کمی سازی واکنش جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum*) تحت تاثیر رژیم‌های دمایی و تنش خشکی

علی گنجعلی[۱]*، مهدی پارسا[۲] و میترا خطیب[۳]

چکیده

دستیابی به اطلاعاتی که بتواند دانش ما را در ارتباط با واکنش بذر به میزان رطوبت و درجه حرارت خاک بیفزاید، در تصمیم گیری‌های دقیق زمان کاشت با اهمیت است. متاسفانه اطلاعات در مورد واکنش جوانه زنی ژنوتیپ‌ها و ارقام نخود به درجه حرارت، تنش خشکی و هم‌چنین اثرات توام آن‌ها محدود است، لذا آزمایشی با هدف بررسی واکنش جوانه زنی به رژیم‌های دمایی و تنش خشکی و هم‌چنین برآورد دماهای کاردینال، روزهای فیزیولوژیکی و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود انجام شد. شش ژنوتیپ نخود شامل: MCC 361، MCC 951، MCC 180 MCC 873، MCC 13 و MCC 463 در ۵ سطح خشکی شامل پتانسیل‌های آب صفر، ۴-، ۸-، ۱۲- و ۱۶- بار در دماهای ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در محیط کنترل شده به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. هیچ‌یک از ژنوتیپ‌ها در پتانسیل‌های آب ۸-، ۱۲- و ۱۶- بار جوانه‌زنی نداشتند و لذا سطوح فوق از آزمایش حذف شدند. درصد بذرهای جوانه زده به‌صورت روزانه ثبت و سرعت جوانه‌زنی بر اساس عکس روز تا ۵۰ درصد (تجمعی) جوانه‌زنی محاسبه شد. برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه زنی به دما، تعیین دماهای کاردینال و هم‌چنین روزهای فیزیولوژیکی و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی از مدل دندان مانند استفاده گردید. دما، تنش خشکی و برهم کنش دما و تش خشکی، تاثیر معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود داشتند. دماهای بالاتر و پایین‌تر از دامنه دمای مطلوب، تاثیر محدودکنندگی بیشتری در شرایط تنش(۴- بار) نسبت به شرایط بدون تنش(صفر بار) بر صفات مربوط به جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها داشت. تنوع ژنتیکی قابل توجهی میان ژنوتیپ‌ها از نظر درصد نهایی جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی مشاهده گردید. ژنوتیپ‌های MCC 463 و MCC 873 در شرایط تنش و بدون تنش از بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی برخوردار بودند. به‌طور کلی متوسط دامنه دمای مطلوب برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش مشابه و برابر ۲۶-۲۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. تنها در شرایط تنش خشکی، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای میان ژنوتیپ‌ها از نظر روزهای فیزیولوژیکی و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها وجود داشت. تنش خشکی زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذر را ۲/۸ برابر نسبت به شرایط بدون تنش افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: نخود، تنش خشکی، سرعت جوانه‌زنی، دماهای کاردینال، زمان حرارتی

۱. استادیار پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۲ . استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳ . کارشناس ارشد علوم گیاهی
*. نویسنده مسول

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.)، یکی از حبوبات سردسیری است که در طیف وسیعی از شرایط محیطی از مناطق مدیترانه‌ای غرب آسیا تا نواحی نیمه گرمسیری شمال استرالیا کشت می‌شود (ترنر و همکاران، ۲۰۰۱). در ایران کشت نخود به‌صورت پاییزه، انتظاری و در مناطق سردسیر مرتفع به‌صورت بهاره و عمدتاً دیم (۹۲ درصد) و با استفاده از رطوبت ذخیره خاک انجام می‌شود. در این مناطق رطوبت و دما مهم‌ترین عوامل موثر در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه می‌باشند. در گیاهان زراعی یکساله، جوانه‌زنی و سبز شدن سریع بذر یک عامل مهم تعیین کننده عملکرد نهایی است. در این ارتباط گان و همکاران (۲۰۰۲) بیان داشتند در مناطق خشک و نیمه خشک، هر گونه عملیات زراعی که موجب تسریع جوانه‌زنی و سبز شدن بذر شود، عملکرد دانه را در گیاه نخود افزایش خواهد داد.

جوانه‌زنی بذر شامل فرآیندهای پیچیده و متعددی است که عمدتاً وابسته به رطوبت، دما و بر همکنش این دو عامل می‌باشد (روچ و همکاران، ۱۹۹۷). تمامی گونه‌های گیاهی و از جمله نخود برای جوانه‌زنی از سه دمای بحرانی که به عنوان دماهای کاردینال[۴] گفته می‌شود، برخوردار هستند (سفیلدت و همکاران، ۲۰۰۲). شناخت دماهای کاردینال و برهم کنش آن با میزان رطوبت خاک در تصمیم گیری دقیق زمان کاشت، اهمیت قابل توجهی دارد، به‌علاوه با استفاده از دماهای کاردینال می‌توان محدودیت‌های جغرافیایی برای کشت یک گونه یا یک ژنوتیپ را تعیین و زمان مناسب کاشت را با توجه به رژیم دمایی و رطوبتی منطقه مورد نظر تعیین کرد (هیل و لاک، ۱۹۹۱). بنابراین شناخت دماهای کاردینال، تعداد روزهای فیزیولوژیکی (تعداد روز تا جوانه‌زنی در دمای مناسب) و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف نخود در تصمیم گیری‌های مدیریت زراعی اجتناب ناپذیر است.

در شرایط رطوبت کافی و دمای مناسب، دماهای پایه برای گیاهان مختلف تعیین شده است (بیرهوزین و واگنفورت، ۱۹۷۴؛ روچ و همکاران، ۱۹۹۷). دماهای کاردینال را اغلب از طریق رسم منحنی مقادیر برآورد شده سرعت جوانه‌زنی در مقابل دامنه‌ای از دماهای ورد مطالعه، تعیین می‌نمایند (مونتیث، ۱۹۸۱).

بررسی‌های متعدد نشان داده است که چنان‌چه کاشت در شرایط رطوبتی و دمایی مناسبی انجام شود، استقرار و پوشش گیاهی مطلوب برای انجام فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی، سریع‌تر در مزرعه ایجاد می‌شود، بدیهی است در این شرایط، طول فصل بیشتر شده و انتظار می‌رود عملکرد به میزان قابل توجهی افزایش یابد (سلیم و همکاران، ۱۹۹۳).

حداقل رطوبت مورد نیاز برای شروع جوانه‌زنی در گونه‌های مختلف گیاهی و حتی ژنوتیپ‌های یک گونه متفاوت است. از طرفی فرآیندهای جوانه‌زنی اغلب آنزیمی و فعالیت آنزیم‌ها نیز متأثر از دما است. بررسی‌ها نشان داده است که در شرایط رطوبت محدود، ژنوتیپ‌هایی که دارای سرعت جوانه‌زنی بالاتری هستند از شانس سبز شدن و استقرار بالاتری نیز برخوردار هستند (مایتی و وسکی ابلینگ،۲۰۰۱؛ سفیلدت و همکاران، ۲۰۰۲). سبز شدن سریع‌تر یک ژنوتیپ به مفهوم شروع رشد اتوتروفی و استقرار سریع‌تر پوشش گیاهی برای تولید مواد فتوسنتزی و عملکردهای بالاتر خواهد بود. تاخیر در جوانه‌زنی به دلیل محدودیت‌های فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌ها و یا عوامل محیطی، ضمن این‌که خطر آلودگی قارچی و میکروبی بذر را در خاک فراهم می‌آورد، استقرار نامناسب پوشش گیاهی در سطح زمین و کاهش دوره رشد را به‌دنبال خواهد داشت (آلد و همکاران، ۱۹۸۸). در یک بررسی مشخص شدکه ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی قابلیت جوانه‌زنی بالاتری داشتند، در مرحله گیاهچه‌ای از بنیه و سیستم ریشه‌ای قوی‌تری نیز برخوردار بودند (گوپتا، ۱۹۹۸).

دستیابی به اطلاعاتی که بتواند در ارتباط با واکنش بذر به میزان رطوبت و دمای خاک مفید باشد، در تصمیم گیری‌های دقیق زمان کاشت با اهمیت خواهد بود. متاسفانه اطلاعات در مورد واکنش جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها و ارقام نخود به دما، تنش خشکی و هم‌چنین اثرات توام آن‌ها محدود است، بنابر این آزمایش حاضر با هدف کمی سازی واکنش جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود در

1. Cardinal

رژیم‌های مختلف دمایی و خشکی، بررسی بر هم‌کنش دما و تنش خشکی بر رفتار جوانه‌زنی ارقام نخود و تعیین دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی در شرایط مطلوب و تنش خشکی، انجام شد.

مواد و روش‌ها

صفات مربوط به جوانه زنی شش ژنوتیپ نخود شامل: MCC 361، MCC 951، MCC 180، MCC 873، MCC 13 و MCC 463 در ۵ سطح تنش خشکی شامل پتانسیل‌های آب صفر، ۴- ، ۸- ، ۱۲- و ۱۶- بار در دماهای ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمایش در شرایط کنترل شده در آزمایشگاه تحقیقاتی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار که در آن دما به‌عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شد، انجام شد. به‌جز ژنوتیپ‌های MCC 873 و MCC 13 که به‌ترتیب دارای تیپ دسی و اثموت بودند، سایر ژنوتیپ‌ها تیپ کابلی داشتند. متوسط وزن صد دانه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه؛ MCC 361، MCC 951، MCC 180، MCC 873، MCC 13 و MCC 463 به ترتیب معادل: ۱۹/۸، ۲۹/۱، ۲۴/۴، ۱۷/۷، ۳۵/۷ و ۲۸/۶ گرم بود.

پتانسیل‌های مختلف آب با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰، مطابق روش میچل و کافمن (۱۹۷۳) ایجاد شدند و برای پتانسیل صفر بار (شاهد) از آب مقطر استفاده گردید. برای جلوگیری از بروز آلودگی‌های احتمالی، تمامی ظرف‌ها در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شدند. به‌منظور پرهیز از آلودگی‌های قارچی بذرها با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵درصد و هم‌چنین قارچ‌کش بنومیل ضدعفونی و سپس با آب مقطر آب‌کشی شدند. تعداد ۱۰ عدد بذر ضدعفونی شده در زیر هود استریل در داخل هر پتری‌دیش که محتوی کاغذ صافی بود، قرار داده شد. به هر ظرف، ۵ میلی‌لیتر محلول PEG با پتانسیل‌های مربوط اضافه گردید به‌طوری که بذور در تماس مستقیم با محلول بودند. بذرها پس از قرارگیری در ظروف مربوطه، در ژرمیناتور و دماهای مورد نظر رشد نمودند. بذرها به‌طور روزانه بازبینی و تعداد بذور جوانه زده (دارای طول ریشه‌چه ۲ الی ۳ میلی‌متر) ثبت شدند. در تمامی دماهای مورد مطالعه، هیچ یک از ژنوتیپ‌ها، در پتانسیل‌های آب ۸- ، ۱۲- و ۱۶- بار جوانه‌زنی نداشتند و لذا سطوح فوق از آزمایش حذف و دو سطح تنش خشکی(۴ - بار و شاهد) مورد بررسی قرار گرفتند.

درصد جوانه زنی از درصد نسبت تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر بار شمارش بر تعداد کل بذر ها، محاسبه شد (معادله۱). زمان طی شده تا این‌که درصد تجمعی جوانه زنی برای هر ژنوتیپ در هر تیمار به ۵۰ درصد رسید (D_{50}) ثبت شد. سپس سرعت جوانه زنی(day^{-1}) از رابطه (۲) محاسبه شد (پی پر و همکاران، ۱۹۹۶).

$$Gp\% = \Sigma ni/N \cdot 100 \qquad \text{معادله (۱)}$$

$$R_{50} = 1/D_{50} \qquad \text{معادله (۲)}$$

در معادله‌های فوق Gp درصد جوانه زنی، ni تعداد بذرهای جوانه زده در هر بار شمارش، N تعداد کل بذرها و R_{50} سرعت جوانه زنی (day^{-1}) است. برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما، تعیین دماهای کاردینال و روزهای فیزیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی از معادله زیر استفاده شد (پی‌پر و همکاران، ۱۹۹۶).

$$R_{50} = f(T) / g_o \qquad \text{معادله (۳)}$$

در معادله فوق $f(T)$ تابع دما که مقدار آن بین صفر و ۱ متغیر است و g_o تعداد روزهای فیزیولوژیکی مورد نیاز برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب می‌باشد. در این آزمایش برای برآورد سرعت جوانه‌زنی، دماهای کاردینال و روزهای فیزیولوژیکی مورد نیاز برای جوانه-زنی از تابع درجه دما مدل دندان مانند[5] استفاده شد (پی‌پر و همکاران،۱۹۹۶). بر اساس این مدل:

$$f(T) = T - T_b / T_{OH} - T_b \quad \text{اگر} \quad T_b < T < T_{oH}$$

$$f(T) = T_c - T / T_c - T_{oU} \quad \text{اگر} \quad T_{o\,U} < T < T_c$$

$$f(T) = 1 \quad \text{اگر} \quad T_{o\,H} \le T \le T_{oU}$$

$$f(T) = 0 \quad \text{اگر} \quad T \le T_b \ \ or \ \ T \ge T_c$$

1. Dent-like function

در معادله های فوق T_b، T_{OH}، T_{oU} و T_c به‌ترتیب دماهای پایه، مناسب تحتانی، مناسب فوقانی و دمای سقف می‌باشند. دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای سقف به‌طور ثابت در نظر گرفته شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). ولی سایر متغیرها، با استفاده از رگرسیون غیر خطی بین مقادیر R_{50} و T_g (دما) برآورد شد. برای تعیین زمان حرارتی[۶] مورد نیاز جوانه زنی در دمای مطلوب، از رابطه $TT= (T_{oH}-T_b)\ g_0$ استفاده گردید (الیور و آناندال، ۱۹۹۸).

تجزیه آماری

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌های آزمایش، داده‌ها توسط نرم افزار MSTAT-C تجزیه واریانس شدند و سپس میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار(LSD) در سطح احتمال ۱ درصد خطا مقایسه شدند. تجزیه رگرسیونی داده‌ها با استفاده نرم‌افزار JMP انجام گرفت وشکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها، اختلاف معنی‌داری از نظر درصد نهایی جوانه‌زنی و روز تا جوانه‌زنی نخود وجود دارد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین درصد نهایی جوانه‌زنی در رژیم‌های مختلف دمایی و رطوبتی در جدول۲ نشان می‌دهد که با افزایش دما تا ۱۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد، درصد نهایی جوانه‌زنی افزایش ولی با افزایش بیشتر دما درصد جوانه‌زنی هم در شرایط تنش و هم بدون تنش کاهش یافت ولی به‌طور نسبی مقدار کاهش در شرایط تنش بیشتر بود. در شرایط تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی در دماهای ۳، ۳۰ و ۳۵ نسبت به ۱۵ درجه سانتی‌گراد، تقریباً به مقدار ۵۰ درصد کاهش یافت. نتایج فوق نشان دهنده آن است‌که دماهای بالا و پایین هر دو در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش، تاثیر محدودکنندگی بیشتری بر درصد جوانه‌زنی دارند (جدول ۲).

جدول ۱: تجزیه واریانس روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی و درصد نهایی جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود در سطوح مختلف تنش خشکی و دما

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		درصد نهایی جوانه‌زنی	روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی
دما (A)	۷	۱۳۰۱۹/۷***	۱۴۸۶/۴ ***
خطا	۱۶	۸۷۳/۰	۱/۶۸
تنش خشکی (B)	۱	۱۵۶۱۷۰۳***	۵۵۳۸/۸ ***
AB	۷	۱۴۸۰/۷***	۳۳۴/۵ ***
ژنوتیپ (C)	۵	۷۵۱۶/۲***	۴۶۳/۷ ***
AC	۳۵	۱۲۳۱/۱۸***	۹۸/۳ ***
BC	۵	۴۶۰/۷**	۲۱۱/۴ ***
ABC	۳۵	۸۵۰/۵***	۹۱/۱۲***
خطا	۱۷۶	۱۵۲/۸۶	۱/۵۴

***، ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۰/۱ و ۱ درصد.

در شرایط تنش، متوسط درصد نهایی جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها، تنها در دماهای ۱۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیش از ۸۰ درصد بود در حالی‌که در شرایط بدون تنش، درصد نهایی جوانه‌زنی در دامنه‌ای وسیع‌تر از نظر دما (۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، بیش از ۸۰ درصد بود (جدول ۲). معنی‌دار بودن اثر متقابل دما و تنش خشکی در تجزیه واریانس نتایج فوق را تائید می‌کند (جدول ۱).

فرآیند جوانه‌زنی شامل مجموعه‌ای از فعل و انفعالات بیوشیمیایی است که عمدتاً به دما و رطوبت وابسته هستند. کاهش فعالیت‌های آنزیمی در دماهای پایین (Q_{10}= ۲-۳) و اختلال در فعالیت آنزیم‌ها در دماهای بالا (دناتره شدن ساختمان سه بعدی آنزیم‌ها)، علت اصلی کاهش درصد جوانه‌زنی در دماهای بالا و پایین است. مطابق بررسی‌های انجام شده، Q_{10} دما برای جذب آب توسط بذر ۱/۵ تا ۱/۸ گزارش شده است که نشان دهنده این است‌که جذب آب در فرآیند جوانه‌زنی متاثر از دما است (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). کاهش و یسکوزیته آب در دماهای پایین به‌ویژه در شرایط تنش خشکی که بذر با محدودیت جذب آب مواجه است،

2. Thermal tim

احتمالاً علت بعدی کاهش درصد جوانه‌زنی است (درک ویلی و بلک، ۱۹۸۶).

روز تا جوانه‌زنی به شدت تحت تاثیر درجه حرارت، تنش خشکی و اثر متقابل درجه حرارت و تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۱). دماهای ۱۰ و کمتر از آن و هم‌چنین دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، روز تا جوانه‌زنی را در شرایط تنش به‌شدت افزایش داد (جدول ۲). در شرایط بدون تنش، بیشترین روز تا جوانه‌زنی (۱۵ روز) در دمای ۳ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد که تقریباً معادل نصف آن در شرایط تنش است. کاهش جذب آب و متعاقب آن کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرایندهای بیوشیمیایی جوانه‌زنی در دماهای پایین، علت اصلی سرعت کمتر جوانه‌زنی و طولانی‌تر شدن روز تا جوانه‌زنی در شرایط تنش بود (مایتی و وسکی ابلینگ، ۲۰۰۱). در دماهای بالا، آسیب‌های احتمالی ناشی از دناتره شدن ساختمان سه بعدی آنزیم‌ها و بنابراین اختلال در فرآیند جوانه‌زنی و هم‌چنین تشدید آن به دلیل محدودیت جذب آب، دلیل سرعت کم جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی است. مونتیث (۱۹۸۱) بیان داشت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه فرآیندهای پیچیده‌ای هستند که وابسته به دما، رطوبت و اثرات متقابل آن‌ها هستند. وقتی بذر در محیط مرطوب و درجه حرارت بالاتر از صفر پایه قرار می‌گیرد، فرآیند جوانه‌زنی شروع و با افزایش دما تا محدوده مشخصی، سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. آلد و همکاران (۱۹۸۸) در بررسی جوانه‌زنی ۱۰ لاین نخود در دماهای مختلف، حداکثر سرعت جوانه‌زنی نخود را در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. در یک آزمایش، تنش‌های ۳/۸ بار و بیش از آن، جذب آب در نخود و ماش را به شدت کاهش داد و فرایند جوانه زنی را به تاخیر انداخت (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷).

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های نخود از نظر درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۳ نشان داد که تفاوت‌های معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از این حیث وجود دارد. ژنوتیپ MCC.13 با ۵۲ درصد از کمترین درصد جوانه‌زنی و ژنوتیپ MCC.463 با ۸۱ درصد از بالاترین درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش برخوردار بودند.

جدول ۲: مقایسه میانگین ترکیبات تیماری دما و تنش خشکی برای درصد نهایی جوانه‌زنی و روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی

دما (سانتی‌گراد)	درصد نهایی جوانه‌زنی		روز تا جوانه‌زنی	
	تنش خشکی (۴ بار)	بدون تنش	تنش خشکی (۴ بار)	بدون تنش
۳	۵۰/۰	۶۲/۷	۲۸/۶	۱۵/۱
۵	۶۵/۵	۸۱/۱	۲۲/۲	۹/۱
۱۰	۶۶/۱	۹۲/۳	۱۹/۷	۳/۷
۱۵	۹۴/۴	۹۶/۶	۵/۳	۲/۲
۲۰	۸۸/۹	۹۴/۴	۵/۴	۱/۶
۲۵	۷۵/۰	۹۳/۳	۷/۹	۱/۵
۳۰	۵۵/۰	۶۷/۰	۱۶/۵	۲/۷
۳۵	۵۰/۰	۶۰/۰	۲۰/۲	۶/۱
LSD 1%	۸/۲۱	۸/۲۱	۰/۸۱	۰/۸۱

در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های MCC 873 و MCC.13 با مقادیر ۹۴ و ۶۵ درصد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی بودند، گرچه تفاوت این ژنوتیپ‌ها با برخی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از این حیث معنی‌دار نبود.(جدول ۳). درصد پایین جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های MCC 951 و MCC 13 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها احتمالا به اندازه بزرگ‌تر دانه و کم بودن نسبت سطح جذب کننده رطوبت به حجم دانه در این ژنوتیپ‌ها مربوط می‌باشد. مایتی و وسکی ابلینگ (۲۰۰۱) بیان داشتند که در نخود، اندازه بذر تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر نمو گیاهچه و تغییرات فیزیکو شیمیای بذر دارد. این پژوهش‌گران بیان داشتند در هر دو تیپ کابلی و دسی، سرعت جوانه زنی، طول ریشه‌چه و ساقه-چه در نخودهای دانه ریز به‌طور معنی‌داری بیشتر از نخودهای دانه درشت است.

نتایج مقایسه میانگین روز تا جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۳ نشان داده شده است. در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های MCC.463 و MCC.873 دارای کمترین روز تا جوانه‌زنی بودند، اما برغم اختلاف معنی‌دار در شرایط بدون تنش، اختلاف آن‌ها در شرایط دارای تنش

معنی‌دار نبود. ژنوتیپ MCC 361 در شرایط بدون تنش، از روز تا جوانه‌زنی بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بود امّا در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ MCC 361 از کوتاه‌ترین روز تا جوانه زنی برخوردار بود (۹/۴ روز) و تفاوت آن با سایر ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود.

جدول ۳: مقایسه میانگین ترکیبات تیماری ژنوتیپ و تنش خشکی برای درصد نهایی جوانه‌زنی و روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی

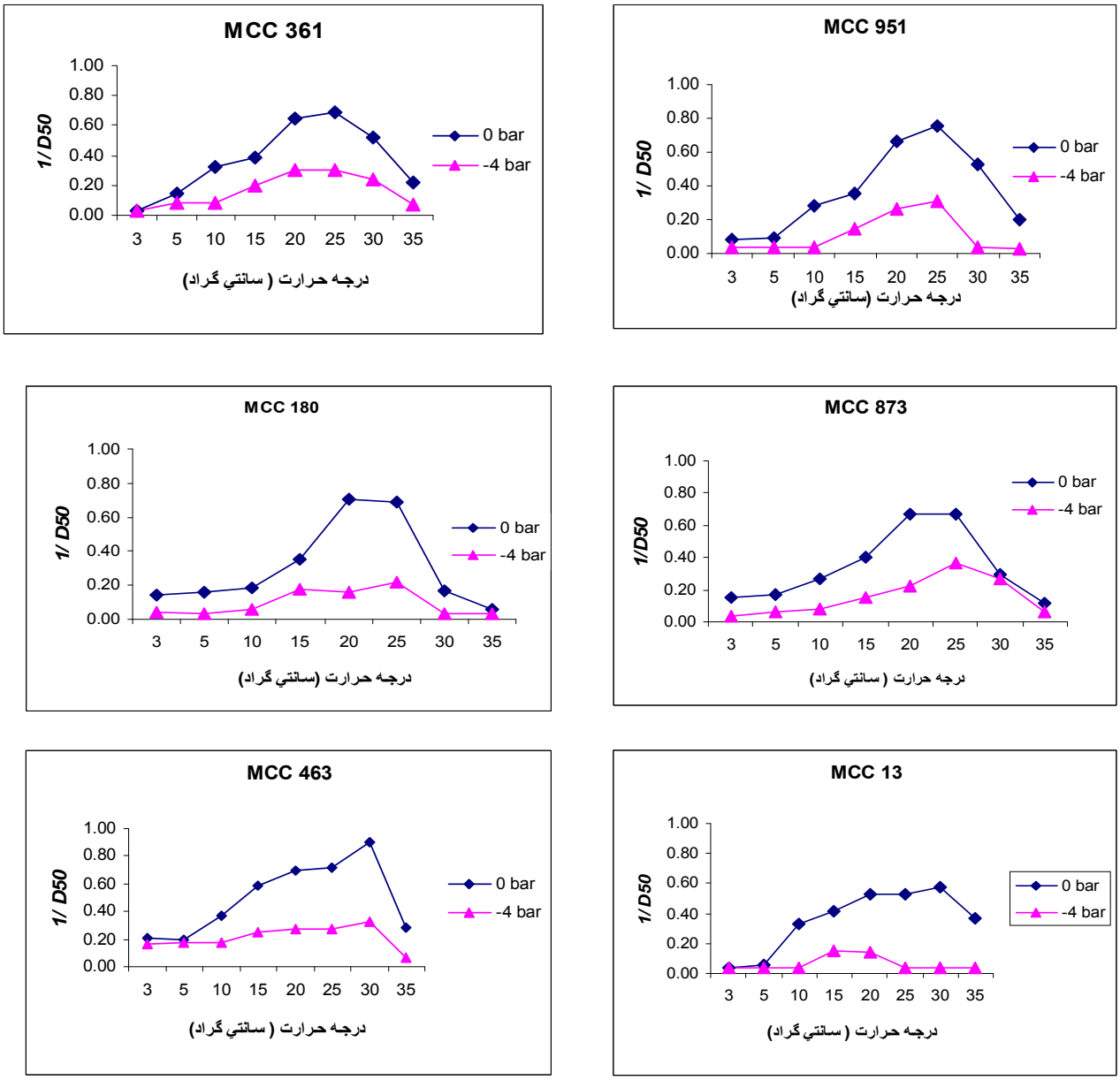
ژنوتیپ	درصد نهایی جوانه‌زنی		روز تا جوانه‌زنی	
	تنش خشکی (۴ بار)	بدون تنش	تنش خشکی (۴ بار)	بدون تنش
MCC 361	۷۰/۸	۷۹/۲	۴/۹	۶/۹
MCC 951	۶۰/۱	۷۰/۴	۱۸/۲	۵/۲
MCC 180	۶۲/۹	۷۹/۲	۱۵/۴	۴/۵
MCC 873	۷۸/۳	۹۳/۷	۱۰/۳	۴/۱
MCC 13	۵۲/۱	۶۵/۰	۲۱/۵	۸/۵
MCC 463	۸۰/۸	۹۰/۰	۱۰/۴	۳/۳
LSD 1%	۷/۱۱	۷/۱۱	۰/۶۹	۰/۶۹

در شرایط تنش خشکی، کاهش درصد جوانه‌زنی و تاخیر در زمان جوانه‌زنی، بیان‌گر تاثیر منفی محدودیت جذب آب توسط بذر برای آغاز فرآیندهای متابولیکی جوانه‌زنی است. در مطالعات متعدد، کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی نخود و هم‌چنین سایر گونه‌های گیاهی در شرایط محدودیت آب تایید شده است، در این ارتباط دامنه واکنش گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها، گسترده و از حساس به تنش (مانند سویا) تا مقاوم به خشکی (مثل ارزن) متفاوت است (درک بولی و بلک، ۱۹۸۶). در این آزمایش تنوع موجود میان ژنوتیپ‌ها از نظر درصد و سرعت جوانه‌زنی، احتمالاً به ویژگی‌های بذر شامل اندازه بذر (نسبت سطح به حجم)، پوشش بذر (نفوذپذیری) و فعالیت‌های متابولیکی بذر مربوط می‌شود (درک بولی و بلک، ۱۹۸۶؛ مایتی وسکی ابلینگ، ۲۰۰۱). ژنوتیپ‌هایی که در شرایط رطوبت محدود و دماهای پایین از درصد و سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار هستند، برای کاشت در شرایط دیم و به‌ویژه در کشت‌های بهاره، امید بخش‌تر خواهند بود. کاشت زود و استقرار سریع‌تر پوشش گیاهی در مزرعه، امکان بهره‌برداری سریع گیاه را از نهاده‌های طبیعی به‌ویژه تشعشع و بارندگی‌های ابتدای فصل فراهم می‌آورد. از طرفی بسته شدن سریع‌تر کانوپی، می‌تواند فعالیت علف‌های هرز را در مزرعه به مقدار زیادی محدود نماید تا فرصتی ایجاد شود که گیاه از حداکثر توان خود برای استفاده بهینه از عوامل محیطی در جهت افزایش رشد رویشی و تولید، بهره ببرد.

اثر متقابل دما، ژنوتیپ و تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی و روز تا جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها بسیار معنی‌دار بود (جدول ۱). شکل۱، عکس روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (سرعت جوانه‌زنی) ژنوتیپ‌های نخود را در شرایط تنش و بدون تنش خشکی در دامنه‌ای از دماهای مورد بررسی نشان می‌دهد. تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی را در تمامی ژنوتیپ‌های نخود کاهش داد (جدول ۳)، ولی مقدار این کاهش در دماهای مختلف متفاوت بود(جدول ۲). در این ارتباط دامنه حرارتی که سرعت جوانه‌زنی در آن حداقل و حداکثر بود، برای هر ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش با اختلاف جزئی مشابه بود، امّا پاسخ جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها به رژیم‌های دمایی، متفاوت بود (شکل ۱). مایتی و وسکی ابلینگ (۲۰۰۱) در مطالعه جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود، تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای را در پاسخ به دما گزارش کردند. این پژوهش‌گران دامنه دمای ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد را به‌عنوان دامنه دمای مطلوب برای جوانه‌زنی نخود پیشنهاد کردند. سینگ و همکاران(۲۰۰۵) دمای ثابت۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای متغیر ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد را به‌عنوان دمای مطلوب برای جوانه‌زنی نخود گزارش نمودند.

در شرایط تنش خشکی، کم‌ترین روز تا جوانه‌زنی (بالاترین سرعت جوانه‌زنی) در ژنوتیپ‌های MCC 951، MCC 361 و MCC.873 در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد و ژنوتیپ MCC 463 در دمای ۳۰ درجه سانتی-گراد تعلق داشت. با افزایش دما بیش از ۲۵ درجه سانتی گراد، سرعت جوانه‌زنی در اغلب ژنوتیپ‌ها ، در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، با شیب نسبتاً تندی کاهش

یافت که احتمالا نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به دماهای بالا برای جوانه‌زنی است (شکل ۱).



شکل ۱: تغییرات $1/D50$ (سرعت جوانه‌زنی، day^{-1}) ژنوتیپ-های نخود در رژیم‌های مختلف دمایی و رطوبتی.

در شرایط تنش، ژنوتیپ MCC 463 در یک دامنه دمایی نسبتاً وسیع (۳ تا ۲۵درجه سانتی‌گراد) از سرعت جوانه‌زنی نسبتاً ثابتی برخوردار بود. این ویژگی نشان از سازگاری گسترده این ژنوتیپ برای جوانه‌زنی در شرایط متغیر دمایی دارد که می‌تواند مناسب کاشت برای مناطقی باشد که درجه حرارت در فصل کاشت دارای نوسانات زیادی است. به‌طور کلّی در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، با نزدیک شدن به شرایط مطلوب دما برای جوانه‌زنی، اختلاف سرعت جوانه‌زنی ($1/D_{50}$) ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش و با دور شدن از شرایط مطلوب، اختلاف‌های موجود به شدت کاهش یافت (شکل ۱). به نظر می‌رسد تاثیر محدود کنندگی کمبود رطوبت بر فرآیندهای جوانه‌زنی در دماهای مطلوب که سرعت فرآیندهای متابولیکی جوانه‌زنی حداکثر است، نسبت به دماهای محدودکننده جوانه‌زنی ($T_{OU}<T<T_{OH}$)، بیشتر است (شکل ۱). بررسی‌ها نشان داده است که تنش خشکی، جوانه‌زنی نخود را از طریق تاخیر در جذب آب و

یا از طریق تغییر در متابولیسم جوانه‌زنی به‌ویژه توقف تجزیه نشاسته در محور جنینی، کاهش می‌دهد (مالیک و همکاران ۱۹۸۶؛ مایتی و وسکی ابلینگ، ۲۰۰۱).

شکل ۲ مقادیر برآورد شده و مشاهده شده روز تا جوانه‌زنی را براساس مدل دندان مانند نشان می‌دهد. همبستگی بسیار بالایی بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده روز تا جوانه‌زنی برای شرایط تنش خشکی (R^2=۰/۹۳) و بدون تنش (R^2=۰/۹۶) وجود داشت که نشان دهنده کارایی بالای مدل دندان مانند برای برآورد سرعت و زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی است. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) تفاوت‌های معنی‌داری را در مقادیر مشاهده شده و برآورد شده روز تا جوانه‌زنی ارقام نخود براساس مدل دندان مانند پیدا نکردند. نتایج این بررسی‌نشان داد که از مدل دندان مانند می‌توان به عنوان یک مدل مناسب برای تعیین دماهای کاردینال نخود استفاده کرد.

جدول‌های ۴ و ۵ مقادیر برآورد شده دماهای پایه، مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و روزهای فیزیولوژیکی مورد نیاز برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود را با استفاده از مدل دندان مانند نشان می‌دهد. در شرایط بدون تنش، دمای پایه از ۳/۳ در ژنوتیپ MCC 180 تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد در ژنوتیپ MCC 951 متفاوت بود. در این آزمایش میانگین دمای پایه (میانگین ژنوتیپ‌ها) برای جوانه‌زنی در شرایط بدون تنش ۴/۲ درجه سانتی‌گراد بود که با دمای پایه که برای نخود صفر درجه سانتی‌گراد گزارش شده است، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد (باقری و همکاران، ۱۳۷۶؛ الیس و همکاران، ۱۹۸۶). در این آزمایش تنوع ژنوتیپی قابل توجهی از نظر دمای پایه مشاهده نشد. دامنه تغییر دمای پایه برای ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش تقریبا مشابه و به ترتیب ۱ و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد بود. عدم وجود تنوع ژنتیکی برای دمای پایه در این آزمایش با نتایج آنگوس و همکاران (۱۹۸۱)، الیس و همکاران (۱۹۸۶) و سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت داشت. برآردفورد (۱۹۹۵) و الیور و آناندال (۱۹۹۸)، دمای پایه را به‌عنوان یک صفت پایدار که تغییرات آن در ارقام زراعی ناچیز است، اعلام نمودند. با این‌حال در برخی از گیاهان زراعی، تنوع ژنتیکی قابل توجهی برای دمای پایه گزارش شده است (مال و همکاران، ۱۹۹۴ و واد و همکاران، ۱۹۹۳).

به‌طور کلی در این آزمایش دامنه دمای مطلوب جوانه‌زنی برای ژنوتیپ‌ها (میانگین ژنوتیپ‌ها) در شرایط تنش و بدون تنش،۲۰ الی ۲۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (جدول‌های ۴ و۵) که با نتایج تحقیقات مایتی و وسکی ابلینگ (۲۰۰۱) در شرایط آزمایشگاه مطابقت داشت. با این حال سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه ۴ رقم نخود، دامنه دمایی ۲۹-۲۰ درجه سانتی‌گراد را به‌عنوان دامنه دمای مطلوب برای سبز شدن نخود گزارش کردند.

جدول ۴: دماهای پایه (T_b)، مطلوب تحتانی (T_{OH})، مطلوب فوقانی T_{OU} و حداقل روز فیزیولوژیکی مورد نیاز (e_o) به‌همراه حدود اطمینان آن‌ها، برای جوانه‌زنی شش ژنوتیپ نخود با استفاده از مدل دندان مانند، در شرایط بدون تنش خشکی

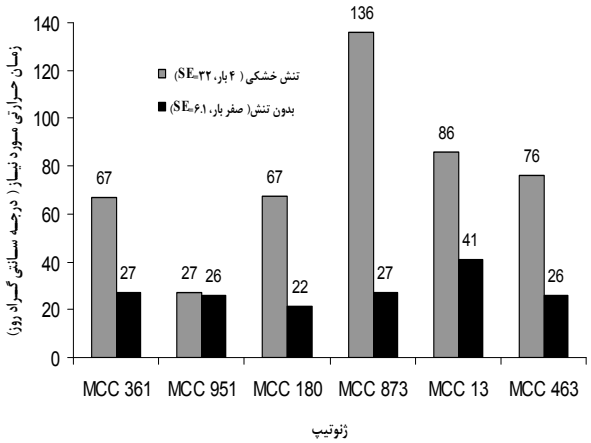
ژنوتیپ	T_b	T_{OH}	T_{OU}	e_o
MCC 361	۴/۵۳±۰/۲۹	۲۱±۲/۱۶	۲۷±۲/۱۴	۱/۶۵±۰/۲۵
MCC 951	۴/۶۰±۰/۳۰	۲۰/۶۷±۱/۷۰	۲۷±۰/۸۲	۱/۶۲±۰/۳۳
MCC 180	۳/۳۳±۰/۴۷	۱۶/۶۷±۰/۴۵	۲۲±۰/۸۲	۱/۳۰±۰/۱۹
MCC 873	۴/۲۳±۰/۰۵	۱۸/۶۷±۰/۹۴	۲۵±۰/۸۲	۱/۸۹±۰/۰۴
MCC 13	۴/۱۵±۰/۱۱	۱۸/۶۷±۰/۹۴	۲۵±۰/۸۲	/۲۲±۰/۱۵
MCC 463	۴/۱۰±۰/۰۸	۲۳±۰/۸۲	۲۹±۰/۸۲	۱/۳۶±۰/۰۳
میانگین ژنوتیپ‌ها	۴/۱۵±۰/۲۱	۲۰/۴۴±۱/۱۶	۲۶/۵۲±۱/۱۱	۱/۶۷±۰/۱۶

جدول ۵: دماهای پایه (T_b)، مطلوب تحتانی (T_{OH})، مطلوب فوقانی(T_{OU}) و حداقل روز فیزیولوژیکی مورد نیاز (e_o) بهمراه حدود اطمینان آن‌ها، برای جوانه‌زنی شش ژنوتیپ نخود با استفاده از مدل دندان مانند، در شرایط تنش خشکی

ژنوتیپ	T_b	T_{OH}	T_{OU}	e_o
MCC 361	۴/۶+۰/۲۲	۲۶/۶۷±۰/۴۷	۳۲/۳۳±۱/۷۰	۳/۰۳±۰/۱۸
MCC 951	۵/۰۰±۰/۰۸	۱۸/۰۰±۰/۸۲	۲۴/۳۳±۰/۸۳	۲/۰۸±۰/۶۲
MCC 180	۴/۲۷±۰/۲۱	۱۸/۳۳±۰/۴۷	۲۳/۴۷±۰/۴۷	۵/۹۴±۰/۷۰
MCC 873	۴/۷۰±۰/۱۶	۲۲±۰/۸۲	۲۶/۳۳±۱/۲۵	۳/۸۵±۰/۳۸
MCC 13	۴/۰۷±۰/۱۲	۱۶/۶۷±۰/۴۷	۲۲/۰۰±۰/۸۲	۱۰/۸۰±۰/۳۰
MCC 463	۴/۱۷±۰/۰۵	۲۱/۶۷±۱/۲۵	۲۷/۶۷±۱/۲۵	۳/۶۶±۰/۲۰
میانگین ژنوتیپ‌ها	۴/۴۶±۰/۱۴	۲۰/۵۵±۰/۷۱	۲۶/۰۲±۱/۰۵	۴/۸۹±۰/۴۰

در شرایط تنش خشکی تنوع ژنوتیپی قابل توجهی از نظر روزهای فیزیولوژیکی مورد نیاز برای جوانه‌زنی مشاهده شد، به‌طوری که دامنه تغییرات روزهای فیزیولوژیکی مورد نیاز برای جوانه‌زنی از ۲/۰۸ در ژنوتیپ MCC.951 تا ۱۰/۸۰ در ژنوتیپ MCC.13 متفاوت بود (جدول۵). در حالی‌که در شرایط بدون تنش تفاوت قابل ملاحظه‌ای از این نظر بین ژنوتیپ‌ها وجود نداشت (جدول ۴). احتمالاً قابلیت متفاوت ژنوتیپ‌ها برای جذب آب و هم‌چنین انجام سایر فرآیندهای متابولیکی جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی، از جمله دلایل اصلی واکنش متفاوت آن‌ها برای جوانه‌زنی است و لذا بر این اساس میانگین زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی ۷۶ درجه سانتی‌گراد روز و برای شرایط بدون تنش ۲۷ درجه سانتی‌گراد روز برآورد شد. در این ارتباط تنش خشکی زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذر را نسبت به شرایط بدون تنش، ۲/۸ برابر افزایش داد (داده‌ها نشان داده نشده است). گان و همکاران (۲۰۰۲) زمان حرارتی مورد نیاز برای سبز شدن نخود را ۹۷ الی ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد روز و سلطانی و همکاران (۲۰۰۶)، ۹۴ درجه سانتی‌گراد روز اعلام نمودند.

در شرایط بدون تنش، تفاوت‌های قابل توجهی میان ژنوتیپ‌ها از نظر زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی وجود نداشت (شکل ۳).



شکل ۳: برآورد زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه زنی ژنوتیپ‌های نخود در دمای مناسب.

آلیور و آناندال (۱۹۹۸) تفاوت-های معنی‌داری در زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی ارقام نخود فرنگی را مشاهده نکردند. در بررسی این پژوهش‌گران، دامنه زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه زنی ارقام نخود فرنگی، از ۳۳ تا ۴۸ درجه سانتی‌گراد روز متغیر بود. در شرایط تنش خشکی، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای از این نظر میان برخی از ژنوتیپ‌ها وجود داشت. در این ارتباط زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی از ۱۳۶ در ژنوتیپ MCC.873 تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد روز در ژنوتیپ MCC.951 متفاوت بود (شکل ۳). وجود اثرات متقابل دما، ژنوتیپ و تنش خشکی علت اصلی تفاوت‌های موجود میان ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی بوده است.

منابع

باقری، ع.، نظامی ا.، گنجعلی، ع. و پارسا، م. ۱۳۷۶. زراعت و اصلاح نخود. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

کوچکی، ع.، راشد محصل، م.، نصیری، م. و صدرآبادی، ر. ۱۳۶۷. مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهی. انتشارات بنیاد فرهنگی رضوی.

Angus, J. F., Cunningham, R. B., Moncure, M. W. and Mackenzie, D. H. 1981. Phasic development in field crops: 1. Thermal response in the seedling phase. Field Crops Research, 3: 365-378.

Auld, D. L., Bettis, B. L., Crock, J. E. and Kephart, K. D. 1988. Planting date and temperature effects on germination, emergence, and seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Agron. J, 80: 909-914.

Bradford, K. J. 1995. Water relations in seed germination. PP. 351-396. In: Kigel, J. and G. Galili (Eds), Seed Development and Germination. Mar-cel Dekker.

Bierhuizen, J. F. and Wagenvoort, W. A. 1974. Some aspects of seed germination in vegetables. l. The determination and application of heat sums and minimum temperature for germination. Scientia Horticulturae, 2: 213-219.

Derek Bewely, J. and Blak, M. 1986. Seeds Physiology of Development and Germination. Plenum Press, New York

Ellis, R. H., Covell, S., Roberts, E. H.and Summerfield, R. J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Interspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. J. Exp. Bot, 37: 1503-1515.

Gan, Y. T., Miller, P. R., Stevenson, F. C. and McDonald, C. L. 2002. Seedling emergence, pod development and seed yields of chickpea and dry pea in a semi arid environment. Can. J. Plant Sci, 82: 531-553.

Gupta, V. S. 1998. Production and Improvement of Crops for Dry land .Oxford and IBH Publishing CO. PVT. LTD.

Hill, M. J. and Luck, R. 1991. The effect of temperature on germination and seedling growth of temperate perennial pasture legumes . Aust. J. Agric. Res, 42: 175-189.

Leport. L., Turner, N. C., French, R. J., Barr, M. D., Duda, R., Davies, S. L., Tennant, D. and Siddique, K. H. M. 1999. Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean- type environment. European Journal of Agronomy, 11: 279-291.

Maiti, R. and Wesche- Ebeling, P. 2001. Advance in Chickpea Science. Science Publishers, Inc. 410 pp.

Malik, C. P., Gupta, K. and Sharma, S. 1986. Effect of water stress on germination and seedling metabolism of gram (*Cicer arietinum* L.). Acta. Agron. Hung, 35: 11-16.

Michel, B. E. and Kaufmann, M. R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51: 914-916.

Montieth, J.L. 1981. Climatic variations and the growth of crops. Q. J. R. Meteorol. Soc. 107: 749-774.

Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Clark, J. A., Bradley, R. G. and Chatha, M. R. 1994. Effect of temperature on germination of sunflower. Seed Sci. Technol, 22: 565-571.

Oliver, F. C. and Annandale, J. G. 1998. Thermal time requarements for the development of green pea (*Pisum sativum* L.). Field Crops Res, 56: 301-307.

Piper, E. L., Boote, K. J., Jones, J. W. and Grimm, S. S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. Crop Sci, 36:1606-1614.

Roche, C. T., Thill, D. C. and Shafii, B. 1997. Estimation of base and optimum temperatures for seed germination in common crupina (*Crupina vulgaris* L.). Weed Sci, 45: 529-533.

Seefeldet, S. S., Kidwell, K. K. and Waller, J. E. 2002. Base growth temperature, germination rates and growth responses of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum*.L) cultivars from the USA pacific North West. Field Crops Res, 75: 47-52.

Silim, S. N., Saxena, M. C. and Sing, K. B. 1993. Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean basin. II. Factors influencing yield under drought. Field Crops Research, 34: 137-146.pp 600.

Sing, G., Sekhon, H. S. and Kolar, J. S. 2005. Pulses. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.
Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi- Daz, M. and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergences in chickpea as influnced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Metrology, 138: 156-167.
Turner, N. C., Wright, G. C. and Siddique, K. H. M. 2001. Adaptation of grain legumes (Pulses) to water limited environments. Adv. Agron, 71: 193-231.
Wade, L. J., Hammer, G. L. and Davey, M. A. 1993. Response of germination to temperature amongst diverse sorghum hybrids. Field Crops Res, 31:295-308.

Quantifying Seed Germination Response of Chickpea Genotypes (*Cicer arietinum)* under Temperature and Drought Stress Regimes

Ganjeali[1]*, A., Parsa[2], M. and Khatib[3], M.

Abstract

Knowledge improvement about seed germination response to soil moisture and temperature in order to determine the best times for sowing date is important, unfortunately information about seed germination response of chickpea to temperature, drought stress and their interactions are limited, So the main objectives of this experiment were quantifying seed germination response and predicting of cardinal temperatures, physiological days and thermal time requirement for seed germination in chickpea. To this, a split plot factorial experiment based on a completely randomized design with 6 chickpea genotypes (MCC.361, MCC.951, MCC.180, MCC.873, MCC.13 and MCC.463) and a range of temperatures (3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 °C) and drought stress levels (0, -4, -8, -12 and –16 bar) with three replications was conducted. There was no germination on -8, -12 and –16 bar, so these levels were omitted. The percentage of germinated seeds was recorded daily, and germination rate ($1/D_{50}$) was calculated based on inversing the time taken to reach to 50% cumulative germination. To quantify the response of germination rate to temperature and to determine cardinal temperatures, physiological days and thermal time requirement for germination, Dent-like model was applied. Temperature, drought stress (-4 bar) and their interactions, had a significant influences on final germination percentage and germination rate of chickpea genotypes. The lower and higher temperature regimes than optimum, had more restrictive effects on germination traits in stress compared to non stress (0 bar) condition. There were considerable genetic variations among genotypes regarding to final germination percentage and germination rate. MCC.463 and MCC.873 genotypes had the highest final germination percentage both in stress and non stress conditions, but on these genotypes, germination rate was the highest only in non stress condition. Overall, mean and optimum temperature range for germination, were estimated 20-26 °C, and it was the same in stress and non stress conditions. There were significant differences among genotypes for physiological days and thermal time requirement for germination, only in stress condition. Drought stress increased thermal time requirement for germination 2.8 times compared to non stress.

Keywords: Chickpea, Cardinal temperatures, Drought stress, Germination rate and Thermal time

1. Assistant Professor of Research Center for Plant Science, Ferdowsi University of Mashhad
2. Assistant Professor of Department. of Agronomy and Plant breeding, Collage of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3. Msc. of Plant Science
*. *Corresponding Author*