نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۲ شماره ۲، صفحه ۱۰۸-۹۷، نیمه دوم ۱۳۹۰

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 2, No. 2, 2011, p. 97-108

برآورد درجه‌حرارت‌های کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبزشدن ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)

علی گنجعلی[1*]، مهدی پارسا[2] و سیدرضا امیری دِه‌احمدی[3]

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 درجه‌حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی و سبزشدن 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 سبزشدن 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 بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه ثبت و سرعت جوانه‌زنی و روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی تعیین شد. درجه‌حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از رگرسیون غیرخطی بین مقادیر R50 و T (درجه‌حرارت) برآورد شد. برای برآورد سرعت جوانه‌زنی از تابع درجه‌حرارت مدل دندان‌مانند استفاده شد. در آزمایش دوم (سبزشدن)، صفات مربوط به سبزشدن 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 سبزشدن، مشابه آزمایش اول برآورد و تعیین شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که درجه‌حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن، 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 سبزشدن ۶/۱ درجه سانتی‌گراد و درجه‌حرارت مناسب تحتانی و فوقانی به‌ترتیب برای جوانه‌زنی معادل ۲۰/۴ و ۲۶/۵ و برای سبزشدن، ۲۴/۰ و ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. تنوع ژنوتیپی قابل‌توجهی از نظر روزهای فیزیولوژیک و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبزشدن میان ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دارِ میان روز تا جوانه‌زنی مشاهده‌شده و برآوردشده با استفاده از مدل دندان‌مانند و همین‌طور برای روز تا سبزشدن، نشان‌دهندهٔ کارآیی بالای مدل دندان‌مانند برای پیشگویی صفات مربوط به جوانه‌زنی و سبزشدن نخود است.

واژه‌های کلیدی: درجه‌حرارت‌های کاردینال، زمان حرارتی، سرعت جوانه‌زنی و سبزشدن، نخود

مقدمه

در اکثر مدل‌های رشد از درجه‌حرارت هوا به‌عنوان متغیر اولیه برای بیان رشد استفاده می‌شود (Whisler *et al.*, 1987). در اکوسیستم‌های زراعی و مناطقی که رطوبت، نور و عناصر غذایی، محدودکنندهٔ رشد نیستند، درجه‌حرارت مهم‌ترین عامل مؤثر در جوانه‌زنی بذر گیاهان یکسالهٔ غیرخواب است (Garci-Huidobro *et al.*, 1982). کشت نخود در ایران به‌صورت پاییزه، انتظاری و در مناطق سردسیر مرتفع به صورت بهاره و عمدتاً به صورت دیم و با استفاده از رطوبت ذخیرهٔ خاک انجام می‌شود (Ganjeali & Nezami, 2008). در این مناطق، درجه‌حرارت و رطوبت مهم‌ترین عوامل مؤثر در جوانه‌زنی و سبزشدن گیاه می‌باشند. در این راستا، انجام هر اقدامی که موجب تسریع جوانه‌زنی و سبزشدن 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 قابل‌توجهی افزایش یابد (Silim *et al*., 1999).

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

برای پیشگویی مراحل نموی، ترکیب درجه‌حرارت و زمان، معیار مناسب‌تری نسبت به زمان به تنهایی است Ritchie & (Nesmith, 1991). رهیافت زمان حرارتی، به‌طور موفقیت‌آمیزی برای پیشگویی مراحل مختلف نموی در گیاهان زراعی و علف‌های‌هرز مورد استفاده قرار گرفته است. نیاز اساسی این رهیافت، برآورد درجه‌حرارت پایه است که در آن درجه‌حرارت، رشد و نمو فنولوژیک متوقف می‌شود (Alm *et al.*, 1991). شناخت درجه‌حرارت‌های کاردینال (جوانه‌زنی و سبزشدن) 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 سبزشدن بذر شامل فرآیندهای متعدد فیزیولوژیک و بیوشیمیایی است که عمدتاً متأثر از دما، رطوبت، فتوپریود و برهم‌کُنش این سه عامل می‌باشد (Roche *et al.*, 1997; Montieth, 1981). در رطوبت کافی و فتوپریود مناسب، درجه‌حرارت پایه برای دامنهٔ وسیعی از گیاهان، برآورد شده است(Roche *et al.*, 1997 ; Delpzo *et al.*, 1987) .

درجه‌حرارت‌های کاردینال را اغلب از طریق رسم منحنی مقادیر برآوردشدهٔ سرعت جوانه‌زنی و همچنین سبزشدن، در مقابل دامنه‌ای از درجه‌حرارت‌های مورد مطالعه، تعیین می‌نمایند (Montieth, 1981).

در مناطق معتدله، درجه‌حرارت خاک واضح‌ترین و مشخص‌ترین عامل مؤثر در فرایند سبزشدن بذر گیاهان است (Forcella *et al.*, 2000). مطالعات زیادی در ارتباط با تأثیر درجه‌حرارت بر فرایند جوانه‌زنی انجام شده است اما مطالعات کمی در مورد تأثیر درجه‌حرارت بر رشد اولیه گیاهچه و فرایند سبزشدن انجام شده است (Forcella *et al.*, 2000). با این حال در اغلب بررسی‌ها، جایی که سرعت جوانه‌زنی و سبزشدن بذر در مقابل دامنهٔ وسیعی از درجه‌حرارت مورد مطالعه قرار گرفت، رابطه قوی و سهمی شکلی میان درجه‌حرارت و متغیرهای فوق (سرعت جوانه‌زنی و سبزشدن) وجود داشت (Carberry & Cammpbell, 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 سبزشدن برخوردار هستند (Montieth, 1984). فرآیندهای جوانه‌زنی، اغلب آنزیمی و فعالیت آنزیم‌ها نیز متأثر از درجه‌حرارت است. بررسی‌ها نشان داده است که در شرایط رطوبت محدود، ژنوتیپ‌هایی که دارای سرعت جوانه‌زنی بالاتری هستند، از شانس سبزشدن و استقرار بالاتری نیز برخوردار هستند (Wesche-Ebeling, 2001; Seefeldet *et al.*, 2002)؛ ۲- روز تا جوانه‌زنی و سبزشدن در ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف، متفاوت است (Eagles, 1988). سبزشدنِ سریع‌تر یک ژنوتیپ، به مفهوم شروع رشد اُتوتروفی 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 درجه‌حرارت پایه، سرعت و درصد جوانه‌زنی و سبزشدن و همچنین پاسخ متفاوت ارقام و ژنوتیپ‌ها به درجه‌حرارت در مرحله سبزشدن و مراحل بعدی، فرصتی را فراهم خواهد ساخت که دستاورد آن، توسعه و تولید ارقامی است که قادر به جوانه‌زنی و سبزشدن در دماهای محدودکنندهٔ جوانه‌زنی هستند. با توجه به موارد فوق، آزمایش حاضر با هدف‌های زیر انجام شد:

- مطالعه واکنش جوانه‌زنی و سبزشدن ژنوتیپ‌ها و ارقام نخود در مقابل سطوح مختلف درجه‌حرارت؛
- تعیین دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبزشدن.

مواد و روش‌ها

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

آزمایش اول (جوانه‌زنی)

در این آزمایش صفات مربوط به جوانه‌زنی شِش 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 کنترل‌شده در آزمایشگاه تحقیقاتی پژوهشکدهٔ علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار که در آن دما به‌عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شده بود، انجام شد. به‌جز ژنوتیپ‌های MCC873 و MCC13 که به‌ترتیب دارای تیپ دسی و اسموس بودند، سایر ژنوتیپ‌ها تیپ کابلی داشتند. متوسط وزن ۱۰۰دانه در ژنوتیپ‌های MCC361، MCC951، MCC180، MCC873، MCC13 و MCC463 به‌ترتیب معادل: ۱۹/۸، ۲۹/۱، ۲۴/۴، ۱۷/۷، ۳۵/۷ و ۲۸/۶ گرم بود.

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

درصد جوانه‌زنی از درصد نسبت تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر بار شمارش بر تعداد کل بذرها، محاسبه شد (معادله۱). زمان طی شده تا این‌که 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):

$Gp\%=\Sigma ni/N \cdot 100$ معادله (۱)

$R_{50}= 1/D_{50}$ معادله (۲)

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

$R_{50}=f(T) / g_o$ معادله (۳)

در معادله فوق، $f(T)$ تابع درجه‌حرارت 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 درجه‌حرارت مدل دندان‌مانند[1] استفاده شد (Piper *et al.*, 1996). بر اساس این مدل:

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

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

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

$f(T)= 0$ اگر $T \le T_b \ or \ T \ge T_c$

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 (Soltani *et al.*, 2006) ولی سایر متغیرها با استفاده از رگرسیون غیرخطی بین مقادیر R_{50} و T (درجه‌حرارت) برآورد شد. برای تعیین زمان حرارتی[2] مورد نیاز جوانه‌زنی در دمای مطلوب، از رابطهٔ $TT= (T_{oH}-T_b)\ g_0$ استفاده شد (Oliver & Annandale, 1998).

آزمایش دوم (سبزشدن)

در این آزمایش به‌منظور مطالعهٔ رفتار سبزشدن ژنوتیپ‌های نخود در دامنهٔ گسترده‌ای از درجه‌حرارت، صفات مربوط به سبزشدن ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش اول، در نُه تاریخ کاشت شامل ۱۵مهر، ۱۵آبان، ۱۵آذر، ۱۵دی، ۱۵بهمن، ۱۵اسفند، ۱۵فروردین، ۱۵اردیبهشت و ۱۵خرداد مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت اسپلیت‌پلات که در آن تاریخ کاشت، عامل اصلی و ژنوتیپ‌ها به‌عنوان 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 ۱۰سانتی‌متر 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 ۱۰بذر در عمق حدود پنج سانتی‌متر کشت شد. گلدان‌ها از مخلوطی از خاک مزرعه و ماسهٔ نرم که به نسبت سه به یک پُر شده بود، تشکیل شد. تعداد بذور سبزشده به‌صورت روزانه بازبینی شدند و آزمایش در ماه‌های سرد سال حداکثر به مدت ۵۰ روز ادامه یافت.

درصد سبزشدن از درصد نسبت تعداد بذرهای سبزشده در هر بار شمارش بر تعداد کل بذرها محاسبه شد. زمانِ طی‌شده تا این‌که درصد تجمعی بذرهای سبزشدهٔ هر ژنوتیپ در هر تیمار به ۵۰درصد برسد (DE_{50}) ثبت شد. سپس سرعت سبزشدن (day^{-1}) از رابطهٔ (۵) محاسبه شد (Piper *et al.*, 1996).

$Ep\%=\Sigma ni/N \cdot 100$ معادله (۴)

$RE_{50}= 1/DE_5$ معادله (۵)

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

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

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

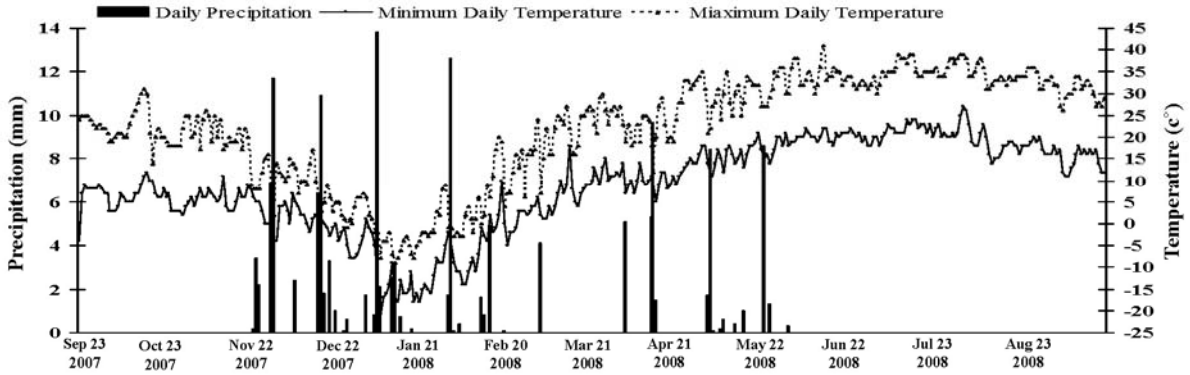
1. Dent-like function

2. Thermal time

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

تجزیه آماری

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



شکل ۱- نمودار میزان بارندگی و درجه‌حرارت 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

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهدات در آزمایش اول (جوانه‌زنی) نشان داد که تأثیر درجه‌حرارت، ژنوتیپ و برهم‌کُنش درجه‌حرارت و ژنوتیپ بر سرعت و درصد نهایی جوانه‌زنی نخود بسیار معنی‌دار است (جدول ۱). با افزایش درجه‌حرارت تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد، درصد نهایی جوانه‌زنی به ۹۶ درصد افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر درجه‌حرارت اگرچه درصد جوانه‌زنی کاهش یافت، مقدار کاهش تا درجه‌حرارت ۲۰ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار نبود (جدول۲). بنابراین، هم درجه‌حرارت‌های بالا (بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و هم درجه‌حرارت‌های پایین (کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد) محدودکنندهٔ جوانه‌زنی هستند و درصد جوانه‌زنی نهایی در درجه‌حرارت‌های محدودکنندهٔ فوق به ۵۰درصد 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 برهم‌کُنش 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 تاریخ کاشت ۱۵آبان و کمترین روز تا سبزشدن، به تاریخ کاشت ۱۵مهر تعلق داشت، اگرچه اختلاف معنی‌داری از نظر درصد سبزشدن نهایی بین دو تاریخ کاشت فوق‌الذکر وجود نداشت (جدول ۲). اُفت 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، اِنورتاز، پروتئاز، لیپاز) و نهایتاً هضم، تجزیهٔ ذخایر بذر و انتقال آن به محور جنین، عمدتاً وابسته به درجه‌حرارت و رطوبت هستند. به‌علاوه جذب فعال آب توسط بذر در محیط مرطوب، متأثر از درجه‌حرارت است. در این رابطه Kocheki *et al*., (1988)، Q_{10} درجه‌حرارت برای جذب آب توسط بذر را ۱/۵ تا ۱/۸ گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد کاهش فعالیت‌های آنزیمی در درجه‌حرارت پایین (Q_{10}= ۳-۲) و اختلال در فعالیت آنزیم‌ها در درجه‌حرارت بالا (دِناتُره شدن ساختمان سه‌بُعدی آنزیم‌ها)، علت اصلی کاهش درصد جوانه‌زنی در درجه‌حرارت‌های بالا و پایین در این آزمایش است.

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

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

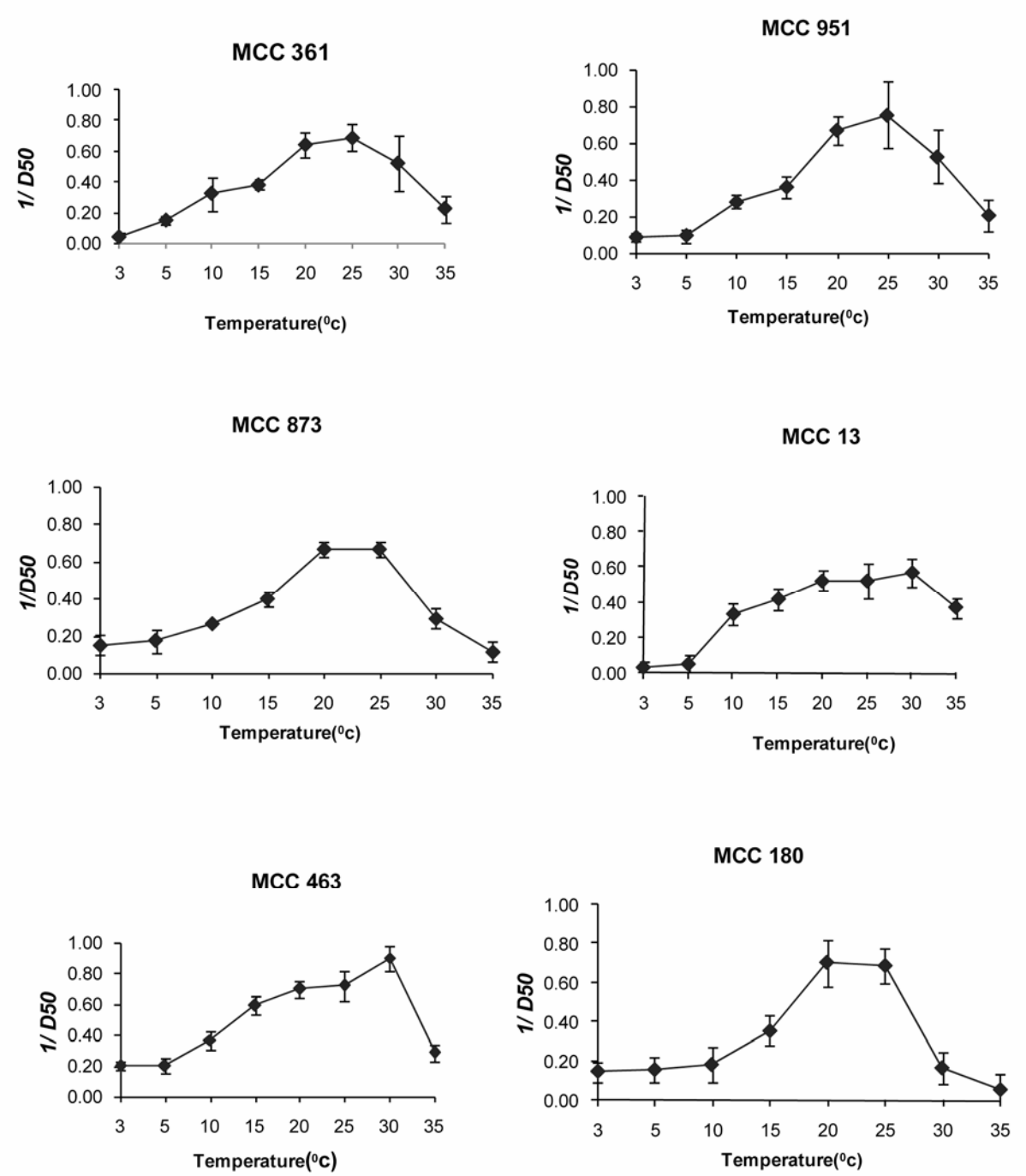
برهم‌کُنش درجه‌حرارت و ژنوتیپ، تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی و روز تا جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها داشت (جدول ۱). منحنی تغییر سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها در مقابل سطوح مختلف درجه‌حرارت، حاکی از آن است که دامنه درجه‌حرارت مطلوب برای ژنوتیپ‌های MCC361، MCC951، MCC180 و MCC873، ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد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

تقریباً تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، در تاریخ کاشت‌های ۱۵مهر و ۱۵اردیبهشت‌ماه از حداکثر سرعت سبزشدن برخوردار بودند، اگرچه حداکثر سرعت سبزشدن در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بود (شکل ۳). کاهش درجه‌حرارت در فصل‌های پاییز و زمستان و افزایش درجه‌حرارت در ماه خرداد و پس از آن، محدودکنندهٔ فرایند سبزشدن هستند. در این آزمایش به‌دلیل 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 به‌دلیل یخزدگی از بین رفتند. مشابه آزمایش جوانه‌زنی، ژنوتیپ MCC463 و MCC13 در تاریخ کاشت ۱۵مهر (درجه‌حرارت مطلوب) به ترتیب از بالاترین و کمترین 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 اندازهٔ بذر (نسبت سطح به حجم)، پوشش بذر (نفوذپذیری) و فعالیت‌های متابولیکی بذر مربوط می‌شود (Derek Bewely & Blak, 1986; Maiti & Wesche-Ebeling, 2001). ژنوتیپ‌هایی که در درجه‌حرارت‌های پایین از درصد و سرعت جوانه‌زنی و نهایتاً از استقرار بوتهٔ 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 علف‌های‌هرز را در مزرعه به مقدار زیادی محدود نماید تا فرصتی ایجاد شود تا گیاه از حداکثر توان خود برای استفادهٔ بهینه از عوامل محیطی، در جهت افزایش رشد رویشی و تولید بهره ببرد (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=۰/۶۹) و روز تا سبزشدن (R^2=۰/۶۵) وجود داشت که نشان‌دهندهٔ کارآیی 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 برآوردشدهٔ 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، دامنهٔ درجه‌حرارت پایه از ۳/۳ درجه سانتی‌گراد در ژنوتیپ MCC180 (کمترین درجه‌حرارت پایه) تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد، در ژنوتیپ MCC 951 (بالاترین درجه‌حرارت پایه) با یک اختلاف ۱/۳ برابری، متفاوت بود (جدول‌های ۳ و ۴).



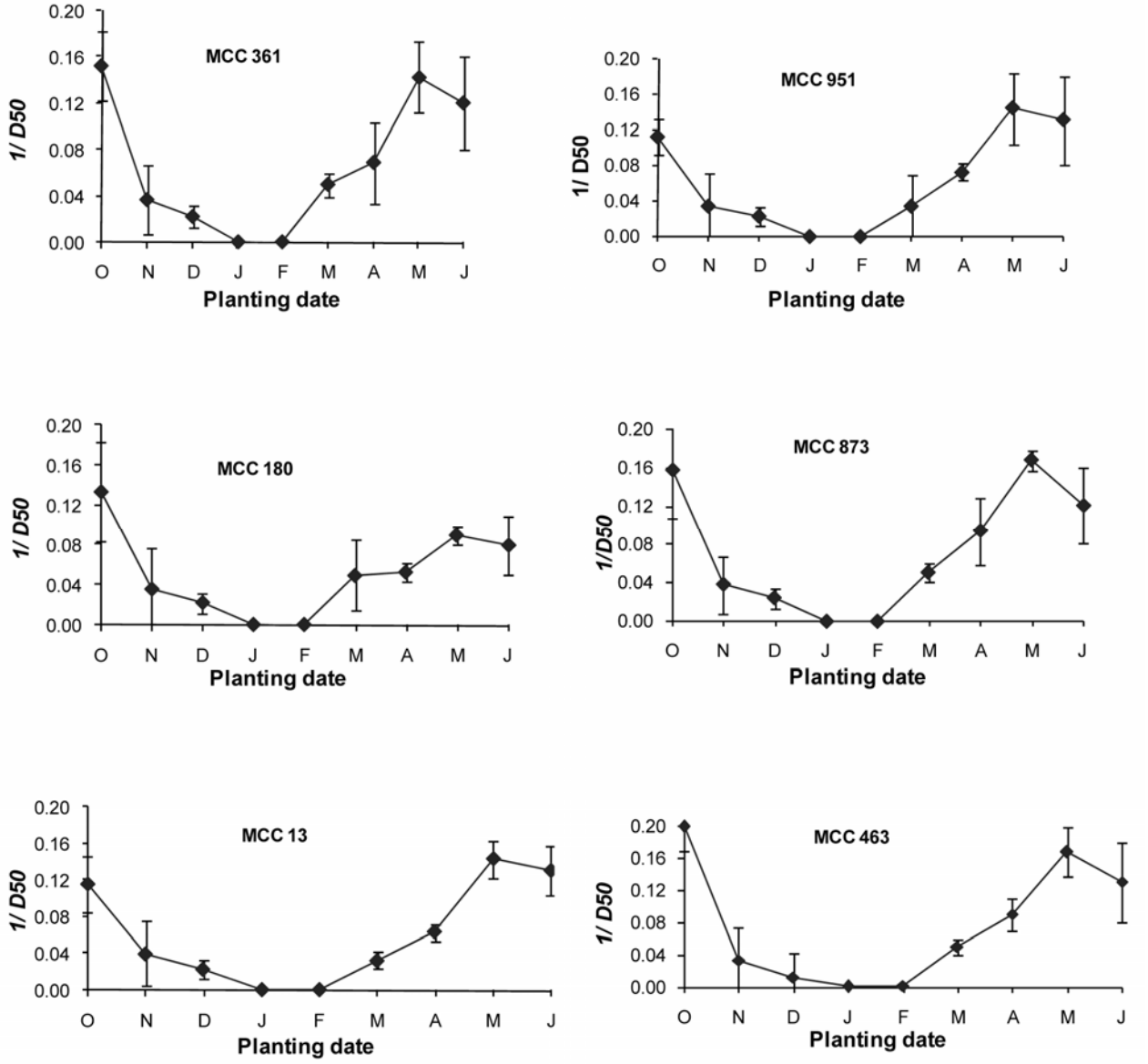
شکل۲- تغییرات $1/D_{50}$ برای نمایش پاسخ سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود (day^{-1}) به رژیم‌های مختلف درجه‌حرارت

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

در آزمایش دوم، مشابه نتایج مربوط به آزمایش جوانه‌زنی، کمترین درجه‌حرارت پایه برای سبزشدن از ۵/۱ درجه سانتی‌گراد در ژنوتیپ MCC180 تا ۶/۹ درجه سانتی‌گراد برای ژنوتیپMCC951، متفاوت بود. نتایج بررسی‌ها مؤید این است که واکنش ژنوتیپ‌ها از نظر درجه‌حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن مشابه است، اگرچه درجه‌حرارت پایه برای سبزشدن به‌طور متوسط حدود ۱/۵ برابر بیشتر از درجه‌حرارت پایه برای جوانه‌زنی است. در این آزمایش به‌طور

متوسط، دمای پایه (میانگین ژنوتیپ‌ها) برای جوانه‌زنی، ۴/۲ و برای سبزشدن، ۶/۱ 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، ۴/۵ 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.

در این آزمایش‌ها تنوع ژنوتیپی قابل‌توجهی از نظر دمای پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن مشاهده نشد. عدم وجود تفاوت‌های قابل‌توجه 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. Bradford (1995) و Oliver & Annandale (1998) دمای پایه را به‌عنوان یک صفت پایدار که تغییرات آن در یک گونه خاص ناچیز است، اعلام نمودند.



شکل۳- تغییرات $1/D_{50}$ برای بیان نمایش سرعت سبزشدن ژنوتیپ‌های نخود (day^{-1}) به رژیم‌های مختلف درجه‌حرارت

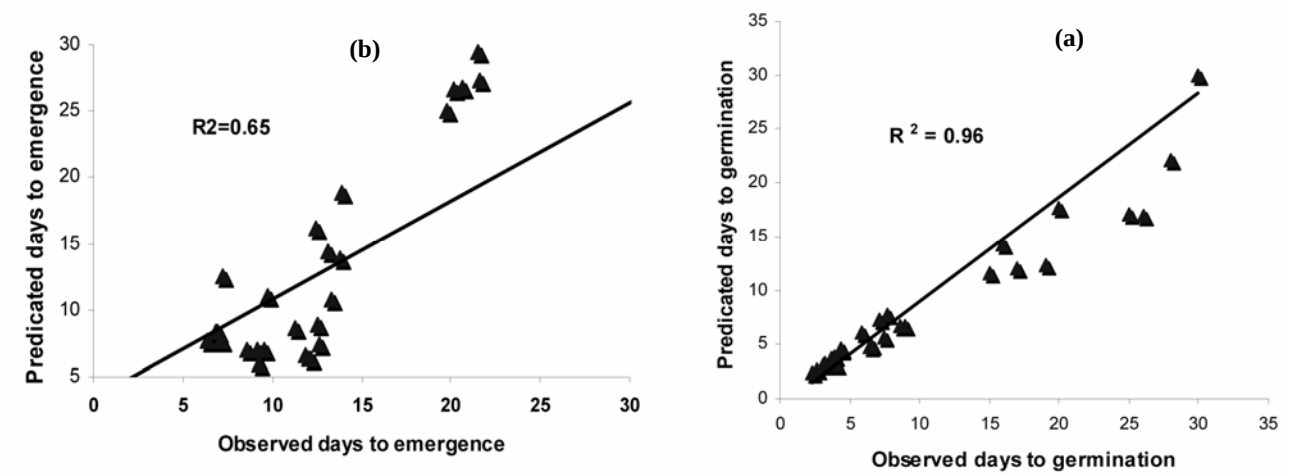
Fig 2. Fluctuations of $1/D_{50}$ to present the response of emergence rate (day^{-1}) to different planting dates

در این آزمایش، همبستگی خطی، مثبت و معنی‌داری میان درجه‌حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشاهده شد (شکل ۵). در یک آزمایش، Majnon Hossieni *et al.* (2009) همبستگی مثبت و معنی‌داری را میان درصد سبزشدن و سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود گزارش کردند.

در این آزمایش، دامنه درجه‌حرارت مطلوب جوانه‌زنی (میانگین ژنوتیپ‌ها) ۲۰/۴ تا ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد و برای سبزشدن ۲۴ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (جدول‌های ۳و۴) که با نتایج تحقیقات Maiti & Wesche- Ebeling (2001) در شرایط آزمایشگاه مطابقت داشت. با این حال Soltani *et al.* (2006) در مطالعهٔ چهار رقم نخود، دامنهٔ دمایی ۲۰ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد را به‌عنوان دامنهٔ درجه‌حرارت مطلوب برای سبزشدن نخود گزارش کردند.

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

تفاوت‌های قابل‌توجهی میان ژنوتیپ‌ها از نظر زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبزشدن 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 سبزشدن، ۱۴۴ درجه سانتی‌گراد روز برآورد شد (شکل ۶). در این آزمایش، زمان حرارتی مورد نیاز برای سبزشدن نخود بیشتر از مقادیر گزارش‌شده توسط Gan *et al.* (2002) (۹۷ تا ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد روز) و مقدار ارائه شده توسط Soltani *et al.* (2006)، ۹۴ درجه سانتی‌گراد روز برآورد شده است.



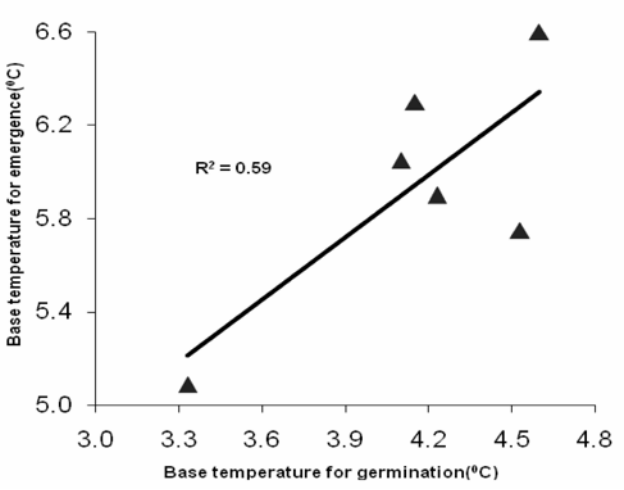
شکل۴- مقادیر برآوردشده و مشاهده‌شده روز تا جوانه‌زنی (a) و روز تا سبز شدن (b) برای ژنوتیپ‌های نخود بر اساس مدل دندان‌مانند

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

در این آزمایش، ژنوتیپ MCC13 از بیشترین زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی (۴۱ درجه سانتی‌گراد روز) و از کمترین زمان حرارتی برای سبزشدن (۱۳۲ درجه سانتی‌گراد روز) برخوردار بود. به نظر می‌رسد فرایندهای مربوط به جوانه‌زنی در این ژنوتیپ کُند است، ولی پس از جوانه‌زنی، رشد گیاهک با سرعت بالاتری ادامه یافته است. احتمالاً اندازهٔ بزرگ‌تر بذر در ژنوتیپ MCC13 (وزن ۱۰۰دانهٔ 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 دلیل ذخایر بیشتر بذر و قابلیت دسترسی بیشتر گیاهک به این ذخایر در دورهٔ رشد هتروتروفی، سریع‌تر انجام شده است.

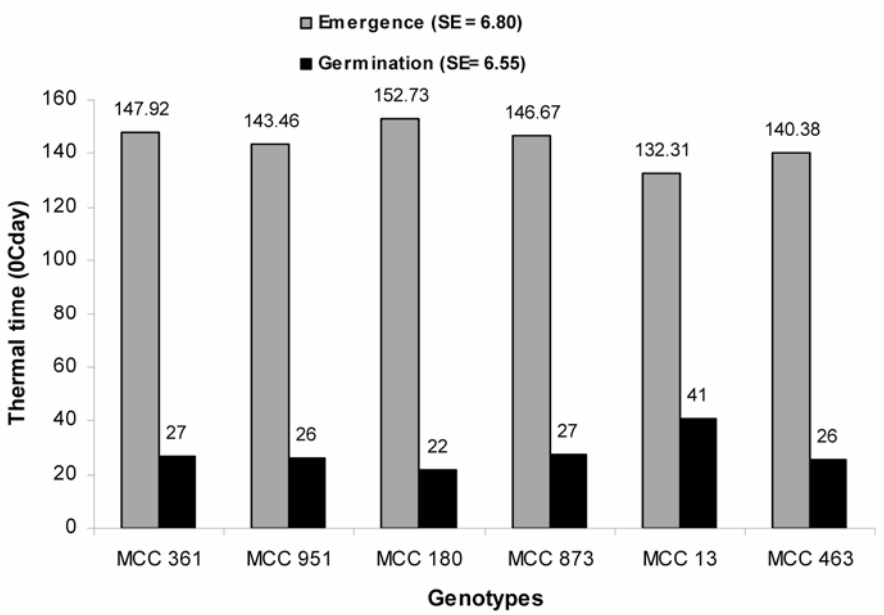
نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که درجه‌حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن، 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 سبزشدن، ۶/۱ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. در این آزمایش، درجه‌حرارت مناسب تحتانی و فوقانی (میانگین ژنوتیپ‌ها) به‌ترتیب برای جوانه‌زنی معادل ۲۰/۴ و ۲۶/۵ و برای سبزشدن، ۲۴/۰ و ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد.



شکل ۵- همبستگی میان درجه‌حرارت پایه برای جوانه‌زنی و سبزشدن 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

تنوع ژنوتیپی قابل‌توجهی از نظر روزهای فیزیولوژیک و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبزشدن میان ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. زمان حرارتی و روزهای فیزیولوژیک مورد نیاز برای سبزشدن (میانگین ژنوتیپ‌ها) به‌ترتیب ۱۴۴ درجه سانتی‌گراد روز و ۸/۱ روز و برای جوانه‌زنی ۲۷ درجه سانتی‌گراد روز و ۱/۷روز برآورد شد. همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار میان روز تا جوانه‌زنی مشاهده و برآوردشده با استفاده از مدل دندان‌مانند و همین‌طور روز تا سبزشدن مشاهده و برآوردشده، نشان دهندهٔ کارآیی بالای مدل دندان‌مانند برای بیان پاسخ صفات مربوط به جوانه‌زنی و سبزشدن نخود به درجه‌حرارت است.

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. Jehad 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 Squuire, 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. Ritche (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. 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 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., MacKinon, J.M., and Reddy, V.R., 1987. Crop simulation models in agronomic systems. Adv. Agron. 40: 141-208.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 2, No. 2, 2011, p. 97-108

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

Ganjeali[1*], A., Parsa[2], M. & Amiri-Deh-Ahmadi[3], 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