



دماهای کار دینال، واکنش به دما و دامنه بردباری دمایی جوانه زنی بذر در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.)

* ابراهیم زینلی^۱، افشین سلطانی^۲، سرا... گالشی^۱ و سیدجعفر ساداتی^۳

^۱ استادیار، ^۲ استاد و ^۳ دانشجوی سابق گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

درک واکنش جوانه زنی بذر ژنوتیپ‌های زراعی به دما از دیدگاه زراعی حائز اهمیت است. ژنوتیپ‌هایی که در دماهای پایین جوانه زنی خود را آغاز می‌کنند می‌توانند برای موقعیت‌هایی (مانند کشت‌های دیر هنگام پاییزه) مفید باشند که جوانه زنی با دماهای کم هم‌زمان می‌گردد. از این رو، مطالعه حاضر به منظور یافتن دماهای کار دینال، بررسی واکنش به دما و دامنه بردباری دمایی جوانه زنی بذر ۱۲ رقم از گندم‌های مورد استفاده در شمال کشور انجام شد. علاوه بر این، تأثیر هفت دمای ثابت بین ۵ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد بر ویژگی‌های جوانه زنی این ارقام ارزیابی گردید. دمای پایه (T_b) ارقام گندم مورد مطالعه از ۲/۰۴ تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب (T_0) از ۳۱/۸۱ تا ۳۲/۴۲ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف (T_c) از ۳۸/۰۸ تا ۴۲/۰۸ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین دماهای کار دینال ارقام مورد مطالعه وجود نداشته است. همچنین، تأثیر رقم بر دامنه بردباری دمایی جوانه زنی معنی‌دار نبود ولی از نظر دامنه بردباری دماهای بیشتر از مطلوب تفاوت‌های بیشتری نسبت به دماهای کمتر از مطلوب وجود داشت. به طور کلی، واکنش ارقام گندم به تغییرات دما در دامنه دماهای بالاتر از مطلوب بسیار بیشتر از دماهای کمتر از مطلوب بود. البته، فقط از نظر واکنش به دماهای کمتر از مطلوب بین ارقام اختلاف معنی‌دار وجود داشت. ویژگی‌های جوانه زنی شامل حداکثر جوانه زنی (G_{max})، زمان تا ده درصد جوانه زنی (D_{10})، یکنواختی جوانه زنی (GU) و سرعت جوانه زنی (GR) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رقم، دما و اثرات متقابل آن‌ها قرار گرفتند که حاکی از واکنش متفاوت این ویژگی‌ها در ارقام مختلف به تغییرات دما

* - مسئول مکاتبه: e.zeinlali@yahoo.com

می‌باشد. در ارقام مورد بررسی، بیشترین G_{max} در دماهای ۱۳ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد، اما بیشترین GR در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد. همچنین، کاهش D_{10} با افزایش دما تا ۲۵ یا ۳۲ درجه سانتی‌گراد، ولی کاهش GU (یکنواخت تر شدن جوانه زنی) با افزایش دما تا ۳۲ یا ۳۴ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. نتایج آزمایش نشان داد که اختلاف G_{max} در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد با دماهای بالاتر به مراتب کمتر از سه ویژگی دیگر بود. این به معنای امکان دستیابی به مقادیر بالای G_{max} در دماهای نزدیک به دمای پایه علی‌رغم کاهش شدید GR و افزایش قابل توجه مقادیر D_{10} و GU در شرایط عدم حضور آفات خاکزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارقام گندم، جوانه‌زنی بذر، دماهای کاردینال، واکنش به دما

مقدمه

جوانه‌زنی سریع بذرها و استقرار سریع بوته‌ها در مزرعه به‌ویژه در کشت‌های دیر هنگام گیاهان پاییزه در راستای افزایش سرعت رشد اولیه بوته‌ها، دستیابی سریع‌تر به پوشش کامل زمین و شاخص سطح برگ مناسب و در نتیجه افزایش بازدهی استفاده از عوامل محیطی مانند تشعشع، تقویت قدرت رقابت گیاه زراعی با گیاهان هرز و کاهش احتمال فرسایش خاک دارای اهمیت است (هال و ویسنر، ۱۹۹۰؛ تکرونی و ایگلی، ۱۹۹۱؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۲).

در صورتی که رطوبت و اکسیژن در حد کفایت فراهم باشند، ویژگی‌های جوانه‌زنی توده‌ بذرها غیرراکد (مانند سرعت، یکنواختی و درصد جوانه‌زنی) توسط دما تعیین می‌شود (دو بتز و همکاران، ۱۹۶۲؛ بیرهوتیزن و واگنورت، ۱۹۷۴؛ هیدکر، ۱۹۷۷؛ گارسیا-هوئیدوبرو و همکاران، ۱۹۸۲؛ ویل و همکاران، ۱۹۹۴؛ رامین، ۱۹۹۷). به طور معمول، بین سرعت جوانه‌زنی، عکس زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد از جوانه‌زنی نهایی، و دما تا دمای مطلوب برای جوانه‌زنی بذر، رابطه‌ی خطی مثبت وجود دارد. مطالعات انجام شده در زمینه گیاهان زراعی مختلف نشان داده است که در دماهای بالاتر از دمای مطلوب، سرعت جوانه‌زنی به صورت خطی و معمولاً با شیبی بیشتر در مقایسه با شیب خط رگرسیون دماهای کمتر از مطلوب، کاهش می‌یابد. نقطه‌ی تلاقی دو خط رگرسیون یاد شده به‌عنوان دمای مطلوب، دمایی که در آن جوانه‌زنی با بیشترین سرعت انجام می‌شود و محل تلاقی امتداد خطوط رگرسیون اول و دوم با محور درجه دما به ترتیب دمای پایه یا مبنا و دمای حداکثر یا سقف در نظر گرفته می‌شود.

همچنین، عکس شیب هر یک از خطوط رگرسیون، زمان دمایی (تعداد درجه- روز رشد یا درجه-ساعت رشد) مورد نیاز برای جوانه‌زنی در یک دامنه دمایی معین را به دست می‌دهد (هگارتی، ۱۹۷۳؛ کوول و همکاران، ۱۹۸۶؛ اونگ و مانتیث، ۱۹۸۵؛ محمد و همکاران، ۱۹۸۸؛ وید و همکاران، ۱۹۹۳؛ ویل و همکاران، ۱۹۹۴؛ رامین، ۱۹۹۷؛ محمودی و همکاران، ۲۰۰۸).

در زمینه تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان زراعی و میزان واکنش سرعت جوانه‌زنی آن‌ها به تغییر دما و همچنین، ارزیابی تنوع این صفات در ژنوتیپ‌های هر گونه زراعی مطالعات نسبتاً گسترده‌ای انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات رامین (۱۹۹۷) در مورد ژنوتیپ‌های تره ایرانی (*Allium ampeloprasum L. ssp. iranicum*)، کوول و همکاران (۱۹۸۶) در مورد چهار گونه از بقولات دانه‌ای، گارسیا هوئیدوبرو و همکاران (۱۹۹۴) در مورد ژنوتیپ‌های ارزن مرواریدی (*Pennisetum typhoides S. & H.*)، ویل و همکاران (۱۹۹۴) در مورد ارقام آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*)، ویژیل و همکاران (۱۹۹۷) در کلزا (*Brassica napus L.*) و شلغم روغنی (*B. rapa L.*)، ماتیوس و هایز (۱۹۸۲) در مورد سویا (*Glycine max (L.) Merr.*) و بالاخره مطالعه بلومنتال و همکاران (۱۹۹۶) در مورد شبدر پنجه کلاغی (*Lotus sp.*) اشاره نمود. همچنین، علی و همکاران (۱۹۹۴) تنوع دماهای کاردینال برای جوانه‌زنی گندم، و کاماها و مگوئیر (۱۹۹۲) تأثیر دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی گندم را مطالعه کردند. با توجه به اهمیت گندم در کلیه مناطق کشور به‌عنوان گیاهی که هر ساله بیش از ۵۰ درصد از زمین‌های زراعی به زراعت آن اختصاص داده می‌شود و با توجه به اهمیت دماهای کاردینال و تنوع آن در انتخاب و اصلاح ارقام مناسب، مطالعه حاضر به منظور ارزیابی تنوع دماهای کاردینال جوانه‌زنی، واکنش ویژگی‌های جوانه‌زنی به تغییر دمای محیط و دامنه بردباری دمایی جوانه‌زنی بذر ۱۲ رقم گندم مورد استفاده در کشور به ویژه در استان‌های شمالی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تنوع واکنش جوانه‌زنی به تغییر دما، دماهای کاردینال و دامنه بردباری دمایی جوانه‌زنی بذر ۱۲ رقم گندم شامل رسول، هیرمند، گلستان، فلات، شیروودی، البرز، پاستور، زاگرس، اترک، مارون، تجن، و نیک‌نژاد در هفت دمای ثابت ۵، ۱۳، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۴ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم زراعی دانشگاه علوم کشاورزی گرگان بررسی گردید. بذرهایی مورد استفاده در

آزمایش از مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان تهیه شدند. این بذرها مربوط به یک سال و یک محیط بودند.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اتاقک رشد با دقت ± 0.5 درجه سانتی‌گراد اجرا گردید. در هر تکرار ۵۰ عدد بذر سالم در پتری‌دیش با قطر ۱۵ سانتی‌متر قرار داده شد. کف پتری‌دیش‌ها با یک لایه کاغذ صافی پوشیده شد. برای تأمین رطوبت مورد نیاز، پس از قرار دادن بذرها در کلیه پتری‌دیش‌ها، به هر پتری‌دیش ۹ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. در ضمن، به منظور ضد عفونی بذرها، پیش از قرار دادن آن‌ها در پتری‌دیش، به مدت ۳۰ ثانیه در محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد غوطه‌ور و سپس با آب فراوان شسته شدند. شمارش و حذف بذرهاى جوانه‌زده هر ۱۲ ساعت یک بار انجام و در صورت نیاز قبل از بازگرداندن پتری‌دیش‌ها به اتاقک رشد آب مقطر به مقدار کافی اضافه می‌شد. به هنگام شمارش، بذرهایی جوانه‌زده تلقی می‌شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود.

در کلیه تیمارها، برای هر تکرار منحنی پیشرفت جوانه‌زنی نسبت به زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای ۱۰ (D₁₀)، ۵۰ (D₅₀) و ۹۰ (D₉₀) درصد جوانه‌زنی از طریق درون‌یابی برآورد گردید. همچنین، عکس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی (1/D₅₀) به عنوان سرعت جوانه‌زنی (GR) و فاصله زمانی (برحسب ساعت) بین ۱۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی نهایی به عنوان یکنواختی جوانه‌زنی (GU) در نظر گرفته شد (زینلی و همکاران، ۲۰۰۳؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱). به این منظور، از برنامه GERMIN استفاده شد (سلطانی و مداح، ۲۰۱۰).

به منظور توصیف روابط بین دما و سرعت جوانه‌زنی و برآورد دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) از رگرسیون خطی استفاده شد. معادلات دو خط رگرسیون بین دما (محور X) و سرعت جوانه‌زنی (محور Y) در دماهای کمتر از مطلوب و بیشتر از مطلوب تعیین شدند. با مساوی قرار دادن دو معادله مذکور و حل آن، دمای مطلوب جوانه‌زنی (T₀) به دست آمد که در حقیقت همان محل تلاقی دو خط رگرسیون می‌باشد. دماهای پایه (T_b) و سقف (T_c) از طریق برون‌یابی برآورد گردیدند (ویل و همکاران، ۱۹۹۴؛ رامین، ۱۹۹۷؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱). بدین ترتیب که محل تلاقی امتداد خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی در دماهای کمتر از دمای مطلوب با محور دما به عنوان دمای پایه و محل تلاقی خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی در دماهای بیشتر از مطلوب با محور دما به عنوان دمای سقف در نظر گرفته شد. به بیان دیگر، با برابر صفر قرار دادن دو معادله رگرسیون هر تیمار به ترتیب

نقاط دمای پایه و دمای سقف به دست آمد. شیب خطوط رگرسیون، میزان تغییر سرعت جوانه‌زنی ارقام به ازای هر درجه تغییر دما را نشان می‌دهد. دامنه بردباری دماهای کمتر از مطلوب (TOL_1) و بالاتر از مطلوب (TOL_2) و کل (TOL_t) از روابط ذیل به دست آمدند (رامین، ۱۹۹۷؛ ویل و همکاران، ۱۹۹۴).

$$TOL_1 = T_o - T_B$$

$$TOL_2 = T_c - T_o$$

$$TOL_t = T_c - T_B$$

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. همچنین، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD انجام شد (سلطانی، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

دماهای کاردینال، دامنه بردباری و واکنش به تغییرات دما: تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که هیچ یک از دماهای کاردینال (شامل دماهای پایه، مطلوب و سقف) و دامنه‌های بردباری دمایی (کمتر از مطلوب، بیشتر از مطلوب و کل) به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر رقم قرار نگرفته‌اند. دمای پایه دوازده رقم گندم مورد استفاده در این مطالعه از ۲/۰۴ درجه سانتی‌گراد در رقم اترک تا ۲/۹۰ درجه سانتی‌گراد در رقم گلستان متغیر بود. به بیان دیگر، دامنه تغییرات دمای پایه در ارقام مورد آزمایش فقط ۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد بود. این میزان اندک تغییرات دمای پایه با یافته‌های تعدادی از محققین در مورد گندم و گیاهان دیگر مطابقت دارد. سیفلت و همکاران (۲۰۰۲) تغییرات دمای پایه ۶ رقم گندم بهاره را بین ۱/۲ و ۱/۶ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. در مطالعه ویژیل و همکاران (۱۹۹۷) نیز بیشترین تفاوت دمای پایه پنج رقم کلزا فقط ۰/۸ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین، رامین (۱۹۹۷) نیز اختلاف معنی‌داری را بین دمای پایه جوانه‌زنی سه رقم تره ایرانی مشاهده نکرد. علی و همکاران (۱۹۹۴) گزارش مشابهی مبنی بر عدم اختلاف معنی‌دار دمای پایه جوانه‌زنی ۱۴ رقم گندم بهاره را منتشر نمودند. با این حال، گزارش‌هایی نیز وجود دارد که بر دامنه بیشتر تغییرات دمای پایه برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های گونه‌های زراعی دیگر دلالت دارد. برای نمونه، دمای پایه شش وارسته آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) مورد مطالعه ویل و همکاران (۱۹۹۴) بین ۱ و ۵/۱ درجه سانتی‌گراد متغیر بود که تفاوتی برابر با ۴/۱ درجه سانتی‌گراد را در وارسته‌های متعلق به یک گونه نشان می‌دهد. یافته‌های بلومنتال و همکاران (۱۹۹۶) نیز حاکی از تغییرات دمای پایه شش ژنوتیپ شبر

پنجه کلاغی (*Lotus sp.*) بین ۱/۰۱ و ۶/۳۸ درجه سانتی‌گراد بود که نشانگر اختلاف بسیار چشمگیر (بیش از ۶ درجه سانتی‌گراد) بین دمای پایه ژنوتیپ‌های این گونه می‌باشد و بالاخره می‌توان به مطالعه ویژگی‌های جوانه‌زنی ۱۶ هیبرید سورگوم (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) توسط وید و همکاران (۱۹۹۳) اشاره نمود که بر اختلاف دمای پایه جوانه‌زنی هیبریدها تا حدود ۴ درجه سانتی‌گراد دلالت دارد. لازم به یادآوری است که از تنوع در دمای پایه می‌توان برای غربال کردن ژنوتیپ‌ها با هدف بهبود سازگاری به محیط‌های با دمای کم یا زیاد در مرحله جوانه‌زنی استفاده کرد و کم بودن تنوع در ارقام گندم مورد مطالعه حاکی از مشابهت نسبی سازگاری و نیازهای اکولوژیکی آنها بوده است. به هر حال، شاید بتوان از طریق جمع‌آوری و مطالعه ژنوتیپ‌هایی با سازگاری اکولوژیکی متفاوت‌تر از مناطق اقلیمی گوناگون به هدف یاد شده دست یافت.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o) و دمای سقف (T_c)، دامنه بردباری دماهای کمتر از مطلوب (TOL_1)، بیشتر از مطلوب (TOL_2) و کل (TOL_t) و واکنش پذیری سرعت جوانه‌زنی به دماهای کمتر از مطلوب (B_1) و بیشتر از مطلوب (B_2) دوازده رقم از گندم‌های شمال کشور.

منبع تغییر	T_b	T_o	T_c	TOL_1	TOL_2	TOL_t	$B_1(\times 10^4)$	$B_2(\times 10^6)$
رقم	۰/۲۰۶۸۹ ^{ns}	۰/۰۶۳۴۰ ^{ns}	۶/۰۱۰۴۷ ^{ns}	۰/۱۸۲۱۵ ^{ns}	۷/۱۵۰۳۸ ^{ns}	۶/۷۲۳۳۶ ^{ns}	۱/۰۰ ^{**}	۳/۷۸ ^{ns}
تکرار	۰/۳۶۹۲۹ ^{ns}	۰/۰۰۱۱۶ ^{ns}	۰/۰۸۳۳۹ ^{ns}	۰/۳۹۸۱۸ ^{ns}	۰/۰۶۵۷۶ ^{ns}	۰/۷۵۵۲۱ ^{ns}	۱/۰۰ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}
خطا	۰/۱۳۴۷۰	۰/۰۵۲۵۰	۵/۰۷۹۸۲	۰/۱۶۲۵۰	۵/۹۳۶۲۵	۵/۲۰۷۴۶	۰/۱۸	۳/۰۴

^{ns} عدم تأثیر معنی دار در سطح پنج درصد ** تأثیر معنی دار در سطح احتمال یک درصد

همچنان که بر اساس نتایج مربوط به دمای پایه انتظار می‌رفت دمای مطلوب جوانه‌زنی ۱۲ رقم گندم مورد مطالعه بسیار نزدیک و تفاوت‌های بین ارقام حتی از تفاوت‌های اندک آن‌ها از نظر دمای پایه کمتر بود به طوری که بیشترین اختلاف دمای مطلوب بین ارقام مربوط به زاگرس (با دمای مطلوب ۳۱/۸۱ درجه سانتی‌گراد) و گلستان (با دمای مطلوب ۳۲/۴۲ درجه سانتی‌گراد) بود که اختلافی برابر با ۰/۶۱ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. دمای سقف جوانه‌زنی ارقام در مقایسه با دمای مطلوب از تنوع و تغییرات بیشتری برخوردار بود. در میان ارقام گندم مورد آزمایش، نیک نژاد کمترین (۳۸/۰۸ درجه سانتی‌گراد) و زاگرس بیشترین (۴۲/۰۸ درجه سانتی‌گراد) دمای سقف را داشتند که حاکی از اختلافی به میزان ۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (جدول ۲). ویل و همکاران (۱۹۹۴)

ابراهیم زینلی و همکاران

نیز تغییرات دمای مطلوب واریته‌های آفتابگردان مورد آزمایش خود را بین ۳۴ و ۳۶/۷ درجه سانتی‌گراد و تغییرات دمای سقف این واریته‌ها را بین ۴۵/۵ و ۵۰/۹ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند که نشان می‌دهد در بین دماهای کاردینال، دامنه تغییرات دمای سقف بیشتر از دمای پایه و دامنه تغییرات دمای پایه بیشتر از دمای مطلوب می‌باشد. یافته‌های ایشان در رابطه به ترتیب دماهای کاردینال به لحاظ دامنه تغییرات با یافته‌های این آزمایش کاملاً مطابقت دارد. دمای سقف شش ژنوتیپ شبدر پنجه کلاغی مورد مطالعه بلومنتال و همکاران (۱۹۹۴) بسیار چشمگیر و بین ۲۲/۱ و ۲۹/۸ درجه سانتی‌گراد متغیر بود.

جدول ۲- میانگین‌های دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای سقف (T_c)، دامنه بردباری دماهای کمتر از مطلوب (TOL_1)، بالاتر از مطلوب (TOL_2) و کل دامنه بردباری دمایی (TOL_t) در ۱۲ رقم گندم.

رقم	T_b (درجه سانتی‌گراد)	T_o (درجه سانتی‌گراد)	T_c (درجه سانتی‌گراد)	TOL_1 (درجه سانتی‌گراد)	TOL_2 (درجه سانتی‌گراد)	TOL_t (درجه سانتی‌گراد)
رسول	۲/۲۷	۳۲/۰۴	۴۱/۲۷	۲۹/۷۶	۹/۲۳	۳۹/۰۰
هیرمند	۲/۵۴	۳۲/۰۶	۴۰/۷۴	۲۹/۵۲	۸/۶۸	۳۸/۲۰
گلستان	۲/۹۰	۳۲/۴۲	۳۸/۱۲	۲۹/۵۲	۵/۷۰	۳۵/۲۲
فلات	۲/۵۶	۳۲/۲۱	۳۹/۱۰	۲۹/۶۵	۶/۸۹	۳۶/۵۴
شیرودی	۲/۷۱	۳۲/۱۵	۴۰/۴۶	۲۹/۴۴	۸/۳۱	۳۷/۷۵
البرز	۲/۸۹	۳۲/۱۸	۳۹/۸۴	۲۹/۲۹	۷/۶۶	۳۶/۹۵
پاستور	۲/۶۰	۳۲/۰۷	۴۱/۱۸	۲۹/۴۷	۹/۱۱	۳۸/۵۸
زاگرس	۲/۳۶	۳۱/۸۱	۴۲/۰۸	۲۹/۴۵	۱۰/۲۷	۳۹/۷۲
اترک	۲/۰۴	۳۲/۲۳	۳۸/۴۰	۳۰/۱۹	۶/۱۷	۳۶/۳۶
مارون	۲/۲۳	۳۲/۰۶	۴۱/۸۰	۲۹/۸۲	۹/۷۴	۳۹/۵۷
تجن	۲/۳۰	۳۲/۱۴	۴۰/۵۱	۲۹/۸۴	۸/۳۷	۳۸/۲۱
نیک نژاد	۲/۴۵	۳۲/۲۲	۳۸/۰۸	۲۹/۷۷	۵/۸۶	۳۵/۶۲
میانگین	۲/۴۹	۳۲/۱۳	۴۰/۱۳	۲۹/۶۴	۸/۰۰	۳۷/۶۴
LSD ($P=۰/۰۵$)	۰/۶۲۱۵	۰/۳۸۸	۳/۸۱۶۵	۰/۶۸۲۸	۴/۱۲۵۷	۳/۸۶۴۱

بایستی به این نکته توجه گردد که از دیدگاه کاربردی با توجه به اینکه در کشور ما کشت گندم به صورت پاییزه صورت می‌گیرد معمولاً تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل درجه حرارت‌های زیاد در مرحله جوانه‌زنی اهمیت چندانی ندارد و این موضوع در کشت بهاره گندم بیشتر اهمیت دارد که احتمال هم‌زمانی کشت گندم با دماهای زیاد هوا بیشتر است. در کشت‌های پاییزه، پایین‌تر بودن دمای پایه و دمای مطلوب، به دلیل کمک به جوانه‌زنی و استقرار سریع‌تر بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. اگرچه تجزیه واریانس داده‌ها عدم تأثیر معنی‌دار رقم بر دامنه بردباری دمایی (شامل دامنه‌های بردباری دماهای کمتر از مطلوب، بیشتر از مطلوب و کل دامنه دمایی) را نشان داد (جدول ۱)، تفاوت‌های ارقام به لحاظ دامنه بردباری دماهای بیشتر از مطلوب به مراتب بیشتر از دماهای کمتر از مطلوب و حتی کل دامنه بردباری دمایی بود. در بین ارقام مورد آزمایش، کمترین (۲۹/۲۹) درجه سانتی‌گراد) و بیشترین (۳۰/۱۹) درجه سانتی‌گراد) دامنه بردباری دمایی دماهای کمتر از مطلوب به ترتیب مربوط به ارقام البرز و اترک، کمترین (۵/۷۰) درجه سانتی‌گراد) و بیشترین (۱۰/۲۷) درجه سانتی‌گراد) دامنه بردباری دماهای بیشتر از مطلوب به ترتیب مربوط به ارقام گلستان و زاگرس، و کمترین (۳۵/۲۲) درجه سانتی‌گراد) و بیشترین (۳۹/۷۲) درجه سانتی‌گراد) دامنه بردباری دمایی کل به ترتیب مربوط به ارقام گلستان و زاگرس بود (جدول ۲). بر اساس نتایج یاد شده، حداکثر تفاوت دامنه بردباری دماهای کمتر از مطلوب، بیشتر از مطلوب و کل در ارقام مورد آزمایش به ترتیب ۰/۷۴، ۴/۵۷، ۴/۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. بر اساس این نتایج، بیشترین TOL_1 مربوط به رقمی (اترک) بود که کمترین T_b را داشت و بیشترین TOL_2 و همچنین TOL_4 مربوط به رقم دارای بیشترین T_c (زاگرس) بود که کاملاً منطقی به نظر می‌رسد.

به‌طور کلی، در تمام ارقام مورد بررسی شیب خطوط رگرسیون- که نشانگر واکنش‌پذیری به تغییرات دما می‌باشد- در دماهای بالاتر از مطلوب به‌طور قابل توجهی بیش از این شیب در دماهای کمتر از مطلوب بود (جدول ۳). به بیان دیگر، با افزایش دما از دمای پایه تا دمای مطلوب سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و سپس، با افزایش بیشتر دما نسبت به دمای مطلوب، سرعت جوانه‌زنی به‌صورت خطی و با آهنگی تندتر رو به کاهش گذاشت. یافته‌های این آزمایش حاکی از آن بود که تفاوت‌های بین ارقام مورد مطالعه از نظر واکنش‌پذیری به تغییرات دما در دماهای کمتر از مطلوب بسیار کمتر از دماهای بالاتر از مطلوب بوده است. یافته‌های یاد شده با یافته‌های کوول و همکاران (۱۹۸۶)، کاماها و مگوئیر (۱۹۹۲)، وید و همکاران (۱۹۹۳) و ویل و همکاران (۱۹۹۴) مطابقت دارد. در دماهای کمتر از مطلوب، بیشترین واکنش‌پذیری به تغییرات دما در ارقام گلستان و البرز و کمترین

واکنش‌پذیری در رقم اترک مشاهده شد (جدول ۳). یادآور می‌گردد که در میان ارقام مورد مطالعه، ارقام گلستان و البرز بزرگ‌ترین و رقم اترک کوچک‌ترین دمای پایه را دارا بودند (جدول ۲). با نگاهی به داده‌های دماهای کاردینال و شیب خطوط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی ارقام در دماهای کمتر از مطلوب استنباط می‌گردد که واکنش‌پذیری ارقام دارای دمای پایه بالاتر به تغییرات دما بیشتر است.

جدول ۳- معادله‌های خطوط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی (y) نسبت به دما (x) و شیب (b) خطوط رگرسیون در دماهای کمتر از مطلوب ($T < T_0$) و بیشتر از مطلوب ($T > T_0$) در دوازده رقم گندم.

رقم	دامنه دمایی	معادله	b	R^2
رسول	$T < T_0$	$y = -0.003396 + 0.001442X$	$1/37 \times 10^{-3}$	0/99
	$T > T_0$	$y = 0.194134 - 0.00472 X$	-0.14×10^{-3}	0/61
هیرمند	$T < T_0$	$y = -0.003966 + 0.001501X$	$1/43 \times 10^{-3}$	0/98
	$T > T_0$	$y = 0.197505 - 0.004788X$	-0.11×10^{-3}	0/79
گلستان	$T < T_0$	$y = -0.005706 + 0.001647 X$	$1/47 \times 10^{-3}$	0/96
	$T > T_0$	$y = 0.316305 - 0.008288 X$	$-7/73 \times 10^{-3}$	0/91
فلات	$T < T_0$	$y = -0.004062 + 0.001536 X$	$1/45 \times 10^{-3}$	0/97
	$T > T_0$	$y = 0.272495 - 0.007049 X$	$-7/98 \times 10^{-3}$	0/74
شیرودی	$T < T_0$	$y = -0.004060 + 0.001495 X$	$1/41 \times 10^{-3}$	0/95
	$T > T_0$	$y = 22290.2 - 0.005551 X$	-0.71×10^{-3}	0/69
البرز	$T < T_0$	$y = -0.004789 + 0.001579 X$	$1/48 \times 10^{-3}$	0/98
	$T > T_0$	$y = 0.239306 - 0.006011 X$	-0.84×10^{-3}	0/86
پاستور	$T < T_0$	$y = -0.003813 + 0.001450 X$	$1/38 \times 10^{-3}$	0/97
	$T > T_0$	$y = 0.172655 - 0.00463 X$	$-4/58 \times 10^{-3}$	0/88
زاگرس	$T < T_0$	$y = -0.003573 + 0.001468 X$	$1/40 \times 10^{-3}$	0/97
	$T > T_0$	$y = 0.152731 - 0.003453 X$	$-4/12 \times 10^{-3}$	0/87
اترک	$T < T_0$	$y = -0.002573 + 0.001325 X$	$1/25 \times 10^{-3}$	0/98
	$T > T_0$	$y = 0.249633 - 0.006495 X$	$-7/30 \times 10^{-3}$	0/88
مارون	$T < T_0$	$y = -0.003571 + 0.001513 X$	$1/41 \times 10^{-3}$	0/98
	$T > T_0$	$y = 0.180426 - 0.004234 X$	$-4/66 \times 10^{-3}$	0/80
تجن	$T < T_0$	$y = -0.003406 + 0.001497 X$	$1/40 \times 10^{-3}$	0/94
	$T > T_0$	$y = 0.199959 - 0.004850 X$	-0.15×10^{-3}	0/87
نیک‌نژاد	$T < T_0$	$y = -0.003623 + 0.001446 X$	$1/38 \times 10^{-3}$	0/98
	$T > T_0$	$y = 0.283724 - 0.007463 X$	$-7/08 \times 10^{-3}$	0/91

تنوع ژنتیکی در هر گونه زراعی از نظر نحوه واکنش جوانه‌زنی به دما از دیدگاه زراعی حائز اهمیت است. در محیط‌های نیمه خشک، جوانه‌زنی سریع بذر پس از کاشت موجب می‌شود که ریشه‌های بذری پیش از خشک‌شدن لایه سطحی خاک به لایه‌های مرطوب پایین‌تر توسعه یابند. همچنین، جوانه‌زنی سریع‌تر بذرها در دمای پایین به گیاه اجازه می‌دهد پیش از هجوم پاتوژن‌هایی که در این مرحله به گیاهچه حمله می‌کنند، در مزرعه استقرار یابند (وید و همکاران، ۱۹۹۳) و جوانه‌زنی سریع‌تر در دمای بالا، استقرار گیاه را قبل از خشک‌شدن لایه سطحی خاک و ایجاد دماهای زیاد در این لایه تضمین می‌نماید (ویلسون و همکاران، ۱۹۸۲). علی و همکاران (۱۹۹۴) نتیجه گرفتند که تلفیق دمای مطلوب بالاتر برای جوانه‌زنی با واکنش بیشتر به تغییرات دما، به سازگاری بهتر ارقام با مناطقی منجر می‌شود که در زمان کاشت محصول، دمای بالاست.

حداکثر جوانه‌زنی، زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار رقم و دما بر G_{max} ، D_{10} ، GU و GR ، در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار بودن اثرات متقابل رقم و دما بر G_{max} در سطح احتمال پنج درصد و بر سه صفت دیگر در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثرات متقابل دما و رقم در رابطه با چهار ویژگی جوانه‌زنی حاکی از متفاوت‌بودن میزان تغییرات هر یک از این ویژگی‌ها دست کم در تعدادی از ارقام مورد مطالعه به ازای مقدار معینی تغییر در دمای محیط می‌باشد که با نتایج سایر محققین از جمله کاماها و مگوئیر (۱۹۹۲)، وید و همکاران (۱۹۹۳) و ویل و همکاران (۱۹۹۴) مطابقت دارد. بنابراین، میانگین تغییرات هر یک از این ویژگی‌ها در کل ارقام قابل تعمیم به یکایک ارقام مورد مطالعه نمی‌باشد. همچنین، با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل نمی‌توان ویژگی‌های جوانه‌زنی ارقام را بر اساس مقدار میانگین کل تیمارهای دمایی با یکدیگر مقایسه کرد. از این‌رو، در این بخش درباره نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دما و رقم در مورد ویژگی‌های جوانه‌زنی صحبت شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) حداکثر جوانه‌زنی (G_{max})، زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی بر حسب ساعت (D_{10})، یکنواختی جوانه‌زنی (GU) و سرعت جوانه‌زنی (GR) در شش تیمار دمایی در دوازده رقم گندم.

منبع تغییر	G_{max}	D_{10}	GU	GR ($\times 10^{-6}$)
تکرار	۱۵/۶۴۴ ^{ns}	۶۱۹/۸۰۸ ^{ns}	۱۷۶/۶۰۶ ^{ns}	۰/۸۹ ^{ns}
رقم	۱۱۰/۱۱۶ ^{**}	۱۶۹۴/۶۸۶ ^{**}	۹۷۶/۵۴۴ ^{**}	۱۳/۳۵ ^{**}
دما	۴۸۱۴/۸۷۱ ^{**}	۶۴۲۰۴/۷۱۳ ^{**}	۹۶۹۶۲/۹۶۷ ^{**}	۷۰۹۶/۳۵ ^{**}
رقم \times دما	۴۱/۴۲۹ [*]	۱۰۵۰/۰۳۴ ^{**}	۸۹۳/۰۶۱ ^{**}	۳/۴۵ ^{**}
خطا	۲۸/۸۴۵	۲۱۵/۴۰۱	۲۲۲/۳۸۶	۱/۳۲

^{ns} عدم تأثیر معنی‌دار، ^{**} و ^{*}: به ترتیب تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

به‌طور کلی، در ارقام گندم مورد مطالعه بیشترین مقادیر G_{max} در دمای ۱۳ یا ۲۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند و با کاهش دما به ۵ یا افزایش دما به ۲۵، ۳۲ و ۳۴ درجه سانتی‌گراد از میزان G_{max} کاسته شد. بیشترین میزان کاهش وقتی اتفاق افتاد که دما از ۳۲ به ۳۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دما و رقم در مورد G_{max} ، با اینکه به استثنای رقم نیک‌نژاد، در تمام ارقام مورد آزمایش افزایش دما از ۲۰ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد با کاهش G_{max} همراه بود ولی در هیچ یک از ارقام، این کاهش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. همچنین، از نظر G_{max} ، در هیچ یک از ارقام، بجز شیروودی، بین دمای ۱۳ درجه سانتی‌گراد و دو دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در رقم شیروودی، G_{max} در دمای ۱۳ درجه سانتی‌گراد به طور معنی‌داری کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. با کاهش دما از ۱۳ به ۵ درجه سانتی‌گراد، G_{max} کاهش یافت، این کاهش، در ارقام رسول، گلستان، پاستور و اترک معنی‌دار بود اما در سایر ارقام معنی‌دار نبود. با افزایش دما از ۲۵ به ۳۲ درجه سانتی‌گراد روند کاهشی G_{max} در دماهای بالاتر از ۲۰ درجه ادامه یافت و با افزایش بیشتر دما فقط به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد (از ۳۲ به ۳۴ درجه سانتی‌گراد) کاهش بسیار شدید G_{max} مشاهده شد (جدول ۵) به طوری که میانگین G_{max} از ۸۷/۹۲ درصد (در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد)، به ۶۶/۹۴ درصد (در ۳۴ درجه سانتی‌گراد) رسید (میانگین‌ها نشان داده نشده‌اند). به هر حال، میزان کاهش G_{max} در دمای ۳۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به مطلوب‌ترین دماها از نظر G_{max} (یعنی ۱۳ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و همین‌طور نسبت به دمای ۲۵

درجه سانتی‌گراد در ارقام مختلف متفاوت، ولی در تمام ارقام معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها عدم اختلاف معنی‌دار ارقام از نظر G_{max} در دامنه‌های ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد را نشان داد. به‌طور کلی، در ارقام مورد مطالعه بیشترین G_{max} در دماهای ۱۳ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. لازم است، اضافه شود که در میان ارقام آزمایشی، ارقام تجن، هیرمند و زاگرس را می‌توان از نظر G_{max} بهترین ارقام معرفی کرد چرا که در کلیه دماهای ۵ تا ۳۴ درجه سانتی‌گراد، در ردیف ارقام دارای بیشترین G_{max} قرار داشتند؛ G_{max} در ارقام تجن، هیرمند و زاگرس در دماهای ۵ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب مساوی یا بیشتر از ۹۶، ۹۳ و ۹۲، و در دمای ۳۴ درجه سانتی‌گراد بیش از ۷۰ درصد بود (جدول ۵).

در کلیه ارقام گندم مورد بررسی، GR با افزایش دما در دامنه بین ۵ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت اما افزایش بیشتر دما (از ۳۲ به ۳۴ درجه سانتی‌گراد) به کاهش GR منتهی شد (جدول ۶). این روند کلی تغییرات GR در ارقام گندم قابل انتظار و پیش‌بینی بود چرا که هم چنان که پیشتر اشاره شد، بر اساس رابطه بین GR و دما، در تمام ارقام مورد آزمایش دمای مطلوب برای جوانه‌زنی، دمایی که جوانه‌زنی با حداکثر سرعت انجام می‌شود، بدون استثنا حدود ۳۲ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. با این حال، نتایج مقایسات میانگین‌های اثرات متقابل دما و رقم (جدول ۶) حاکی از اختلاف معنی‌دار بین تمام دماها در مورد همه ارقام و همین‌طور بین تمام ارقام، به استثنای موارد معدود، در همه دماها از نظر سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. اختلاف بین کمترین و بیشترین GR در ارقام مورد آزمایش در دماهای ۵، ۱۳، ۲۰، ۲۵، ۳۲ و ۳۴ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۰/۰۵، ۰/۱۷۷، ۰/۲۷۱، ۰/۶۸۷، ۰/۶۲۲ و ۰/۵۹۳ بود که نشانگر اختلاف‌های بسیار بیشتر در سه دمای بالاتر نسبت به سه دمای پایین‌تر می‌باشد. در میان ارقام مورد مطالعه، رقم اترک در ۵ دما از ۶ دما کمترین GR را دارا بود (جدول ۶) ضمن اینکه در سه دمای ۵، ۱۳ و ۳۴ درجه سانتی‌گراد و بر اساس میانگین کل دماها (داده‌های میانگین دماها نشان داده نشده‌اند) کمترین G_{max} نیز مربوط به همین رقم بود.

ابراهیم زینلی و همکاران

جدول ۵- حد اکثر جوانه زنی (G_{max}) دوازده رقم از گندم های شمال کشور در شش تیمار دمایی ($LSD_{(0.05)} = ۸/۶$).

نیک نژاد	تجن	مارون	اترک	زاگرس	پاستور	البرز	شیرودی	فلات	گلستان	هیرمند	رسول	دما ($^{\circ}C$)
۹۲/۷	۹۸/۷	۹۶/۰	۸۶/۷	۹۶/۷	۸۹/۳	۹۴/۰	۹۸/۷	۹۴/۰	۸۸/۷	۹۵/۳	۸۶/۷	۵
۹۸/۰	۱۰۰/۰	۹۸/۷	۹۶/۷	۱۰۰/۰	۹۹/۳	۹۸/۰	۹۱/۳	۹۷/۳	۹۷/۳	۹۸/۷	۹۸/۷	۱۳
۹۱/۳	۹۶/۷	۹۸/۷	۹۸/۷	۹۷/۳	۹۸/۷	۹۸/۰	۱۰۰/۰	۹۸/۰	۹۶/۷	۹۸/۷	۹۷/۳	۲۰
۹۲/۰	۹۶/۰	۹۲/۷	۹۲/۷	۹۲/۰	۹۷/۳	۹۲/۰	۹۳/۳	۹۰/۶	۹۰/۰	۹۴/۰	۹۱/۳	۲۵
۸۵/۰	۹۶/۷	۸۹/۳	۸۷/۳	۹۲/۰	۸۶/۷	۸۱/۳	۸۰/۷	۸۴/۰	۸۹/۳	۹۳/۳	۸۹/۳	۳۲
۶۶/۰	۷۲/۷	۷۶/۰	۵۷/۳	۷۰/۷	۷۲/۷	۶۸/۰	۵۴/۷	۶۵/۳	۵۷/۳	۷۳/۳	۶۹/۳	۳۴

جدول ۶- سرعت جوانه زنی (GR) دوازده رقم از گندم های شمال کشور در شش تیمار دمایی ($LSD_{(0.05)} = ۰/۰۰۲$).

نیک نژاد	تجن	مارون	اترک	زاگرس	پاستور	البرز	شیرودی	فلات	گلستان	هیرمند	رسول	دما ($^{\circ}C$)
۰/۴۱۰	۰/۴۵۳	۰/۴۳۴	۰/۴۰۴	۰/۴۱۵	۰/۴۱۴	۰/۴۳۷	۰/۴۰۹	۰/۴۱۸	۰/۴۲۲	۰/۴۰۳	۰/۴۱۸	۵
۱/۳۶۳	۱/۴۶۲	۱/۴۷۹	۱/۳۰۲	۱/۴۶۴	۱/۴۰۰	۱/۳۶۶	۱/۳۵۶	۱/۴۰۷	۱/۴۲۰	۰/۴۲۳	۱/۴۰۴	۱۳
۲/۲۴۵	۲/۱۰۱	۲/۳۲۸	۲/۲۳۱	۲/۱۸۷	۲/۰۹۵	۲/۳۶۶	۲/۱۵۰	۲/۳۳۸	۲/۲۸۹	۲/۳۲۰	۲/۳۳۲	۲۰
۳/۴۴۱	۳/۶۵۶	۳/۴۹۸	۲/۹۶۹	۳/۵۶۸	۳/۳۹۴	۳/۴۵۶	۳/۵۵۲	۳/۶۵۶	۳/۳۳۲	۳/۴۸۲	۳/۳۱۸	۲۵
۳/۹۵۹	۴/۰۴۹	۴/۱۳۴	۳/۷۱۸	۴/۰۳۶	۴/۰۱۶	۴/۲۷۹	۴/۰۰۹	۴/۱۳۰	۴/۳۴۰	۴/۱۱۴	۴/۰۱۴	۳۲
۳/۳۴۳	۳/۶۲۹	۳/۵۹۰	۳/۰۶۱	۳/۳۰۵	۳/۳۴۲	۳/۴۵۲	۳/۵۹۷	۳/۶۳۸	۳/۶۵۴	۳/۴۹۸	۳/۳۸۰	۳۴

یافته‌های این مطالعه حاکی از اختلاف دماهای مطلوب برای دستیابی به حداکثر جوانه‌زنی تجمعی (G_{max}) و حداکثر سرعت جوانه‌زنی (GR) است. بیشترین G_{max} در ارقام مورد بررسی در دماهای ۱۳ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شدند و با افزایش دما نسبت به ۲۰ درجه سانتی‌گراد، G_{max} در تمام ارقام روبه کاهش گذاشت درحالی که در مورد GR ، بیشترین مقادیر برای تمام ارقام در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند و با افزایش دما نسبت به این دما، کاهش سرعت جوانه‌زنی آغاز گردید. محمودی و همکاران (۲۰۰۸) نیز اختلاف دماهای مطلوب برای G_{max} و GR برای یونجه حلزونی (*Medicago scutellata L.*) را گزارش کردند. در مطالعه ایشان، بهترین تابع برای توصیف G_{max} تابع دندان‌مانند و برای GR تابع دوتکه‌ای بود که بر اساس آن دمای مطلوب برای G_{max} ۱۵ تا ۲۷/۳۳ و برای GR ۲۲/۲۲ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید.

جدول ۷- زمان تا ده درصد جوانه زنی (D_{10}) دوازده رقم از گندم‌های شمال کشور در شش تیمار دمایی
($LSD_{(0.05)}=23/5$).

نیک نژاد	تجن	مارون	اترک	زاگرس	پاستور	البرز	شیرودی	فلات	گلستان	هیرمند	رسول	دما (°C)
۱۶۷/۴۳	۵۷/۶۸	۸۱/۰۷	۲۰۳/۹۴	۱۲۹/۴۰	۱۰۱/۴۵	۷۳/۰۹	۱۰۵/۱۹	۱۰۷/۱۵	۱۰۰/۶۰	۱۹۶/۱۳	۱۱۷/۶۳	۵
۵۳/۴۷	۴۸/۵۳	۴۷/۵۸	۵۴/۸۲	۴۸/۳۶	۴۹/۰۳	۴۹/۵۹	۴۹/۴۳	۴۹/۶۳	۴۸/۸۹	۴۹/۷۹	۵۰/۴۷	۱۳
۲۳/۲۶	۳۷/۴۱	۱۸/۷۳	۲۹/۵۸	۲۱/۰۲	۲۹/۹۵	۲۱/۰۴	۳۴/۳۰	۱۳/۱۹	۲۰/۱۸	۱۵/۰۰	۱۴/۶۶	۲۰
۱۳/۴۰	۶/۶۰	۸/۲۷	۲۴/۶۵	۱۱/۹۳	۱۳/۶۴	۸/۲۵	۷/۴۲	۷/۷۴	۹/۷۰	۱۰/۱۲	۱۶/۵۲	۲۵
۱۶/۱۳	۹/۰۲	۷/۴۳	۲۲/۱۴	۱۳/۳۸	۱۴/۴۸	۵/۷۱	۹/۱۴	۸/۵۰	۵/۸۵	۹/۵۵	۱۴/۲۱	۳۲
۲۰/۹۷	۱۶/۳۱	۱۱/۸۷	۲۳/۶۵	۲۰/۲۳	۲۳/۱۱	۱۶/۷۶	۸/۹۰	۱۵/۵۷	۱۰/۸۸	۲۱/۲۹	۲۳/۰۲	۳۴

جدول ۸- یکنواختی جوانه زنی (GU) دوازده رقم از گندم‌های شمال کشور در شش تیمار دمایی ($LSD_{(0.05)}=23/9$).

نیک نژاد	تجن	مارون	اترک	زاگرس	پاستور	البرز	شیرودی	فلات	گلستان	هیرمند	رسول	دما (°C)
۱۱۶/۳۹	۲۰۷/۶۷	۱۷۵/۳۵	۹۶/۱۸	۱۴۴/۹۹	۱۸۵/۲۸	۲۰۶/۵۱	۱۸۲/۰۷	۱۷۷/۷۳	۱۸۵/۱۸	۸۸/۳۸	۱۶۲/۲۴	۵
۴۸/۶۶	۴۲/۶۵	۴۳/۳۴	۴۳/۷۶	۴۱/۷۱	۴۶/۹۳	۵۲/۰۴	۵۰/۳۰	۴۶/۳۶	۴۸/۳۶	۵۰/۰۴	۴۲/۵۹	۱۳
۳۵/۴۳	۲۲/۰۹	۳۷/۰۵	۲۷/۱۱	۳۸/۳۹	۳۱/۷۱	۳۶/۱۸	۲۱/۹۷	۴۵/۷۷	۳۸/۷۶	۴۳/۵۰	۳۹/۳۰	۲۰
۳۴/۵۵	۳۹/۵۹	۴۵/۱۲	۴۳/۰۹	۲۷/۴۸	۳۰/۲۷	۵۰/۹۰	۳۴/۶۹	۴۶/۶۳	۴۵/۸۱	۳۸/۳۳	۳۹/۲۲	۲۵
۲۰/۱۴	۳۰/۶۳	۳۲/۱۳	۲۲/۲۲	۲۰/۳۰	۲۳/۳۹	۲۵/۹۹	۲۷/۷۴	۲۶/۴۵	۲۸/۳۸	۲۳/۷۲	۲۴/۶۴	۳۲
۲۷/۷۶	۲۳/۹۱	۲۸/۶۹	۴۰/۲۴	۳۳/۰۴	۲۱/۷۱	۲۶/۹۵	۳۵/۲۷	۲۳/۷۸	۳۰/۵۸	۱۸/۹۴	۲۸/۰۱	۳۴

نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دما و رقم بر D_{10} (زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی) (جدول ۷) نشان داد که D_{10} با افزایش دما در دامنه دمایی ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد (در مورد ارقام فلات، شیرودی، پاستور، زاگرس، تجن و نیک نژاد) و ۵ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد (در مورد سایر ارقام) کاهش می‌یابد و سپس با افزایش بیشتر دما (از ۲۵ یا ۳۲ به ۳۴ درجه سانتی‌گراد) کاهش پیدا می‌کند. بیشترین کاهش D_{10} وقتی اتفاق افتاد که دما از ۵ به ۱۳ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد. این کاهش به استثنای تجن در همه ارقام معنی‌دار بود. همچنین، در همه ارقام به استثنای تجن و شیرودی با افزایش

دما از ۱۳ به ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش معنی‌داری در D_{10} مشاهده شد. افزایش بعدی دما (از ۲۰ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد) موجب ادامه روند کاهش D_{10} در همه ارقام به جز دو رقم رسول و هیرمند شد. اما این کاهش فقط در مورد ارقام تجن و شیروودی معنی‌دار بود. اختلاف بین دماهای ۲۵، ۳۲ و ۳۴ درجه سانتی‌گراد از نظر D_{10} در مورد هیچ یک از ارقام معنی‌دار نبود. با این حال، نکته قابل توجه این بود که با افزایش دما از ۲۵ به ۳۲، D_{10} در ارقام به مقدار اندک کاهش یا افزایش یافت، اما با افزایش دما از ۳۲ به ۳۴، D_{10} در همه ارقام مورد مطالعه بیشتر شد که حاکی از اثرات نامطلوب دماهای بالاتر ۳۲ درجه سانتی‌گراد بر سرعت دست کم بخشی از فرآیندهای بیوشیمیایی جوانه‌زنی (تجزیه ذخایر غذایی و رشد گیاهچه) می‌باشد. لازم است اضافه شود که در هیچ یک از دماها به جز دمای ۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری بین ارقام از نظر D_{10} وجود نداشت؛ D_{10} در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد بین ۵۷/۶۸، در رقم تجن، تا ۲۰۳/۹۴، در رقم اترک، متغیر بود که نشانگر تفاوت قابل ملاحظه D_{10} در این دما می‌باشد. ارقام البرز و مارون نیز در زمره ارقام دارای کمترین مقادیر D_{10} و ارقام نیک‌نژاد و هیرمند در گروه ارقام دارای بیشترین مقادیر D_{10} قرار داشتند (جدول ۷).

روند تغییرات میانگین‌های اثرات متقابل دما و رقم بر GU (زمان لازم برای رسیدن درصد جوانه‌زنی از ۱۰ به ۹۰ درصد) نشان می‌دهد که در تعدادی از ارقام گندم (هیرمند، فلات، پاستور، مارون و تجن) با افزایش دما در دامنه دماهای بین ۵ و ۳۴ درجه سانتی‌گراد GU کاهش یافته است. در مورد سایر ارقام مورد بررسی، افزایش دما تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد با کاهش GU همراه بوده است. اما پس از آن افزایش دما (از ۳۲ به ۳۴ درجه سانتی‌گراد)، با افزایش GU به مقدار متفاوت همراه بوده است. در کلیه ارقام، بیشترین کاهش وقتی اتفاق افتاد که دما از ۵ (نزدیک‌ترین دما به دمای پایه ارقام) به ۱۳ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد. اگر چه با افزایش دما از ۱۳ به ۲۰ نیز GU در همه ارقام کاهش یافت، ولی به لحاظ آماری این کاهش فقط در رقم شیروودی معنی‌دار بود (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل (جدول ۸)، حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بین دماهای ۲۰، ۲۵، ۳۲ و ۳۴ از نظر GU بود. در این میان، کاهش GU در دمای ۳۴ نسبت به ۲۰ درجه سانتی‌گراد فقط در رقم هیرمند به لحاظ آماری معنی‌دار بود. این نتایج حاکی از آن است که روند تغییرات میانگین‌های GU با افزایش دما در ارقام مورد مطالعه تا حد زیادی شبیه D_{10} بوده است، با این تفاوت که در مورد D_{10} ، روند کاهش در دمای ۲۵ یا ۳۲ متوقف گردید، ولی در مورد GU ، روند کاهش تا ۳۲ و حتی در مورد ۵ رقم یاد شده در بالا تا دمای ۳۴ درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. تأکید می‌گردد که با توجه به

تعاریف ارائه شده برای این دو ویژگی (D_{10} و GU)، بزرگتر شدن داده‌ها به معنای بهبود وضعیت جوانه‌زنی نیست بلکه بر عکس، نشان دهنده طولانی‌تر شدن زمان لازم برای رسیدن به جوانه‌زنی ۱۰ درصد از بذور (D_{10}) و رسیدن درصد جوانه‌زنی از ۱۰ به ۹۰ درصد می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر این بود که به طور کلی D_{10} کوچکتر از GU بود اما اختلاف بین این دو پارامتر با افزایش دما بیشتر شد.

همانند D_{10} ، در مورد GU نیز بیشترین اختلاف بین ارقام در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. کمترین GU در این دما برای ارقام هیرمند (۸۸/۳۸ ساعت) و اترک (۹۶/۱۸ ساعت) و بیشترین GU برای ارقام تجن (۲۰۷/۶۷ ساعت) و البرز (۲۰۶/۵۱ ساعت) ثبت شد (جدول ۸). همچنان که اشاره شد بر خلاف GU ، ارقام هیرمند و اترک بیشترین، و ارقام تجن و البرز کمترین D_{10} را دارا بودند. این نتایج و نتایج مربوط به سایر ارقام نشانگر رابطه معکوس بین D_{10} و GU در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از این نتایج می‌توان چنین استنباط نمود که در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد، D_{10} بزرگ‌تر با جوانه‌زنی یکنواخت‌تر همبسته بوده است. در سایر دماها رابطه روشنی بین این دو ویژگی دیده نشد.

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه حاکی از نزدیکی دماهای کاردینال به ویژه دماهای پایه و مطلوب برای جوانه‌زنی در ارقام مورد مطالعه بود به طوری که بیشترین اختلاف بین دماهای پایه ارقام گندم ۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد و بیشترین اختلاف بین دماهای مطلوب آن‌ها ۰/۶ درجه سانتی‌گراد بود. بنابراین، هیچ یک از ارقام برتری خاصی بر ارقام دیگر برای کشت‌های دیر هنگام پاییزه نداشتند. اگرچه در مورد دمای سقف اختلاف بین ارقام بیشتر از دماهای پایه و مطلوب بود ولی با توجه به این که تمام کشت گندم در ایران به‌صورت پاییزه انجام می‌شود و گندم به ندرت ممکن است در مرحله جوانه‌زنی با تنش گرمایی مواجه شود، تحمل بیشتر دماهای بالاتر در این مرحله، برای به‌نژادی گندم در اولویت نمی‌باشد. به هر حال، شاید بتوان از طریق بررسی دماهای کاردینال در ژنوتیپ‌هایی که در سایر مناطق اقلیمی به‌ویژه مناطق سردتر مورد استفاده قرار می‌گیرند ژنوتیپ‌های با دماهای پایه و مطلوب پایین‌تر را شناسایی کرد. همچنین، با توجه به تغییرات اندک دماهای کاردینال در ارقام مورد بررسی، اختلاف قابل توجهی بین ارقام از نظر دامنه تحمل دماهای پایین‌تر و بالاتر از مطلوب وجود نداشت. اما به‌دلیل تغییرات بیشتر دماهای سقف، اختلاف بین ارقام از نظر تحمل دماها بالاتر از مطلوب بیشتر بود. ضمن اینکه دامنه تحمل به دماهای کمتر از مطلوب در ارقام دارای دمای پایه کوچک‌تر، و دامنه تحمل به

دماهای بیشتر از مطلوب و کل دامنه تحمل حرارتی در ارقام دارای دمای سقف بزرگتر بیشتر بود. نتایج حاکی از متفاوت بودن واکنش ویژگی‌های جوانه‌زنی در ارقام مورد مطالعه به تغییرات دما بود. در ارقام گندم مورد بررسی حداکثر درصد جوانه‌زنی تجمعی در دماهای ۱۳ یا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. همچنین، یکنواخت‌ترین جوانه‌زنی بذر در دماهای ۳۲ یا ۳۴ درجه مشاهده شد. بر اساس این یافته‌ها، حساسیت حداکثر جوانه‌زنی به دماهای پایین بسیار کمتر از سه ویژگی دیگر کمتر بود به طوری که در دمای نزدیک به دمای پایه نیز درصدهای بالای جوانه‌زنی مشاهده شد، ولی به دلیل کاهش شدید سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و افزایش احتمال حمله آفات خاکزی در نتیجه کاشت در دماهای پایین، کاشت در این دماها قابل توصیه نمی‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به دلیل حمایت مالی برای انجام این تحقیق و از آقای دکتر فرشید قادری‌فر و مهندس سلیم فرزانه دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه علوم کشاورزی گرگان به خاطر همکاری بی‌شائبه در انجام تحقیق، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

منابع

- Ali, Z.I., Mahalakshmi, V., Singh, M., Ortiz-Ferrara, G., and Peacock, J.M. 1994. Variation in cardinal temperatures for germination among wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Ann. Appl. Biol.* 2: 367-375.
- Bierhuizen, J.F. and Wagenvoort, W.A. 1977. Some aspects of seed germination in vegetables. II. The effect of temperature fluctuation, depth of sowing, seed size and cultivar on heat sum and minimum temperature for germination. *Sci. Hort.* 6: 259-270.
- Blumenthal, M.J., Aston, S.C., and Pearson, C.J. 1996. Effect of temperature and moisture potential on germination and emergence in *Lotus* sp. *Aust. J. Agric. Res.* 47: 1119-1130.
- Covell, S., Ellis, R.H., Roberts, E.H. and Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperatures. *J. Exp. Bot.* 37: 705-715.

- Dubetz, S., Russell, V., and Anderson, D.T. 1962. Effect of soil temperature on seedling emergence. *Can. J. Plant Sci.* 42: 481-487.
- Garcia-Huidobro, J., Monteith, J.L., and Squire, G.R. 1982. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.) 1. Constant temperature. *J. Exp. Bot.* 33: 288-296.
- Hall, R.D., and Wiesner, L.E. 1990. Relationship between seed vigor tests and field performance of Regar meadow bromegrass. *Crop Sci.* 30: 967-970.
- Hegarty, T.W. 1973. Temperature relations of germination in the field. P: 411-431. In: Heydecker, W. (ed). *Seed Ecology*. London, Butterworths.
- Heydecker, W. 1977. Stress and seed germination . An agronomic view In: (ed.). A.A. Khan. *The physiology and chemistry of seed dormancy and germination*. 237-276. North Holland. Oxford. Biomedical Press.
- Kamaha, C. and Maguire, Y.D. 1992. Effect of temperature on germination of six winter wheat cultivars. *Seed Sci. Technol.* 20:181-185.
- Mahmoodi, A., Soltani, E., and Barani, H. 2008. Germination response to temperature in snail medic (*Medicago sativa* L.). *E. J. Crop Prod.* 1: 54-63.
- Matthews, D.J., and Hayes, P. 1982. Effect of temperature on germination and emergence of six cultivars of soybeans (*Glycine max*). *Seed Sci. Technol.* 10:547- 555.
- Mohamed, H.A., Clark, J.A., and C.K. Ong. 1988. Genotypic differences in the temperature responses of tropical crops. 1. Germination characteristics of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.). *J. Exp. Bot.* 39: 1121-1128.
- Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Dark, J.A., Bradley, R.G., and Chatha, M.R., 1994. Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Sci. Technol.*, 22: 565-572.
- Ong, C.K., and Monteith, J.L. 1985. Response of pearl millet to light and temperature. *Field Crops Res.* 11: 141-160.
- Ramin, A.A. 1997. The influence of temperature on germination of taree Irani (*Allium ampeloprasum* L.. spp. *iranicum* W.). *Seed Sci. Technol.* 25: 414-426.
- Seefeldt, S.S., Kidwell, K.K., and Waller, J.E. 2002. Base groth temperatures, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the US Pacific Northwest. *Field Crops Res.* 75: 47-52.
- Soltani, A. 2007. Application of SAS in statistical analysis. Jihad Daneshgahi Mashhad Press, 20.Mashhad, Iran, P:180.
- Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple, applied programs for education and research in agronomy. Niak Press. P:80.
- Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S. and Latifi, N. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian sea coast of Iran. *Seed Sci. Technol.* 29: 653-662.

- Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., and Latifi, N. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Technol.* 29: 653-662.
- Tekroni, D.M., and Egli, D.B. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. *Crop Sci.* 31: 816-822.
- Vigil, M.F., Anderson, R.L., and Beard, W.E. 1997. Base temperature and growing degree hour requirement for the emergence of canola. *Crop Sci.* 37:844- 849.
- Wade, L. J., Hammer, G.L., and Davey, M.A. 1993. Response of germination to temperature amongst diverse sorghum hybrids. *Field Crop Res.* 31: 295-308.
- Wilson, G.L., Raju, P.S., and Peacock, J.M. 1982. Effect of soil temperature on seedling emergence in sorghum. *Indian J. Agric. Sci.* 52: 848- 851.
- Zeinali, E., Soltani, A. and Galeshi, S. 2003. Response of seed germination components to salinity in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Iran J. Agric. Sci.* 33: 137-145.



Cardinal temperatures, response to temperature and range of thermal tolerance for seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars

*E. Zeinati¹, A. Soltani², S. Galeshi² and S.J. Sadati³

¹Assistant Prof., ²Professor, ³M.Sc. Graduated Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Understanding the seed germination response of cultivated genotypes to temperature is important, agronomically. The genotypes that germinate in lower temperatures could be useful for situations (such as late winter plantings) where temperatures are low in germination stage. Therefore, this experiment was conducted to study the cardinal temperatures, response to sub- or supra-optimal temperatures and thermal tolerance of seed germination in 12 wheat cultivars from the north of Iran. The effects of seven constant temperatures between 5 and 34 °C on the seed germination characteristics were also evaluated. The base (T_b), optimum (T_o) and maximum or ceiling (T_c) temperatures for germination changed from 2.04 to 2.9°C, 31.81 to 32.42°C and 38.08 to 42.08°C, respectively. The analysis of variance revealed no significant differences between cultivars for cardinal temperatures. The effect of cultivar on thermal tolerance was not also significant, but differences between cultivars for thermal tolerance in supra-optimal temperatures were more than sub-optimal temperatures. Generally, all cultivars were more responsive to supra-optimal temperatures than sub-optimal temperatures. In the other hand, the slope of regression line of germination rate (GR) versus supra-optimal temperatures was more than that of sub-optimal temperatures. The difference between cultivars was significant in response to sub-optimal temperatures, only. The effect of cultivar, temperature and their interactions on germination characteristics including maximum germination (G_{max}), time to 10% germination (D_{10}), germination uniformity (GU) and germination rate were significant ($p= 0.01$), statistically. The evaluated cultivars showed the greatest G_{max} in 13 or 20, but the greatest GR in 32°C. Also, D_{10} and GU decreased as temperature increased to 25 or 32 and 32 or 34°C, respectively. The results showed that the difference between 5°C and higher temperatures for G_{max} was very less than GR, D_{10} and GU. This means high G_{max} can be obtained in temperatures near to T_b under without soilborn pests conditions.

Keywords: Wheat cultivars; Seed germination; Cardinal temperatures; Temperature responsiveness.

*- Corresponding Author; Email: e.zeinlali@yahoo.com