

برآورد درجه حرارت‌های کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)

علی گنجعلی^{۱*}، مهدی پارسا^۲ و سیدرضا امیری ده‌احمدی^۳

۱- عضو هیئت علمی دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۱/۱۶

چکیده

شناخت درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی و سبز شدن و همچنین تعیین زمان حرارتی مورد نیاز برای هر مرحله، در مدیریت زراعی و مدل‌سازی رشد و نمو گیاهان، ضروری است. دو آزمایش متفاوت با هدف برآورد دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن ژنوتیپ‌های نخود انجام شد. در آزمایش اول (جوانه‌زنی) پاسخ جوانه‌زنی شش ژنوتیپ نخود شامل MCC361، MCC951، MCC873، MCC180، MCC13 و MCC463 در رژیم‌های مختلف دمایی شامل ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در محیط کنترل‌شده به صورت آزمایش اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. درصد بذره‌های جوانه‌زده به صورت روزانه ثبت و سرعت جوانه‌زنی و روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی تعیین شد. درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از رگرسیون غیرخطی بین مقادیر R50 و T (درجه حرارت) برآورد شد. برای برآورد سرعت جوانه‌زنی از تابع درجه حرارت مدل دندان‌مانند استفاده شد. در آزمایش دوم (سبز شدن)، صفات مربوط به سبز شدن ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش اول، در نُه تاریخ کاشت به صورت آزمایش اسپلیت‌پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محیط مزرعه مورد مطالعه قرار گرفتند. صفات مربوط به سبز شدن، مشابه آزمایش اول برآورد و تعیین شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که درجه حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبز شدن، هر دو یک صفت پایدار هستند و تفاوت‌های معنی‌داری میان ژنوتیپ‌ها از این حیث مشاهده نشد. میانگین دمای پایه (متوسط ژنوتیپ‌ها) برای جوانه‌زنی ۴/۲ و برای سبز شدن ۶/۱ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت مناسب تحتانی و فوقانی به ترتیب برای جوانه‌زنی معادل ۲۰/۴ و ۲۶/۵ و برای سبز شدن، ۲۴/۰ و ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. تنوع ژنوتیپی قابل توجهی از نظر روزهای فیزیولوژیک و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن میان ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار میان روز تا جوانه‌زنی مشاهده شده و برآورد شده با استفاده از مدل دندان‌مانند و همین‌طور برای روز تا سبز شدن، نشان‌دهنده کارایی بالای مدل دندان‌مانند برای پیشگویی صفات مربوط به جوانه‌زنی و سبز شدن نخود است.

واژه‌های کلیدی: درجه حرارت‌های کاردینال، زمان حرارتی، سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن، نخود

مقدمه

به صورت پاییزه، انتظاری و در مناطق سردسیر مرتفع به صورت بهاره و عمدتاً به صورت دیم و با استفاده از رطوبت ذخیره خاک انجام می‌شود (Ganjeali & Nezami, 2008). در این مناطق، درجه حرارت و رطوبت مهم‌ترین عوامل مؤثر در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه می‌باشند. در این راستا، انجام هر اقدامی که موجب تسریع جوانه‌زنی و سبز شدن بذر شود، استقرار و پوشش گیاهی مطلوب برای انجام فتوسنتز را سریع‌تر در مزرعه ایجاد می‌کند و طول فصل رشد را افزایش می‌دهد و لذا انتظار می‌رود عملکرد نیز به میزان قابل توجهی افزایش یابد (Silim et al., 1999).

در اکثر مدل‌های رشد از درجه حرارت هوا به عنوان متغیر اولیه برای بیان رشد استفاده می‌شود (et al., 1987). در اکوسیستم‌های زراعی و مناطقی که رطوبت، نور و عناصر غذایی، محدودکننده رشد نیستند، درجه حرارت مهم‌ترین عامل مؤثر در جوانه‌زنی بذر گیاهان یکساله غیر خواب است (Garci-Huidobro et al., 1982). کشت نخود در ایران

* نویسنده مسئول: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی، عضو هیأت علمی دانشکده علوم، همراه: ۰۹۱۵۳۰۵۷۶۴۵، پست الکترونیک: ganjeali@um.ac.ir

۲- روز تا جوانه‌زنی و سبز شدن در ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف، متفاوت است (Eagles, 1988). سبز شدن سریع‌تر یک ژنوتیپ، به مفهوم شروع رشد اتوتروفی و استقرار سریع‌تر پوشش گیاهی برای تولید مواد فتوسنتزی و عملکردهای بالاتر خواهد بود (Ganjeali *et al.*, 2010). ۳- ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف، واکنش‌های متفاوتی به دماهای بالاتر از دمای پایه نشان می‌دهند (Montieth, 1984). تنوع موجود میان ارقام و ژنوتیپ‌های نخود از نظر درجه حرارت پایه، سرعت و درصد جوانه‌زنی و سبز شدن و همچنین پاسخ متفاوت ارقام و ژنوتیپ‌ها به درجه حرارت در مرحله سبز شدن و مراحل بعدی، فرصتی را فراهم خواهد ساخت که دستاورد آن، توسعه و تولید ارقامی است که قادر به جوانه‌زنی و سبز شدن در دماهای محدودکننده جوانه‌زنی هستند. با توجه به موارد فوق، آزمایش حاضر با هدف‌های زیر انجام شد:

- مطالعه واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن ژنوتیپ‌ها و ارقام نخود در مقابل سطوح مختلف درجه حرارت؛
- تعیین دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن.

مواد و روش‌ها

دو آزمایش متفاوت با هدف بررسی صفات مربوط به جوانه‌زنی و سبز شدن و نیز تعیین دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن ژنوتیپ‌های نخود انجام شد.

آزمایش اول (جوانه‌زنی)

در این آزمایش صفات مربوط به جوانه‌زنی شش ژنوتیپ نخود شامل: MCC361، MCC951، MCC873، MCC180، MCC13 و MCC463 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 در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار که در آن دما به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شده بود، انجام شد. به جز ژنوتیپ‌های MCC873 و MCC13 که به ترتیب دارای تیپ دسی و اسموس بودند، سایر ژنوتیپ‌ها تیپ کابلی داشتند. متوسط وزن ۱۰۰ دانه در ژنوتیپ‌های MCC361، MCC951، MCC180، MCC873، MCC13 و MCC463 به ترتیب معادل: ۱۹/۸، ۲۹/۱، ۲۴/۴، ۱۷/۷، ۳۵/۷ و ۲۸/۶ گرم بود.

برای پیشگویی مراحل نمو، ترکیب درجه حرارت و زمان، معیار مناسب‌تری نسبت به زمان به تنهایی است (Ritchie & Nesmith, 1991). رهیافت زمان حرارتی، به‌طور موفقیت‌آمیزی برای پیشگویی مراحل مختلف نمو در گیاهان زراعی و علف‌های هرز مورد استفاده قرار گرفته است. نیاز اساسی این رهیافت، برآورد درجه حرارت پایه است که در آن درجه حرارت، رشد و نمو فنولوژیک متوقف می‌شود (Alm *et al.*, 1991). شناخت درجه حرارت‌های کاردینال (جوانه‌زنی و سبز شدن) برای ارقام و ژنوتیپ‌ها نیز در تصمیم‌گیری دقیق زمان کاشت و تعیین محدوده‌های جغرافیایی مناسب برای کشت یک رقم یا ژنوتیپ، اهمیت قابل‌توجهی دارد (Hill & Luck, 1991). جوانه‌زنی و سبز شدن بذر شامل فرآیندهای متعدد فیزیولوژیک و بیوشیمیایی است که عمدتاً متأثر از دما، رطوبت، فتوپریود و برهم‌کنش این سه عامل می‌باشد (Roche *et al.*, 1997; Montieth, 1981). در رطوبت کافی و فتوپریود مناسب، درجه حرارت پایه برای دامنه وسیعی از گیاهان، برآورد شده است (Roche *et al.*, 1997; Delpzo *et al.*, 1987).

درجه حرارت‌های کاردینال را اغلب از طریق رسم منحنی مقادیر برآوردشده سرعت جوانه‌زنی و همچنین سبز شدن، در مقابل دامنه‌ای از درجه حرارت‌های مورد مطالعه، تعیین می‌نمایند (Montieth, 1981).

در مناطق معتدله، درجه حرارت خاک واضح‌ترین و مشخص‌ترین عامل مؤثر در فرایند سبز شدن بذر گیاهان است (Forcella *et al.*, 2000). مطالعات زیادی در ارتباط با تأثیر درجه حرارت بر فرایند جوانه‌زنی انجام شده است اما مطالعات کمی در مورد تأثیر درجه حرارت بر رشد اولیه گیاهچه و فرایند سبز شدن انجام شده است (Forcella *et al.*, 2000). با این حال در اغلب بررسی‌ها، جایی که سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن بذر در مقابل دامنه وسیعی از درجه حرارت مورد مطالعه قرار گرفت، رابطه قوی و سهمی شکلی میان درجه حرارت و متغیرهای فوق (سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن) وجود داشت (Carberry & Campbell, 1989; Fyfield & Gregory, 1989).

نکات مورد توجه در این تحقیق عبارت بودند از: ۱- ارقام و ژنوتیپ‌های نخود از دماهای کاردینال متفاوتی برای جوانه‌زنی و سبز شدن برخوردار هستند (Montieth, 1984). فرآیندهای جوانه‌زنی، اغلب آنزیمی و فعالیت آنزیم‌ها نیز متأثر از درجه حرارت 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 (Wesche-Seefeldt *et al.*, 2002; Ebeling, 2001).

استفاده از رگرسیون غیرخطی بین مقادیر T و R_{50} (درجه حرارت) برآورد شد. برای تعیین زمان حرارتی^۳ مورد نیاز جوانه‌زنی در دمای مطلوب، از رابطه^۴ g_0 $TT = (T_{oH} - T_b)$ استفاده شد (Oliver & Annandale, 1998).

آزمایش دوم (سبزشدن)

در این آزمایش به منظور مطالعه رفتار سبزشدن ژنوتیپ‌های نخود در دامنه گسترده‌ای از درجه حرارت، صفات مربوط به سبزشدن ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش اول، در نه تاریخ کاشت شامل ۱۵ مهر، ۱۵ آبان، ۱۵ آذر، ۱۵ دی، ۱۵ بهمن، ۱۵ اسفند، ۱۵ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت اسپلیت پلات که در آن تاریخ کاشت، عامل اصلی و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شده بودند، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه انجام شد. در این مطالعه هر واحد آزمایشی از یک گلدان پلاستیکی به قطر هشت و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که در عمق خاک مزرعه طوری قرار گرفته بود که فقط سطح گلدان در تماس مستقیم با هوای بیرون بود، تشکیل شد. در هر گلدان ۱۰ بذر در عمق حدود پنج سانتی‌متر کشت شد. گلدان‌ها از مخلوطی از خاک مزرعه و ماسه نرم که به نسبت سه به یک پُر شده بود، تشکیل شد. تعداد بذور سبزشده به صورت روزانه بازمینی شدند و آزمایش در ماه‌های سرد سال حداکثر به مدت ۵۰ روز ادامه یافت.

درصد سبزشدن از درصد نسبت تعداد بذره‌های سبزشده در هر بار شمارش بر تعداد کل بذرها محاسبه شد. زمان طی شده تا این که درصد تجمعی بذره‌های سبزشده هر ژنوتیپ در هر تیمار به ۵۰ درصد برسد (DE_{50}) ثبت شد. سپس سرعت سبزشدن (day^{-1}) از رابطه^(۵) محاسبه شد (Piper et al., 1996).

$$Ep\% = \sum ni / N \cdot 100 \quad \text{معادله (۴)}$$

$$RE_{50} = 1 / DE_5 \quad \text{معادله (۵)}$$

در معادله‌های فوق، Ep درصد سبزشدن؛ ni تعداد بذره‌های سبزشده در هر بار شمارش؛ N تعداد کل بذرها و RE_{50} سرعت سبزشدن (day^{-1}) است. برای کمی‌سازی واکنش سبزشدن بذر به درجه حرارت از معادله زیر استفاده شد (Piper et al., 1996):

$$RE_{50} = f(T) / E_o$$

در معادله فوق، $f(T)$ تابع درجه حرارت که مقدار آن بین صفر و ۱ متغیر است و E_o تعداد روزهای فیزیولوژی مورد

برای جلوگیری از بروز آلودگی‌های احتمالی، تمامی ظروف در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شدند. به منظور پرهیز از آلودگی‌های قارچی، بذرها با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد و همچنین قارچ‌کش بنومیل، ضد عفونی و سپس با آب مقطر، آب‌کشی شدند. تعداد ۱۰ بذر ضد عفونی شده در زیر هود استریل در داخل هر پتری‌دیش که محتوی کاغذ صافی بود، قرار گرفتند. به هر ظرف، پنج میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید به طوری که بذور در تماس مستقیم با آب بودند. بذرها پس از قرارگیری در ظروف مربوطه، در ژرمیناتور و دماهای مورد نظر رشد کردند. بذرها به طور روزانه بازمینی و تعداد بذور جوانه‌زده (دارای طول ریشه‌چه دو تا سه میلی‌متر) ثبت شدند.

درصد جوانه‌زنی از درصد نسبت تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر بار شمارش بر تعداد کل بذرها، محاسبه شد (معادله ۱). زمان طی شده تا این که درصد تجمعی جوانه‌زنی برای هر ژنوتیپ در هر تیمار به ۵۰ درصد رسید (D_{50}) ثبت شد. سپس سرعت جوانه‌زنی (day^{-1}) از رابطه^(۲) محاسبه شد (Piper et al., 1996):

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

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

در معادله‌های فوق: Gp درصد جوانه‌زنی؛ ni تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر بار شمارش؛ N تعداد کل بذرها و R_{50} سرعت جوانه‌زنی (day^{-1}) است. برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی به درجه حرارت از معادله زیر استفاده شد (Piper et al., 1996):

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

در معادله فوق، $f(T)$ تابع درجه حرارت که مقدار آن بین صفر و ۱ متغیر است و g_o تعداد روزهای فیزیولوژی مورد نیاز برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب می‌باشد. در این آزمایش برای برآورد سرعت جوانه‌زنی از تابع درجه حرارت مدل دندان‌مانند^۲ استفاده شد (Piper et al., 1996). بر اساس این مدل:

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

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

$$f(T) = 1 \quad \text{اگر } T_{oH} \leq T \leq T_{oU}$$

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

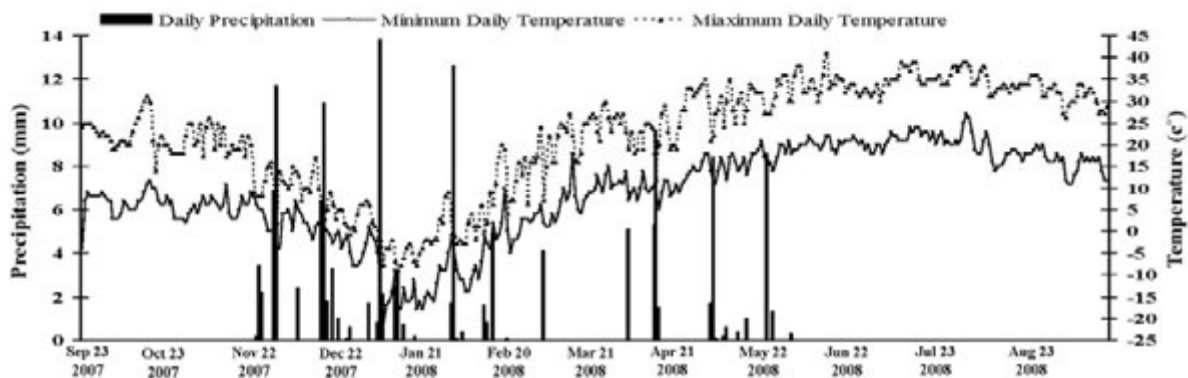
در معادله‌های فوق T_b ، T_{oH} ، T_{oU} و T_c به ترتیب دماهای پایه، مناسب تحتانی، مناسب فوقانی و دمای سقف می‌باشند. دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان دمای سقف به طور ثابت در نظر گرفته شد (Soltani et al., 2006) ولی سایر متغیرها با

توسط نرم‌افزار 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 از نرم‌افزار JMP انجام گرفت و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نیاز برای سبزشدن در دمای مطلوب می‌باشد. در این آزمایش برای برآورد سرعت سبزشدن از تابع درجه حرارت مدل دندان‌مانند، مشابه آزمایش اول (جوانه‌زنی) استفاده شد.

تجزیه آماری

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌های آزمایش، داده‌ها



شکل ۱- نمودار میزان بارندگی و درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مشهد
Fig. 1. Daily precipitation and daily maximum and minimum temperature during growth season of 2007-2008 at Mashhad

تاریخ کاشت ۱۵ آبان و کمترین روز تا سبزشدن، به تاریخ کاشت ۱۵ مهر تعلق داشت، اگرچه اختلاف معنی‌داری از نظر درصد سبزشدن نهایی بین دو تاریخ کاشت فوق‌الذکر وجود نداشت (جدول ۲). آفت شدید دما در ماه‌های دی و بهمن (شکل ۱) باعث عدم جوانه‌زنی و سبزشدن تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد.

فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به جوانه‌زنی شامل فعالیت هورمون‌ها (به‌ویژه جیبرلین)، فعالیت آنزیم‌ها (آمیلاز، انورتاز، پروتاز، لیپاز) و نهایتاً هضم، تجزیه ذخایر بذر و انتقال آن به محور جنین، عمدتاً وابسته به درجه حرارت و رطوبت هستند. به‌علاوه جذب فعال آب توسط بذر در محیط مرطوب، متأثر از درجه حرارت است. در این رابطه (Kocheiki *et al.*, 1988)، Q_{10} درجه حرارت برای جذب آب توسط بذر را $1/5$ تا $1/8$ گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد کاهش فعالیت‌های آنزیمی در درجه حرارت پایین ($Q_{10}=2-3$) و اختلال در فعالیت آنزیم‌ها در درجه حرارت بالا (دناثره شدن ساختمان سه‌بُعدی آنزیم‌ها)، علت اصلی کاهش درصد جوانه‌زنی در درجه حرارت‌های بالا و پایین در این آزمایش است.

مشابه نتایج درصد جوانه‌زنی و سبزشدن، روز تا جوانه‌زنی و سبزشدن نیز به شدت تحت تأثیر درجه حرارت قرار گرفتند (جدول ۱). درجه حرارت‌های ۱۰ و کمتر از آن و همچنین

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهدات در آزمایش اول (جوانه‌زنی) نشان داد که تأثیر درجه حرارت، ژنوتیپ و برهم‌کنش درجه حرارت و ژنوتیپ بر سرعت و درصد نهایی جوانه‌زنی نخود بسیار معنی‌دار است (جدول ۱). با افزایش درجه حرارت تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد، درصد نهایی جوانه‌زنی به ۹۶ درصد افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر درجه حرارت اگرچه درصد جوانه‌زنی کاهش یافت، مقدار کاهش تا درجه حرارت ۲۰ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار نبود (جدول ۲). بنابراین، هم درجه حرارت‌های بالا (بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و هم درجه حرارت‌های پایین (کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد) محدودکننده جوانه‌زنی هستند و درصد جوانه‌زنی نهایی در درجه حرارت‌های محدودکننده فوق به ۵۰ درصد کاهش یافت (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهدات در آزمایش دوم (سبزشدن) نشان داد که تأثیر تاریخ کاشت بر سرعت و درصد سبزشدن نهایی نخود بسیار معنی‌دار است. تأثیر ژنوتیپ و برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ، تنها برای روز تا سبزشدن نخود معنی‌دار بود (جدول ۱). به‌دلیل میانگین متفاوت دما در تاریخ‌های متفاوت کاشت (شکل ۱)، درصد و سرعت سبزشدن متأثر از دما، متغیر هستند. بالاترین درصد سبزشدن نهایی، به

سرعت سبزشدن برخوردار بودند. به‌طور کلی، واکنش روز تا سبزشدن ژنوتیپ‌ها، در تاریخ کشت‌های مختلف، متفاوت بود. تنوع موجود میان ژنوتیپ‌ها از نظر سرعت جوانه‌زنی و سبزشدن، احتمالاً به ویژگی‌های بذر شامل اندازه بذر (نسبت سطح به حجم)، پوشش بذر (نفوذپذیری) و فعالیت‌های متابولیکی بذر مربوط می‌شود (Derek Bewely & Blak, 2001; Maiti & Wesche-Ebeling, 1986). ژنوتیپ‌هایی که در درجه حرارت‌های پایین از درصد و سرعت جوانه‌زنی و نهایتاً از استقرار بوته بالاتری برخوردار هستند، برای کشت‌های بهاره (اواسط اسفند و اوایل فروردین) امیدبخش‌تر خواهند بود. کاشت زود و استقرار سریع‌تر پوشش گیاهی در مزرعه، امکان بهره‌برداری سریع گیاه را از منابع به‌ویژه تشعشع و بارندگی‌های ابتدای فصل فراهم می‌آورد. از طرفی بسته‌شدن سریع‌تر کانوپی می‌تواند فعالیت علف‌های هرز را در مزرعه به مقدار زیادی محدود نماید تا فرصتی ایجاد شود تا گیاه از حداکثر توان خود برای استفاده بهینه از عوامل محیطی، در جهت افزایش رشد رویشی و تولید بهره‌بردار (Ganjeali *et al.*, 2010). در این راستا بررسی‌های متعدد، همبستگی بالا و بسیار معنی‌دار میان درصد سبزشدن، استقرار سریع‌تر بوته و عملکرد بالای محصول را گزارش کردند (Gupta, 1988; Maiti & Moreno-Limon, 2001).

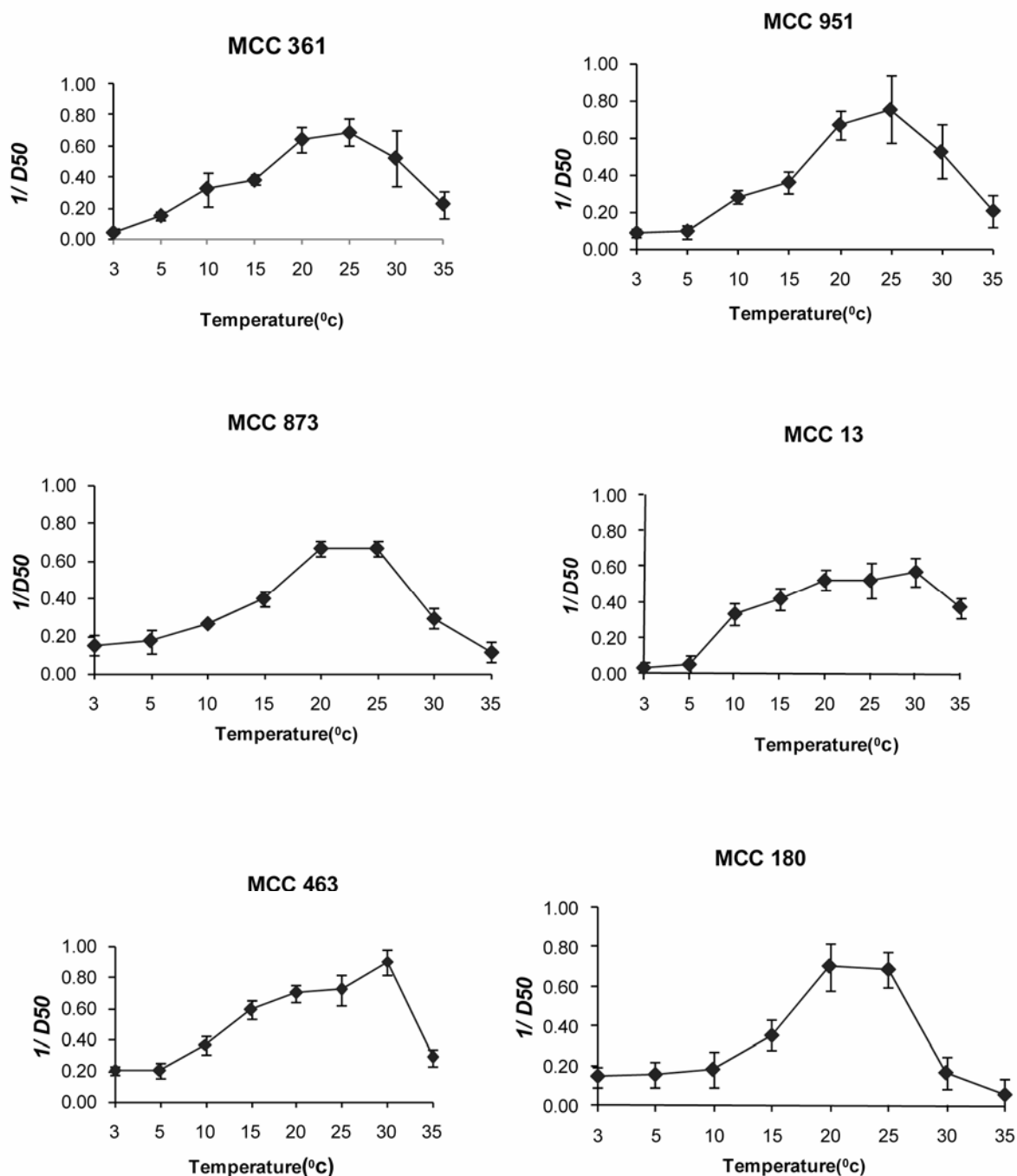
همبستگی بسیار بالایی بین مقادیر برآوردشده و مشاهده‌شده روز تا جوانه‌زنی ($R^2=0.169$) و روز تا سبزشدن ($R^2=0.165$) وجود داشت که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل دندان‌مانند برای برآورد سرعت و زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبزشدن است (شکل ۴). (Soltani *et al.*, 2006). تفاوت‌های معنی‌داری را در مقادیر مشاهده‌شده و برآوردشده روز تا سبزشدن ارقام نخود براساس مدل دندان‌مانند پیدا نکردند. نتایج این بررسی مؤید این است که از مدل دندان‌مانند می‌توان به عنوان یک مدل مناسب برای برآورد روز تا جوانه‌زنی و سبزشدن نخود استفاده کرد و صفات مربوط به جوانه‌زنی و سبزشدن ژنوتیپ‌های نخود را بر اساس رژیم‌های مختلف دمایی و یا تاریخ‌های متفاوت کاشت، شبیه‌سازی نمود.

در آزمایش جوانه‌زنی، دامنه درجه حرارت پایه از ۳/۳ درجه سانتی‌گراد در ژنوتیپ MCC180 (کمترین درجه حرارت پایه) تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد، در ژنوتیپ MCC 951 (بالاترین درجه حرارت پایه) با یک اختلاف ۱/۳ برابری، متفاوت بود (جدول‌های ۳ و ۴).

درجه حرارت‌های بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، روز تا جوانه‌زنی را به شدت افزایش داد (جدول ۲). کمترین روز تا جوانه‌زنی در دامنه دمایی ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد. در آزمایش دوم نیز کمترین و بیشترین روز تا سبزشدن به ترتیب به تاریخ کاشت‌های ۱۵ مهر (۶/۵ روز) و ۱۵ آذر (۵۰ روز) تعلق داشت. در این راستا، اختلاف معنی‌داری میان تاریخ کاشت‌های ۱۵ مهر، ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد وجود نداشت. (Auld *et al.* 1988) در بررسی جوانه‌زنی ۱۰ لاین نخود در درجه حرارت‌های مختلف، کمترین روز تا جوانه‌زنی نخود را در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند.

برهم‌کنش درجه حرارت و ژنوتیپ، تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی و روز تا جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها داشت (جدول ۱). منحنی تغییر سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها در مقابل سطوح مختلف درجه حرارت، حاکی از آن است که دامنه درجه حرارت مطلوب برای ژنوتیپ‌های MCC180، MCC951، MCC361 و MCC873، ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد در حالی که دامنه درجه حرارت مطلوب برای ژنوتیپ‌های MCC463 و MCC13 حدوداً ۲۸ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (شکل ۲). بالاترین سرعت جوانه‌زنی به ژنوتیپ‌های MCC951 و MCC463 به ترتیب در درجه حرارت‌های ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد تعلق دارد. در مطالعات مربوط به جوانه‌زنی، تنوع ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای میان ژنوتیپ‌های نخود در واکنش به درجه حرارت گزارش شده است. دامنه درجه حرارت ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد (Maiti & Wesche-Ebeling, 2001) و ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد (Singh *et al.*, 2005) به عنوان دامنه درجه حرارت مطلوب برای جوانه‌زنی نخود گزارش شده است.

تقریباً تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، در تاریخ کاشت‌های ۱۵ مهر و ۱۵ اردیبهشت‌ماه از حداکثر سرعت سبزشدن برخوردار بودند، اگرچه حداکثر سرعت سبزشدن در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بود (شکل ۳). کاهش درجه حرارت در فصل‌های پاییز و زمستان و افزایش درجه حرارت در ماه خرداد و پس از آن، محدودکننده فرایند سبزشدن هستند. در این آزمایش به دلیل کاهش دما تا ۱۰- الی ۲۰- درجه سانتی‌گراد در ماه‌های دی و بهمن (شکل ۱)، جوانه‌زنی در تمامی ژنوتیپ‌ها متوقف شد و بذور کشت‌شده در این تاریخ کاشت‌ها به دلیل یخ‌زدگی از بین رفتند. مشابه آزمایش جوانه‌زنی، ژنوتیپ MCC463 و MCC13 در تاریخ کاشت ۱۵ مهر (درجه حرارت مطلوب) به ترتیب از بالاترین و کمترین



شکل ۲- تغییرات $1/D_{50}$ برای نمایش پاسخ سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود (day^{-1}) به رژیم‌های مختلف درجه حرارت

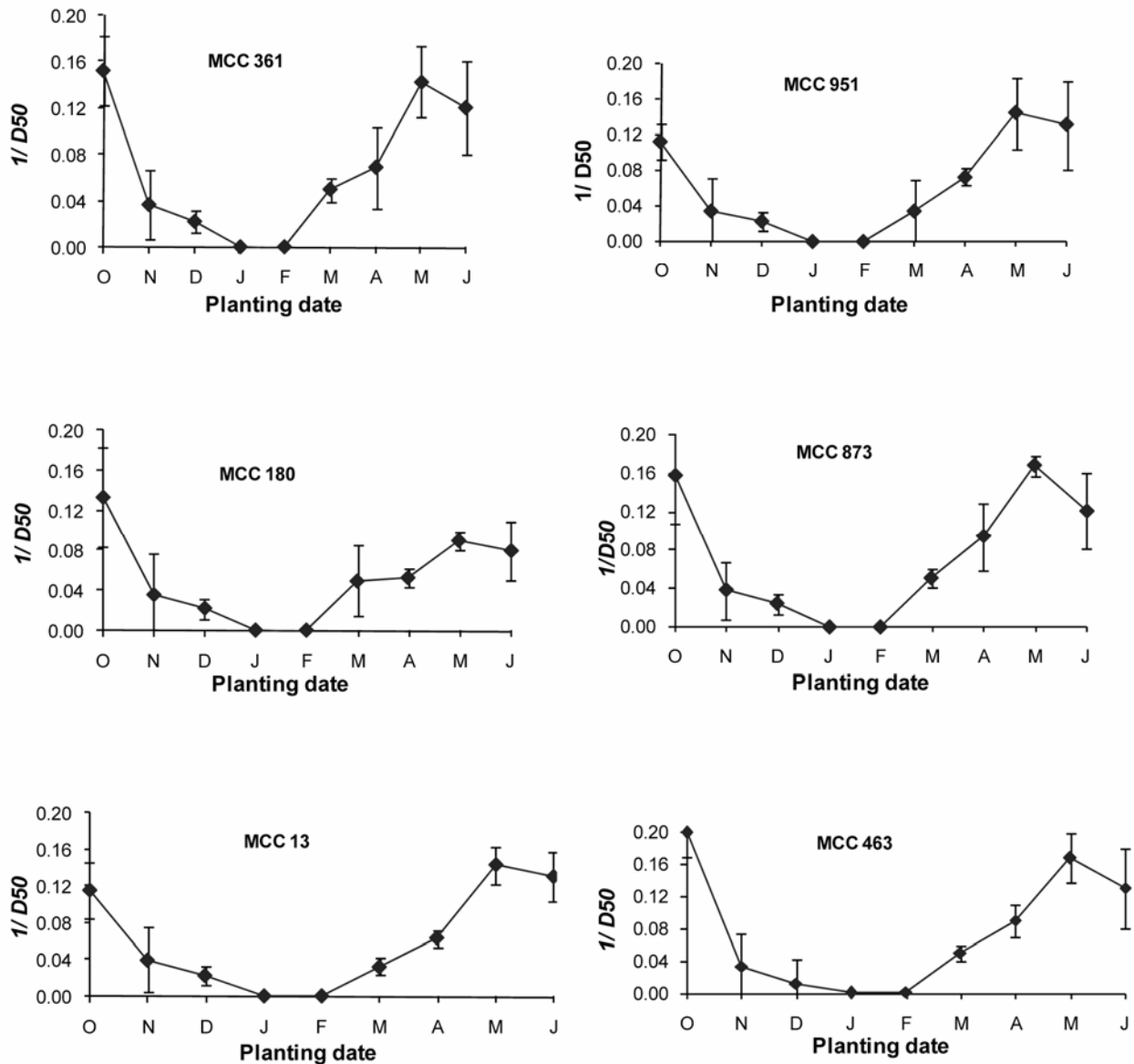
Fig 2. Fluctuations of $1/D_{50}$ to present the response of germination rate (day^{-1}) to different temperature regimes

است که واکنش ژنوتیپ‌ها از نظر درجه حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن مشابه است، اگرچه درجه حرارت پایه برای سبزشدن به‌طور متوسط حدود ۱/۵ برابر بیشتر از درجه حرارت پایه برای جوانه‌زنی است. در این آزمایش به‌طور

در آزمایش دوم، مشابه نتایج مربوط به آزمایش جوانه‌زنی، کمترین درجه حرارت پایه برای سبزشدن از ۵/۱ درجه سانتی‌گراد در ژنوتیپ MCC180 تا ۶/۹ درجه سانتی‌گراد برای ژنوتیپ MCC951، متفاوت بود. نتایج بررسی‌ها مؤید این

در این آزمایش‌ها تنوع ژنوتیپی قابل توجهی از نظر دمای پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن مشاهده نشد. عدم وجود تفاوت‌های قابل توجه میان ژنوتیپ‌ها برای دمای پایه در این بررسی، با نتایج *Angus et al. (1981)*، *Ellis et al. (1986)* و *Sltani et al. (2006)* مطابقت دارد. *Oliver & Bradford (1995)* و *Annandale (1998)* دمای پایه را به‌عنوان یک صفت پایدار که تغییرات آن در یک گونه خاص ناچیز است، اعلام نمودند.

متوسط دمای پایه (میانگین ژنوتیپ‌ها) برای جوانه‌زنی، $4/2$ و برای سبزشدن، $6/1$ درجه سانتی‌گراد برآورد شد که با دمای پایه که برای جوانه‌زنی نخود، صفر درجه سانتی‌گراد (*Bagheri et al., 1997; Ellis et al., 1986*) و برای سبزشدن، $4/5$ درجه سانتی‌گراد (*Soltani et al., 2006*) گزارش شده است و نیز با مقادیر ارائه شده برای ظهور برگ در شرایط مزرعه توسط *Siddique & Sedgley (1986)*، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دارد.



شکل ۳- تغییرات $1/D_{50}$ برای بیان نمایش سرعت سبزشدن ژنوتیپ‌های نخود (day^{-1}) به رژیم‌های مختلف درجه حرارت
 Fig 2. Fluctuations of $1/D_{50}$ to present the response of emergence rate (day^{-1}) to different planting dates

Hossieni et al. (2009) همبستگی مثبت و معنی‌داری را میان درصد سبزشدن و سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود گزارش کردند.

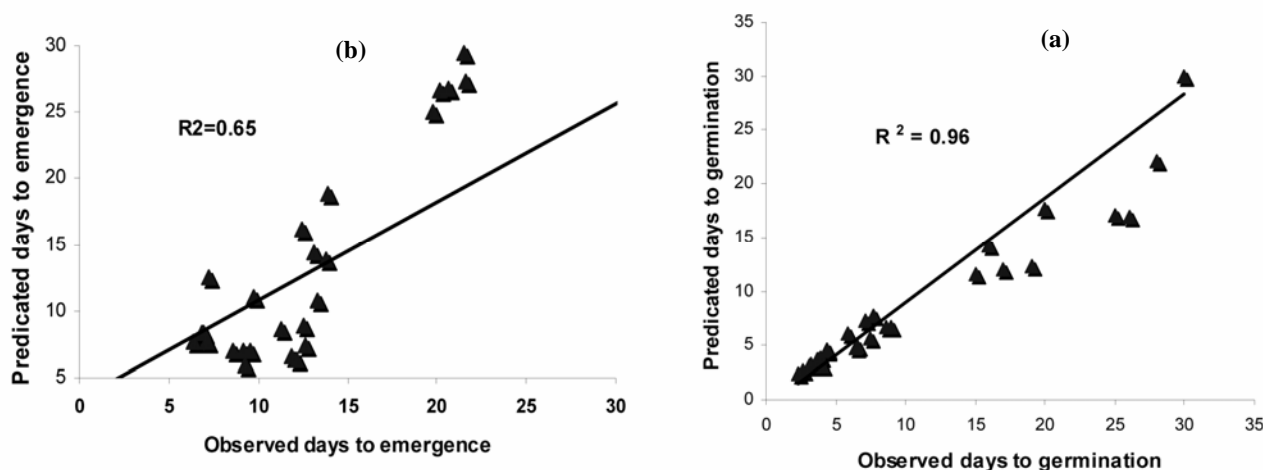
در این آزمایش، همبستگی خطی، مثبت و معنی‌داری میان درجه حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشاهده شد (شکل ۵). در یک آزمایش، *Majnon*

ژنوتیپ‌ها) بود.

تفاوت‌های قابل‌توجهی میان ژنوتیپ‌ها از نظر زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن وجود نداشت (شکل ۶). در یک آزمایش روی نخودفرنگی نیز تفاوت‌های معنی‌داری در زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی میان ارقام نخودفرنگی مشاهده نشد (Oliver & Annandale, 1998). میانگین زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها، ۲۷ درجه سانتی‌گراد روز و برای سبز شدن، ۱۴۴ درجه سانتی‌گراد روز برآورد شد (شکل ۶). در این آزمایش، زمان حرارتی مورد نیاز برای سبز شدن نخود بیشتر از مقادیر گزارش‌شده توسط (Gan *et al.* (2002) تا ۹۷ تا ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد روز) و مقدار ارائه شده توسط (Soltani *et al.* (2006)، ۹۴ درجه سانتی‌گراد روز برآورد شده است.

در این آزمایش، دامنه درجه حرارت مطلوب جوانه‌زنی (میانگین ژنوتیپ‌ها) ۲۰/۴ تا ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد و برای سبز شدن ۲۴ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (جدول‌های ۴ و ۳) که با نتایج تحقیقات Maiti & Wesche- Ebeling (2001) در شرایط آزمایشگاه مطابقت داشت. با این حال (Soltani *et al.* (2006) در مطالعه چهار رقم نخود، دامنه دمایی ۲۰ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد را به‌عنوان دامنه درجه حرارت مطلوب برای سبز شدن نخود گزارش کردند.

تنوع ژنوتیپی قابل‌توجهی از نظر روزهای فیزیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن مشاهده نشد (جدول‌های ۳ و ۴)، ولی روزهای فیزیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ۸/۱ روز (میانگین ژنوتیپ‌ها) به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از روزهای فیزیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی ۱/۷ روز (میانگین



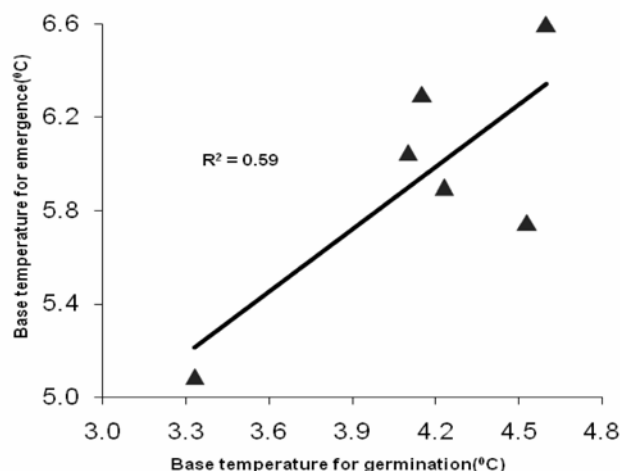
شکل ۴- مقادیر برآورد شده و مشاهده شده روز تا جوانه‌زنی (a) و روز تا سبز شدن (b) برای ژنوتیپ‌های نخود بر اساس مدل دندان‌مانند

Fig. 4. Predicted and observed days to germination (a) and days to emergence (b) for chickpea genotypes using dent like model

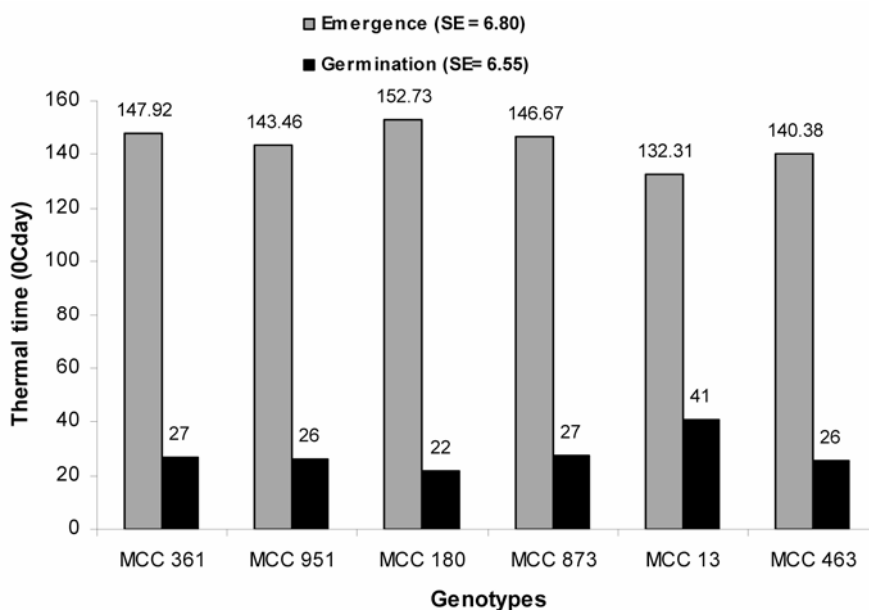
نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که درجه حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبز شدن، یک صفت تقریباً پایدار است و تفاوت‌های معنی‌داری میان ژنوتیپ‌ها از این حیث وجود نداشت. بر این اساس، دمای پایه (میانگین ژنوتیپ‌ها) برای جوانه‌زنی، ۴/۲ درجه سانتی‌گراد و برای سبز شدن، ۶/۱ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. در این آزمایش، درجه حرارت مناسب تحتانی و فوقانی (میانگین ژنوتیپ‌ها) به ترتیب برای جوانه‌زنی معادل ۲۰/۴ و ۲۶/۵ و برای سبز شدن، ۲۴/۰ و ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد.

در این آزمایش، ژنوتیپ MCC13 از بیشترین زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی (۴۱ درجه سانتی‌گراد روز) و از کمترین زمان حرارتی برای سبز شدن (۱۳۲ درجه سانتی‌گراد روز) برخوردار بود. به نظر می‌رسد فرایندهای مربوط به جوانه‌زنی در این ژنوتیپ کند است، ولی پس از جوانه‌زنی، رشد گیاهک با سرعت بالاتری ادامه یافته است. احتمالاً اندازه بزرگ‌تر بذر در ژنوتیپ MCC13 (وزن ۱۰۰ دانانه ۳۵/۷ گرم) و نسبت کمتر سطح به حجم در این ژنوتیپ نسبت به بذرهای ریزتر برای جذب آب، علت اصلی تأخیر در جوانه‌زنی این ژنوتیپ و نیاز به زمان حرارتی بیشتر می‌باشد. بدیهی است پس از شروع جوانه‌زنی، رشد گیاهک به این دلیل ذخایر بیشتر بذر و قابلیت دسترسی بیشتر گیاهک به این ذخایر در دوره رشد هتروتروفی، سریع‌تر انجام شده است.



شکل ۵- همبستگی میان درجه حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبز شدن برای شش ژنوتیپ نخود مورد آزمایش
 Fig. 5. Correlation between base temperature for germination and emergence in six chickpea genotypes



شکل ۶- زمان حرارتی مورد نیاز (درجه سانتی‌گراد روز) برای جوانه‌زنی و سبز شدن ژنوتیپ‌های نخود
 Fig. 6. Thermal time requirement (°C day) for germination and emergence of chickpea genotypes

معنی‌دار میان روز تا جوانه‌زنی مشاهده و برآورد شده با استفاده از مدل دندان‌مانند و همین‌طور روز تا سبز شدن مشاهده و برآورد شده، نشان دهنده کارایی بالای مدل دندان‌مانند برای بیان پاسخ صفات مربوط به جوانه‌زنی و سبز شدن نخود به درجه حرارت است.

تنوع ژنوتیپی قابل توجهی از نظر روزهای فیزیولوژیک و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن میان ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. زمان حرارتی و روزهای فیزیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن (میانگین ژنوتیپ‌ها) به ترتیب ۱۴۴ درجه سانتی‌گراد روز و ۸/۱ روز و برای جوانه‌زنی ۲۷ درجه سانتی‌گراد روز و ۱/۷ روز برآورد شد. همبستگی مثبت و بسیار

منابع

1. Alm, D.M., Mcgiffen, J.R.M.E., and Hesketh, J.D. 1991. Weed Phonology. In: T. Hodges (Ed.). Predicting Crop Phonology. Boca Raton, FL: CRC. Press. p. 191-218.
2. 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.
3. 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.
4. Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. In: J. Kigel and G. Galili (Eds.). Seed Development and Germination. Mar-cell Dekker, p. 351-396.
5. Carberry, P.S., and Campbell, L.C. 1989. Temperature parameters useful for modeling the germination and emergence of peral millet. Crop Science 29: 220- 223.
6. Delpozo, A.H., Garcia-Huidobra, J., Novoa, R., and Villseca, S. 1987. Relationships of base temperature to development of spring wheat. Exp. Agric. 23: 21-30.
7. Derek Bewely, J., and Blak, M. 1986. Seeds Physiology of Development and Germination. Plenum Press, New York.
8. Egals, H.A. 1988. Inheritance of emergence time at low temperatures in segregation generation of maize. Theor. App. Genet. 76: 459-464.
9. 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. Inter-specific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. J. Exp. Bot. 37: 1503-1515.
10. Forcella, F., Bench Arnold, R.L., Sanchez, R., and Ghersa, C.M. 2000. Modeling seedling emergence. Field Crops Research 67: 123-139.
11. Fyfield, T.P., and Gregory, P.J. 1989. Effect of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean J. Exp. Bot. 40: 667- 674.
12. 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.
13. Ganjeali, A., and Nezami, A. 2008. Ecophysiology and yield barriers in pulse crops. In: M. Parsa and A. Bagheri (Eds.). Pulses. Jihad Daneshgahi Mashhad Publisher, p. 522.
14. Ganjeali, A., Parsa, M., and Khatib, M. 2010. Quantifying seed germination response of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) influenced temperature and drought stress regimes. Agricultural Research (In press).
15. Garcia-Huidobro, J., Monteith, J.L., and Squire, G.R. 1982. Time, temperature and germination of peral millet (*Pennisetum typhoides*). J. of Experimental Botany 33: 288- 296.
16. Gupta, V.S. 1998. Production and Improvement of Crops for Dryland .Oxford and IBH Publishing. CO. PVT. LTD.
17. 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.
18. Kocheki, A., Rashed Mohassel, M., Nassiri, M., and Sadrabadi, R. 1988. Physiological Basis of Crop Growth and Development. Bonyad Farhangi Razavi Press.
19. Maiti, R., and Wesche-Ebeling, P. 2001. Advance in Chickpea Science. Science Publisher, Inc. 410 p.
20. Malik, C.P., Gupta, K., and Sharma, S. 1986. Affect of water stress on germination and seedling metabolism of gram (*Cicer arietinum* L.). Acta. Agron. Hung. 35: 11-16.
21. Montieth, J.L. 1981. Climatic variations and the growth of crops. Q.J.R. Meteorol. Soc. 107: 749-774.
22. Oliver, F.C., and Annandale, J.G. 1998. Thermal time requirements for the development of green pea (*Pisum sativum* L.). Field Crops Research 56: 301-307.
23. 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.

24. Ritchie, J.T., and Nesmith, D.S. 1991. Temperature and crop development. In: J. Hanks and J.T. Ritchie (Eds.). Modeling Plant and Soil Systems. Agronomy, No. 31. Madison. WI: American Society of Agronomy. p. 5-29.
25. 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.
26. Scott, S.J., Jones, R.A., and Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science 24: 1192- 1199.
27. Seefeldt, 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 Research 75: 47-52.
28. Silim, S.N., Saxena, M.C., and Singh, K.B. 1993. Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean basin. II. Factors influencing yield under drought. Field Crops Research 34: 137-146.
29. Sing, G., Sekhon, H.S., and Kolar, J.S. 2005. Pulses. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.
30. Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergences in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Metrology 138: 156-167.
31. Whisler, F.D., Acock, B., Baker, D.N., Fye, R.E., Hodges, H.F., Lambert, J.R., Lemmon, H.E., MacKinnon, J.M., and Reddy, V.R., 1987. Crop simulation models in agronomic systems. Adv. Agron. 40: 141-208.

Determination of cardinal temperatures and thermal time requirement during germination and emergence of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.)

Ganjeali^{1*}, A., Parsa², M. & Amiri-Deh-Ahmadi³, S.R.

1- Contribution from Biology Department, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad

2- Contribution from Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- PhD Student of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 06 November 2010

Accepted: 05 April 2011

Abstract

Determination of cardinal temperatures during seed germination and emergence as well as the thermal time requirement for each stage is essential in crop management and modeling of plant growth and development. Two experiments were conducted to predict cardinal temperatures and thermal time requirement for germination and emergence of chickpea genotypes. In the first experiment, seed germination responses of six chickpea genotypes (MCC361, MCC951, MCC180, MCC873, MCC13 and MCC463) at seven temperature regimes (3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35°C) in a controlled condition were evaluated. The trial was carried out as split plot based on a completely randomized design with three replications using 10 seeds per Petri dish. Seed germination percentages and days to 50% germination (cumulative) were determined. Cardinal germination temperatures using non-linear regression between germination rate and temperature (R50 as y and T as x) were estimated. Temperature function, Dent like model was used to determine seed germination rate. In the second experiment, traits mentioned in first experiment were studied for emergence of chickpea genotypes, with nine planting dates considered as main plots. Therefore, the experiment conducted as split plot based on a complete block design with three replications in the soil. Based on the results, both base temperature for germination and emergence were stable traits and there were not significant differences among genotypes in this respect. Average base temperature of genotypes for germination and emergence were estimated 4.2°C and 6.1°C, respectively. Also, the average optimum temperatures of genotypes for germination differed from 20.4°C to 26.5°C, respectively and for emergence they were differed from 24.0°C to 26.8°C, respectively. There was no considerable genetic diversity for physiological days and thermal time required for germination and emergence of chickpea genotypes. There was a highly significant positive correlation between observed and predicted days to germination and emergence of chickpea using Dent like model. Therefore, this model can be used for simulating germination and emergence times of chickpea.

Key words: Cardinal temperatures, Chickpea, Thermal time

* Corresponding Author: E-mail: ganjeali@um.ac.ir, Mobile: 09153057645