

بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نان به تنش گرما در دوره پر شدن دانه در شرایط اهواز

مهر و مجتبی‌ی زمانی^۱، مجید نبی پور^{۲*} و موسی مسکرباشی^۳

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- نویسنده مسوول: استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز (nabipourm@yahoo.com)

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۶

تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۵

چکیده

به منظور بررسی تاثیر تنش گرما طی دوره پر شدن دانه بر صفات عملکرد، اجزای عملکرد، سرعت و دوره پر شدن دانه گندم، آزمایشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط محیطی شهر اهواز اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل ده ژنوتیپ گندم نان میان‌رس (چمران، اترک، افلاک، دز، فلات، داراب ۲، کویر، پیشناز، S-78-11 و S-83-3) و دو تاریخ کاشت مناسب (۲۲ آبان ماه) و تاخیری (اول دی ماه) بودند. نتایج نشان داد که تاخیر در کاشت منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد دانه همه ژنوتیپ‌ها شد. رقم اترک (۸/۲ درصد) کمترین و رقم پیشناز (۲۶/۳ درصد) بیشترین کاهش عملکرد در واحد سطح را به خود اختصاص دادند. در تاریخ کاشت تاخیری ارقام کویر و چمران بیشترین (به ترتیب ۵۸۴/۳ و ۵۷۹/۸ گرم در مترمربع) و رقم پیشناز کمترین (۴۴۶/۳ گرم در مترمربع) عملکرد دانه را تولید کردند. بر اساس شاخص حساسیت به تنش، رقم اترک متحمل، ارقام چمران، کویر، دز، فلات و افلاک از ارقام نیمه‌متحمل و لاین‌های S-78-11 و S-83-3 و ارقام داراب ۲ و پیشناز حساس شناخته شدند. نتایج نشان داد که کاهش وزن هزار دانه در تاریخ کاشت تاخیری ناشی از کاهش دوره موثر پر شدن دانه بود و افزایش سرعت پر شدن دانه نتوانست کاهش طول دوره پر شدن دانه را جبران کند. به‌طور کلی به‌نظر می‌رسد که سرعت زیادتر رشد دانه در شرایط تنش گرما طی دوره پر شدن دانه به‌تنهایی نمی‌تواند منجر به عملکرد زیادتر در یک ژنوتیپ شود و عوامل دیگری نظیر دوره پر شدن دانه و تعداد دانه در سنبله از اهمیت زیادتری برخوردارند.

کلید واژه‌ها: تنش انتهای فصل، رشد دانه، شاخص حساسیت به تنش، گندم

مقدمه

تغییرات اقلیمی و پدیده گرمایش جهانی، پیامدهای قابل توجهی بر تولید محصولات زراعی دارد. بر اساس مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی تا پایان قرن جاری متوسط دمای محیط بین ۱/۸ تا ۵/۸ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد (فاروق و همکاران^۱، ۲۰۱۱). میانگین دمای بهینه برای دوره پر شدن دانه گندم ۲۰ درجه سانتیگراد است (پورتر

و گاویس^۲، ۱۹۹۹) و به ازای یک درجه سانتیگراد بالاتر از دمای بهینه، ۳-۴ درصد عملکرد دانه کاهش می‌یابد (چاودهری و واردلاو^۳، ۱۹۷۸). بدلیل افزایش متوسط دما ناشی از تغییرات اقلیمی، تولید گندم تا سال ۲۰۵۰ میلادی در کشورهای در حال توسعه (که حدود ۶۶ درصد از کل گندم جهان را تولید می‌کنند)، ۲۰ تا ۳۰

2- Porter & Gawith

3- Chowdhury & Wardlaw

1- Farooq *et al.*

کردند که تاخیر در کاشت منجر به کاهش معنی دار در عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، دوره پر شدن دانه، طول سنبله و طول پدانکل شد. مشتقی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی اثر چهار تاریخ کاشت در خوزستان بر عملکرد و اجزای عملکرد ۲۰ رقم گندم نان بهاره اعلام کردند که تاخیر در کاشت بدلیل وقوع تنش گرمای انتهایی فصل از طریق کوتاه کردن دوره های رشد و نمو باعث کاهش تعداد سنبله در متر مربع، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت شد.

وزن نهایی دانه یکی از اجزای اصلی تعیین کننده عملکرد، تحت تاثیر سرعت و طول دوره پر شدن دانه قرار می گیرد. کاهش وزن نهایی دانه در اثر دمای زیاد یا بدلیل کاهش دوره پر شدن دانه است که توسط افزایش در سرعت پر شدن دانه جبران نشده (در دامنه دمایی بیشتر از ۲۰ و کمتر از ۳۰ درجه سانتیگراد) و یا بدلیل کاهش در سرعت و دوره پر شدن دانه در دمای بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد است (جنر^۶، ۱۹۹۴). ویسواناتان و چوپرا^۷ (۲۰۰۱) در بررسی سه تاریخ کاشت در هند بر ژنوتیپ های گندم نان اظهار داشتند که در شرایط تنش گرما طی دوره پر شدن دانه ناشی از تاخیر در کاشت، دوره پر شدن دانه کاهش و سرعت پر شدن دانه افزایش یافت و بیشترین کاهش در دوره پر شدن دانه مربوط به حساسترین ژنوتیپ به تنش گرمایی بود. عملکرد و اجزای آن در شرایط تنش ابزارهای بسیار مفیدی برای ارزیابی تنش محسوب می شوند. هدف از این آزمایش، بررسی اثرات تنش و واکنش هر یک از ژنوتیپ ها در مقابل تنش گرما طی دوره پر شدن دانه و بررسی دلایل تغییر برخی جنبه های فیزیولوژیک دانه (سرعت و مدت پر شدن دانه) می باشد. از اینرو، آزمایش حاضر با تاخیر در کاشت ژنوتیپ های گندم با مراحل فنولوژیک نسبتاً

درصد کاهش خواهد یافت (بی نام^۱، ۲۰۱۱). در نواحی مدیترانه ای از جمله ایران، وقوع تنش گرما بعد از گرده افشانی بدلیل وقوع دوره های کوتاه با دمای زیاد (بیش از ۳۵ درجه سانتیگراد) در طی دوره پر شدن دانه گندم و یا تاخیر در کاشت و برخورد دوره پر شدن دانه با دمای بالای پایان فصل رشد، منجر به کاهش عملکرد دانه گندم می شود. تقریباً نیمی از تولید گندم کشور از هفت استان فارس، خوزستان، خراسان رضوی، گلستان، کرمانشاه، کردستان و همدان تامین می شود. از بین استانهای ذکر شده، در بخش هایی از خوزستان، فارس، خراسان و گلستان احتمال وقوع تنش گرما در دوره پر شدن دانه وجود دارد که با توجه به شدت تنش، قادر است تولید گندم در کشور را به طور قابل توجهی متاثر سازد. راه حل اساسی برای برطرف کردن یا کاهش دادن اثرات تنش دمایی طی دوره پر شدن دانه، رعایت تاریخ کاشت بعنوان راهکار به زراعی و پیدا کردن ژنوتیپ های ویژه با مجموعه ای از صفات مطلوب با قابلیت توارث بالا بعنوان راهکار به نژادی می باشد (رینولدز و همکاران^۲، ۱۹۹۴). ژنوتیپ های متحمل به دمای بالا با حفظ فتوسنتز، حفظ محتوی کلروفیل، ذخایر بیشتر کربوهیدرات ساقه، عملکرد بالا از طریق دانه بندی بیشتر و طولانی شدن دوره پر شدن دانه حتی در دمای بالا به این مهم دست می یابند (هایس و همکاران^۳، ۲۰۰۷). کاهش عملکرد دانه گندم در دمای بالا طی دوره پر شدن دانه با تعداد دانه کمتر در سنبله و اندازه کوچکتر دانه در ارتباط است و بین ارقام در پاسخ به تنش دمایی تنوع دیده می شود (گیسون و پائولسن^۴، ۱۹۹۹). مدرسی و همکاران^۵ (۲۰۱۰) با بررسی اثر دو تاریخ کاشت مناسب و تاخیری در بوشهر بر ۱۴۴ لاین اینبرید نو ترکیب حاصل از تلاقی کاز (رقم متحمل) و ماننا (رقم حساس) و چند رقم تجاری گندم گزارش

- 1- Anonymous
- 2- Reynolds *et al.*
- 3- Hays *et al.*
- 4- Gibson & Paulsen
- 5- Modarresi *et al.*

6- Jenner

7- Viswanathan & Chopra

مشابه (به منظور اعمال تنش گرما طی دوره پر شدن دانه به طور همزمان در همه ژنوتیپ‌ها) به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غربی شهر اهواز (با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا، متوسط بارندگی سالانه ۲۰۰ میلیمتر و با آب و هوای مدیترانه‌ای) اجرا شد. خاک محل انجام تحقیق دارای بافت شنی لومی با pH ۸/۲ و ماده آلی ۰/۴ درصد بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. ده ژنوتیپ گندم نان بهاره میان‌رس (شامل ارقام چمران، اترک، افلاک، دز، فلات، داراب ۲، کویر، پشتاز و لاین‌های S-78-11 و S-83-3) در دو تاریخ کاشت مناسب (۲۲ آبان ماه) و تاخیری (اول دی ماه، به منظور برخورد مرحله پر شدن دانه با دمای بالا) کشت شدند. ارقام چمران و اترک شاهدهای بین المللی تحمل به گرما شناخته می‌شوند (مشتقی و همکاران، ۱۳۸۹). هر ژنوتیپ در هشت خط چهار متری به فاصله خطوط ۲۰ سانتیمتر با تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع کشت شد. مقدار کود مصرفی بر اساس نتایج آزمون خاک قبل از کاشت، ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بصورت اوره، ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بصورت سوپرفسفات تریپل و ۷۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بصورت سولفات پتاسیم بود. و در هریک از مراحل انتهای پنجه‌زنی و آبستنی نیز ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بصورت اوره مصرف شد. عملیات آبیاری، مبارزه با علف‌هرز و آفات بر اساس توصیه مراکز تحقیقاتی طوری انجام شد که گیاه با تنش دیگری مواجه نشود. پارامترهای هواشناسی، از ایستگاه هواشناسی دانشگاه در فاصله ۲۰۰ متری از محل انجام آزمایش تهیه شد. در مرحله ظهور سنبله در هر کرت ۴۰ تا ۵۰ ساقه

اصلی مشابه و یکنواخت در ردیف‌های دوم و هفتم علامت‌گذاری شد. از زمان گرده‌افشانی (وقتی در ۵۰ درصد سنبله‌ها بساک شکوفا شد) تا رسیدگی (وقتی ۵۰ درصد سنبله‌ها فاقد رنگ سبز بودند)، به فواصل زمانی پنج روز، سه سنبله مربوط به ساقه‌های علامت‌گذاری شده به طور تصادفی برداشت و به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. سپس چهار سنبلک میانی هر سنبله جدا و از هر سنبلک، دو دانه که متعلق به گلچه‌های قاعده‌ای هر سنبلک بود جدا و وزن شد. پس از ترسیم منحنی رشد دانه، از هر منحنی چهار نقطه که در مرحله خطی رشد دانه قرار داشت انتخاب و تجزیه رگرسیونی برای دو متغیر روزهای پس از گرده‌افشانی و وزن خشک دانه بعمل آمد. شیب خط، سرعت پر شدن دانه در مرحله خطی رشد دانه شناخته شد و دوره موثر پر شدن دانه از تقسیم متوسط وزن دانه هنگام برداشت بر سرعت پر شدن دانه در مرحله خطی بدست آمد (هاشمی دزفولی و مرعشی، ۱۳۷۴). برای بدست آوردن متوسط وزن دانه در زمان برداشت از ۱۰ سنبله مربوط به ساقه‌های اصلی ۱۰ بوته استفاده شد که به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. پس از اندازه‌گیری وزن و تعداد دانه‌های این سنبله‌ها میانگین وزن دانه محاسبه شد. به منظور محاسبه شاخص حرارتی (GDD)^۱ از زمان گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک در رابطه زیر درجه حرارت پایه، پنج درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد (رادمهر، ۱۳۷۶).

(درجه حرارت پایه - میانگین دمای روزانه) = $GDD = \sum$
در زمان رسیدگی محصول هر یک از تاریخ‌های کاشت، با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای دو ردیف چهارم و پنجم، سطحی معادل ۱/۲ متر مربع برداشت و به منظور محاسبه عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت استفاده شد. خطی به طول نیم متر از وسط ردیف‌های سوم و ششم نیز به منظور محاسبه اجزای عملکرد برداشت شد. شاخص حساسیت به تنش بر اساس

سانتیگراد در فروردین ماه مواجه شوند (شکل ۱). از این رو درصد کاهش عملکرد در تحقیق حاضر در مقایسه با نتایج مطالعاتی که تاریخ کاشت تاخیری از اواسط دی تا بهمن انتخاب (مشتطی و همکاران ۱۳۸۹، مدحج و همکاران، ۲۰۰۸) و در نتیجه تنش گرمایی با شروع گلدهی همزمان و از طرفی طول دوره رشد کاهش شدیدی می‌یافت، کمتر بود.

از لحاظ عملکرد در واحد سطح شاهد بین الملل تحمل به گرما یعنی رقم اترک متحمل‌ترین ژنوتیپ شناخته شد، ارقام چمران، کویر، دز، فلات و افلاک نیمه متحمل و لاین‌های S-78-11، S-83-3 و ارقام داراب ۲ و پیشتاز حساس شناخته شدند (جدول ۲). مشتطی و همکاران (۱۳۸۹) ارقام چمران و اترک را بعنوان ارقام متحمل و ارقام داراب ۲ و فلات را بعنوان ارقام حساس معرفی کردند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اجزای عملکرد به‌طور بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و بین دو تاریخ کاشت متفاوت بود. ولی اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت برای اجرای عملکرد معنی‌دار نبود (جدول ۱). تاخیر در کاشت به‌طور میانگین منجر به کاهش ۱۰/۵، ۷/۵ و ۴/۵ درصدی در تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و تعداد سنبله در متر مربع شد (جدول ۲). به‌طور میانگین رقم فلات با ۴۸/۰۷ دانه از بیشترین و رقم پیشتاز با ۳۵/۳۲ دانه از کمترین تعداد دانه در سنبله در هر دو تاریخ کاشت برخوردار بودند. بیشترین درصد کاهش تعداد دانه ناشی از تاخیر در کاشت مربوط به رقم پیشتاز (۱۷/۳ درصد) و کمترین درصد کاهش مربوط به اترک (۳/۸ درصد) بود. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت تاخیری از پنج روز قبل تا سه روز بعد از گرده‌افشانی با یک شوک حرارتی (دمای بالای ۳۰ درجه سانتیگراد) مواجه شدند (شکل ۱). وقوع دمای زیاد در این دوره زمانی بر پروسه گرده‌افشانی و باروری تاثیر می‌گذارد. تولید و انتقال دانه گرده به کلاله، جوانه‌زنی دانه‌های گرده، رشد لوله‌های

رابطه زیر برای عملکرد دانه برآورد گردید

$$SSI^1 = [1 - (Y_s/Y_p)] / D$$

که D (شدت تنش) از رابطه $D = 1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)$ محاسبه می‌شود و \bar{Y}_s و \bar{Y}_p به ترتیب میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در تاریخ کاشت تاخیری و مناسب است. (فیشر و مائورر^۲، ۱۹۷۸). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون FLS و برای اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت از آزمون LSmeans استفاده شد (سلطانی، ۱۳۸۵).

نتایج و بحث

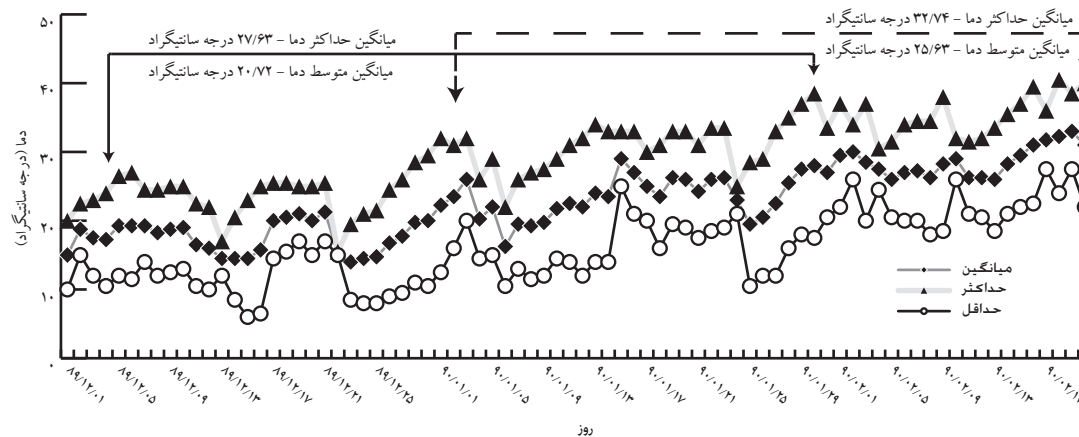
عملکرد دانه و اجزای آن - ژنوتیپ‌های مورد

مطالعه از نظر عملکرد دانه در واحد سطح متنوع بوده و تاخیر در کاشت منجر به کاهش معنی‌دار در عملکرد همه ژنوتیپ‌ها شد. علاوه بر این عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در رابطه با تاریخ کاشت متفاوت بود (جدول ۱). در تاریخ کاشت مناسب، لاین S-78-11 با ۷۱۶/۹۷ گرم در متر مربع بیشترین عملکرد دانه و رقم اترک با ۵۷۴/۲۳ گرم در مترمربع کمترین عملکرد را داشتند. در تاریخ کاشت تاخیری ارقام کویر و چمران به ترتیب با ۵۸۴/۳ و ۵۷۹/۸۷ گرم در مترمربع بیشترین عملکرد و رقم پیشتاز با ۴۴۶/۳ گرم در مترمربع کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۲). میانگین درصد کاهش عملکرد دانه در واحد سطح ناشی از تاخیر در کاشت در ژنوتیپ‌های مورد بررسی ۱۹/۸۷ درصد بود. رقم اترک (۹/۹ درصد) کمترین و رقم پیشتاز (۳۱/۱ درصد) بیشترین کاهش عملکرد در واحد سطح را به خود اختصاص دادند. کاهش عملکرد در اثر تاخیر در کاشت توسط رادمهر و همکاران (۱۳۸۴) و مشتطی و همکاران (۱۳۸۹) نیز تأیید شده است. در این تحقیق تاریخ کاشت تاخیری طوری انتخاب شد که تقریباً فقط دوره پر شدن دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی با حداکثر درجه حرارت بالای ۳۰ درجه

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ده ژنوتیپ گندم نان بهاره در دو تاریخ کاشت در اهواز

میانگین مربعات										
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	تعداد سنبله در مترمربع	ماده خشک	شاخص برداشت	سرعت پر شدن دانه در مرحله خطی رشد دانه	دوره موثر پر شدن دانه	درجه روز از گرده افشانی تا رسیدگی
تکرار	۲	۱۸۰۳/۱ ^{ns}	۲/۶۸ ^{ns}	۱/۲۷ ^{ns}	۲۰۷۳/۷۵ ^{ns}	۵۶۵۳/۶ ^{ns}	۰/۷۷ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۳/۴۲ ^{ns}	۶۱/۴*
ژنوتیپ	۹	۷۴۸۲/۴ ^{***}	۱۰۶ ^{***}	۴۱/۳۷ ^{***}	۱۳۰۳۶/۳ ^{***}	۲۱۷۹۴/۲ ^{**}	۱۹/۱۹ ^{**}	۰/۱۳ ^{***}	۷/۴۵*	۱۱۲۹۱/۷ ^{***}
تاریخ کاشت	۱	۲۵۹۹۲۳/۲ ^{***}	۳۳۱/۸۲ ^{***}	۱۴۱/۰۷ ^{***}	۹۶۲۶/۶۷ ^{**}	۲۵۷۵۴۶ ^{***}	۴۱۳/۹۶ ^{***}	۲/۰۰ ^{***}	۶۲۷/۴۶ ^{***}	۳۲۶۶۶/۷ ^{***}
ژنوتیپ × تاریخ کاشت	۹	۳۳۴۹/۶*	۴/۹۳ ^{ns}	۲/۴۶ ^{ns}	۴۹۴/۲۶ ^{ns}	۴۱۷۲/۹ ^{ns}	۸/۴۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{***}	۱۰/۹۳ ^{**}	۶۱۶۵/۱ ^{***}
خطا	۳۸	۱۴۷۲/۲	۷/۶۴	۱/۷۲	۱۰۶۴/۱	۵۷۸۵/۶	۵/۱۶	۰/۰۲	۲/۹۵	۱۴/۵۴
ضریب تغییرات (%)		۶/۵	۶/۴	۳/۴	۶/۲	۴/۸	۶/۱	۷/۰	۷/۵	۰/۶

ns، * و ***: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵، ۱ و ۰/۰۱٪؛ ns: غیر معنی دار



شکل ۱- دمای حداقل، متوسط و حداکثر از زمان گرده افشانی تا رسیدگی ده ژنوتیپ گندم در دو تاریخ کاشت. میانگین حداکثر و متوسط دما در مرحله پر شدن دانه در تاریخ کاشت مناسب (خط ممتد) و تاخیری (خط منقطع) مشخص شده است.

و افلاک و کمترین تعداد سنبله به ارقام فلات و کویر اختصاص داشت. تعداد سنبله در واحد سطح در تاریخ کاشت تاخیری به طور میانگین $4/53$ درصد کاهش یافت. با تاخیر در کاشت، نمو فنولوژیکی در زمان تقویمی تسریع می‌یابد و به دلیل کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی به خصوص پنجه‌زنی و همچنین عدم تشکیل سنبله در پنجه‌های تولید شده بعدی در اثر برخورد با دمای نامناسب (رادمهر، ۱۳۷۶)، کاهش تعداد سنبله در متر مربع دور از انتظار نیست. به‌رحال این جزء از عملکرد نسبت به سایر اجزاء از کاهش کمتری در تاریخ کاشت تاخیری برخوردار بود. با توجه به این‌که، این جزء در اوایل دوره زندگی گیاه و در مرحله زایشی قبل از گرده‌افشانی تعیین می‌شود، از شرایط نامساعد محیطی در اواخر دوره رشد گیاه خسارت چندانی ندیده و کاهش ایجاد شده در آن ناشی از کوتاه شدن طول دوره پنجه‌زنی است. مدحج و همکاران^۵ (۲۰۰۸) نیز اظهار داشتند، با توجه به برخورد مراحل پس از گرده‌افشانی با تنش گرمای پایان فصل در منطقه خوزستان، صفتی نظیر تعداد سنبله در واحد سطح که پتانسیل آن در مراحل پیش از گرده‌افشانی تعیین می‌شود، کمتر تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرد.

در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در تاریخ کاشت تاخیری بین اجزای عملکرد فقط تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد داشت ($r=0/5$ ، $p<0/01$)، $n=30$ ، و همبستگی سایر اجزاء غیرمعنی‌دار بود. نتایج ضرایب همبستگی حاکی از همبستگی بالا بین درصد کاهش عملکرد دانه با درصد کاهش تعداد دانه در سنبله بود ($r=0/56$ ، $p<0/01$ ، $n=30$) به‌طوری‌که در ژنوتیپ‌هایی با بیشترین درصد کاهش تعداد دانه در سنبله در تاریخ کاشت تاخیری، عملکرد دانه کاهش بیشتری یافت. همبستگی درصد کاهش عملکرد دانه با درصد کاهش وزن دانه غیرمعنی‌دار ($r=0/24$ ، $n=30$) ولی با

گرده در خامه، باروری و نمو تخمک برای تشکیل دانه ضروری است. تمامی این فرایندها به دمای محیط حساس بوده و افزایش دما از طریق جلوگیری از تقسیم سلولی و رشد دانه گرده و افزایش عقیمی در اندام‌های جنسی باعث کاهش تعداد دانه‌های تشکیل شده در سنبله می‌شود. (ساینی و همکاران^۱، ۱۹۸۳). بر اساس مطالعات تاشیرو و واردلاو^۲ (۱۹۹۰) وقوع دمای بالا به مدت دو تا سه روز پیش از گرده‌افشانی منجر به عقیم شدن اندام‌های جنسی و عدم تشکیل دانه می‌شود. کاهش در تعداد دانه در اثر تاخیر در کاشت توسط مشتطی و همکاران (۱۳۸۹) و خان‌چوپرا و ویسواناتان^۳ (۱۹۹۹) نیز گزارش شده است.

در آزمایش حاضر در هر دو تاریخ کاشت به طور میانگین، ارقام پیش‌تاز و کویر ($43/62$ و $42/52$ گرم) بیشترین و رقم اترک ($35/22$ گرم) کمترین وزن هزار دانه را داشتند. تاخیر در کاشت منجر به کاهش معنی‌داری در وزن هزار دانه شد (جدول ۱). از آنجایی‌که با تاخیر در کاشت، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از ۹ روز بعد از گرده‌افشانی با دمای بالای ۳۰ درجه سانتیگراد مواجه شده و ضمناً در اواسط دوره پر شدن دانه با حداکثر دمای ۳۵ درجه سانتیگراد و بالاتر از آن نیز مواجه شده‌اند (شکل ۱)، به نظر می‌رسد که همزمانی مرحله خطی پر شدن دانه با درجه حرارت بالای ۳۰ درجه سانتیگراد و در نتیجه کاهش طول دوره موثر پر شدن دانه و از طرفی دیگر کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه ناشی از دمای بالا، منجر به کاهش وزن دانه شده است. کاهش وزن هزار دانه در اثر تاخیر در کاشت توسط رادمهر و همکاران (۱۳۸۴) و تیولد و همکاران^۴ (۲۰۰۶) نیز گزارش شده است.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین در هر دو تاریخ کاشت بیشترین تعداد سنبله در متر مربع به دو رقم چمران

1- Saini *et al.*

2- Tashiro & Wardlaw

3- Khanna-Chopra & Viswanathan

4- Tewold *et al.*5- Modhej *et al.*

درصد کاهش تعداد سنبله در واحد سطح معنی دار بود کاهش در عملکرد دانه را ناشی از کاهش توام تعداد دانه و وزن دانه در اثر کاهش طول دوره پر شدن دانه دانست. ($n=30$ ، $r=0/38$ ، $p<0/05$) و همکاران (۱۳۸۹)

جدول ۲- مقادیر عملکرد دانه در واحد سطح در شرایط تاریخ کاشت مناسب و تاخیری، درصد کاهش عملکرد ناشی از تاخیر در کاشت و شاخص حساسیت به تنش در ده ژنوتیپ گندم نان بهاره

ژنوتیپ	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)		تاریخ کاشت	
	شاخص حساسیت به تنش	درصد کاهش (%)	تاخیری	مناسب
چمران	$0/73 \pm 0/06$ §	۱۴/۶۹ def	۵۷۹/۸۷ a	۶۷۹/۷۷ abc
فلات	$0/96 \pm 0/37$	۱۹/۳۸ bcd	۵۵۳/۴۳ ab	۶۸۸/۶۳ ab
افلاک	$0/93 \pm 0/08$	۱۸/۶۳ bcde	۵۰۸/۴۰ bc	۶۲۵/۲۷ cde
اترک	$0/49 \pm 0/09$	۹/۹۱ f	۵۱۶/۷۰ bc	۵۷۴/۲۳ e
دز	$0/85 \pm 0/03$	۱۷/۰۰ cde	۵۱۳/۵۳ bc	۶۱۸/۵۳ de
کویر	$0/61 \pm 0/03$	۱۲/۲۴ ef	۵۸۴/۳۰ a	۶۶۶/۰۰ abcd
S-78-11	$1/20 \pm 0/41$	۲۴/۱۰ abc	۵۴۳/۶۷ ab	۷۱۶/۹۷ a
داراب ۲	$1/31 \pm 0/06$	۲۶/۳۵ ab	۴۷۴/۵۷ cd	۶۴۴/۲۰ bcd
پیشناز	$1/55 \pm 0/36$	۳۱/۱۰ a	۴۴۶/۳۰ d	۶۵۰/۶۰ bcd
S-83-3	$1/26 \pm 0/14$	۲۵/۲۶ ab	۵۱۱/۶۰ bc	۶۸۴/۵۳ abc
میانگین		۱۹/۸۷	۵۲۳/۲۴	۶۵۴/۸۷

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

§: انحراف معیار

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات گیاهی ده ژنوتیپ گندم نان بهاره و دو تاریخ کاشت

ژنوتیپ	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد سنبله در متر مربع	ماده خشک (گرم در مترمربع)	شاخص برداشت (%)	تاریخ کاشت	
						مناسب	تاخیری
چمران	۳۸/۹۰c	۳۸/۶۵b	۵۹۹/۲a	۱۶۱۱/۲abcd	۳۹/۰۸ab	مناسب	۴۵/۳۳a
فلات	۴۸/۰۷a	۳۹/۸۸b	۴۷۵/۰e	۱۵۲۳/۳de	۴۰/۷۲a	تاخیری	۴۰/۶۳b
افلاک	۴۰/۰۲c	۳۶/۹۳c	۵۹۹/۲a	۱۶۱۴/۷abc	۳۵/۰۷d	مناسب	۴۵/۳۳a
اترک	۴۵/۰۰ab	۳۵/۲۲d	۵۰۸/۳cde	۱۵۰۵/۶e	۳۶/۲۵cd	تاخیری	۴۰/۶۳b
دز	۴۵/۱۷ab	۳۶/۱۲cd	۵۲۶/۷cd	۱۴۸۷/۸e	۳۸/۰۲bc	مناسب	۴۵/۳۳a
کویر	۴۶/۱۷ab	۴۲/۵۲a	۴۸۰/۰e	۱۶۶۸/۳a	۳۷/۴۷bcd	تاخیری	۴۰/۶۳b
S-78-11	۴۷/۲۸ab	۳۹/۳b	۴۹۶/۷de	۱۶۳۳/۹ab	۳۸/۴۲abc	مناسب	۴۵/۳۳a
داراب ۲	۴۴/۰۸b	۳۸/۶۵b	۵۰۳/۳de	۱۵۲۶/۷cde	۳۶/۴۷bcd	تاخیری	۴۰/۶۳b
پیشناز	۳۵/۳۲d	۴۳/۶۲a	۵۴۱/۷bc	۱۵۵۴/۵bcde	۳۵/۰۰d	مناسب	۴۵/۳۳a
S-83-3	۳۹/۷۸c	۳۹/۶۲b	۵۷۵/۰ab	۱۵۷۶/۷bcde	۳۷/۷۸abc	تاخیری	۴۰/۶۳b

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

مراحل انتهایی رشد زایشی مصادف با تنش گرما شده است. این نتایج با مشاهدات رادمهر و همکاران (۱۳۸۴) و مشتطی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد.

سرعت و دوره پر شدن دانه- بر اساس نتایج

بدست آمده بین دو تاریخ کاشت از لحاظ سرعت پر شدن دانه در مرحله خطی رشد دانه تفاوت بسیار معنی داری وجود داشت و تاخیر در کاشت منجر به افزایش ۲۴/۲ درصدی در سرعت پر شدن دانه شد. سرعت پر شدن دانه ژنوتیپ های مورد مطالعه نیز متفاوت بود و واکنش های متفاوتی در رابطه با تاریخ کاشت نشان دادند (جدول ۱). در تاریخ کاشت مناسب بیشترین سرعت پر شدن دانه در مرحله خطی رشد دانه مربوط به ارقام چمران و کویر (۱/۷۷ میلی گرم در روز در دانه) بود در حالی که در تاریخ کاشت تاخیری لاین S-83-3 (۲/۳۶ میلی گرم در روز در دانه) و پس از آن رقم پیشناز (۲/۲ میلی گرم در روز در دانه) بیشترین سرعت پر شدن دانه را به خود اختصاص دادند. کمترین سرعت پر شدن دانه در تاریخ کاشت مناسب مربوط به رقم اترک (۱/۳۳ میلی گرم در روز در دانه) و در تاریخ کاشت تاخیری مربوط به ارقام دز و فلات (به ترتیب ۱/۶۸ و ۱/۶۹ میلی گرم در روز در دانه) بود (جدول ۴).

بین ژنوتیپ ها و بین دو تاریخ کاشت از نظر دوره موثر پر شدن دانه و درجه روز (GDD) از گرده افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک تفاوت معنی داری مشاهده شد و اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت نیز معنی دار بود (جدول ۱). دامنه تغییرات دوره موثر پر شدن دانه ژنوتیپ ها در تاریخ کاشت مناسب بین ۲۷/۷۸ تا ۲۲/۷۵ روز و در تاریخ کاشت تاخیری بین ۲۲/۲۸ تا ۱۶/۲۲ روز در نوسان بود. به طور میانگین تاخیر در کاشت منجر به کاهش ۲۴/۱۵ درصدی در مدت موثر پر شدن دانه و کاهش ۶/۸ درصدی در روز درجه رشد از گرده افشانی تا رسیدگی شد. افزایش سرعت و کاهش دوره پر شدن دانه در شرایط تنش گرما ناشی از تاخیر در کاشت توسط ویسواناتان و چوپرا (۲۰۰۱) و تیولد و همکاران (۲۰۰۶)

رادمهر و همکاران (۱۳۸۴) از عدم وجود همبستگی بین وزن دانه در تاریخ کاشت تاخیری با عملکرد دانه چنین نتیجه گیری کردند که وزن دانه در تعیین عملکرد دانه نقش اساسی ندارد و دلیل عملکرد پایین تر در بعضی ژنوتیپ ها را باید در تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع جستجو کرد.

ماده خشک و شاخص برداشت- نتایج تجزیه

واریانس حاکی از وجود تفاوت معنی دار بین ژنوتیپ ها از لحاظ ماده خشک تولیدی در واحد سطح و شاخص برداشت بود. بین دو تاریخ کاشت نیز تفاوت معنی داری از لحاظ این دو صفت مشاهده شد (جدول ۱). تاخیر در کاشت باعث کاهش ۷/۸۶ درصدی در ماده خشک تولیدی در واحد سطح شد (جدول ۳). کاهش طول دوره رشد ژنوتیپ های مورد بررسی در نتیجه تاخیر در کاشت از طرفی باعث کاهش میزان بهره وری گیاه از منابع محیطی و کاهش رشد اندام های رویشی و از طرفی دیگر باعث کاهش وزن و عملکرد دانه بعنوان بخشی از عملکرد بیولوژیک شد. از اینرو با کاهش رشد بخش رویشی و زایشی، در نهایت کل ماده خشک تولیدی کاهش یافت. این نتایج با گزارش زونگ هیو و راجرام (۱۹۹۳) و مدح و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت داشت. بر اساس نتایج حاصل از ضرایب همبستگی در تاریخ کاشت تاخیری، شاخص برداشت با عملکرد دانه در واحد سطح همبستگی مثبت و بسیار معنی داری داشت ($n=30, r=0/81, p<0/001$) در حالی که با ماده خشک در واحد سطح همبستگی منفی ولی غیر معنی داری نشان داد. از طرفی، درصد کاهش شاخص برداشت در تاریخ کاشت تاخیری با درصد کاهش عملکرد همبستگی مثبت معنی داری داشت ($n=30, r=0/80, p<0/001$) در حالیکه با درصد کاهش ماده خشک همبستگی نداشت. این موضوع حاکی از آن است که با وجود کاهش رشد رویشی بدلیل تاخیر در کاشت، کاهش در رشد زایشی بیشترین تاثیر منفی را بر شاخص برداشت داشت، زیرا

جدول ۴- مقادیر سرعت و دوره پر شدن دانه در مرحله خطی رشد دانه و درجه روز از گرده‌افشانی تا رسیدگی در دو تاریخ کاشت مناسب و تاخیری در ده ژنوتیپ گندم نان بهاره

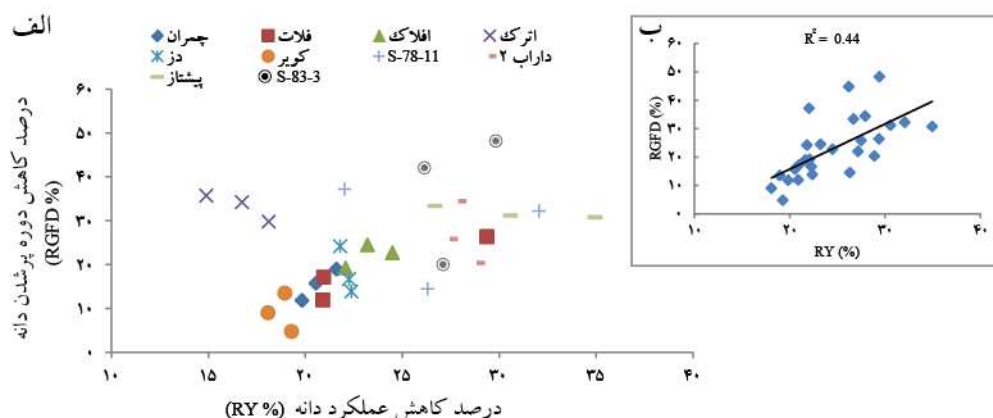
ژنوتیپ	سرعت پر شدن دانه در مرحله خطی رشد دانه (میلی گرم در دانه در روز)		دوره موثر پر شدن دانه (روز)		درجه روز از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک	
	مناسب	تاخیری	مناسب	تاخیری	مناسب	تاخیری
چمران	۱/۷۷ a	۱/۹۳ cd	۲۲/۷۵ c	۱۹/۲۲ b	۵۷۵/۱ f	۵۶۱/۰ de
فلات	۱/۵۵ bc	۱/۶۹ e	۲۷/۳۰ a	۲۲/۲۸ a	۵۸۵/۴ e	۵۶۱/۰ de
افلاک	۱/۴۸ bcd	۱/۸۷ cde	۲۵/۲۲ abc	۱۹/۶۳ ab	۵۷۷/۷ f	۵۵۹/۰ de
اترک	۱/۳۳ d	۱/۸۱ de	۲۷/۷۸ a	۱۸/۵۶ bc	۶۷۷/۰ c	۵۶۴/۳ cd
دز	۱/۴۹ bcd	۱/۶۸ e	۲۵/۲۸ abc	۲۰/۶۸ ab	۵۶۸/۶ g	۵۶۱/۰ de
کوبر	۱/۷۷ a	۱/۹۰ cd	۲۴/۳۰ bc	۲۲/۰۸ a	۶۹۷/۲ b	۶۷۷/۹ a
S-78-11	۱/۵۹ abc	۲/۰۵ bc	۲۶/۰۶ ab	۱۸/۵۲ bc	۵۹۵/۵ d	۵۶۸/۴ bc
داراب ۲	۱/۴۶ cd	۱/۸۳ de	۲۷/۷۸ a	۲۰/۲۵ ab	۷۶۵/۲ a	۵۵۷/۴ e
پیشناز	۱/۶۶ ab	۲/۲۰ ab	۲۷/۵۸ a	۱۸/۸۲ bc	۵۸۸/۷ e	۵۶۹/۸ bc
S-83-3	۱/۵۶ bc	۲/۳۶ a	۲۶/۸۶ ab	۱۶/۲۲ c	۵۸۸/۷ e	۵۷۲/۵ b
میانگین	۱/۵۷	۱/۹۳	۲۶/۱۰	۱۹/۶۰	۶۲۱/۹	۵۷۵/۲

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

به دلیل تسریع و فشرده شدن کلیه مراحل نمو دانه و توقف زود هنگام تجمع نشاسته در دانه، وزن نهایی دانه کاهش یافته است. در تاریخ کاشت تاخیری، بین دوره موثر پر شدن دانه با عملکرد دانه در واحد سطح در ژنوتیپ‌های مورد بررسی همبستگی مثبت ولی غیرمعنی‌دار وجود داشت ($r=0/31$ ، $n=30$). در حالیکه همبستگی درجه روز از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک با عملکرد دانه ($r=0/36$ ، $p<0/05$ ، $n=30$) و وزن هزار دانه ($r=0/59$ ، $p<0/01$ ، $n=30$) معنی‌دار بود. از طرفی همبستگی بین دوره موثر پر شدن دانه با درصد کاهش عملکرد در واحد سطح منفی و معنی‌دار بود ($r=-0/38$ ، $p<0/05$ ، $n=30$). به نظر می‌رسد که به‌استثنای رقم اترک، سایر ارقام متحمل به تنش گرما با دوره پر شدن دانه طولانی‌تر، زمان بیشتری برای انباشتن مواد فتوسنتزی در دانه‌های در حال رشد در اختیار دارند. در رقم اترک با وجود کاهش دوره پر شدن دانه، درصد کاهش عملکرد دانه نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها کمتر بود (شکل ۱)، که دلیل آن را می‌توان در افزایش زیاد

نیز گزارش شده است. در شرایط تنش گرمایی شدید (متوسط درجه حرارت‌های بالای ۳۰ درجه سانتیگراد در دوره پر شدن دانه)، افزایش دما منجر به کاهش سرعت پر شدن دانه می‌شود که یکی از دلایل این موضوع ممانعت از فعالیت آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز نشاسته است. در شرایط تنش گرمایی متوسط (افزایش دما تا حدود ۳۰ درجه سانتیگراد) سرعت پر شدن دانه عمدتاً افزایش یافته که احتمالاً منعکس‌کننده تسریع پروسه‌های متابولیکی است. چنانچه افزایش سرعت در فعالیت‌های متابولیکی نتواند از کاهش وزن دانه جلوگیری کند، نشان می‌دهد که مرگ سلولی و توقف زود هنگام تجمع نشاسته در دانه و نه ممانعت از سنتز نشاسته عامل کاهش وزن دانه بوده است (آلتنباخ و همکاران، ۲۰۰۳). در آزمایش حاضر، کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش گرمای انتهای فصل ناشی از تاخیر در کاشت (جدول ۳) حاکی از آن است که افزایش سرعت پر شدن دانه نتوانسته است کاهش دوره پر شدن دانه را جبران کند و

مجتبایی زمانی و همکاران: بررسی واکنش ژنوتیپ های گندم نان به تنش...



شکل ۲- ارتباط بین درصد کاهش عملکرد دانه و کاهش دوره موثر پر شدن دانه ناشی از تاخیر در کاشت (الف- در ۱۰ ژنوتیپ گندم نان بهاره، ب- به استثنای رقم اترک)

مبنی بر اهمیت تعداد دانه در سنبله و دوره پر شدن دانه در تعیین عملکرد، به منظور جلوگیری از همزمانی مرحله خطی رشد دانه با افزایش ناگهانی درجه حرارت در روزهای پایانی اسفند و اوایل فروردین ماه، ضمن رعایت تاریخ کاشت (جلوگیری از تعویق کاشت به بعد از ۱۵ آذرماه)، کاشت ارقام متحمل از اهمیت بالایی برخوردار است. لازم بذکر است که رقم اترک با کمترین درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش، از پتانسیل عملکرد پایینی در هر دو تاریخ کاشت برخوردار بود. درحالیکه رقم چمران در هر دو تاریخ کاشت از پتانسیل عملکرد بالایی برخوردار بوده و گزینه مناسبتری به نظر می‌رسد. به هر حال شناسایی مکانیسم‌های فیزیولوژیک و مولکولی تضمین کننده عملکرد زیادتر دانه در شرایط تنش گرمایی در این ارقام، در مطالعات بیشتر در شرایط مزرعه و محیط کنترل شده، به نژادگران را در تولید سریعتر ارقام متحمل یاری می‌کند.

سرعت پر شدن دانه در شرایط تنش جستجو کرد. به طوری که کاهش در دوره پر شدن دانه توسط افزایش در سرعت پر شدن دانه جبران شده و از کاهش شدید عملکرد جلوگیری کرده است. با حذف رقم اترک، در سایر ژنوتیپ‌ها بین درصد کاهش عملکرد در واحد سطح و درصد کاهش دوره پر شدن دانه همبستگی مثبت بسیار معنی‌داری وجود داشت ($r = 0/66$). در تاریخ کاشت تاخیری با وجود همبستگی بین سرعت پر شدن دانه با وزن هزار دانه ($n=30, r = 0/43, p < 0/01$)، بین سرعت پر شدن دانه با عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد ولی در تاریخ کاشت مناسب همبستگی بین سرعت پر شدن دانه در مرحله خطی رشد دانه با عملکرد دانه در واحد سطح ($n=30, r = 0/38, p < 0/05$) و وزن هزار دانه ($n=30, r = 0/5, p < 0/01$) مثبت و معنی‌دار بود. با توجه به ارتباط معنی‌دار تعداد دانه در سنبله با عملکرد دانه در تاریخ کاشت تاخیری و نقش طول دوره پر شدن دانه در جلوگیری از کاهش عملکرد دانه، به نظر می‌رسد که سرعت بالاتر رشد دانه در شرایط تنش گرمای انتهای فصل به تنهایی نمی‌تواند متضمن عملکرد بالاتر در یک ژنوتیپ باشد و عوامل دیگری نظیر دوره پر شدن دانه و تعداد دانه در سنبله نیز از اهمیت بالایی برخوردارند. با توجه به نتایج بدست آمده از این آزمایش

منابع

۱. رادمهر، م. ۱۳۷۶. تاثیر تنش گرما بر فیزیولوژی رشد و نمو گندم. چاپ اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۰۱ ص.
۲. رادمهر، م.، آینه، غ. ل. و مامقانی، ر. ۱۳۸۴. بررسی عکس‌العمل ژنوتیپ‌های متوسط‌رس، دیررس و زودرس گندم نان نسبت به تاریخ کاشت‌های متفاوت: ۱- اثر تاریخ کاشت بر خصوصیات فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد چهار ژنوتیپ گندم نان. نهال و بذر. ۲۱: ۱۷۵-۱۸۹.
۳. سلطانی، الف. ۱۳۸۵. تجدید نظر در کاربرد روش‌های آماری در تحقیقات کشاورزی. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۷۴ ص.
۴. مشتقی، م.، عالمی سعید، خ.، سیادت، س. ع.، بخشنده، ع. م. و جلال کمالی، م. ر. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل ارقام گندم نان بهاره به تنش گرمای انتهای فصل در شرایط اهواز. مجله علوم زراعی ایران. ۱۲ (۲): ۸۵-۹۹.
۵. هاشمی دزفولی، الف. و مرعشی، ع. ۱۳۷۴. تغییرات مواد فتوسنتزی در زمان گلدهی و تأثیر آن بر رشد دانه، عملکرد و اجزاء عملکرد گندم. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۹: ۱۶-۳۲.
6. 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.
7. Anonymous. 2011. Wheat- global alliance for improving food security and the livelihoods of the resource-poor in the developing world. Proposal submitted by CIMMYT and ICARDA to the CGIAR consortium board, 197p.
8. Chowdhury, S.I., and Wardlaw, I.F. 1978. The effect of temperature on kernel development in cereals. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 205-223.
9. Farooq, M., Bramley, H., Palta, J.A., and Siddique, H.M. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30: 1-17.
10. Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.
11. Gibson, L.R., and Paulsen, G.M. 1999. Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. *Crop Science*, 39: 1841-1846.
12. Hays, D.B., Do, J.H., Mason, R.E., Morgan, G., and Finlayson, S.A. 2007. Heat stress induced ethylene production in developing wheat grains induces kernel abortion and increased maturation in a susceptible cultivar. *Plant Science*, 172: 1113-1123.
13. Jenner, C.F. 1994. Starch synthesis in kernel of wheat under high temperature conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21: 791-806.

14. Khanna-Chopra, R., and Viswanathan, C. 1999. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. *Euphytica*, 106: 169–180.
15. Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A., and Mardi, M. 2010. Response of wheat yield and yield related traits to high temperature. *Cereal Research Communications*, 38: 23-31.
16. Modhej, A., Naderi, A., Emam, Y., Aynehband, A., and Normohamadi, Gh. 2008. Effects of post-anthesis heat stress and nitrogen levels on grain yield in wheat (*T. durum* and *T. aestivum*) cultivars. *International Journal of Plant Production*, 2: 254-267.
17. Porter, J.R., and Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: A review. *European Journal of Agronomy*, 10: 23–36.
18. Reynolds, M.P., Balota, M., Delgado, M.I.B., Amani, I., and Fischer, R.A. 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21: 717-730.
19. Saini, H.S., Sedgley, M., and Aspinall, D. 1983. Effect of heat stress during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Plant Physiology*, 10(2): 137 – 144.
20. Tashiro T., and Wardlaw I.F. 1990. The response to high temperature shock and humidity changes prior to and during the early stages of grain development in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 17:551-561.
21. Tewolde, H., Fernandez, C.J., and Erickson, C.A. 2006. Wheat cultivars adapted to post-heading high temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192: 111 – 120.
22. Viswanathan, C., and Khanna-Chopra, R. 2001. Effect of heat stress on grain growth, starch synthesis and protein synthesis in grains of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties differing in grain weight stability. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 186: 1—7.
23. Zhong-hu, H., and Rajaram, S. 1994. Differential responses of bread wheat characters to high temperature. *Euphytica*, 72: 197-203.