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین طول و وزن پدانکل با عملکرد دانه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد پدانکل در زیر سنبله قرار گرفته و تحت شرایط تنش خشکی مقدار پتانسیل آب آن بیشتر از برگ پرچمی بوده، تراکم روزه‌ای بالا داشته و با وجود فعالیت آنزیمی (Phosphoenolpyruvate carboxylase, EC 4.1.1.31 PEPCase به گرما متحمل است. این اندام در فتوستنز نیز شرکت داشته و مقدار مواد فتوستنزی بیشتری را نسبت به سایر میانگرمه‌ها در خود ذخیره می‌کند و در شرایط تنش آخر فصل کربن بیشتری را برای پرشدن دانه‌ها می‌فرستد (Zhang et al., 2020). به‌نظر می‌رسد با وجود سطح سبز

آزمایش وزن دانه در سنبله در تنش خشکی بعد از گرده افشانی نسبت به شاهد حدود ۱۹ درصد کاهش یافت. نامبردگان اظهار داشتند کمبود آب در گیاه سبب القای برخی تغییرات هورمونی می‌شود به‌طوری‌که تغییر در سطح هورمون ABA و اتیلن موجب مرگ گلچه‌ها شده و ظرفیت پرکردن دانه‌ها را در گندم تغییر می‌دهد. به‌نظر می‌رسد در تنش خشکی گیاهان تمایل دارند کربن و نیتروژن را ابتدا در ریشه‌ها و سپس در ساقه‌ها هنگامی که مراحل اولیه خشکی اتفاق می‌افتد، ذخیره نمایند و در طی مراحل میوز و گرده‌افشانی، باروری دانه گرده و تخمدان و نیز مراحل اولیه نمو تخمک وابسته به میزان دسترسی به آب و بنیه گیاه دارد. در همین رابطه Ghiglione و همکاران (۲۰۰۸) اظهار داشتند که در شرایط محلول‌پاشی با تیمارهای کودی از طریق افزایش توان فتوسنتزی گیاه سطح کربوهیدرات محلول افزایش یافته و قابلیت دسترسی آنها برای رشد و نمو اندام‌های گلچه افزایش یافت؛ در نتیجه منجر به افزایش تعداد و وزن دانه در سنبله شده است.

تعداد و وزن سنبله در واحد سطح: نتایج تجزیه واریانس

نشان داد که تعداد سنبله تحت تأثیر رقم واقع شد و دو رقم مورد مطالعه تعداد سنبله مشابهی در واحد سطح داشتند، اما وزن سنبله در دو رقم معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که رقم V1 نسبت به رقم رخشان (V2) حدود ۳۰ درصد وزن سنبله سنگین‌تری داشت (جدول ۳). بیشترین تعداد و وزن سنبله در واحد سطح از اعمال کود اسیدآمین به حاصل شد که نسبت به شاهد به ترتیب حدود ۲۴ و ۵۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نتایج برهمکنش نشان داد که اثر رقم در تیمار کودی بر تعداد سنبله در واحد سطح معنی‌دار نشد (جدول ۵). نتایج مطالعه Al Khalil (۲۰۱۷) نشان داد که تنش کم آبی و کود اوره بعد از گرده‌افشانی در دو رقم گندم تأثیری معنی‌دار بر تعداد سنبله در واحد سطح ندارد. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های نامبردگان مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد تعداد سنبله در واحد سطح که نتیجه تعداد پوته و پنجه بارور در واحد سطح است در اولین و دومین مرحله رشدی که پنجه‌دهی و طویل‌شدن ساقه بوده تحت تأثیر تنش نبوده و آغازه‌های سنبله و پنجه باور به‌طور

طبیعی شکل گرفته، حتی در مرحله پنجه‌دهی محلول‌پاشی با تیمارهای کودی کمکی به استقرار و رشد بیشتر پنجه نموده است. نتایج جدول ۲ نشان داد که وزن سنبله‌های تولیدی در واحد سطح تحت تأثیر رقم و تیمار کودی اختلاف معنی‌داری داشت. رقم سیروان (V1) تحت تأثیر T2 بیشترین وزن سنبله در واحد سطح (۱۴۰ گرم در واحد سطح) را داشت که نسبت به شاهد (T1) حدود ۶۴ درصد افزایش داشت. کمترین وزن سنبله در واحد سطح مربوط به تیمار V1×T1 بود. در رقم V2 (رخشان) بیشترین وزن سنبله در واحد سطح از تأثیر کود هیومیک اسید (T4) بدست آمد که نسبت به شاهد همین رقم حدود ۲۸ درصد بیشتر بود. در رقم V1 نیز استفاده از تیمار T4 بعد از تیمار اسیدآمین (T2) با مقدار ۱۲۳ گرم در متر مربع بیشترین وزن سنبله در متر مربع را داشت (شکل ۱). همانگونه که انتظار می‌رود در شرایط تنش که در مرحله پرشدن دانه اتفاق می‌افتد به دلیل پرنشدن تعدادی از دانه‌ها و یا کوچک ماندن آنها به‌واسطه کاهش مواد فتوسنتزی و یا کمی انتقال مجدد، وزن دانه سنبله کاهش می‌یابد. با این حال در تمام تیمارهای کودی به دلیل نقش این مواد در سرعت بخشیدن به فرآیندهای حیاتی گیاه، زمینه رشد مساعدتر را فراهم آورده است. سعیدی و همکاران (۱۳۹۰) اظهار داشتند که بروز تنش رطوبتی بعد از گرده‌افشانی در گندم سبب کاهش تعداد دانه و وزن دانه در سنبله می‌شود. به‌نظر می‌رسد افزایش وزن سنبله‌ها می‌تواند ناشی از تأمین عناصر غذایی لازم و در دسترس برای انجام عمل فتوسنتز و تولید آسمیلات لازم برای پرکردن دانه‌ها باشد. از طرفی فعال‌بودن سنبله و وجود ساختار سبز در آنها دارای فرآیند فتوسنتز طولانی‌تری نسبت به برگ‌ها بوده و نزدیک‌بودن آنها به دانه‌های در حال رشد و تغییرات هورمونی در زمان خشکی (افزایش ABA) سبب گسیل بیشتر و سریع‌تر کربوهیدرات‌ها به دانه‌ها شده در نتیجه وزن دانه‌های تشکیل شده افزایش یافته که منجر به افزایش وزن سنبله شده است (Yang et al., 2001). در همین رابطه محققین گزارش کردند که در شرایط تنش رطوبتی مهم‌ترین منبع مواد فتوسنتزی برای دانه‌های در حال رشد گندم دروم همین



شکل ۱- نتایج برهمکنش رقم و کود بر صفات وزن خشک سنبله، وزن خشک بوته و وزن دانه. V1: سیروان، V2: رخشان. T1: شاهد، T2: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + اسید آمینه (۲ در هزار)، T3: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + ریزمغذی کامل (۲ در هزار)، T4: سولوپتاس (۸ کیلوگرم در هکتار) + اسید هیومیک (۲ در هزار). میانگین‌های دارای حروف مشترک بر روی هر یک از ستون‌ها قرار دارند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

فتوستنتز سنبله است (Tambussi et al., 2007).

وزن خشک بوته: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که نوع کود و برهمکنش کود در رقم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک بوته در واحد سطح داشت و دو رقم مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری با هم از نظر این صفت نداشتند (جدول ۲). وزن خشک بوته در کاربرد کودهای اسید آمینه (T2)، ریزمغذی کامل (T3) و هیومیک اسید (T4) به ترتیب ۱۲۳، ۹۷/۱ و ۱۴۶ گرم بود، که نسبت به شاهد (T1) به ترتیب ۳۶، ۱۹ و ۴۶ درصد وزن خشک بوته بیشتری تولید کردند. بیشترین وزن خشک بوته در متر مربع هم در رقم سیروان (V1) (۱۶۱ گرم) و هم در رقم رخشان (V2) (۱۳۱ گرم) به کاربرد تیمار T4 بود. کمترین مقدار وزن خشک بوته در هر دو رقم V1 و V2 از تیمار T1 حاصل شد. نتایج مطالعه Al Khalil (۲۰۱۷) نشان داد زمانی که افزایش دور آبیاری به ۲۴ روز بعد از گرده‌افشانی گندم رسید، سبب کاهش عملکرد بیولوژیکی شد؛ اما با افزایش کود نیتروژن به ۱۲۹ کیلوگرم در هکتار توانسته بود عملکرد بیولوژیکی را تا دو تن در هکتار افزایش دهد. Liwani (۲۰۱۷) گزارش کرد که اعمال تنش رطوبتی در دو مرحله گلدهی و پرشدن دانه تأثیر بر مقدار بیومس تولیدی گندم نداشت (لازم به

ذکر است تنش رطوبتی تنها در همان مراحل ذکر شده اعمال شد و بعد از عبور از آن مرحله آبیاری به صورت طبیعی انجام شده بود). در مطالعه دیگری شریفی (Sharifi, 2017) گزارش کرد که استفاده از هیومیک اسید در شرایط تنش خشکی ۵۰٪ ظرفیت زراعی سبب افزایش زیست توده نسبت به شرایط عدم استفاده از آن شد. در همین آزمایش نامبرده گزارش کرد که با استفاده از هیومیک اسید در شرایط آبیاری طبیعی، کلیه شاخص‌های آنالیز رشد در ذرت شامل (Net Assimilate Rate)، (CGR Crop Growth Rate)، (NAR) و (RGR Growth Rate) بیشترین مقدار را داشته است. به نظر می‌رسد براساس ماهیت این آزمایش دو مرحله محلول‌پاشی با تیمارهای مختلف کودی انجام شده که هر دو مرحله (پنجه‌دهی و سنبل‌دهی) تحت تأثیر تنش آبی نبوده است بنابراین تأثیر این مواد سبب بهبود شرایط تغذیه‌ای و تسریع فرآیندهای متابولیکی گیاه شده در نتیجه فرصت بیشتری برای ساخت و تولید مواد آسمیلاته فراهم شده که سبب افزایش رشد شاخساره شده است. با این حال بررسی‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی با عناصر کودی سبب افزایش متابولیتهایی همانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌های محلول و

دیگر متابولیت‌ها در سلول‌های گیاه شده که توانایی حفظ آب و افزایش پتانسیل سوخت‌وساز را به‌دنبال داشته و زیست‌توده تولیدی را افزایش داده است (Delfine et al., 2005).

وزن دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رقم، کود و برهمکنش کود در رقم بر وزن دانه در واحد سطح معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۲). رقم سیروان (V1) نسبت به رقم رخشان (V2) حدود ۲۶ درصد وزن دانه در بوته بیشتری داشت (جدول ۳). Abdoli و Saeidi (۲۰۱۲) گزارش کردند که مقدار عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در قطع آبیاری بعد از گرده‌افشانی حدود ۳۳/۹ درصد کاهش یافت. تنوع ژنتیکی برای عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Wardlaw, 2002). نتایج جدول ۴ نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه در واحد سطح (۶۸/۴ گرم در متر مربع) از کاربرد کود اسیدآمین و بعد از آن کود هیومیک اسید بدست آمد که این دو تیمار نسبت به شاهد به‌ترتیب حدود ۶۳ و ۵۲ درصد سبب افزایش وزن دانه در واحد سطح گردیدند. نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که پاسخ رقم V1 به کاربرد کودهای (اسید آمینه (T2)، ریزمغذی کامل (T3) و هیومیک اسید (T4) بسیار بیشتر از شاهد (T1) بود. به‌طوری‌که بیشترین وزن دانه در بوته (۹۱/۹ گرم در متر مربع) از تیمار $V1 \times T2$ و بعد از آن از تیمار $V1 \times T4$ (۶۰/۵ گرم در متر مربع) بدست آمد که نسبت به تیمار $V1 \times T1$ به‌ترتیب سبب افزایش ۷۱ و ۵۷ درصدی وزن دانه در بوته شد. پاسخ $V2$ به کودهای مورد بررسی نشان داد که دامنه وزن دانه در متر مربع از ۴۰ تا ۴۵ گرم در متر مربع بیشتر نبود. هر دو نوع تیمار کودی T2 و T4 با مقادیر ۴۴/۹ و ۴۵/۰ گرم، بیشترین مقدار وزن دانه در متر مربع را داشتند که نسبت به شاهد ($V2 \times T1$) به‌ترتیب سبب افزایش حدود ۴۷ و ۴۷ درصد وزن دانه در متر مربع شدند. استفاده از تیمار T4 در هر دو رقم V1 و V2 نسبت به تیمارهای شاهد خود به‌ترتیب موجب افزایش ۱۷ و ۴۲ درصدی وزن دانه در متر مربع شدند (شکل ۱). نتایج مطالعه داوودی‌فرد و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که اعمال تیمار تلقیح بذر گندم با باکتری و محلول‌پاشی با

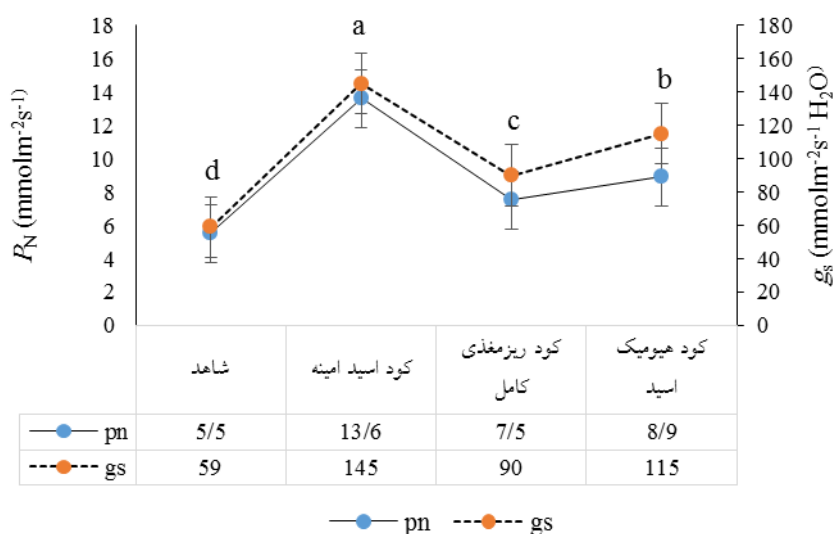
اسیدآمین و در شرایط قطع آبیاری بعد از گل‌دهی سبب افزایش عملکرد دانه به مقدار ۳۳ درصد نسبت به شاهد شد. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های نامبردگان مطابقت دارد. در مطالعه دیگری Anwar و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند استفاده از کود هیومیک اسید در گندم سبب افزایش حدود ۱۲ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد. مطالعه شریف (Sharif, 2017) نشان داد در شرایط تنش خشکی استفاده از هیومیک اسید مقدار RGR برابر با ۰/۰۷۴ گرم بر گرم در روز بود و در صورت استفاده نکردن از اسید هیومیک مقدار این شاخص ۰/۰۶۹ گرم بر گرم در روز بود. وی اظهار داشت که در شرایط تنش خشکی هیومیک اسید از طریق بهبود شاخص‌های رشد مانند CGR, NAR و RGR سبب بهبود تولید ماده خشک در ذرت شده است. مطالعه نصیبی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که استفاده از اسیدآمین آرژنین در تخفیف تنش شوری در گندم ناشی از افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی ترکیبات حاصل از متابولیسم این اسیدآمین مانند نیتریک اسید، پلی‌آمین‌ها و پرولین بوده که از این طریق مقدار گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه پراکسیداسیون لیپید کاهش یافته است که موجب افزایش تحمل گندم به تنش شوری شده است. نتایج مطالعه Rajala و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که بروز تنش خشکی در بعد از گرده‌افشانی گندم تأثیری بر تعداد دانه تلقیح‌یافته ندارد بلکه در این مرحله تنها سرعت انتقال مجدد و فتوسنتز جاری تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از طرفی کاربرد کودهای حاوی عناصر ضروری مانند نیتروژن سبب افزایش بقاء دانه‌های ابتدا و انتهای سنبله شده در نتیجه انتقال مجدد مواد آسمیله‌شده به سنبله‌های ابتدایی و انتهایی منجر به افزایش سایز دانه و عملکرد می‌شود.

نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با وزن سنبله در واحد سطح ($r = 0.94^{**}$) و بعد از آن با تعداد سنبله ($r = 0.70^{*}$) وجود داشت. Okuyama و همکاران (۲۰۰۵) و Liwani (۲۰۱۷) همبستگی بین عملکرد با طول سنبله و تعداد پنجه باور را گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد افزایش انتقال مواد غذایی به

مخزن‌های اقتصادی گیاه (دانه‌ها) که خود زیر مجموعه از سنبله در گندم است موجب افزایش عملکرد در گندم شده است. از طرفی در شرایط تنش که محدودیت آب آخر فصل وجود دارد، استفاده از تیمارهای اسیدآمین و یا هیومیک اسید زمینه تغییر در هورمون‌های محرک رشد گیاهی و آنزیم‌های آنابولیک نظیر ساکاروز سنتاز و ATP-ase را فراهم آورده و از طریق تغییر سایز و تعداد دانه در سنبله سبب جبران افت عملکرد در شرایط تنش خشکی شده است.

مقدار فتوسنتز (Pn) و هدایت روزنه‌ای (gs): مقدار فتوسنتز خالص (Pn) شاخص مهمی در اندازه‌گیری توان تولید آسمیلات لازم برای بخش‌های مختلف گیاه است. مقدار این شاخص تحت تأثیر مقدار هدایت روزنه‌ای (gs) بوده که آن نیز تحت کنترل مقدار کربن بین سلولی (Ci) قرار دارد. بین دو وارسته از نظر مقدار فتوسنتز برگ پرچمی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). با این حال مقدار فتوسنتز در رقم سیروان ($24/3 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) حدود $6/5$ درصد بیشتر از رقم رخشان ($22/7 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) بود. برگ پرچم مهم‌ترین اندام نزدیک دانه است که به شدت بر روی وزن دانه در سنبله تأثیرگذار است. هر چند مقدار فتوسنتز آن در این زمان به دلیل پیری کاهش می‌یابد و نقش انتقال مجدد بیشتر می‌شود با این حال فتوسنتز جاری این اندام می‌تواند در کاهش تعداد دانه پوک و چروکیده تأثیر داشته باشد. از آنجا که تغذیه با مواد تقویت‌کننده رشد از طریق افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی سبب پاکسازی رادیکال‌های اکسیژن در جریان واکنش‌های نوری فتوسنتز II در تیلاکوئیدها می‌شوند، لذا تداوم فتوسنتز می‌تواند سبب بهبود عملکرد گیاه گردد (Taiz and Zeiger, 2002). نتایج جدول ۲ نشان داد که بین تیمارهای مختلف تغذیه‌ای اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار فتوسنتز وجود دارد. بیشترین مقدار فتوسنتز ($13/6 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) از تیمار کود اسیدآمین حاصل شد و کمترین مقدار آن از شاهد ($5/5 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) بدست آمد (شکل ۲). تنها تیمار کود بر مقدار هدایت روزنه‌ای تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). مقدار هدایت روزنه‌ای معمولاً در شرایط طبیعی بیشترین مقدار

است و زمانی که گیاه تحت تنش قرار می‌گیرد مقدار آن کاهش می‌یابد، در نتیجه مقدار ورودی دی‌اکسید کربن و نهایتاً مقدار فتوسنتز کاهش می‌یابد. در مطالعه حاضر بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای از تیمار محلول‌پاشی اسیدآمین ($145 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) بدست آمد (شکل ۲). از آنجا که علاوه بر نقش هورمون‌ها (مانند: ABA) در تنظیم مکانیزم باز و بسته کردن روزنه است، بخشی از این مکانیزم مربوط به تولید آسمیلات لازم در اثر فتوسنتز سلول‌های نگهبان روزنه است، به نظر می‌رسد بهبود دستگاه فتوسنتزی سلول‌های روزنه از طریق بهبود محتوای کلروفیل، سمیت‌زدایی ROSها، حفاظت از فتوسیستم II از طریق افزایش مقدار پروتئین D1 که در نتیجه مقدار خسارت نوری را کاهش می‌دهد در دستگاه فتوسنتزی سلول روزنه باشد (Ma et al., 2006). همچنین می‌توان یکی از دلایل افزایش مقدار هدایت روزنه‌ای به سبب ترکیبات تنظیم‌کننده‌های اسمزی سلول‌های روزنه و تغییرات هورمونی گیاه در نتیجه اعمال تقویت‌کنندگان رشد در گیاه نسبت داد. در نتایج مطالعه Saeedipour و Moradi (۲۰۱۱) نشان داده شد که دو وارسته مرودشت و زاگرس گندم در پاسخ به تنش متوسط و شدید خشکی در مرحله پرشدن دانه مقدار هدایت روزنه‌ای متفاوتی دارند. نتایج مطالعه Ma و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد محلول‌پاشی با گلیسین‌بتائین بر روی برگ پرچمی در شرایط تنش خشکی حادث شده در مرحله پرکردن دانه‌ها، سبب افزایش فتوسنتز خالص و بهبود هدایت روزنه‌ای در گندم نان شده است. نامبردگان اظهار داشتند که کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) و بهبود سریع از حالت بازدارندگی نوری در گیاهان تیمارشده با گلیسین‌بتائین بیشتر از شاهد بوده است. همچنین Agboma و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند، علت افزایش عملکرد در گیاهان گندم تیمارشده با گلیسین‌بتائین، مربوط به نقش محافظت‌کنندگی دستگاه فتوسنتزی توسط گلیسین‌بتائین بود. همچنین مطالعه Karim و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی با کودهای روی (۱۳٪) و منگنز (۱۰٪) سبب افزایش عملکرد تحت تنش خشکی در گندم شده است. در مطالعه دیگری Saeedipour و Moradi

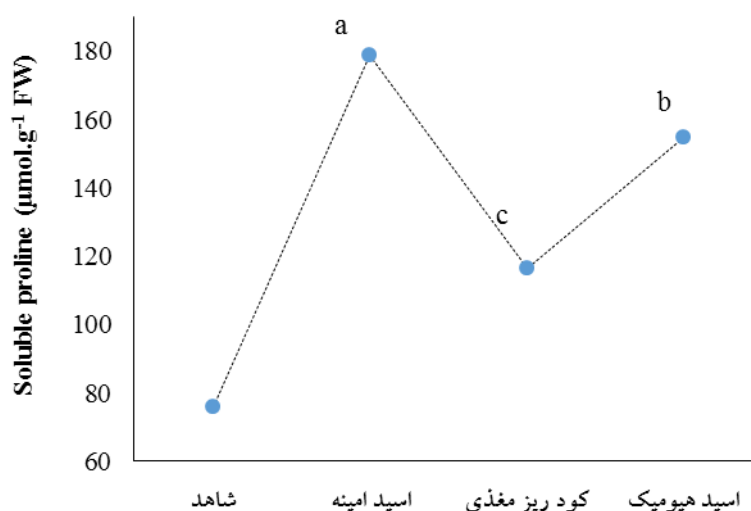


شکل ۲- تأثیر تیمارهای تقویت‌کننده رشد گیاه بر دو شاخص فتوسنتز (P_n) و هدایت روزنه‌ای (g_s)

(جدول ۱). بیشترین مقدار پرولین از ترکیب کودی اسید آمینه (۱۷۸/۹ میکرومول بر گرم وزن تر) و کمترین آن از تیمار شاهد (۷۶/۰۸ میکرومول بر گرم وزن تر) حاصل شد (شکل ۳). بررسی‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی ترکیباتی مانند پرولین و گلیاسین‌بتائین می‌تواند رشد و عملکرد محصولات تک‌لپه برنج (Farooq et al., 2008)، گندم (Ma et al., 2006) و ذرت (Anjum et al., 2011) را بهبود بخشد. مطالعات دیگر نشان می‌دهد که محلول‌پاشی برخی ترکیبات آمینی مانند پرولین و گلیاسین‌بتائین می‌تواند سطوح محافظ‌های اسمزی داخل سلولی را افزایش دهند به این ترتیب از طریق پاکسازی ROSها سبب تخفیف آثار تنش خشکی بر گیاه شوند. Wang و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که استفاده از محلول‌پاشی ترکیبات آلی خصوصاً ترکیبات آمونیومی می‌تواند سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گندم شده و تحمل گیاه را به خشکی افزایش دهد. نتایج مطالعه El-Saber و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد محلول‌پاشی با ترکیبات آمونیومی سبب افزایش مقدار پرولین و گلیاسین‌بتائین در شرایط تنش شوری در جو شد. به نظر می‌رسد تقویت‌کنندگان رشد با پایه اسید آمینه به دلیل افزایش مواد آمینی در داخل سلول از طریق پایدار ساختن ساختمان پروئین‌ها، غشاءها و نیز ثبات ساختارهای پروتئینی کلیدی همانند روبیسکو سبب افزایش فعالیت

(۲۰۱۱) نشان دادند که مقدار فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در تنش آخر فصل گندم کاهش می‌یابد. با این حال در واریته‌های مقاوم گندم، این کاهش شتاب کمتری دارد. لذا به نظر می‌رسد استفاده از تقویت‌کننده‌های گیاهی می‌تواند از طریق تغییر حفاظت سیستم فتوسنتزی و تغییر در سیستم‌های هورمونی گیاه شرایط را برای بهبود سیستم فتوسنتزی مهیا نموده و از این طریق در تولید آسیمیلات لازم برای پرکردن دانه کمک نمایند.

مقدار پرولین: گیاهان تحت تنش رطوبتی، معمولاً با پیری زودرس اندام‌های گیاه همراه است. گیاه از طریق تغییر پتانسیل آب مانع از دست‌دادن آب سلول‌های خود می‌شود. در این راستا گیاه تنظیم‌کننده‌های رشد یا همان اسمولیت‌ها را جهت کمک به نگهداری آب سلول از جمله پرولین، گلیاسین‌بتائین، پلی‌آمین‌ها، پلی‌یول‌ها و یون‌ها را آسیمیله می‌کنند (Farooq et al., 2009). هرچند عملکرد در واحد سطح تحت‌تأثیر عامل‌های متعددی قرار دارد اما دوره گل‌دهی و پرشدن دانه از اهمیت ویژه‌ای در این زمینه برخوردار است و حامل‌هایی که به توانند در این دوره توانایی گیاه را در افزایش تحمل به تنش رطوبتی افزایش دهند بازده مؤثر عملکردی گیاه را افزایش خواهند داد. نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار تقویت‌کننده‌های رشد در مقدار پرولین بود. اما بین دو رقم و اثر متقابل تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف تقویت کننده رشد بر مقدار پرولین در گندم تحت قطع آب آخر

میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک بر روی هر یک از نقاط براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار با هم می‌باشند.

اسید آمینه در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین مقدار فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و پرولین حاصل شد. نتایج نشان داد که بیشترین وزن دانه در بوته (۹۱/۹ گرم در متر مربع) از محلول-پاشی اسید آمینه و بعد از آن از محلول‌پاشی هیومیک اسید (۶۰/۵ گرم در متر مربع) در رقم سیروان بدست آمد. در رقم رخشان نیز اعمال تیمار هیومیک اسید بیشترین مقدار و بعد از آن از تیمار اسید آمینه بدست آمد. به‌طور کلی براساس نتایج این بررسی محلول‌پاشی با اسید آمینه و یا هیومیک اسید در دو مرحله پنجه‌دهی و سنبل‌دهی می‌تواند از طریق تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه، کاهش عملکرد در گندم را جبران نماید.

فتوسنتزی شده و انرژی لازم را برای افزایش تحمل به خشکی و ماده‌سازی را تأمین می‌نمایند (Cha-um et al., 2007).

نتیجه‌گیری

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران که دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای است، همواره در برخی مناطق، تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه در گندم رخ می‌دهد. در این مرحله، تغییراتی در غلظت پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌های محلول، فتوسنتز برگ پرچم و سنبله و در نهایت بر روی انتقال مجدد ایجاد می‌شود که عملکرد و تولید زیست‌توده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مطالعه نشان داد که با استفاده از تیمار

منابع

- انتظاری، س.، خلعتبری، م.، نصری، م. و ذاکری محمدآبادی، ا. (۱۳۸۷) تأثیر محلول‌پاشی اسید آمینه بر کم آبیاری زراعت گندم در دشت ورامین. گیاه و زیست‌بوم ۴: ۶۴-۷۶.
- حسینیان، س. ح.، ابراهیمی پاک، ن. ع.، یوسفی، ا. و اگدرنژاد، ا. (۱۳۹۸) تأثیر تنش رطوبتی و محلول‌پاشی هیومیک اسید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه مرزه. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۶: ۲۱۹-۲۳۲.
- حق‌پرست‌تنها، م. ر. (۱۳۷۱) تغذیه و متابولیسم گیاهان. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی رشت.

داوودی‌فرد، م.، حبیبی، د. و داوودی‌فرد، ف. (۱۳۹۱) بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و سیلیسیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط تنش خشکی. مجله زراعت و اصلاح نباتات ۸: ۱۰۴-۱۰۱ (به فارسی بدون چکیده انگلیسی).

سبزواری، س. و خزاعی، ح. ر. (۱۳۸۸) اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف اسید هیومیک بر خصوصیات رشدی، عملکرد و اجزاء عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشناز. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۱: ۶۳-۵۳.

سدیدی، ا. ر. (۱۳۹۵) اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و نانو کود آهن بر عملکرد و اجزاء عملکرد گندم رقم چمران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی سبزوار.

سعیدی، م.، مرادی، ف. و جلالی هنرمند، س. (۱۳۹۰) سهم فتوسنتز جاری سنبله و برگ و انتقال مجدد قندهای محلول ساقه در شکل‌گیری عملکرد دانه دو رقم گندم نان در شرایط تنش رطوبتی پس از گرده‌افشانی. مجله به‌زارعی نهال و بذر ۱-۲: ۲۷-۱۹ (فارسی بدون چکیده انگلیسی).

شمشیری‌پور، م. (۱۳۸۷) کاربرد باکتری‌های فیلوسفری محرک رشد گیاه برای افزایش رشد و عملکرد ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران.

فرج‌نیا، ا. و خورشیدی‌بنام، م. ب. (۱۳۸۶) اثر روش‌های کاربرد عناصر ریزمغذی بر خصوصیات کمی و کیفی گندم. بوم‌شناسی گیاهان زراعی (دانش نوین کشاورزی) ۳: ۱۰۹-۱۰۳.

فرهمند، س. و رشدی، م. (۱۳۹۲) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد گندم رقم زرین. پژوهش در علوم زراعی ۶: ۵۲-۴۳.

گلستانی‌فر، ف.، محمودی، س.، زمانی، غ. ر. و سیاری زهان، م. ح. (۱۳۹۵) اثر رقابت درون و بیرون گونه‌ای بر برخی صفات مورفولوژیک و رشدی گندم (*Triticum aestivum* L.) و چاودار (*Secale cereal* L.) تحت شرایط تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۹: ۲۵۶-۲۴۱ (فارسی).

محمودی، ح.، نریمانی، م.، صالحی، ف.، نبئی، م.، رخ‌افروز، ع.، محمدی، ا.، جسوری، ع. ر. و عطاری‌لر، ج. (۱۳۹۲) بررسی اثرات محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر عملکرد گندم رقم آذر ۲ در شرایط آنفارم. شماره ثبت ۴۴۵۲۰. مراغه. مؤسسه تحقیقات دیم کشور.

نصیبی، ف.، منچهری کلانتری، خ.، محمدی‌نژاد، ق. و زنگنه، ر. (۱۳۹۴) اثر اسید آمینه آرژینین بر برخی پارامترهای اکسیداتیو و افزایش تحمل به شوری در گیاه گندم. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۲۸: ۱۱۲۸-۱۱۱۹ (با چکیده انگلیسی).

نصیری خلیل‌الهی، س.، ساسانی، ش.، احمدی، غ. م. و دانشور، م. (۱۳۹۹) اثر تنش خشکی آخر فصل بر برخی خصوصیات زراعی ۲۰ رقم و لاین امیدبخش گندم نان. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۳: ۶۹۹-۶۸۳. (فارسی با چکیده انگلیسی).

Abdoli, M. and Saeidi, M. (2012) Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post anthesis water deficit in the west of Iran. *Annals of Biological Research* 3: 1322-1333.

Agboma, P., Jones, M. G. K., Peltonen-Sainio, P., Rita, H. and Pehu, E. (1997) Exogenous glycinebetaine enhances grain yield of maize, sorghum and wheat grown under two watering regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 178: 29-37.

Ahmad, Z., Ullah Khan, Q., Qadoos, A., Jamil Khan, M., Saleem, A. and Bibi, Z. (2020) Humic acid, an effective amendment used for amelioration of Phosphatic fertilizer and enhancing maize yield. *Pure Applied Biology* 9: 750-759.

- Altenbach, S. B., DuPont, F. M., Kothari, K. M., Chan, R., Johnson, E. L. and Lieu, D. (2003) Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science* 37: 9-20.
- Akram, Z., Ajmal, S. U. and Munir, M. (2008) Estimation of correlation coefficient among some yield parameters of wheat under rainfed conditions. *Pakistan Journal of Botany* 40: 1777-1781.
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L. and Zou, C. M. (2011) Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 177-185.
- Al Khalil, M. A. (2017) Effect of nitrogen rates on growth and yield of some wheat genotypes under post-anthesis water stress levels. PhD thesis, Sudan University of Science and Technology College of Graduate Studies.
- Anwar, S., Iqbal, F., Khattak, W. A., Islam, M., Iqbal, B. and Khan, S. (2016) Response of wheat crop to humic acid and nitrogen levels. *Econicon Agriculture* 3: 558-565.
- Atarzadeh, S. H., Mojaddam, M. and Saki Nejad, T. (2013) The interactive effects humic acid application and several of nitrogen fertilizer on remobilization star wheat. *International Journal of Biosciences* 3: 116-123.
- Cakmak, I. (1997) Role of potassium in protecting higher plants against photooxidative damage. In: *Food Security in the WANA Region, the Essential Need for Balanced Fertilization*. (ed. Johnston, A. E.) Pp. 345-352. International Potash Institute, Basel.
- Cakmak, I. and Engels, C. (1999) Role of mineral nutrients in photosynthesis and yield formation. In: *Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implications*. (ed. Rengel, Z.) Pp. 141-168. The Haworth Press, New York.
- Cha-um, S., Supaibulwatana, K. and Kirdmanee, C. (2007) Glycinebetaine accumulation, physiological characterizations and growth efficiency in salt-tolerant and salt-sensitive lines of indica rice (*Oryza sativa* L. ssp. indica) in response to salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193: 157-166.
- Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E. and Alvino, A. (2005) Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Journal of Agronomy Sustain Development* 25: 183-191.
- Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waines, J. G. (2006) Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. Postanthesis changes in internode dry matter. *Journal of Crop Science* 46: 735-746.
- El-Saber, M., El-Massry, R. A., Kamel, H. A. and Hendawey, M. H. (2016) Emino amino acids accumulation and its implication in barley tolerance to salt stress under ras sudr condition south sainsi, Egypt. South Sainsi, Egypt. *Zagazig Journal of Agricultural Biochemistry and its Application* 43: 533-554.
- Erocli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A. and Arduini, I. (2007) Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat. *Crop Science* 34: 1443-1451.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Cheema, Z. A., Cheema, M. A. and Khaliq, A. (2008) Physiological role of exogenously applied glycinebetaine to improve drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 194: 325-333.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. (2009) Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
- Ghiglione, H., Gonzalez, F., Serrago, R., Maldonado, S., Chilcott, C., Cura, J., Miralles, D. J., Zhu, T. and Casal, J. (2008) Autophagy regulated by daylength sets the number of fertile florets in wheat. *Plant Journal* 55: 1010-1024.
- Glick, B. R. (2005) Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme ACC deaminase. *FEMS Microbiology Letters* 251: 1-7.
- Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K. and Hawrylak-Nowak, B. (2018) *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Springer.
- Karim, M. R., Zhang, Y. Q., Zhao, R. R., Chen, X. P., Zhang, F. S. and Zou, C. Q. (2012) Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175: 142-151.
- Liu, Z. H., Wang, H. Y., Wang, X. E., Zhang, G. P., Chen, P. D. and Liu, D. J. (2006) Genotypic and spike positional difference in grain phytase activity, phytate, inorganicphosphorus, iron, and zinc content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 44: 212-219.
- Liwani, U. (2017) Effect of water stress imposed at tillering, flowering and grain filling in irrigated wheat (*triticum aestivum* L.) genotypes. Masters thesis, School of Agricultural, Earth and Environmental Science College of Agriculture, Engineering and Science Pietermaritzburg South Africa.
- Ma, Q. Q., Wang, W., Li, Y. H., Li, D. Q. and Zou, Q. (2006) Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliarapplied glycinebetaine. *Journal Plant Physiology* 163: 165-175.
- Okuyama, L., Federizzi, L., Fernandes, J. and Neto, B. (2005) Plant traits to complement selection based on yield components in wheat. *Ciencia Rural* 35: 1010-1018.
- Palta, J. A., Kobalta, T., Turner, N. C. and Fillery, I. L. (1994) Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by post-anthesis water deficit. *Crop Science* 34: 118-124.

- Radkowski, A. and Radkowska, I. (2018) Influence of foliar fertilization with amino acid preparations on morphological traits and seed yield of timothy. *Plant Soil Environment* 64: 209-213.
- Radwan, F. I., Gomaa, M. A., Naser, M. A. A. and Mussa, N. I. F. (2014) Response of some wheat varieties to humic acid, mineral and biofertilization on productivity and quality. *Middle East Journal of Agriculture Research* 3: 631-637.
- Rajala, A., Hakala, K., Makela, P., Muurinen, S. and Peltonen-Sainio, P. (2009) Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. *Field Crops Research* 114: 263-271.
- Raza, M. A. S., Saleem, M., Shah, G. M., Khan, I. H. and Raza, A. (2014) Exogenous application of glycinebetaine and potassium for improving water relations and grain yield of wheat under drought. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 14: 348-364.
- Saeedipour, S. and Moradi, F. (2011) Effect of drought at the post-anthesis stage on remobilization of carbon reserves and some physiological changes in the flag leaf of two wheat cultivars differing in drought resistance. *Journal of Agricultural Science* 3: 81-92.
- Saleem, M. F., Raza, S., Aown, M., Ahmad, S., Khan, I. H. and Shahid, A. M. (2016) Understanding and mitigating the impacts of drought stress in cotton-a review. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 53: 609-623.
- Sharifi, P. (2017) Studying maize growth indices in different water stress conditions and the use of humic acid. *Biomedical and Pharmacology Journal* 10: 303-310.
- Sokoto, M. B. and Singh, A. (2013) Yield and yield components of bread wheat as influenced by water stress, sowing date and cultivar in Sokoto, Sudan Savannah, Nigeria. *American Journal of Plant Sciences* 04: 122-130.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2002) *Plant Physiology*. 3th Ed. Published by Sinauer Associates.
- Tambussi, E. A., Bort, J., Guiamet, J. J., Nogues, S. and Araus, J. L. (2007) The photosynthetic role of ears in C₃ cereals: Metabolism, water use efficiency and contribution to grain yield. *Critical Review of Plant Science* 26: 1-16.
- Van Herwaarden, A. F., Farquhar, G. D., Angus, J. F., Richards, R. A. and Howe, G. N. (1998a) 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 1067-1081.
- Wang, G. P., Hui, Z., Li, F., Zhao, M. R., Zhang, J. and Wang, W. (2010) Improvement of heat and drought on photosynthetic tolerance in wheat by accumulation of glycinebetaine. *Plant Biotechnology Reports* 4: 212-222.
- Wardlaw, I. F. (2002) Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Annals Botany* 80: 469-476.
- Xu, Z. Z., Yu, Z. W. and Wang, D. (2006) Nitrogen translocation in wheat plants under soil water deficit. *Plant and Soil* 280: 291-303.
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q. and Wang, W. (2001) Hormonal changes in the grains of rice subjected to water stress during grain filling. *Plant Physiology* 127: 315-323.
- Zahedi, M., Sharma, R. and Jenner, F. C. (2003) Effect of high temperature on grain growth and on the methabolite and enzymes in the starch-synthesis pathway in the grains of two wheat cultivars differing in their responses to temperature. *Functional Plant Biology* 30: 291-300.
- Zhang, P., Liu, Y., Li, M., Ma, J., Wang, C., Su, J. and Yang, D. (2020) Absciscic acid associated with key enzymes and genes involving in dynamic flux of water soluble carbohydrates in wheat peduncle under terminal drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 151: 719-728.

An investigation of the effect of fertilizer enhancers on some yield components of wheat yield in the last irrigation cut in the field conditions

Mehrnoush Eskandari Torbaghan^{1*} and Seyyed Fazel Fazeli Kakhki²

¹ Researcher, Soil and Water Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

² Assistant Professor, Natural Resources Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

(Received: 20/12/2020, Accepted: 21/06/2021)

Abstract

In recent years, special attention has been paid to the consumption of plant growth stimulants such as amino acids and humic acids along with micronutrients to adjust the effects of abnormal environmental conditions such as untimely cold or salinity and drought stress in grain production programs. In order to investigate the effect of growth enhancers on compensating for the lack of transport assimilates from storage sources to the grain during the last irrigation cut in two wheat cultivars in field conditions, an experiment was conducted as a split-plot in a randomized complete block design with three replications at the Kashmar Research Station during of 2019-2020. Two wheat cultivars included Sirvan and Rakhshan (a common cultivar of the region) in the main plots and growth enhancers included amino acid fertilizer, complete micronutrient, humic acid each one with 2:1000 concentration and the control, were taken in a subplot. All these fertilizer nutrients with an 8 kg ha⁻¹ concentration of solo potash were sprayed in two growth stages of tillering and spiking. The results showed that the highest plant height (63.8 cm) was obtained in the Rakhshan cultivar by foliar application of humic acid. The effect of amino acid foliar application on peduncle length and weight in Rakhshan cultivar was more than other fertilizer treatments. In the Sirvan cultivar, the use of amino acid fertilizer had the highest number of seeds per spike (30.2) and grain weight per spike (1.28 g). The most number and weight of spikes per unit area were obtained from the application of amino acid fertilizer. The highest dry weight per square meter belonged to Sirvan cultivar (161 g) and Rakhshan cultivar (131 g) using humic acid fertilizer treatment. The most seed weight per unit area (91.9 g m⁻²) was obtained from amino acid fertilizer treatment in the Sirvan cultivar. The highest amount of photosynthesis (13.6 mmolm⁻²s⁻¹) and stomatal conductance (145 mmolm⁻²s⁻¹) were obtained from amino acid fertilizer treatment. The correlation coefficients showed a positive and significant relation between yield and spike weight per unit area ($r = 0.94^{**}$) and then with the number of spikes ($r = 0.70^{*}$). In general, foliar application of amino acids and humic acid in two stages of tillering and spiking can compensate for wheat yield reduction due to the last irrigation cut by changing the physiological and metabolic processes of the plant.

Keywords: Biomass, Length of peduncle, Seed per spike, photosynthesis

Corresponding author, Email: mehrnoosh.eskandary@gmail.com