تأثیر تأخیر در کاشت و کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر تجمع و انتقال مجدد ماده خشک در ارقام گندم نان

اسما اصلانی[۱] و مهرو مجتبایی زمانی[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۶)

چکیده

به‌منظور ارزیابی توانایی ارقام گندم در تجمع ذخایر در ساقه و انتقال این ذخایر به دانه در شرایط تنش گرمای ناشی از تأخیر در کاشت و بررسی تأثیر باکتری‌های حل کننده فسفات بر این توانایی، این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای در منطقه هفتکل (استان خوزستان)، به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل تاریخ کاشت در دو سطح (اول آذر و ۱۲ دی) و عامل فرعی به‌صورت فاکتوریل شامل پنج رقم گندم نان (چمران۲، مهرگان، سیروان، شوش و برات) و دو سطح کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات *Pseudomonas putida* سویه P13 و *Pantoea agglomerans* سویه P5 (عدم تلقیح و تلقیح بذر) بود. نتایج نشان داد که کاهش وزن مخصوص ساقه (۲۸/۵ درصد)، کاهش رشد طولی ساقه (۱۸/۷ درصد) و کاهش شدید طول دوره مؤثر پر شدن دانه (۳۸/۳ درصد) مهم‌ترین دلایل کاهش میزان انتقال مجدد ماده خشک به ساقه و کارایی این انتقال در تاریخ کاشت تأخیری بود. در هر دو تاریخ کاشت، کارایی انتقال مجدد ماده خشک ساقه، در شرایط تلقیح بذر با باکتری، به‌طور متوسط ۸/۵ درصد کمتر از شرایط عدم تلقیح بود. در تاریخ کاشت مناسب، ارتباط وزن سنبله با انتقال مجدد ماده خشک مثبت و معنی‌دار بود، ولی در تاریخ کاشت تأخیری وزن سنبله و عملکرد دانه با انتقال مجدد ماده خشک و کارایی آن ارتباط معنی داری نداشت. در مجموع، وزن مخصوص ساقه به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میزان تجمع ذخایر در ساقه شناخته شد و رقم مهرگان با توانایی بهره‌گیری از ذخایر ساقه، به‌عنوان رقمی مناسب برای کشت تأخیری در منطقه معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: تنش گرما، کود زیستی، کارایی انتقال مجدد، وزن مخصوص ساقه

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اگرواکولوژی و استادیار گروه کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mahroo.mojtabaei@gmail.com

مقدمه

تغییرات اقلیمی همراه با افزایش دمای محیط، یکی از مشکلات عمده کشاورزی در بسیاری از مناطق جهان و از جمله ایران است. در نواحی مدیترانه‌ای، از جمله ایران، دوره پر شدن دانه گندم با افزایش متوسط دمای محیط و کاهش رطوبت قابل دسترس همزمان می‌شود که این موضوع سبب اختلال در فتوسنتز و کاهش آسیمیلات‌های تولیدی طی فتوسنتز جاری خواهد شد (۲). در این شرایط، کربوهیدرات ذخیره شده در بخش رویشی گیاه، به دانه‌های در حال رشد منتقل شده و سهم این منابع در عملکرد دانه افزایش می‌یابد (۵ و ۲۵). در اکثر مطالعاتی که گندم در مرحله گلدهی با تنش خشکی روبرو شده، افزایش انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای و افزایش سهم کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای در پر شدن دانه، گزارش شده است (۸، ۱۴ و ۲۶)، ولی در پژوهش‌های صورت گرفته در شرایط تنش گرمای انتهای فصل در خصوص میزان انتقال ذخایر ساقه به دانه و سهم این ذخایر در پر شدن دانه، نتایج بسته به روش اجرای اعمال تنش و شدت تنش متغیر بوده است. در آن دسته از پژوهش‌هایی که با تأخیر در کاشت گندم، تنش گرما در مرحله گلدهی و پر شدن دانه اعمال شده است، به‌دلیل تسریع مراحل نموی و کوتاه شدن طول دوره رشد ساقه، میزان تجمع کربوهیدرات در ساقه و انتقال ذخایر ساقه به دانه کاهش یافته، ولی کارایی انتقال ذخایر و سهم ذخایر در رشد دانه در مقایسه با تاریخ کاشت بهینه افزایش (۲۱ و ۲۴) و یا کاهش (۷ و ۲۰) یافته است. در مقابل، در پژوهش‌هایی که دو شرایط دمایی نرمال و تنش گرما در دوره پر شدن دانه در محیط کنترل شده اعمال شده است، به‌دلیل شرایط محیطی یکسان برای هر دو تیمار پیش از زمان گرده‌افشانی، میزان تجمع کربوهیدرات محلول در ساقه پیش از گرده‌افشانی در هر دو تیمار یکسان است و در صورت وجود اختلاف بین دو تیمار دمایی نرمال و تنش گرما در حداکثر تجمع کربوهیدارات در ساقه، این اختلاف به تفاوت بین این دو تیمار دمایی در میزان ذخیره کربوهیدرات پس از گرده‌افشانی (تا زمان شروع رشد خطی دانه) مربوط می‌شود. در این نوع پژوهش‌ها، در تیمار تنش گرما طی دوره پر شدن دانه، میزان انتقال و کارایی انتقال کربوهیدرات محلول ساقه به دانه نسبت به شرایط دمایی نرمال افزایش یافته است (۲۲ و ۲۸).

به‌دلیل گرم شدن کره زمین و تغییر الگوی آب و هوایی و لزوم توجه به کاهش ریسک تولید و دستیابی به عملکردی با ثبات، بررسی راه‌حل‌های مختلف برای مقابله، یا به حداقل رساندن اثرات تنش با رویکردی سازگار با محیط زیست، اهمیت ویژه‌ای یافته است. انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرما و انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای جلوگیری از همزمانی مرحله‌ی نموی حساس به تنش گرما با دمای زیاد از راهکاری مدیریتی مؤثر در کاهش اثرات مخرب تنش گرما معرفی شده است (۱۷). کوسانی و رینولدز (۱۱) بالا بودن راندمان مصرف نور، کارایی بالای فتوسنتز، تولید بالای کربوهیدرات‌های ذخیره‌ایی و انتقال مجدد آن و تسهیم بهتر مواد فتوسنتزی را از دلایل تحمل تنش گرمایی و تولید عملکرد قابل قبول دانستند. علاوه بر این، استفاده از برخی ترکیبات طبیعی نظیر ریزوباکترهای محرک رشد نیز از دیگر راهکارهای موجود برای بهبود تحمل به تنش در گیاهان معرفی شده است. تأثیر مثبت باکتری‌های حل کننده فسفات بر تعدیل اثرات منفی تنش گرما در مطالعات مختلف تایید شده است (۱، ۴، ۱۵ و ۲۷). عبدالدیام و همکاران (۱) تلقیح بذر گندم با باکتری‌های محرک رشد گیاهی را استراتژی امیدبخش برای بهبود تحمل به گرما در گندم معرفی کردند. این باکتری‌ها از طریق تغییر محتوی هورمونی در گیاهان و افزایش طول و سطح تماس ریشه و بهبود جذب آب و عناصر غذایی (۱۶)، افزایش اسمولیت‌های سلولی (۴)، کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ ساختار کلروپلاست (۱ و ۲۷) و تحریک بیان پروتئین‌های شوک گرمایی (۱۶) منجر به تعدیل اثرات منفی تنش گرما می‌شوند. دو سویه از باکتری‌های حل کننده فسفات به نام‌های *Pseudomonas putida* سویه P13 و *Pantoea agglomerans* سویه P5 در فرمولاسیون کود زیستی فسفاته بارور-۲ بکار رفته است. باکتری *Pantoea agglomerans* با

تولید اسیدهای آلی باعث رهاسازی فسفات از ترکیبات معدنی شده و با تثبیت نیتروژن اتمسفری و تولید فیتوهورمون‌هایی نظیر ایندول استیک اسید نقش مؤثری در رشد گیاه دارد (۱۳) و باکتری *Pseudomonas putida* با تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز، باعث رهاسازی فسفات از ترکیبات آلی خاک می‌شود (۴). تاثیر مثبت کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات در شرایط تاخیر در کاشت و وقوع تنش گرما در دوره پر شدن دانه گندم توسط عیسوند و همکاران (۱۵) گزارش شده است. در پژوهش ایشان با تلقیح بذر گندم نسبت به شرایط عدم تلقیح، تعداد دانه در سنبله در تاریخ کاشت مناسب ۱۷ درصد و در تاریخ کاشت تاخیری ۱۵/۸ درصد افزایش یافت و این افزایش مهم‌ترین دلیل افزایش عملکرد در نتیجه تلقیح با باکتری بود. ایشان تامین فسفر به‌عنوان عنصر ضروری در پروسه‌های متابولیکی و نقش آن در افزایش کارایی کوانتومی فتوسیستم دو و کاهش گونه‌های اکسیژن فعال در طی تنش‌های محیطی را از دلایل افزایش عملکرد در سطوح تیماری کاربرد کود زیستی فسفاته بارور در تاریخ کاشت تأخیری عنوان کردند. علی و همکاران (۴) مشاهده کردند که اختلاف بین بوته‌های گندم تلقیح شده با باکتری *Pseudomonas putida* و تلقیح نشده در تحمل به گرما، به توانایی آنها در تجمع کربوهیدرات، آمینواسیدها و پروتئین‌ها در شرایط تنش گرما مربوط می‌شود. نتایج ایشان نشان داد که این باکتری به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش طول ریشه و بخش هوایی، وزن خشک بوته، تعداد پنجه و سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه شد. ایشان تولید فیتوهورمون‌ها و تحریک رشد ریشه (که به افزایش جذب آب و مواد معدنی منتهی می‌شود)، تولید سیدروفورهای کلات کننده آهن و افزایش فسفات محلول، افزایش محتوی کلروفیل (جبران کننده کاهش سطح برگ در شرایط تنش گرما) و افزایش پایداری غشای سلولی را از دلایل تحمل به گرما در بوته‌های گندم تلقیح شده با باکتری *Pseudomonas putida* معرفی کردند.

با توجه به استراتژیک بودن محصول گندم و سهم مؤثر خوزستان در تولید آن، بررسی راهکارهای عملی برای دستیابی به محصولی پایدار و با ثبات در شرایط محیطی خوزستان ضروری است. از طرفی با توجه به نقش مفید ذخایر ساقه در شرایط تنش انتهای فصل در گندم، ارزیابی ارقام مختلف از لحاظ میزان تجمع ذخایر در ساقه و انتقال این ذخایر به دانه در شرایط تنش گرمای ناشی از تأخیر در کاشت و بررسی امکان تأثیرگذاری کود زیستی فسفاته بارور حاوی باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida* و *Pantoea agglomerans* بر کارایی انتقال مجدد ذخایر ساقه و تعدیل اثرات منفی ناشی از تأخیر در کاشت مفید به نظر می‌رسد.

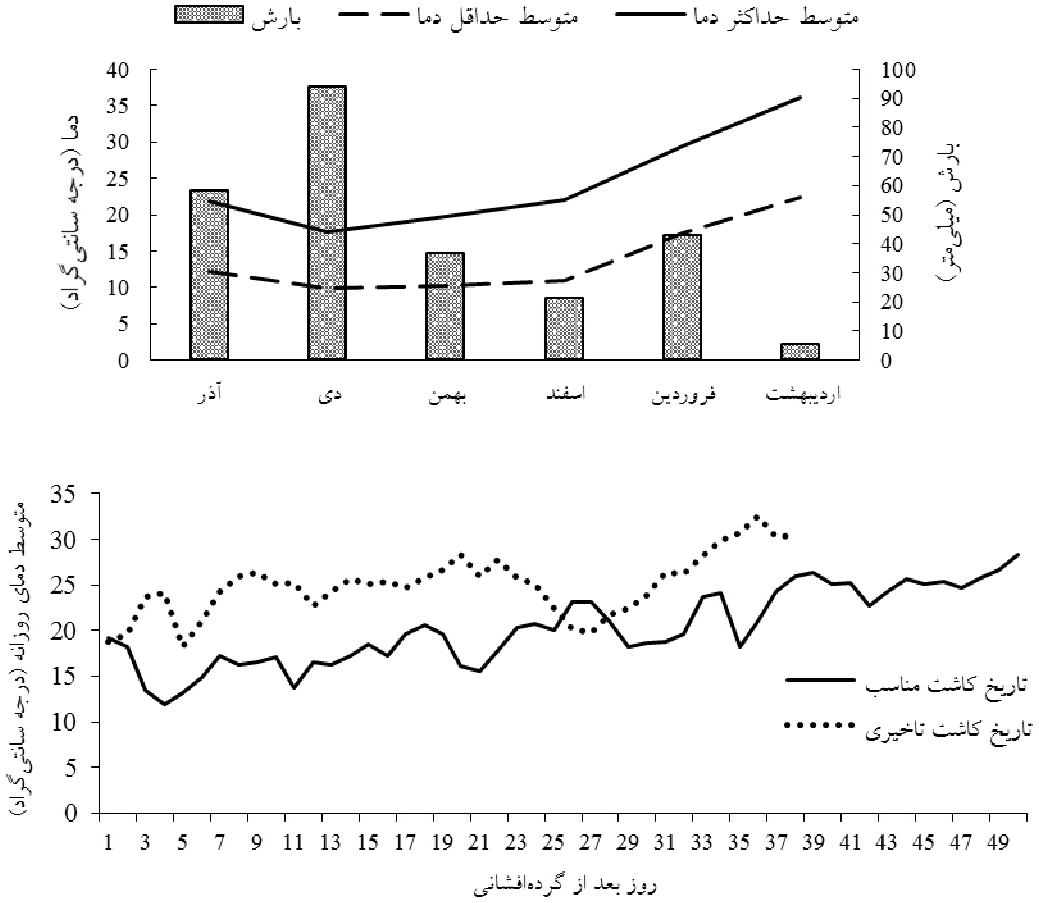
مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای وابسته به دانشگاه آزاد اسلامی رامهرمز واقع در روستای چمن لاله از توابع هفتکل استان خوزستان (عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۲ دقیقه‌ی شرقی و ارتفاع ۲۹۸ متر از سطح دریا) به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل تاریخ کاشت در دو سطح (اول آذر و ۱۲ دی) و عامل فرعی به‌صورت فاکتوریل شامل پنج رقم گندم نان متعلق به گروه رسیدگی نسبتاً زودرس (جدول ۱) و دو سطح کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات با نام تجاری فسفاته بارور (عدم تلقیح و تلقیح بذر) بود. هر گرم کود زیستی فسفاته بارور حاوی 10^7 تا 10^8 باکتری *Pseudomonas putida* سویه P13 و *Pantoea agglomerans* سویه P5 است. تاریخ کاشت اول آذر ماه، تاریخ کاشت توصیه شده در منطقه بود و به‌منظور برخورد مراحل گلدهی و پر شدن دانه گندم با گرمای انتهای فصل، کاشت تأخیری در ۱۲ دی ماه انجام شد (شکل ۱).

به‌منظور آماده سازی زمین پس از ماخار آن، زمین توسط گاوآهن شخم زده شد. سپس با استفاده از دیسک عمود برهم عملیات تسطیح به پایان رسید. هر کرت فرعی به مساحت ۶/۴ مترمربع آماده شد و به‌منظور عدم تداخل تیماری در بین هر کرت فرعی پشته‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر زده شد و برای

جدول ۱. مشخصات ارقام مورد مطالعه

نام رقم	شجره	مبدا	سال معرفی	عادت رشدی	گروه رسیدگی
چمران۲	50Y Attila × Attila/Bacanora	کرج	۱۳۹۲	بهاره	زودرس نسبی
مهرگان	OASIS/SKAUZ//4×BCN/3/2×PASTOR	سیمیت	۱۳۹۳	بهاره	زودرس
سیروان	Prl/2×PASTOR	سیمیت	۱۳۹۰	بهاره	زودرس
شوش	CBRD-3/STORK×DICOCCOIDES	کرج-ایکاردا	۱۳۹۳	بهاره	زودرس نسبی
برات	SLVS×2/PASTOR	سیمیت	۱۳۹۴	بهاره	زودرس نسبی



شکل ۱. متوسط حداقل و حداکثر دما و مجموع بارش ماهانه در طی دوره رشد گندم و متوسط دمای روزانه از زمان گرده‌افشانی تا رسیدگی ارقام مورد مطالعه در دو تاریخ کاشت مناسب (اول آذر) و تاخیری (۱۲ دی) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شهر هفتکل

هر تکرار، جوی مجزا برای آبیاری و جوی مجزا برای خروج زه‌آب احداث شد. میزان مصرف توصیه شده کود شیمیایی بر اساس نتایج حاصل از آزمون خاک (جدول ۲)، ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره، ۱۱۰ کیلوگرم P_2O_5 در

جدول ۲. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

هدایت الکتریکی	pH	کربن آلی	نیتروژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	بافت
($dS\ m^{-1}$)		(درصد)		($mg\ kg^{-1}$)		
۴/۵	۷/۵۴	۰/۶۶	۰/۰۷	۵/۳	۲۰۹	لومی

هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل و ۲۵ کیلوگرم K_2O در هکتار از منبع سولفات پتاسیم بود. بدین منظور، ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره در سه قسط (پس از سبز شدن، پایان پنجه‌زنی و شروع غلاف‌رفتن)، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل به‌صورت پایه و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به‌صورت پایه مصرف شد. هر کرت شامل ۸ ردیف کاشت به فواصل ۲۰ سانتی‌متری بود که با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع کشت شد. شب قبل از کاشت برای سطح تیماری تلقیح بذر با باکتری برای هر رقم، عملیات تلقیح بذر با توجه به توصیه شرکت سازنده زیست فناور سبز (۱۰۰ گرم باکتری برای بذر مورد نیاز در یک هکتار) انجام شد. بدین منظور پس از تهیه محلول باکتری (مخلوط نمودن کود زیستی فسفاته بارور-۲ با آب مقطر و عبور از صافی)، بذور روی پلاستیکی به‌طور یکنواخت پخش و با محلول آماده شده اسپری شدند. پس از گذشت دو ساعت و خشک شدن بذرها، بسته‌بندی بذر مصرفی برای هر خط کاشت انجام شد و بذرها تا زمان کاشت، در محلی تاریک نگهداری شدند. در طی دوره رشد، جهت جلوگیری از مواجه شدن گیاه با تنش کم آبی، آبیاری کرت‌ها با زمان‌بندی مناسب و به‌طور منظم انجام شد.

در مرحله ظهور سنبله، از هر کرت ۴۵ ساقه اصلی مشابه و یکنواخت در ردیف‌های دوم و هفتم علامت‌گذاری شد که برای نمونه‌برداری دوره‌ای مربوط به اندازه‌گیری روند پرشدن دانه، تغییرات وزن خشک ساقه و بررسی انتقال ذخایر ساقه به دانه مورد استفاده قرار گرفتند و ۱۰ ساقه اصلی از ساقه‌های علامت‌گذاری شده نیز برای برآورد وزن سنبله ساقه اصلی در زمان برداشت استفاده شد. از زمان گرده‌افشانی (شکوفا شدن اولین بساک در ۵۰ درصد سنبله‌های علامت‌گذاری شده) تا رسیدگی فیزیولوژیکی به فواصل زمانی پنج روزه، سه ساقه از بین ساقه‌های علامت‌گذاری شده در هر کرت از سطح خاک کف بر و سپس طول ساقه‌ها از قاعده ساقه تا محل اتصال سنبله به ساقه اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس سنبله و برگ‌ها از ساقه جدا شدند و ساقه‌ها به آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و پس از گذشت ۴۸ ساعت و خشک شدن ساقه‌ها، غلاف برگ‌ها حذف و ساقه‌ها توزین شد. در نهایت روند تغییرات وزن خشک ساقه از زمان گرده‌افشانی تا رسیدگی رسم شد. نقطه اوج منحنی به‌عنوان حداکثر وزن خشک ساقه اصلی و وزن ساقه اصلی در زمان رسیدگی به‌عنوان حداقل وزن خشک ساقه اصلی ثبت شد. سپس با استفاده از مقادیر حداکثر (maxW) و حداقل (minW) وزن خشک ساقه اصلی و طول ساقه اصلی (L)، مقادیر حداکثر وزن مخصوص ساقه (maxSW)، حداقل وزن مخصوص ساقه (minSW)، انتقال مجدد ماده خشک ساقه (M)،کارایی انتقال مجدد ماده خشک ساقه (EM)، انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه (Ms) و کارایی انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه (EMs) بر اساس روابط زیر به‌دست آمد (۹ و ۱۴).

$$maxSW = \frac{maxW}{L} \quad (۱)$$

$$minSW = \frac{minW}{L} \quad (۲)$$

$$M = maxW - minW \quad (۳)$$

$$EM = \frac{M}{maxW} \quad (۴)$$

$$Ms = maxSW - minSW \quad (۵)$$

$$EMs = \frac{Ms}{maxW} \quad (۶)$$

در زمان رسیدگی، خطی به طول نیم متر از وسط ردیف‌های سوم و ششم هرکرت به‌منظور محاسبه تعداد سنبله در واحد سطح برداشت شد و با حذف نیم متر طولی از ابتدا و انتهای ردیف‌های چهارم و پنجم، سطحی معادل یک مترمربع برای سنجش عملکرد دانه مورد برداشت قرار گرفت. تاریخ کاشت اول، در اول اردیبهشت ماه و تاریخ کاشت دوم در ۱۵ اردیبهشت ماه برداشت شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها (از طریق آزمون شاپیرو – ویلک)، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. در صورت معنی‌دار بودن مقادیر F برای هر یک از منابع تغییر، مقایسه میانگین اثرات اصلی بر اساس آزمون LSD و به‌منظور مقایسه میانگین اثرات متقابل از روش برش‌دهی با دستور LSmeans استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

ارقام مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری داشتند و عملکرد دانه از تأخیر در کاشت و کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات متأثر شد (جدول ۳). با تأخیر در کاشت، به‌طور میانگین عملکرد دانه ۴۶ درصد کاهش یافت (جدول ۴) و پاسخ ارقام به تغییر تاریخ کاشت متفاوت بود (جدول ۵). در تاریخ کاشت مناسب، رقم چمران۲ از بیشترین عملکرد دانه برخوردار بود، ولی با تأخیر در کاشت، با کاهش ۵۶ درصدی عملکرد دانه روبرو شد. در تاریخ کاشت تأخیری، رقم مهرگان بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح را به خود اختصاص داد و بین ارقام چمران۲، سیروان، شوش و برات اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و هر چهار رقم به‌طور معنی‌داری نسبت به مهرگان از عملکرد دانه پایین‌تری برخوردار بودند (جدول ۵). در پژوهش حاضر، میانگین متوسط دمای روزانه از زمان گرده‌افشانی تا رسیدگی ارقام مورد بررسی در تاریخ کاشت مناسب ۲۰/۷ درجه سانتی‌گراد بود، ولی در تاریخ کاشت تأخیری، میانگین متوسط دمای روزانه از زمان گرده‌افشانی تا رسیدگی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دمای روزانه ۳۱/۴ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱). در حالی که در منابع، دمای بهینه در دوره گلدهی و دانه‌بندی گندم، به‌طور متوسط ۲۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است و با افزایش دما به بالاتر از دمای بهینه، به‌دلیل افزایش تعداد گلچه‌های سقط شده و افزایش عقیمی گرده، پسابیدگی بافت‌ها، کاهش فتوسنتز و تسریع در پیری برگ و کاهش دوره پر شدن دانه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (۳). از طرفی، در این پژوهش، تعداد روز از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی ارقام مورد مطالعه به‌طور متوسط در تاریخ کاشت مناسب ۱۴۰ روز و در تاریخ کاشت تأخیری ۱۱۰ روز و تعداد روز از سبز شدن تا شروع گرده‌افشانی ارقام مورد مطالعه، به‌طور متوسط در تاریخ کاشت مناسب منطقه ۹۱ روز و در تاریخ کاشت تأخیری ۷۲ روز بود. کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی در تاریخ کاشت تأخیری و کاهش رشد رویشی و ضعیف شدن منبع، کاهش طول دوره بحرانی تعیین تعداد دانه در سنبله و ضعیف شدن مقصد و در نهایت کاهش شدید طول دوره پر شدن دانه و وزن تک دانه (شکل ۱ و ۲)، از دیگر پیامدهای ناشی از تأخیر در کاشت در این پژوهش است که در مجموع منجر به کاهش عملکرد دانه شده است.

تلقیح بذر ارقام مورد مطالعه با باکتری‌های حل کننده فسفات در هر دو تاریخ کاشت، به‌طور متوسط، منجر به افزایش ۷/۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط عدم تلقیح شد (جدول ۴). تأثیر مثبت باکتری‌های حل کننده فسفات بر عملکرد دانه در گزارشات مختلف به افزایش آزاد سازی فسفر از منابع نامحلول، تولید هورمون‌های اکسین و سیتوکینین و سنتز و تولید سیدروفورهای کلات کننده آهن و افزایش محتوی کلروفیل نسبت داده شده که با بهبود استقرار گیاه، گسترش سیستم ریشه‌ای و بهبود رشد اندام‌های فتوسنتز کننده، عملکرد دانه افزایش خواهد یافت (۱۰، ۱۳، ۱۶ و ۱۸).

حداکثر طول، وزن خشک و وزن مخصوص ساقه اصلی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر تاریخ کاشت و رقم بر

جدول ۳. خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با تجمع ماده خشک در ساقه و انتقال مجدد آن به دانه، عملکرد و تعداد پنجه بارور در واحد سطح

	درجه آزادی	حداکثر وزن خشک ساقه اصلی	حداکثر وزن مخصوص ساقه اصلی	طول ساقه اصلی	انتقال مجدد ماده خشک	کارآیی انتقال مجدد ماده خشک	انتقال مجدد در واحد طول ساقه	کارآیی انتقال مجدد در واحد طول ساقه	تعداد پنجه بارور	وزن سنبله ساقه اصلی	عملکرد دانه
بلوک	۲	۰/۰۴^{ns}	۴/۹۹^{ns}	۱۴/۱۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۵۴/۸۹^{ns}	۱/۵۲^{ns}	۴۱/۶۳^{ns}	۱۴۶۰^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۴۳۱۴۰۳^{ns}
تاریخ کاشت	۱	۱۰/۱۰**	۵۲۴/۹۳*	۴۵۳۶/۰۱*	۲/۲۳**	۱۸۹۸/۴۴*	۱۴۰/۶۷^{ns}	۹۹۵/۱۲^{ns}	۲۵۳۵^{ns}	۱۲/۴۹**	۱۷۵۵۴۲۴۵۷*
بلوک/تاریخ کاشت	۲	۰/۰۲	۱۶/۹۰	۲۱۱/۲۵	۰/۰۰	۴۷/۶۴	۱۱/۴۳	۲۲۷/۰۴	۳۱۴۰	۰/۰۳	۳۸۸۶۰۶۱
رقم	۴	۰/۴۱**	۵۸/۷۳**	۷۹/۸۲**	۰/۱۶**	۲۹۱/۶۰**	۱۸/۳۰**	۱۶۹/۶۳**	۲۹۸۶۴**	۰/۹۹**	۲۳۲۴۹۸۲**
باکتری	۱	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۹/۶۹^{ns}	۰/۰۳*	۷۱/۴۶*	۱/۰۹^{ns}	۳۹/۷۷^{ns}	۸۴۰۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۲۵۲۸۲۲۹**
تاریخ کاشت× رقم	۴	۰/۲۴**	۱۹/۱۷**	۳۲/۱۹*	۰/۰۶**	۳۶/۱۳^{ns}	۷/۵۴**	۷۹/۱۰*	۱۱۶۳۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۲۰۵۹۳۲۱**
تاریخ کاشت× باکتری	۱	۰/۰۰^{ns}	۱/۰۲^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۱۸/۷۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۸۸۲^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۱۷۴۱۴۵^{ns}
رقم× باکتری	۴	۰/۰۳^{ns}	۳/۵۹^{ns}	۹/۳۶^{ns}	۰/۰۲**	۱۶/۹۳^{ns}	۱/۳۹^{ns}	۱۵/۱۱^{ns}	۲۶۳۱^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۴۵۰۱۶۳^{ns}
تاریخ کاشت× رقم× باکتری	۴	۰/۰۱^{ns}	۱/۷۶^{ns}	۲۰/۲۸^{ns}	۰/۰۲**	۲۸/۷۳^{ns}	۲/۲۵^{ns}	۳۸/۷۱^{ns}	۲۶۶۱^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۲۶۰۹۸۷^{ns}
خطا	۳۶	۰/۰۱	۱/۴۶	۱۲/۸۱	۰/۰۱	۱۴/۶۵	۱/۱۹	۲۶/۸۲	۴۷۸۹	۰/۰۴	۳۴۲۸۴۲
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۸	۶/۸	۴/۲۵	۱۶/۷	۱۵/۵	۲۱/۵	۱۹/۰۹	۱۱/۶۰	۷/۷۰	۱۰/۴

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. ns: غیر معنی‌دار

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات اصلی تاریخ کاشت، رقم و کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات برصفات مورد مطالعه

		حداکثر وزن خشک ساقه اصلی (گرم)	حداکثر وزن مخصوص ساقه اصلی (میلی‌گرم بر سانتی‌متر)	طول ساقه اصلی (سانتی‌متر)	انتقال مجدد ماده خشک ساقه (گرم)	کارآیی انتقال مجدد ماده خشک ساقه (درصد)	انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه (میلی‌گرم بر سانتی‌متر)	کارآیی انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه (درصد)	وزن سنبله ساقه اصلی (گرم)	تعداد پنجه بارور در مترمربع	عملکرد دانه
تاریخ کاشت	مناسب	۱/۹۲^{a}	۲۰/۸^{a}	۹۲/۹^{a}	۰/۶۰^{a}	۳۰/۴^{a}	۶/۶۰^{a}	۳۱/۲^{a}	۲/۹۳^{a}	۶۰۳^{a}	۷۳۴۷^{a}
	تاخیری	۱/۱۰^{b}	۱۴/۹^{b}	۷۵/۵^{b}	۰/۲۲^{b}	۱۹/۱^{b}	۳/۵۴^{a}	۲۳/۱^{a}	۲/۰۱^{b}	۵۹۰^{a}	۳۹۲۶^{b}
	LSD	۰/۱۶	۴/۶	۱۶/۲	۰/۰۴	۷/۷	۳/۷۶	۱۶/۷	۰/۲۰	۶۳	۲۱۹۰
رقم	چمران۲	۱/۵۹^{b}	۱۸/۸^{b}	۸۵/۵^{ab}	۰/۳۹^{c}	۲۱/۶^{bc}	۵/۱۲^{b}	۲۵/۸^{b}	۲/۷۰^{a}	۵۲۱^{c}	۵۹۳۷^{ab}
	مهرگان	۱/۷۷^{a}	۲۱/۲^{a}	۸۱/۸^{c}	۰/۵۶^{a}	۲۹/۲^{a}	۶/۹۲^{a}	۳۱/۴^{a}	۲/۷۹^{a}	۵۷۵^{bc}	۶۰۵۳^{a}
	سیروان	۱/۲۷^{d}	۱۵/۷^{d}	۸۱/۶^{c}	۰/۲۷^{d}	۱۹/۳^{c}	۳/۷۴^{c}	۲۲/۶^{b}	۲/۴۵^{b}	۶۴۸^{a}	۵۵۵۹^{b}
	شوش	۱/۴۲^{c}	۱۶/۳^{cd}	۸۴/۴^{bc}	۰/۳۴^{c}	۲۲/۹^{b}	۴/۱۸^{c}	۲۵/۲^{b}	۲/۰۹^{c}	۶۱۳^{ab}	۴۹۲۹^{c}
	برات	۱/۵۱^{bc}	۱۷/۲^{c}	۸۷/۷^{a}	۰/۴۹^{b}	۳۰/۷^{a}	۵/۳۹^{b}	۳۰/۶^{a}	۲/۳۱^{b}	۶۲۷^{ab}	۵۷۰۳^{ab}
	LSD	۰/۱۰	۱/۰	۳/۰	۰/۰۶	۳/۲	۰/۹۰	۴/۳	۰/۱۶	۵۷	۴۸۵
باکتری	عدم تلقیح	۱/۵۲^{a}	۱۷/۸^{a}	۸۳/۸^{a}	۰/۴۴^{a}	۲۵/۸^{a}	۵/۲۱^{a}	۲۷/۹^{a}	۲/۴۶^{a}	۶۰۸^{a}	۵۴۳۱^{b}
	تلقیح	۱/۵۰^{a}	۱۷/۸^{a}	۸۴/۶^{a}	۰/۳۹^{b}	۲۳/۶^{b}	۴/۹۴^{a}	۲۶/۳^{a}	۲/۴۸^{a}	۵۸۵^{a}	۵۸۴۲^{a}
	LSD	۰/۰۶	۰/۶	۱/۹	۰/۰۴	۲/۰	۰/۵۷	۲/۷	۰/۱۰	۳۶	۳۰۷

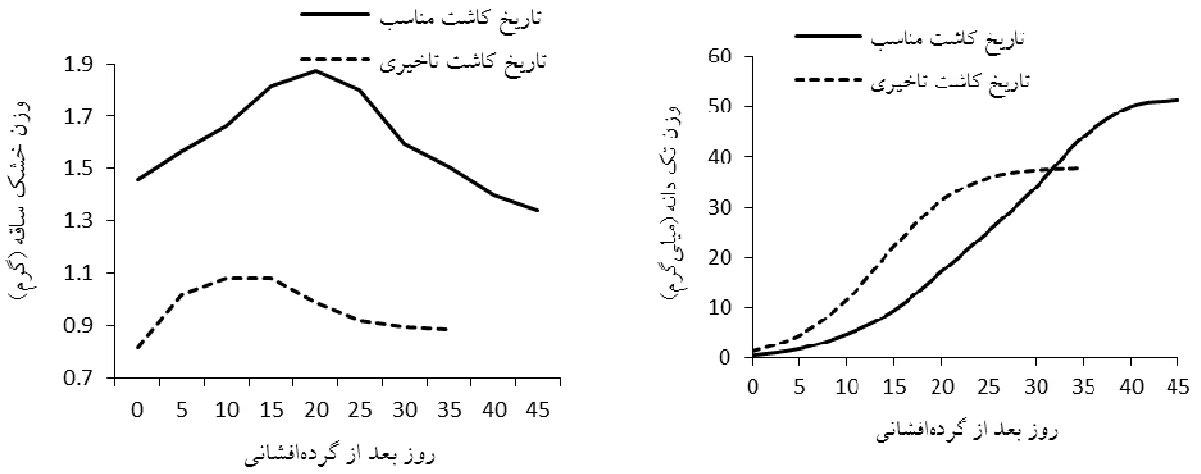
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم برای صفات مورد مطالعه

رقم	حداکثر وزن خشک ساقه اصلی (گرم)		حداکثر وزن مخصوص ساقه اصلی (میلی‌گرم بر سانتی‌متر)		طول ساقه اصلی (سانتی‌متر)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	
	مناسب	تاخیری	مناسب	تاخیری	مناسب	تاخیری	مناسب	تاخیری
چمران۲	۲/۰۴^{b}	۱/۱۴^{ab}	۲۲/۶^{b}	۱۴/۷۳^{bc}	۹۴/۳^{ab}	۷۶/۸^{a}	۸۲۵۶^{a}	۳۶۱۸^{b}
مهرگان	۲/۵۰^{a}	۱/۱۴^{ab}	۲۵/۸^{a}	۱۶/۷^{a}	۹۱/۵^{bc}	۷۲/۲^{b}	۷۲۷۵^{b}	۴۸۳۱^{a}
سیروان	۱/۵۵^{d}	۰/۹۹^{c}	۱۸/۰^{c}	۱۳/۵^{c}	۸۷/۷^{c}	۷۵/۵^{ab}	۷۱۷۶^{b}	۳۹۴۳^{b}
شوش	۱/۸۱^{c}	۱/۰۴^{bc}	۱۸/۸^{c}	۱۳/۸^{c}	۹۲/۹^{b}	۷۵/۸^{ab}	۶۴۴۲^{c}	۳۴۱۶^{b}
برات	۱/۸۲^{c}	۱/۲۱^{a}	۱۸/۷^{c}	۱۵/۷^{ab}	۹۸/۲^{a}	۷۷/۳^{a}	۷۵۸۵^{b}	۳۸۲۲^{b}

رقم	انتقال مجدد ماده خشک ساقه (گرم)		انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه (میلی‌گرم بر سانتی‌متر)		کارآیی انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه (درصد)	
	مناسب	تاخیری	مناسب	تاخیری	مناسب	تاخیری
چمران۲	۰/۵۹^{b}	۰/۱۸^{bc}	۷/۳۲^{b}	۲/۹۰^{c}	۳۲/۳^{ab}	۱۹/۳^{bc}
مهرگان	۰/۸۶^{a}	۰/۲۵^{ab}	۹/۳۹^{a}	۴/۴۶^{ab}	۳۶/۳^{a}	۲۶/۵^{a}
سیروان	۰/۴۱^{c}	۰/۱۲^{c}	۵/۲۰^{c}	۲/۲۸^{c}	۲۸/۹^{b}	۱۶/۳^{c}
شوش	۰/۴۷^{c}	۰/۲۱^{b}	۵/۰۳^{c}	۳/۳۳^{bc}	۲۶/۶^{b}	۲۳/۸^{ab}
برات	۰/۶۶^{b}	۰/۳۱^{a}	۶/۰۷^{c}	۴/۷۱^{a}	۳۱/۹^{ab}	۲۹/۳^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند



شکل ۲. روند تغییرات میانگین وزن خشک ساقه و وزن تک دانه از زمان گرده‌افشانی تا رسیدگی ارقام گندم در دو تاریخ کاشت

صفات حداکثر وزن خشک ساقه، حداکثر وزن مخصوص ساقه و طول ساقه معنی‌دار بود، ولی کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات بر صفات مذکور تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با تأخیر در کاشت، به‌طور متوسط حداکثر وزن خشک ساقه ۴۲/۷ درصد، حداکثر وزن مخصوص ساقه ۲۸/۵ درصد و طول ساقه ۱۸/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۴) و با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم، میزان کاهش صفات مذکور در ارقام مختلف متفاوت بود. در تاریخ کاشت مناسب، رقم مهرگان از لحاظ حداکثر وزن خشک ساقه در رتبه اول قرار داشت و با تأخیر در کاشت، همراه با برات و چمران۲ در مقایسه با سیروان و شوش، حداکثر وزن خشک ساقه بالاتری داشت (جدول ۵). در تاریخ کاشت مناسب، ارقام مورد مطالعه از لحاظ حداکثر وزن مخصوص ساقه در سه گروه دسته‌بندی شدند. بیشترین وزن مخصوص ساقه به رقم مهرگان تعلق داشت و سه رقم سیروان، شوش و برات، در این تاریخ کاشت از وزن مخصوص پایینی برخوردار بودند. رقم مهرگان در تاریخ کاشت تأخیری نیز نسبت به سایر ارقام از حداکثر وزن مخصوص ساقه بالاتری برخوردار بود (جدول ۵). توانایی تجمع ماده خشک در ساقه توسط وزن مخصوص ساقه و طول ساقه تعیین می‌شود و طول دوره رشد رویشی و شرایط محیطی در طی این دوره بر میزان تجمع کربوهیدرات در ساقه تا زمان گرده‌افشانی تأثیرگذار است (۲، ۱۴ و ۲۰). در پژوهش حاضر در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری، حداکثر وزن مخصوص ساقه با حداکثر وزن خشک ساقه همبستگی مثبت معنی‌داری داشت، ولی ارتباط طول ساقه با وزن خشک ساقه معنی‌دار نبود (جداول ۶ و ۷). در تاریخ کاشت مناسب، رقم مهرگان با بیشترین وزن مخصوص ساقه، از بیشترین وزن خشک ساقه برخوردار بود و در تاریخ کاشت تأخیری نیز، این رقم از حداکثر وزن مخصوص و حداکثر وزن خشک بالایی برخوردار بود. در مقابل، رقم سیروان از حداکثر وزن مخصوص ساقه نسبتاً پایین‌تری نسبت به سایر ارقام برخوردار بود و کمترین وزن خشک ساقه را در هر دو تاریخ کاشت به خود اختصاص داد (جدول ۵). در هر حال در رقم چمران۲، به‌طور استثنا، بالا بودن وزن خشک ساقه در تاریخ کاشت تأخیری، به دلیل طول بیشتر ساقه در این تاریخ کاشت بود و با توجه به نتایج به‌دست آمده، وزن مخصوص ساقه در این رقم نسبتاً پایین بود (جدول ۵). نقش وزن مخصوص ساقه به‌عنوان یکی از عوامل تعیین کننده تجمع کربوهیدرات در ساقه توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۲، ۱۴، ۱۹ و ۲۶). در این پژوهش‌ها، ارقامی که از وزن مخصوص ساقه بالاتری برخوردار

جدول ۶. نتایج ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در تاریخ کاشت مناسب منطقه

	حداکثر وزن خشک ساقه (X_1)	حداکثر وزن مخصوص ساقه (X_2)	طول ساقه (X_3)	انتقال مجدد ماده خشک (X_4)	کارایی انتقال مجدد ماده خشک (X_5)	انتقال مجدد در واحد طول ساقه (X_6)	کارایی انتقال مجدد در واحد طول ساقه (X_7)	وزن سنبله (X_8)	تعداد پنجه بارور (X_9)
X_1	۱/۰۰								
X_2	۰/۸۹**	۱/۰۰							
X_3	۰/۱۵ns	−۰/۱۵ns	۱/۰۰						
X_4	۰/۸۷**	۰/۷۸**	۰/۱۶ns	۱/۰۰					
X_5	۰/۵۱**	۰/۴۲*	۰/۲۰ns	۰/۸۵**	۱/۰۰				
X_6	۰/۷۷**	۰/۹۱**	−۰/۱۷ns	۰/۸۲**	۰/۶۲**	۱/۰۰			
X_7	۰/۵۰**	۰/۶۴**	−۰/۱۸ns	۰/۶۸**	۰/۶۵**	۰/۹۰**	۱/۰۰		
X_8	۰/۵۷**	۰/۶۱**	۰/۱۱ns	۰/۴۹**	۰/۲۰ns	۰/۵۱**	۰/۳۱ns	۱/۰۰	
X_9	−۰/۶۵**	−۰/۶۳**	−۰/۱۶ns	−۰/۴۸**	−۰/۱۴ns	−۰/۵۵**	−۰/۳۷*	−۰/۴۰*	۱/۰۰

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. ns: غیر معنی‌دار

جدول ۷. نتایج ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در تاریخ کاشت تأخیری

	حداکثر وزن خشک ساقه (X_1)	حداکثر وزن مخصوص ساقه (X_2)	طول ساقه (X_3)	انتقال مجدد ماده خشک (X_4)	کارایی انتقال مجدد ماده خشک (X_5)	انتقال مجدد در واحد طول ساقه (X_6)	کارایی انتقال مجدد در واحد طول ساقه (X_7)	وزن سنبله (X_8)	تعداد پنجه بارور (X_9)
X_1	۱/۰۰								
X_2	۰/۶۴**	۱/۰۰							
X_3	۰/۱۳ns	−۰/۵۳**	۱/۰۰						
X_4	۰/۷۶**	۰/۷۷**	−۰/۲۸ns	۱/۰۰					
X_5	۰/۵۸**	۰/۷۳**	−۰/۴۱*	۰/۹۶**	۱/۰۰				
X_6	۰/۵۶**	۰/۸۸**	−۰/۵۳**	۰/۹۰**	۰/۹۲**	۱/۰۰			
X_7	۰/۴۷**	۰/۷۶**	−۰/۵۲**	۰/۸۹**	۰/۹۵**	۰/۹۷**	۱/۰۰		
X_8	۰/۳۸*	۰/۴۲*	−۰/۱۵ns	۰/۱۱ns	۰/۰۲ns	۰/۱۳ns	۰/۰۰ns	۱/۰۰	
X_9	−۰/۰۶ns	−۰/۰۴ns	−۰/۰۵ns	۰/۱۴ns	۰/۱۸ns	۰/۱۲ns	۰/۱۷ns	−۰/۰۴ns	۱/۰۰

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. ns: غیر معنی‌دار

بودند، درحقیقت ظرفیت بالاتری برای ذخیره سازی مواد فتوسنتزی در ساقه داشتند (۱۴). طول دوره رشد رویشی و شرایط محیطی در طی این دوره از دیگر عوامل مؤثر بر میزان تجمع کربوهیدرات در ساقه تا زمان گرده‌افشانی شناخته شده

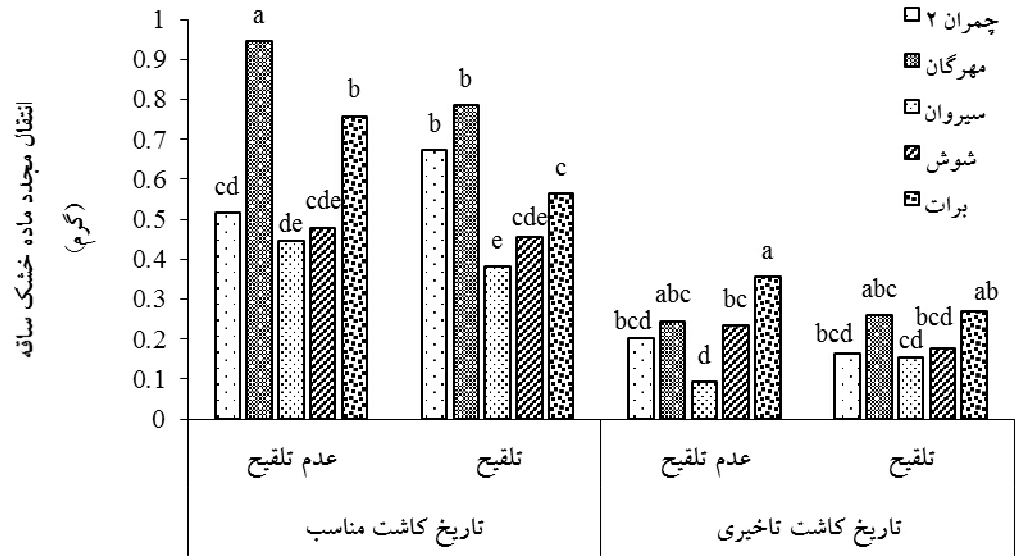
است (۲۰). با توجه به این که ارقام مورد مطالعه در پژوهش حاضر، مراحل فنولوژیکی تقریبا یکسانی داشتند، شرایط رشدی پیش از گرده‌افشانی و طول دوره رشد رویشی در این ارقام یکسان بود و تفاوت موجود در اقام مورد مطالعه از لحاظ تجمع ماده خشک در ساقه ارتباطی به این دو عامل نداشت، ولی تفاوت بین دو تاریخ کاشت از لحاظ تجمع ماده خشک در ساقه، به‌خوبی توسط این دو عامل قابل توضیح است. در این پژوهش، تعداد روز از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی ارقام مورد مطالعه به‌طور متوسط در تاریخ کاشت مناسب ۱۴۰ روز و در تاریخ کاشت تأخیری ۱۱۰ روز و تعداد روز از سبز شدن تا شروع گرده‌افشانی ارقام مورد مطالعه، به‌طور متوسط در تاریخ کاشت مناسب منطقه ۹۱ روز و در تاریخ کاشت تأخیری ۷۲ روز بود. کاهش طول دوره رویشی و تسریع مراحل فنولوژیکی در تاریخ کاشت تأخیری، با کاهش گنجایش ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی (وزن مخصوص ساقه و طول ساقه) همراه بود و تجمع مواد فتوسنتزی در ساقه را محدود کرد (۷، ۲۱ و ۲۴). از طرفی، در تاریخ کاشت مناسب تجمع ماده خشک در ساقه تا ۲۰ روز بعد از گرده‌افشانی ادامه یافت، در حالی‌که در تاریخ کاشت تأخیری به‌دلیل شروع زودهنگام فاز خطی رشد دانه، تجمع ماده خشک در ساقه در ۱۰ تا ۱۵ روز بعد از گرده‌افشانی متوقف شد (شکل ۲). در این شرایط متوسط کاهش ۴۲/۷ درصدی حداکثر وزن خشک ساقه دور از ذهن نیست.

سرعت تولید مواد فتوسنتزی و تسهیم این مواد بین نیاز جاری بخش رویشی و بخش ذخیره‌ای، یکی از عوامل دیگری است که منجر به تفاوت دسترسی به مواد پرورده و در نهایت منجر به تفاوت در تجمع این مواد در ساقه می‌شود (۲۵). در تاریخ کاشت مناسب، بین تعداد پنجه بارور و حداکثر وزن خشک و وزن مخصوص ساقه ارتباط منفی معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۶) و ارقامی که از تعداد پنجه بیشتری برخوردار بودند (جدول ۴)، به‌دلیل افزایش نیاز جاری بخش رویشی، کربوهیدرات کمتری در ساقه ذخیره کرده و از این‌رو، حداکثر وزن خشک ساقه در این ارقام کمتر بود (جداول ۴ و ۵). وجود ارتباط منفی بین میزان تجمع ذخایر در ساقه و تعداد پنجه بارور در واحد سطح توسط درسر و همکاران (۱۲) و روسکا و همکاران (۲۵) نیز گزارش شده است و ایشان، تعداد پنجه در واحد سطح را یکی از عوامل تأثیرگذار بر تنوع ارقام از لحاظ تجمع کربوهیدرات در ساقه معرفی کردند. با این وجود در تاریخ کاشت تأخیری پژوهش حاضر، بین تعداد پنجه بارور و وزن خشک ساقه ارتباط معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). در این تاریخ کاشت، کاهش شدید گنجایش ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در ساقه از یک طرف و کاهش میزان مواد فتوسنتزی مازاد بر نیاز گیاه از طرف دیگر، از دلایل کاهش تجمع مواد فتوسنتزی در ساقه ارقام مورد مطالعه بود و اختلاف بین ارقام به چگونگی پاسخ ارقام به شرایط پیش آمده بستگی داشت.

میزان انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد ماده خشک

در پژوهش حاضر، انتقال مجدد ماده خشک ساقه به دانه در حال رشد، به‌طور معنی‌داری در تاریخ کاشت مناسب در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح بذر، بیشتر از تاریخ کاشت تأخیری بود (شکل ۳). بیشترین انتقال مجدد ماده خشک در تاریخ کاشت مناسب به رقم مهرگان در شرایط عدم تلقیح با باکتری و پس از آن به رقم مهرگان در شرایط تلقیح با باکتری، رقم برات در شرایط عدم تلقیح و رقم چمران۲ در شرایط تلقیح با باکتری اختصاص داشت و رقم سیروان در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح بذر با باکتری، کمترین انتقال مجدد ماده خشک ساقه به دانه در حال رشد را به خود اختصاص داد. در تاریخ کاشت تأخیری نیز رقم سیروان در هر دو شرایط عدم تلقیح و تلقیح با باکتری، نسبت به سایر سطوح تیماری از انتقال مجدد ماده خشک ساقه پایین‌تری برخوردار بود و میزان انتقال مجدد در برات در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح با باکتری و پس از آن مهرگان در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح بالاتر از سایر سطوح تیماری بود (شکل ۳).

کارایی انتقال مجدد ماده خشک ساقه به دانه در حال رشد نیز با تأخیر در کاشت، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و رقم



شکل ۳. مقادیر انتقال مجدد ماده خشک ساقه پنج رقم گندم در دو شرایط عدم تلقیح و تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات در تاریخ کاشت مناسب و تاخیری منطقه، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

مهرگان و برات در هر دو تاریخ کاشت بیشترین کارایی انتقال مجدد ماده خشک و رقم سیروان کمترین کارایی انتقال مجدد ماده خشک ساقه به دانه در حال رشد را داشتند (جدول ۴). میزان تجمع مواد پرورده در ساقه قبل و بعد از گرده‌افشانی تا زمان شروع رشد خطی دانه، قدرت مخزن (به‌ویژه تعداد دانه در سنبله) و شرایط محیطی در طول دوره پر شدن دانه بر میزان انتقال و کارایی انتقال ماده خشک ذخیره شده در ساقه به دانه تأثیر می‌گذارد (۱۴). میروساولوجیک و همکاران (۲۰)، شرایط نامساعد محیطی در طی پر شدن دانه و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه را از دیگر عوامل مؤثر بر میزان انتقال و کارایی انتقال مجدد ماده خشک ساقه به دانه عنوان کردند. در پژوهش حاضر، کاهش وزن مخصوص ساقه (۲۸/۵ درصد)، کاهش رشد طولی ساقه (۱۸/۷ درصد) و کاهش شدید طول دوره مؤثر پر شدن دانه (۳۸/۳ درصد) مهم‌ترین دلایل کاهش میزان انتقال مجدد ماده خشک به ساقه و کارایی این انتقال در تاریخ کاشت تأخیری به شمار می‌روند. با کاهش رشد رویشی و کاهش ظرفیت و گنجایش ذخیره‌سازی ماده خشک در ساقه، ذخایر گیاه برای استفاده مجدد در طی دوره پر شدن دانه ناکافی شده و از طرف دیگر، با توقف زود هنگام روند پر شدن دانه، فرصت زمانی گیاه برای استفاده از همین ذخایر محدود نیز ناکافی شده است (شکل ۲). به‌طور کلی، در آن دسته از تحقیقاتی که اعمال تنش گرما در دوره پر شدن دانه، از طریق تأخیر در کاشت صورت گرفته است، علاوه بر اثرات منفی تنش گرما در مرحله زایشی گیاه، کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی و برخورداری گیاه از منبعی ضعیف‌تر بر نتایج به‌دست آمده تأثیرگذار خواهد بود. در این تحقیقات، با تأخیر در کاشت در مقایسه با تاریخ کاشت بهینه، به‌دلیل تسریع مراحل نموی و کوتاه شدن طول دوره رشد ساقه، میزان تجمع کربوهیدرات در ساقه و میزان انتقال ذخایر ساقه به دانه کاهش یافت، ولی یافته‌های به‌دست آمده در خصوص تأثیر تأخیر در کاشت بر کارایی انتقال ذخایر و سهم ذخایر در رشد دانه متغیر و در برخی تحقیقات افزایشی (۲۱ و ۲۴) و در برخی دیگر کاهشی (۷ و ۲۰) بود. کاهش صفات میزان تجمع ماده خشک در ساقه، انتقال ذخایر ساقه به دانه و کارایی انتقال ذخایر به دانه‌های در حال رشد در تاریخ

کاشت تأخیری، با یافته‌های میروساولجویک و همکاران (۲۰) و آینه‌بند و همکاران (۷) مطابقت داشت. با توجه به کاهش شدید حداکثر وزن خشک ساقه ارقام مورد مطالعه در تاریخ کاشت تأخیری نسبت به تاریخ کاشت مناسب منطقه و از آنجایی که وزن ساقه متاثر از طول ساقه است، در این پژوهش، انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه نیز، مورد بررسی قرار گرفت تا با حذف اثر طول ساقه، مقایسه صحیح‌تری بین ارقام و دو تاریخ کاشت انجام شود. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، تنها تأثیر رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم برای این دو صفت معنی‌دار بود و اگرچه تفاوت بین دو تاریخ کاشت از لحاظ میزان انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۳)، ولی نتایج اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم برای این دو صفت، به روشنی کاهش معنی‌دار میزان انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه در تمامی ارقام و کاهش معنی‌دار کارایی انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه در ارقام چمران۲، مهرگان و سیروان را در تاریخ کاشت تأخیری نشان داد (جدول ۵).

در رابطه با چگونگی تأثیر کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات بر انتقال مجدد ماده خشک، در تاریخ کاشت مناسب، انتقال مجدد ماده خشک همه ارقام به استثنای چمران۲ در شرایط عدم تلقیح بیشتر از شرایط تلقیح با باکتری بود، ولی در تاریخ کاشت تأخیری، اختلاف معنی‌داری بین تلقیح و عدم تلقیح بذر هر یک از ارقام مشاهده نشد (شکل ۳). از طرفی کارایی انتقال مجدد ماده خشک ساقه با تلقیح بذر با باکتری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و در هر دو تاریخ کاشت، کارایی انتقال مجدد ماده خشک ساقه ارقام مورد مطالعه، در شرایط تلقیح بذر با باکتری، به‌طور متوسط ۸/۵ درصد کمتر از شرایط عدم تلقیح بود (جدول ۴). به‌دلیل تأثیر مثبت باکتری‌های حل کننده فسفات موجود در کود فسفاته بارور بر قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود رشد اندام‌های فتوسنتز کننده، به نظر می‌رسد که فتوسنتز جاری در طی پر شدن دانه برای مدت طولانی تری تداوم داشته و نیاز گیاه به استفاده از ذخایر ساقه و انتقال آن به دانه کاهش یافته است (۱۰، ۱۵ و ۱۸). با تلقیح بذر ارقام مورد مطالعه با باکتری‌های حل کننده فسفات، انتقال و کارایی انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه نیز کاهش یافت، ولی این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۴). در پژوهش حکم علی‌پور و سید شریفی (۱۸) نیز بیشترین انتقال ماده خشک از ساقه به دانه در حال رشد به سطح تیماری عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد اختصاص داشت. ایشان اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد گیاه قابلیت دسترسی و استفاده از عناصر غذایی را افزایش داده و با بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و حفظ فتوسنتز جاری در طی دوره پر شدن دانه، نیاز به انتقال مجدد ماده خشک از ساقه به دانه را کاهش دادند. در پژوهش ناصری و همکاران (۲۳) نیز در شرایط کاربرد باکتری‌های محرک رشد سودوموناس پوتیدا و قارچ مایکوریزا، شاخص سطح برگ افزایش یافت و با افزایش میزان فتوسنتز در گیاه و افزایش توانایی منبع در تامین نیاز مخزن، میزان انتقال مجدد ماده خشک کاهش یافت.

در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری، رقم مهرگان از حداکثر وزن خشک و حداکثر وزن مخصوص ساقه بالایی برخوردار بود (جدول ۵) و میزان انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد ماده خشک (کل ساقه و در واحد طول ساقه) در این رقم (به‌ویژه در تاریخ کاشت مناسب) بیشتر از سایر ارقام بود (جدول ۵ و شکل ۳). در رقم سیروان و شوش که در هر دو تاریخ کاشت، حداکثر وزن خشک و حداکثر وزن مخصوص کمتری نسبت به سایر ارقام داشتند (جدول ۵)، میزان انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد ماده خشک، به‌ویژه در رقم سیروان، کمتر از سایر ارقام بود (شکل ۳ و جدول ۴). نتایج ضرایب همبستگی ارائه شده در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری (جداول ۶ و ۷) نیز نشان داد که وزن مخصوص ساقه به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میزان تجمع ماده خشک در ساقه، با انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد ماده خشک همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. این روابط نقش تعیین کننده

توانایی تجمع آسیمیلات در ساقه بر میزان انتقال مجدد ماده خشک به دانه را تایید می‌کنند. بر این اساس، ارقامی که از وزن مخصوص ساقه بالاتری برخوردار باشند، درحقیقت ظرفیت بالاتری برای ذخیره سازی مواد فتوسنتزی در ساقه داشته و توانایی بالاتری برای انتقال این ذخایر به دانه دارند (۱۴). وجود ارتباط قوی و معنی‌دار بین وزن مخصوص ساقه با انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد ذخایر ساقه به دانه با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد (۷، ۱۴ و ۱۹). باقری‌کیا و همکاران (۹) ارتباط وزن مخصوص ساقه گندم با انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه را مثبت و معنی‌دار گزارش کردند.

با توجه به این که در پژوهش حاضر ارزیابی صفات مرتبط با تجمع ماده خشک در ساقه و انتقال مجدد این ذخایر به دانه روی ساقه اصلی انجام شد، ارتباط این صفات با وزن سنبله ساقه اصلی نیز مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج ضرایب همبستگی در هر دو تاریخ کاشت، حداکثر وزن خشک و وزن مخصوص ساقه با وزن سنبله ساقه اصلی همبستگی مثبت معنی‌داری داشتند و ارتباط وزن سنبله با حداکثر وزن مخصوص ساقه قوی‌تر بود (جداول ۶ و ۷)، ولی همبستگی وزن سنبله ساقه اصلی با انتقال مجدد ماده خشک در واحد طول ساقه فقط در تاریخ کاشت مناسب مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۶). وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین وزن ساقه و وزن سنبله توسط طالب زاده و همکاران (۲۹) نیز گزارش شده است، ولی ارتباط بین وزن سنبله و عملکرد دانه با انتقال مجدد ماده خشک در منابع مختلف، بسته به نوع تنش، ارقام مورد مطالعه و شدت تنش متفاوت بود. در مطالعه جودی و وان‌دن‌اند (۱۹) ارتباط معنی‌داری بین انتقال مجدد ماده خشک و عملکرد دانه یافت نشد و ارتباط انتقال مجدد ماده خشک و عملکرد دانه بسته به رقم مورد مطالعه متفاوت بود، درحالی‌که در مطالعه نوریانی (۲۴) در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری، بین عملکرد دانه و میزان توزیع مجدد ماده خشک همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده شد. طالب زاده و همکاران (۲۹) ارتباط وزن سنبله با میزان انتقال مجدد ماده خشک در شرایط رطوبتی بهینه را غیر معنی‌دار و در شرایط تنش خشکی مثبت و معنی‌دار عنوان کردند. وجود همبستگی مثبت بین وزن سنبله و انتقال مجدد ماده خشک، حاکی از نقش سهم ذخایر تجمع یافته در ساقه تا زمان گرده‌افشانی در پر شدن دانه است (۲۰) و عدم وجود ارتباط معنی‌دار، حاکی از واکنش متفاوت ارقام در استفاده از منابع فتوسنتزی جاری یا ذخایر موجود در ساقه است (۳۰). ظرفیت ذاتی ارقام برای ذخیره کربوهیدرات در ساقه قبل و بعد از گرده‌افشانی تا زمان شروع رشد خطی دانه و کارایی انتقال این ذخایر به دانه، قدرت مخزن، شرایط نامساعد محیطی در طی پر شدن دانه و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه از جمله عوامل تأثیرگذار بر میزان سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه محسوب می‌شوند (۲، ۱۴ و ۲۰). در پژوهش حاضر، رقم مهرگان که در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری از وزن سنبله اصلی و عملکرد دانه بالایی برخوردار بود (جداول ۴ و ۵) و بالاترین وزن مخصوص ساقه را در هر دو تاریخ کاشت به خود اختصاص داد. این رقم در تاریخ کاشت مناسب با بهره‌گیری از شرایط محیطی مساعد در دوره پر شدن دانه و تداوم تجمع نشاسته در دانه در زمانی طولانی‌تر، با کارایی بالایی از ذخایر ساقه استفاده کرد و از این‌رو، از وزن سنبله بالایی نیز برخوردار بود. در تاریخ کاشت تأخیری نیز با وجود کاهش معنی‌دار میزان ذخایر موجود در ساقه در تمامی ارقام، رقم مهرگان با توجه به توانایی ذاتی خود در تجمع مواد پرورده در ساقه، از ذخایر بیشتری برخوردار بود و با افزایش سرعت پروسه‌های متابولیکی دخیل در سنتز نشاسته در دانه (۶)، از فرصت محدود استفاده نمود و با استفاده از منابع ذخیره شده در ساقه، از کاهش شدید عملکرد دانه در تاریخ کاشت تأخیری جلوگیری کرد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، کاهش وزن مخصوص و طول ساقه و کاهش شدید طول دوره مؤثر پر شدن

دانه مهم‌ترین دلایل کاهش میزان انتقال مجدد ماده خشک به ساقه و کارایی این انتقال در تاریخ کاشت تأخیری بودند. با کاهش رشد رویشی و کاهش ظرفیت و گنجایش ذخیره‌سازی ماده خشک در ساقه، ذخایر گیاه برای استفاده مجدد در طی دوره پر شدن دانه ناکافی شد و علاوه بر این، با توقف زود هنگام روند پر شدن دانه، فرصت زمانی گیاه برای استفاده از همین ذخایر محدود نیز ناکافی شد. کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات بر تجمع ماده خشک در ساقه تأثیر معنی‌داری نداشت، ولی میزان انتقال و کارایی انتقال مجدد ماده خشک، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بر اساس نتایج ضرایب همبستگی وزن مخصوص ساقه مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میزان تجمع ذخایر در ساقه بود و با انتقال و کارایی انتقال مجدد ماده خشک همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. رقم مهرگان که در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری به‌طور متوسط از عملکرد دانه و وزن سنبله اصلی بالایی برخوردار بود، با توانایی ذاتی خود در تجمع مواده پرورده در ساقه و بالاترین وزن مخصوص ساقه، از منابع ذخیره‌ای در ساقه در فرصت محدود استفاده نمود و از کاهش شدید عملکرد دانه در تاریخ کاشت تأخیری جلوگیری کرد.

منابع مورد استفاده

1. Abd El-Daim, I. A., S. Bejai and J. Meijer. 2014. Improved heat stress tolerance of seedling by bacterial seed treatment. *Plant and Soil* 379: 337-350.
2. Abdoli, M. 2019. Remobilization of photoassimilates a strategy to deal with drought stress in wheat. *Journal of Wheat Research* 2(1): 87-104. (In Farsi).
3. Akter, N. and M. Rafiqul Islam. 2017. Heat stress effects and management in wheat, A review. *Ageonomy for Sustainable Development* 37: 1-17.
4. Ali, S. Z., V. Sandhya, M. Grover, V. R. Linga and V. Bandi. 2011. Effect of inoculation with a thermotolerant plant growth promoting *Pseudomonas putida* strain AKMP7 on growth of wheat (*Triticum* spp.) under heat stress. *Journal of Plant Interactions* 6(4): 239-246.
5. Alvaro, F., J. Isidro, D. Villegas, L. F. Garcia del Moral and C. Royo. 2008. Breeding effect on grain filling, biomass partitioning, and remobilization in Mediterranean durum wheat. *Agronomy Journal* 100: 361-370.
6. Aslani, A. and M. Mojtabaie Zamani. 2021. The Effect of phosphate solubilizing bacteria on the reaction of bread wheat cultivars to late-season heat stress. *Journal of Crops Improvemen*t 23 (4): 683-698.
7. Aynehband, A., M. Valipoor and E. Fateh. 2011. Stem reserve accumulation and mobilization in wheat (*Triticum aestivum* L.) as affected by sowing date and N-P-K levels under Mediterranean conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35: 319-331.
8. Bagherikia, S., M. Pahlevani, A. Yamchi, K. Zenalinezhad and A. Mostafaie. 2018 a. Remobilization of stem soluble carbohydrates in bread wheat under terminal drought stress. *Journal of Plant Process and Function* 7(24): 53-72. (In Farsi).
9. Bagherikia, S., M. Pahlevani, A. Yamchi, K. Zenalinezhad and A. Mostafaie. 2018 b. Mutation breeding by gama irradiation for improvement of assimilate remobilization and production in wheat. *Journal of Crop Production* 10(3): 77-101. (In Farsi).
10. Bahari saravi, S. H. and H. Pirdashti. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and phosphate solubilizing microorganism (PSM) on yield and yield components of wheat (cv. N80) under different nitrogen and phosphorous fertilizers levels in greenhouse condition. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(4): 681-689. (In Farsi).
11. Cossani, C. M. and M. P. Reynolds. 2012. Physiological traits for improving heat tolerance in wheat. *Plant Physiology* 160: 1710-1718.
12. Dreccer, M. F., A. F. Van Herwaarden and S. C. Chapmam. 2009. Grain number and grain weight in wheat lines contrasting for stem water soluble carbohydrate concentration. *Field Crops Research* 112: 43-54.
13. Dutkiewicz, J., B. Mackiewick, M. K. Lemieszek, M. Golec and J. Milanowski. 2016. Pantoea agglomerans: A mysterious bacterium of evil and good. Part IV. beneficial effects. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 23(2): 206-222.
14. Ehdaie, B., G. A. Allousa, M. A. Madore and J. G. Waines. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I. Postanthesis changes in internode dry matter. *Crop Science* 46(2): 735-746.

15. Eisvand, H. R., H. Kamaei and F. Nazarian. 2018. Chlorophyll fluorescence, yield and yield components of bread wheat affected by phosphate bio-fertilizer, Zinc and Boron under late-season heat stress. *Photosynthetica* 56(4): 1287-1296.
16. Goswami, M. and S. Deka. 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria-alleviators of abiotic stresses in soil: A review. *Pedosphere* 30(1): 40-61.
17. HanumanthaRao, B., R. M. Nair and H. Nayyar. 2016. Salinity and high temperature tolerance in Mungbeen (*Vigna radiate* L.) from a physiological perspective. *Frontiers in Plant Science* 7(957): 1-20.
18. Hokmalipour, S. and R. S. Sharifi. 2016. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobactria on dry matter remobilization of spring barley at different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers. *Iranian Journal of Soil Research* 29(4): 407-425. (In Farsi).
19. Joudi, M. and W. Vanden Ende. 2018. Genotypic variation in pre- and post-anthesis dry matter remobilization in Iranian wheat cultivas: associations with stem characters and grain yield. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 54(3): 123-134.
20. Mirosavljevic, M., N. Przulj, V. Momcilovic, N. Hristov and I. Maksimovic. 2015. Dry matter accumulation and remobilization in winter barley as affected by genotype and sowing date. *Genetika* 47(2): 751-763.
21. Modhej, A., Y. Emam and A. Ayeneband. 2011. Effect of nitrogen levels on source restriction and the pattern of assimilate redistribution to grains in wheat genotypes under post-anthesis heat stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 9(3): 474-485. (In Farsi).
22. Mojtabaie Zamani, M., M. Nabipour and M. Meskarbashee. 2014. Stem water soluble carbohydrate remobilization in wheat under heat stress during the grain filling. *International Journal of Agriculture and Biology* 16: 401-405.
23. Naseri, R., M. Barary, M. J. Zarea, K. Khavazi and Z. Tahmasebi. 2017. Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Soil Biology* 5(1): 49-67. (In Farsi).
24. Nouriyani, H. 2015. Effect of paclobutrazol on the amount of redistribution of assimilates to the grain of three cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) under heat tension conditions. *Crop Physiology Journal* 7(25): 89-104. (In Farsi).
25. Ruuska, S. A., G. J. Rebetzke, A. F. Van Herwaarden, R. A. Richards, N. A. Fettell, L. Tabe and C. L. D. Jenkins. 2006. Genotypic variation in water-soluble carbohydrate accumulation in wheat. *Functional Plant Biology* 33: 799-809.
26. Saeidi, M., F. Moradi and S. Jalali Honarmand. 2011. Contribution of spike and leaves photosynthesis and soluble stem carbohydrates remobilization in grain yield formation in two bread wheat cultivars under postanthesis stress conditions. *Seed and Plant Production Journal* 27(1): 1-19. (In Farsi).
27. Sarkar, J., B. Chakraborty and U. Chakraborty. 2018. Plant growth promoting rhizobacteria protect wheat plant against temperature stress through antioxidant signalling and reducing chloroplast and membrane injury. *Journal of Plant Growth Regulation* 37: 1396-1412.
28. Tahir, I. S. A. and N. Nakata. 2005. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191: 106-115.
29. Talebzadeh, S. J., H. Hadi, R. Aminia, M. Tajbakhsh and M. Rezaie. 2018. Evaluation of sink limitation and assimilates distribution of wheat genotypes under terminal drought stress. *Journal of Crops Improvement* 19(3): 717-732. (In Farsi).
30. Yang, J., R. G. Sears, B. S. Gill and G. M. Paulsen. 2002. Genetic differences in utilization of assimilate sources during maturation of under chronic heat and heat shock stresses. *Euphytica* 125: 179-188.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Delayed Sowing and Application of Phosphate Solubilizing Bacteria on Dry Matter Accumulation and Remobilization in Bread Wheat Cultivars

A. Aslani[1] and M. Mojtabaie Zamani[2*]

(Received: October 09-2021; Accepted: November 27-2021)

Abstract

In order to evaluate the ability of wheat cultivars to accumulate reserves in the stem and remobilization of these reserves to seeds under heat stress resulting from delayed sowing and to investigate the effect of phosphate-solubilizing bacteria on this ability, this study was carried out as split factorial based on a complete randomized block design with three replications in Haftkol, Khuzestan, Iran, in the growing season of 2016-2017. The main factor consisted of sowing date in two levels (22 November as conventional and 2 January as delayed seeding dates) and a factorial of the two subfactors consisting of five bread wheat cultivars (Chamran2, Mehregan, Sirvan, Shush and Barat) and two levels of application of phosphate solubilizing bacteria, *Pseudomonas putida* (P13) and *Pantoea agglomerans* (P5), (inoculation and without inoculation). The results showed that the reduction of stem specific weight (28.5%), stem length (18.7%) and effective grain filling duration (38.3%) were the most important reasons for reducing dry matter remobilization to stem and the efficiency of this remobilization in delayed sowing. At both sowing dates under bacterial seed inoculation conditions, the dry matter remobilization efficiency was 8.5% lower than the non-inoculated conditions. In the conventional sowing date, the relationship between spike weight and dry matter remobilization was positive and significant, but at delayed sowing date, spike weight and grain yield were not significantly related to dry matter remobilization and efficiency. In general, stem specific weight was recognized as the most important factor affecting the accumulation of reserves in the stem and Mehregan cultivar, with the ability to utilize stem reserves, was introduced as a suitable cultivar for delayed cultivation in the region.

Keywords: Biofertilizer, Heat stress, Remobilization efficiency, Stem specific weight

1, 2. Former MSc. Student of Agroecology and Assistant Professor, respectively, Department of Agriculture, Ramhormoz Branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran
*: Corresponding Author, Email: mahroo.mojtabaei@gmail.com