

بررسی تغییرات جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) طی رفع کمون

Investigation of seed germination changes of wild mustard (*Sinapis arvensis*) during dormancy elimination

حکیمه رحیمی^۱، بنیامین ترابی^{۲*}، الیاس سلطانی^۳، فرشید قادری^۴

چکیده

به منظور بررسی تغییرات دمای کاردینال جوانه‌زنی بذر خردل وحشی طی رفع کمون، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۶ انجام شد. عامل اصلی، دماهای مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و عامل فرعی غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (GA: ۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) بود. برای توصیف واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما، از تابع دندان مانند استفاده شد. برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی، دمای پایه از ۲/۹ تا ۳/۴ درجه سانتی‌گراد در GA₀ به ۱/۲ تا ۲/۰ درجه سانتی‌گراد در GA₂₀₀₀ کاهش یافت؛ دمای سقف در GA₀، ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود و در GA₂₀₀₀ به ۳۳/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت؛ دامنه بردباری دمایی از ۲۱/۶ تا ۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد در GA₀ به ۳۲/۴ تا ۳۵/۱ درجه سانتی‌گراد در GA₂₀₀₀ رسید. با توجه به تغییرات دمای کاردینال، کمون فیزیولوژیک خردل وحشی از نوع غیر عمیق تیپ یک می‌باشد. بذرهای دارای کمون ابتدا در دماهای پایین‌ترین جوانه‌زنی داشته و با خروج از حالت کمون در دماهای بالا هم جوانه می‌زنند و دامنه دمایی جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. پارامترهای تخمینی در این مطالعه می‌تواند در مدل‌های شبیه‌سازی بانک بذر و برای مطالعات بعدی در مورد بیولوژی و اکولوژی خردل وحشی مفید باشد.

کلمات کلیدی: جیبرلیک اسید، دما، کمون فیزیولوژیک، مدل

بررسی تغییرات جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) طی رفع کمون

مقدمه

خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) گیاهی پهن‌برگ و یک‌ساله از تیره شب‌بو (Brassicaceae) و از علف‌های هرز مشکل‌ساز در مزارع کلزا و غلات می‌باشد. این گیاه به دلیل قدرت رقابت بالا برای کسب نور و داشتن سطح اسید اروسیک بالا، مهم‌ترین علف هرز هم تیره در کشت کلزا شناخته می‌شود. کنترل این علف هرز و پیشگیری از ورود آن به مزرعه کلزا به دلیل شباهت مورفولوژیک آن با کلزا، به‌ویژه از لحاظ شکل بذر، بسیار مشکل است (Huang *et al.*, 2001). همچنین، در بین علف‌های هرز پهن‌برگ مشکل‌ساز در مزارع گندم، خردل وحشی سومین گونه مشکل‌ساز است که در اکثر مواقع با استفاده از علف‌کش‌ها کنترل می‌گردد (Minbashi *et al.*, 2008).

جوانه‌زنی مجموعه‌ای از فرآیند فیزیولوژیکی و مهم چرخه‌ی زندگی گیاهان است (Torabi *et al.*, 2015; Soltani *et al.*, 2006) که توسط عوامل محیطی متعددی مانند درجه حرارت، رطوبت و نور تحت تأثیر قرار می‌گیرد. جوانه‌زنی بذر در شرایط رطوبت مناسب به شدت به دما وابسته است (Shafii and Price, 2001). درجه حرارت تأثیر مهمی بر میزان کمون بذر و مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر و موفقیت یا عدم موفقیت استقرار گیاه دارد (Alvarado and Bradford, 2002; Roman *et al.*, 1999). مرحله جوانه‌زنی علف‌های هرز یکی از مراحل بحرانی برای استقرار هرگونه علف هرز به حساب می‌آید، زیرا نشان‌دهنده اولین مرحله‌ای است که گیاه می‌تواند برای دریافت نیچ اکولوژیکی با سایر گیاهان رقابت کند (Ghaderi-Far *et al.*, 2010; Tanveer *et al.*, 2013).

سرعت جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های جوانه‌زنی است که میزان آن تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد. شناخت و تعیین دماهای کاردینال برای بررسی روند واکنش سرعت جوانه‌زنی در برابر دما ضروری است (Torabi *et al.*, 2015). دمای کاردینال شامل دمای حداقل یا پایه (دمایی که در آن و یا پایین‌تر از آن سرعت جوانه‌زنی صفر است)، دمای مطلوب (دمایی که در آن سرعت جوانه‌زنی حداکثر است) و دمای حداکثر (دمایی که در آن و بالاتر از آن سرعت جوانه‌زنی صفر است) هستند (Torabi *et al.*, 2015).

دماهای کاردینال (حداقل، مطلوب، حداکثر) جوانه‌زنی، عموماً به دامنه سازگاری محیطی یک‌گونه بستگی دارد و تطابق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب را تضمین می‌کند (Alvarado and Bradford, 2002). دامنه‌های دمایی برای جوانه‌زنی توسط دماهای پایه و سقف تعریف می‌شود که می‌تواند برخی از محدودیت‌های زیست‌محیطی برای توزیع جغرافیایی گونه‌ها را تعیین کند (Hakansson *et al.*, 2002). زمان رسیدن به درصد‌های مختلف جوانه‌زنی شاخصی است که به شدت تحت تأثیر شرایط حاکم بر جوانه‌زنی و به‌ویژه دما قرار می‌گیرد (Alvarado and Bradford, 2002). تحقیقات عملی در علوم گیاهی معمولاً تلاش می‌کند حداقل دمای موردنیاز برای جوانه‌زنی یا حداکثر آن را تعیین کند. دماهای بین دمای مطلوب و دمای پایه و سقف برای گیاه تنش‌زا است. بذر گیاهان در دامنه دمای پایه و سقف جوانه می‌زنند، اما حداکثر جوانه‌زنی آن‌ها به‌طور قابل توجهی در آستانه‌های این دامنه کاهش می‌یابد. سرعت نمو بین دماهای پایه و مطلوب افزایش می‌یابد، بین دماهای مطلوب و سقف کاهش یافته و فراتر از دمای مطلوب و کمتر از دمای پایه متوقف می‌شود (Shafiee and Price, 2001). فاکتورهای بسیاری در زمان و موفقیت جوانه‌زنی مؤثرند اما در بین آن‌ها کمون بذر مهم‌ترین جزء و فرآیندی است که در سبز شدن علف‌های هرز می‌باشد (Forcella *et al.*, 2000).

استفاده بی‌رویه از علف‌کش‌ها سبب پدیدار شدن مقاومت خردل وحشی به علف‌کش‌ها گردیده است که بیانگر لزوم تحقیقات بیشتر جهت دستیابی به راهکارهای مناسب کنترلی بر اساس مدیریت تلفیقی (استفاده ترکیبی از روش‌های مکانیکی، بیولوژیک و اکولوژیک) می‌باشد (Chauhan *et al.*, 2006). به‌منظور آگاهی از زمان مناسب کنترل مکانیکی و بیولوژیک علف‌های هرز، همچنین توسعه مدل‌های شبیه‌سازی مورد استفاده در دستگاه‌های کنترل تلفیقی آفات، قابلیت پیش‌بینی زمان و میزان جوانه‌زنی بذرهای این گیاهان امری ضروری به نظر می‌رسد (Martinson *et al.*, 2007; Gulden *et al.*, 2003; Schutte *et al.*, 2008). توسعه سیستم‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز بستگی به درک کامل بیولوژی بذر آن‌ها دارد. سودمندی عملیات کنترل علف‌های

با توجه به اینکه مطالعات کمی روی دماهای کاردینال در خردل وحشی انجام شده است و اطلاعاتی نیز در خصوص تغییرات دماهای کاردینال آن طی مراحل رفع کمون وجود نداشت، این مطالعه به منظور برآورد تغییرات پارامترهای دمای کاردینال جوانه‌زنی بذر خردل وحشی طی رفع کمون با سطوح مختلف جیبرلیک اسید برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور، دما به عنوان فاکتور اصلی و غلظت جیبرلیک اسید به عنوان فاکتور فرعی با سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. سطوح مختلف دما شامل (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و سطوح مختلف جیبرلیک اسید شامل (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) بودند. بذرهاى خردل وحشى از مزارع زیر کشت گندم در مزرعه شماره یک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جمع‌آوری شدند. رفع کمون اولیه بذر خردل وحشی، توسط جیبرلیک اسید در غلظت‌های مختلف به مدت ۲۴ ساعت و در دمای اتاق صورت گرفت. برای انجام آزمون جوانه‌زنی ۲۵ عدد بذر در هر تکرار، در ظروف پتری دیش ۷/۵ سانتی‌متری بر روی یک لایه کاغذ صافی قرار داده شدند و سپس به صورت هم‌زمان به نمونه‌ها آب مقطر اضافه شد. جوانه‌زنی با معیار خروج ریشه‌چه‌ای با طول ۱ میلی‌متر، به صورت تجمعی با فاصله زمانی ۱۲ ساعت اندازه‌گیری و ثبت گردید.

به منظور برآورد زمان لازم برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی از برنامه Germin (Soltani *et al.*, 2013a) و محاسبه سرعت جوانه‌زنی به صورت زیر انجام شد (Soltani Torabi *et al.*, 2013; *et al.*, 2002, 2006).

$$R50 = \frac{1}{D} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن D مدت زمان لازم برای رسیدن به جوانه‌زنی دهک‌های مختلف جوانه‌زنی جمعیت بذرها می‌باشد.

برای توصیف واکنش جوانه‌زنی در برابر دما از مدل زیر استفاده شد.

هرز از قبیل عملیات خاک‌ورزی و کاربرد علف‌کش‌های پس‌رویشی تحت تأثیر زمان جوانه‌زنی و سبز شدن علف هرز قرار می‌گیرد؛ بنابراین آگاهی از واکنش دمایی جهت جوانه‌زنی و سبز شدن علف هرز امری مهم و اجتناب‌ناپذیر در طراحی و اجرای استراتژی‌های کنترل علف‌های هرز می‌باشد (Derakhshan *et al.*, 2014).

کمون بذر به عنوان شرایط داخلی بذر شناخته می‌شود که در آن بذرها در شرایط مطلوب آب و هوایی (نظیر دما و شرایط گازی) جوانه نمی‌زنند (Benech-Arnold *et al.*, 2000). کمون بذر از عوامل بسیار تأثیرگذار در زمان بندی ظهور و سبز شدن می‌باشد که با رفع کمون اولیه، شرایط محیطی سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه را مشخص می‌کند. تحقیقات نشان داده که کمون بذر ناشی از عوامل مختلفی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کمبود هورمون‌های تحریک‌کننده جوانه‌زنی و عوامل شیمیایی بازدارنده موجود در پوسته بذر اشاره کرد (Copeland and McDonald, 2001). بسیاری از محققین معتقدند که رفع کمون از طریق تعادل بین مواد بازدارنده رشد مانند آبسزیک اسید و مواد تحریک‌کننده مانند جیبرلین حاصل می‌شود. (Chetinbas and Koyuncu, 2006). هورمون جیبرلیک اسید کمون ناشی از رویان و پوشش بذر را رفع می‌کند و اثرات بازدارنده آبسزیک اسید را به طور مستقیم یا غیرمستقیم مهار می‌کند (Kucera *et al.*, 2005). در شرایط کمون، بذر زنده اما غیرفعال می‌باشد این ویژگی خاص برای بسیاری از گونه‌های علف هرز است که با حفظ قدرت جوانه‌زنی در برابر تغییرات شرایط محیطی برای کسری از جمعیت آن‌ها را قادر می‌سازد ماه‌ها تا سال‌ها به صورت زنده در بانک بذر خاک باقی بمانند (Fenner, 2000). گزارش‌هایی وجود دارد که در آن دماهای کاردینال جوانه‌زنی، طی گذار از حالت کمون به غیر کمون تغییر می‌کند (Soltani *et al.*, 2017; Baskin and Baskin, 2014). این تغییرات در بذرهایی با کمون فیزیولوژیک سطحی رخ می‌دهد و با توجه به تغییراتی که در دماهای کاردینال طی رفع کمون رخ می‌دهد، می‌توان نوع کمون بذر را شناسایی کرد (Soltani *et al.*, 2017).

بررسی تغییرات جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) طی رفع کمون

افزایش غلظت جیبرلیک اسید از GA_0 تا GA_{1000} تغییرات محسوسی در دمای پایه مشاهده نشد؛ درحالی‌که این تغییرات از GA_{1000} به GA_{1500} قابل توجه بود. در GA_{1000} دمای پایه از $1/2$ تا $2/1$ درجه سانتی‌گراد به $0/2$ تا $1/3$ - درجه سانتی‌گراد در GA_{1500} کاهش یافت (جدول ۱). هنگامی‌که نمودار سرعت جوانه‌زنی در برابر دما برای کسرهای مختلف جمعیت بذر، در یک نقطه مشترک محور دما را قطع کند نشان می‌دهد که T_b برای همه بذرهای جمعیت مشابه است (شکل ۱)؛ که مطابق با نتایج دیگر محققان است (Covell et al.; Kebrib and Dahal and Bradford., 1990 al., 1986 Mourdak., 2000). بررسی بیشتر نشان داد یک رابطه خطی ساده غیرمستقیم و معنی‌دار بین میزان غلظت GA و T_b وجود دارد. به طوری‌که با افزایش هر 100 واحد افزایش در غلظت GA دمای پایه به میزان $0/23$ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت (شکل ۲).

با توجه به شکل (۱) و جدول (۱)، دمای مطلوب تحتانی (T_{01}) برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی برای هیچ‌کدام از سطوح GA اختلاف معنی‌دار نداشت. میزان این پارامتر در GA_0 بین $10/9$ - $9/5$ درجه سانتی‌گراد بود که در GA_{2000} به $11/1$ تا $12/3$ درجه سانتی‌گراد رسید. با افزایش غلظت GA به GA_{2000} دمای مطلوب تحتانی حدود 2 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. نتایج نشان داد یک رابطه خطی مثبت و معنی‌دار بین میزان غلظت GA و T_{01} مشاهده شد. به طوری‌که با افزایش هر 100 واحد افزایش در غلظت GA دمای مطلوب تحتانی به میزان $0/17$ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت (شکل ۳).

دمای مطلوب فوقانی (T_{02}) برای هیچ‌کدام از سطوح GA اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۱). میزان آن در GA_0 از $19/2$ تا $20/0$ درجه سانتی‌گراد به $23/4$ تا $24/2$ درجه سانتی‌گراد در GA_{2000} متغیر بود. با توجه به شکل (۴)، یک رابطه خطی مثبت و معنی‌دار بین میزان غلظت GA و T_{02} وجود دارد. به ازای هر 100 واحد افزایش در غلظت GA ، دمای مطلوب فوقانی به میزان $0/2$ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.

با توجه به شکل ۱ و جدول ۲، دامنه دمای مطلوب برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی برای تمام سطوح GA اختلاف معنی‌دار نشان نداد. همچنین میزان دامنه دمای مطلوب با افزایش

$$R = Rmax \cdot f(T) \quad (2) \quad \text{رابطه}$$

که در آن R سرعت جوانه‌زنی (در روز)، $Rmax$ حداکثر سرعت جوانه‌زنی (عکس زمان تا رسیدن به جوانه‌زنی در دمای مطلوب) و $f(T)$ تابع دمایی می‌باشد (Torabi et al., 2013). برای توصیف سرعت جوانه‌زنی دهک‌های مختلف جوانه‌زنی در برابر دما از تابع دندان مانند استفاده گردید (Soltani et al., 2006; Torabi et al., 2013).

$$f(T) = \begin{cases} \left(\frac{T-T_b}{T_{01}-T_b}\right) & \text{if } T_b < T < T_{01} \\ \left(\frac{T_c-T}{T_c-T_{02}}\right) & \text{if } T_{02} < T < T_c \\ 1 & \text{if } T_{01} \leq T \leq T_{02} \\ 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases} \quad (3) \quad \text{رابطه}$$

در این تابع، T دمای محیط، T_b دمای پایه، T_{01} دمای مطلوب تحتانی، T_{02} دمای مطلوب فوقانی، T_c دمای سقف برحسب درجه سانتی‌گراد است. تخمین پارامترهای مدل با روش مطلوب سازی تکراری (Iterative optimization) با کمک رویه PROC NLIN در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) صورت گرفت. در روش مطلوب سازی تکراری، با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن‌ها با روش کمترین توان دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به دست آید. بهترین برآورد پارامترهای تابع بر اساس SE (خطای معیار) کم‌تر پارامترها و RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) کم‌تر تجزیه رگرسیون مشخص شد. برای مقایسه پارامترهای برآورد شده مدل دندان مانند در دهک‌های مختلف جوانه‌زنی از حدود اطمینان ۹۵٪ استفاده شد (Torabi et al., 2016).

نتایج

در شکل (۱) تابع دمایی برازش داده شده به سرعت جوانه‌زنی نسبی در مقابل دما برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ درصد) و در جدول (۱) پارامترهای تابع دمایی دندان مانند برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) بذر خردل وحشی در غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) ارائه شده است. نتایج نشان داد میزان دمای پایه از $2/9$ تا $3/4$ درجه سانتی‌گراد در GA_0 به $1/2$ - تا $2/0$ - درجه سانتی‌گراد در GA_{2000} کاهش یافت (جدول ۱). با

جدول ۱- تابع دمایی دندان مانند برای دهک های مختلف جوانه زنی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) بذر خردل وحشی در غلظت های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام).

Table 1: Dental temperature function for different germination (10, 20, 30, 40 and 50%) of wild mustard seed at different concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm).

G ₀					T _c					T ₀₂					T ₀₁					T _b					GA	
R ₅₀	R ₄₀	R ₃₀	R ₂₀	R ₁₀	R ₅₀	R ₄₀	R ₃₀	R ₂₀	R ₁₀	R ₅₀	R ₄₀	R ₃₀	R ₂₀	R ₁₀	R ₅₀	R ₄₀	R ₃₀	R ₂₀	R ₁₀	R ₅₀	R ₄₀	R ₃₀	R ₂₀	R ₁₀		
-	111.1	94.3	82.0	68.2	-	25.0	25.0	25.0	25.0	-	19.7	20.0	18.7	19.2	-	10.4	9.5	10.1	10.9	-	3.1	3.1	3.4	2.9		control
92.3	84.5	76.9	65.6	60.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	19.0	19.6	19.8	19.9	19.9	7.2	7.9	8.1	8.3	9.0	2.9	2.7	2.6	2.6	2.8		100
85.4	75.5	68.7	56.1	46.5	27.0	27.9	28.0	27.0	31.2	22.0	22.4	22.7	21.1	21.2	7.3	8.0	8.0	10.3	10.2	2.9	2.3	2.5	2.4	2.5		300
76.9	68.2	61.7	51.5	42.6	29.0	29.0	29.0	29.0	31.3	21.0	20.0	20.9	21.7	21.5	9.0	9.8	11.9	10.2	10.7	1.9	1.7	1.4	2.4	2.3		500
69.8	65.2	54.5	50.0	38.2	29.0	30.0	31.7	33.0	32.6	19.9	20.0	20.2	21.0	20.9	10.7	10.5	10.5	10.1	10.8	1.4	1.4	1.2	2.0	2.1		1000
59.5	57.7	53.3	47.6	35.6	30.0	31.0	31.5	32.6	32.6	23.4	23.6	24.5	24.2	23.5	13.1	12.7	12.7	11.2	12.7	-0.3	-0.2	-0.6	-1.2	-1.3		1500
58.0	55.6	52.2	46.7	29.9	31.2	31.5	32.9	33.3	33.2	23.5	24.0	24.2	24.1	23.4	12.3	12.3	11.2	11.9	11.1	-1.2	-1.3	-1.8	-2.0	-1.8		2000

T_b (دمای پایه)؛ T₀₁ (دمای مطلوب تحتانی)؛ T₀₂ (دمای مطلوب فوقانی)؛ T_c (دمای سقف)؛ G₀ (ساعت بیولوژیک جوانه زنی)

T_b (base temperature); T₀₁ (optimal lower temperature); T₀₂ (optimal upper temperature); T_c (ceiling temperature); G₀ (biological germination clock)

بررسی تغییرات جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) طی رفع کمون

محدودتری توانایی جوانه‌زنی دارند (Benech-Arnold, 2000). دامنه دمایی جوانه‌زنی توسط دماهای پایه، مطلوب و سقف تعریف می‌شود که می‌تواند برخی از محدودیت‌های زیست‌محیطی برای توزیع جغرافیایی گونه‌ها را تعیین کند (Hakanson, 2002). سرعت جوانه‌زنی، جمعیت‌های بذری دارای کمون در مقایسه با بذرهای با کمون کمتر در دمای مشابه کمتر باشد. با عریض شدن پنجره دمایی، سرعت جوانه‌زنی در دماهای پایین‌تر مشابه خواهد بود و در دماهای بالاتر هم‌زمان با افزایش دمای مطلوب افزایش می‌یابد. درصد و سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما در بالاتر از دمای مطلوب به شدت کاهش می‌یابد. سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا دمای مطلوب جوانه‌زنی افزایش و بعداً آن کاهش می‌یابد. دلایل مختلفی برای کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از مطلوب ارائه شده است. در دماهای بالاتر از مطلوب، تاخوردگی پروتئین‌ها، اختلال در غشاءها و اثرات متقابل با خشکی وجود دارد. مکانیزم‌های ممکن دیگر در این کاهش به کاهش کارایی متابولیکی در دماهای بالاتر از مطلوب برمی‌گردد (Thygerson *et al.*, 2002).

با توجه به جدول ۱ و شکل ۱، حداقل زمان موردنیاز برای رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (G_0) برای تمام سطوح GA اختلاف معنی‌دار داشت. به طوری که کمترین و بیشترین میزان G_0 مربوط به دهک ۱۰ درصد و دهک ۵۰ درصد مشاهده شد. میزان G_0 با افزایش سطوح GA کاهش یافت. به طوری که برای رسیدن به دهک ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ درصد مقدار G_0 به ترتیب از ۶۸/۲، ۸۷/۰، ۹۴/۳، ۱۱۱/۱ ساعت در G_0 به ۲۹/۹، ۴۶/۷، ۵۲/۲ و ۵۵/۶ ساعت در G_{2000} تغییر یافت. به طور کلی با محاسبه دهک‌های مختلف می‌توان زمان‌های مختلف جوانه‌زنی را پیش‌بینی کرد، به عنوان مثال با محاسبه زمان رسیدن به ۱۰ درصد می‌توان شروع جوانه‌زنی را برای هر بذری پیش‌بینی کرد.

بحث

خردل وحشی مانند بسیاری از گونه‌های دیگر علف‌های هرز، بذرهایی را تولید می‌کند که ممکن است بلافاصله پس از ریزش، بذرهای جوانه بزنند یا سال‌ها به صورت خفته در خاک باقی بمانند. علت کمون بذر خردل وحشی ماده بازدارنده رشدی است که در

سطوح GA تغییرات محسوسی را نشان نداد. دامنه دمایی مطلوب برای G_0 بین ۸/۳ تا ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد و برای G_{2000} بین ۱۱/۲ تا ۱۳/۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بود.

همچنین نتایج نشان داد که دمای سقف از ۲۵/۰ درجه سانتی‌گراد در G_0 به ۳۱/۲ تا ۳۳/۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به G_{2000} افزایش یافته است (جدول ۱). در هر یک از غلظت‌های جیبرلیک اسید تخمین دمای سقف بین دهک‌های مختلف تفاوت چندانی نداشت اما با افزایش GA میزان آن تغییر محسوسی را نشان داد. با افزایش غلظت جیبرلیک اسید از G_0 تا G_{100} تغییری در دمای سقف مشاهده نشد؛ در حالی که از G_{100} به G_{2000} میزان دمای سقف حدود ۶ تا ۸ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده است. بررسی بیشتر نشان داد یک رابطه خطی ساده مستقیم و معنی‌دار بین میزان غلظت GA و Tc وجود دارد؛ به طوری که با افزایش هر ۱۰۰ واحد افزایش در غلظت GA دمای سقف به میزان ۰/۳۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت (شکل ۵).

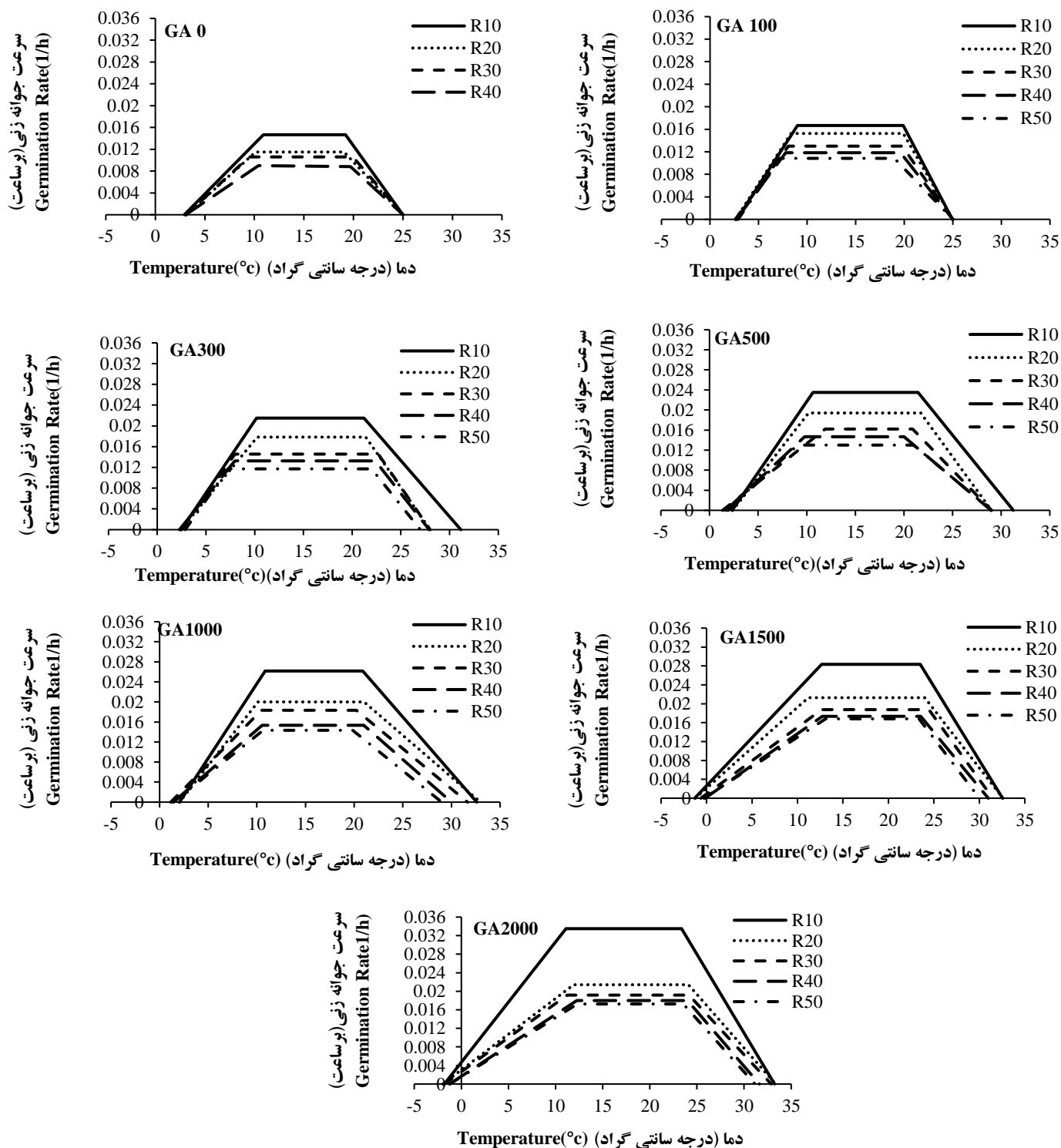
با توجه به شکل ۱ و جدول ۳، دامنه بردباری دمایی (دمای پایه تا دمای سقف) برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی بذر خردل وحشی برای هیچ‌کدام از سطوح GA اختلاف معنی‌دار نداشته است. میزان دامنه بردباری دمایی از ۲۱/۶۰ تا ۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد در G_0 به ۳۲/۴ تا ۳۵/۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به G_{2000} تغییر کرده است. به طور کلی با افزایش سطوح GA دامنه بردباری دمایی از طریق کاهش در میزان دمای پایه و افزایش در میزان دمای سقف، افزایش یافته است (شکل ۱). همچنین با توجه به پاسخ دمایی برای جوانه‌زنی می‌توان نوع تیپ کمون فیزیولوژیک غیر عمیق را مشخص کرد. در این تحقیق بذرهای بدون تیمار جیبرلیک اسید، ابتدا در دمای پایین‌ترین درصد جوانه‌زنی را داشته و سپس با رفع کمون با جیبرلیک اسید رنج دمایی برای جوانه‌زنی افزایش یافته و بذرهای قادر بودند حتی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد که قبلاً قادر به جوانه‌زنی در این دما نبودند، جوانه بزنند (شکل ۶)؛ بنابراین احتمالاً کمون بذرهای تحقیق حاضر از نوع کمون فیزیولوژیک غیر عمیق تیپ یک باشد. بذرهای پس از رفع کمون یا بذرهای فاقد کمون در دامنه گسترده‌ای از دما قادر به جوانه‌زنی هستند اما بذرهای دارای کمون در دامنه دمایی

درجه سانتی‌گراد در GA₂₀₀₀ مربوط به دهک ۵۰ درصد کاهش یافت و دمای سقف از ۲۵/۱ درجه سانتی‌گراد در GA₀ به ۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد در GA₂₀₀₀ در دهک ۴۰ درصد افزایش یافت. بنابراین تیمار جیبرلیک اسید توانست کمون بذر خردل وحشی را برطرف کند وجود کمون می‌تواند پاسخ جوانه‌زنی بذر را به دما تحت تأثیر قرار دهد. پروبرت و همکاران (Probert, 1992) در مطالعه خود بر روی بذر *Phleum arenarium* گزارش کردند که محدوده دما بین T_c و T_b می‌تواند بسته به وضعیت کمون بذرها متفاوت باشد. به‌طور کلی در بذرهای تازه و یا دارای کمون این محدوده باریک است و با رفع کمون این محدوده افزایش می‌یابد. محدوده دمایی جوانه‌زنی بذر *Phleum arenarium*، ۵ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد بیان کردند. تیمارهای آزمایش ۱، ۶ و ۱۳ ماه پس‌رسی خشک در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود که پس از ۱۳ ماه پس‌رسی خشک، دمای سقف به ۲۵ درجه سانتی‌گراد رسید و دمای پایه هم چنان ثابت و بدون تغییر باقی ماند. در نتیجه با عریض شدن پنجره دمایی، دمای پایه ثابت می‌ماند اما دمای سقف و دمای مطلوب افزایش می‌یابد.

غلظت‌های کم اکسیژن، در جنین تولید می‌شود. لایه‌ای از موسیلاژها و فنل‌ها در پوسته بذر خردل وحشی از طریق جلوگیری از انتشار اکسیژن به جنین، زمینه تشکیل این ماده را فراهم می‌نماید (Benach- Arnold, 2000).

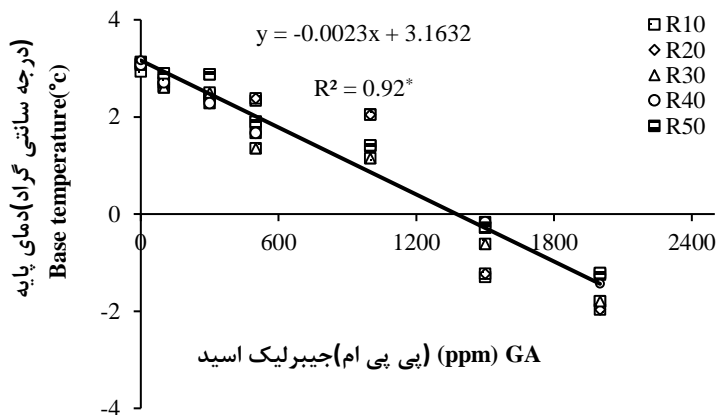
با توجه به نتایج به‌دست آمده احتمال داده می‌شود که یکی از علل کمون بذر خردل وحشی عدم تناسب هورمونی در بذر است که کاربرد جیبرلیک اسید خارجی این تعادل را به سمت افزایش جیبرلیک اسید در داخل بذر و آمادگی برای جوانه‌زنی سوق می‌دهد؛ که می‌توان این را به کمون فیزیولوژیکی بذر آن نسبت داد. البته بخشی از کمون بذر خردل وحشی مرتبط با جیبرلین نبوده و از عوامل دیگر مانند سختی پوسته بذر ناشی می‌گردد که به کمون فیزیکی بذر آن مرتبط می‌باشد؛ بنابراین می‌توان احتمال داد که کمون بذر خردل وحشی ترکیبی از کمون فیزیولوژیکی (مربوط به مواد بازدارنده داخل بذر) و فیزیکی (مربوط به پوسته سخت) می‌باشد. در تحقیق حاضر پس از رفع کمون دامنه دمایی جوانه‌زنی بذر خردل وحشی از طریق کاهش دمای پایه و افزایش دمای سقف گسترش یافت. به‌گونه‌ای که دمای پایه از ۳/۱ درجه سانتی‌گراد در GA₀ به ۱/۲-

بررسی تغییرات جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) طی رفع کمون



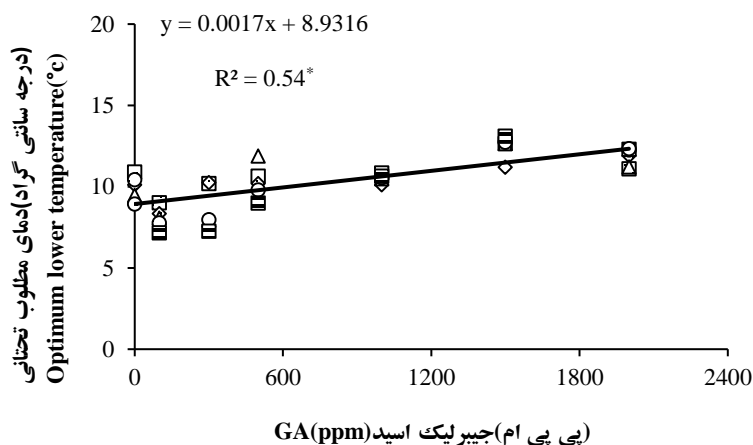
شکل ۱- تابع دمایی دندانمانند برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰) بذر خردل وحشی در غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام)

Figure 1. Dental temperature function for different germination (10, 20, 30, 40, 50) seeds of wild mustard in various concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm)



شکل ۲- رابطه بین دمای پایه بذر خردل وحشی با غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) طی رفع کمون برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ درصد)

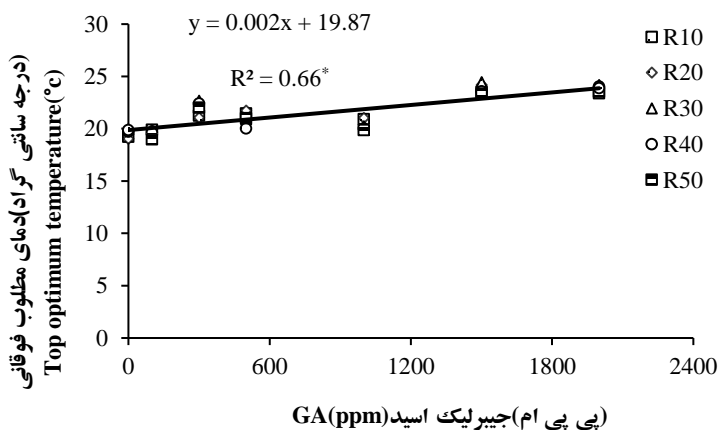
Figure 2. Relationship between the base temperature of wild mustard seed with different concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm) during dormancy elimination for different germination stages (10, 20, 30, 40, 50 %)



شکل ۳- رابطه بین دمای مطلوب تحتانی بذر خردل وحشی طی رفع کمون با غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ درصد)

Figure 3. Relationship between the optimum lower temperature of wild mustard seed during dormancy elimination with different concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm) for different germination stages (10, 20, 30, 40, 50%)

بررسی تغییرات جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) طی رفع کمون



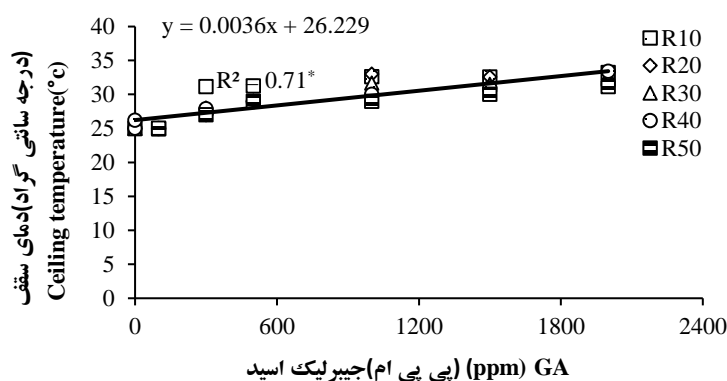
شکل ۴- رابطه بین دمای مطلوب فوقانی بذر خردل وحشی طی رفع کمون با غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ درصد)

Figure 4: Relationship between the optimum temperature of wild mustard seed during dormancy elimination with different concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm) for different germination stages (10, 20, 30, 40, 50%)

جدول ۲- تغییرات دامنه دمای مطلوب برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی بذر خردل وحشی طی رفع کمون با غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام)

Table 2. Range variation of optimum temperature for different germination stages of wild mustard seeds during dormancy elimination with various concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm)

دهک	GA ₀	GA ₁₀₀	GA ₃₀₀	GA ₅₀₀	GA ₁₀₀₀	GA ₁₅₀₀	GA ₂₀₀₀
R10	8.3	10.9	11.0	10.8	10.1	10.8	12.3
R20	9.0	11.6	10.8	11.5	10.9	13.0	12.2
R30	10.5	11.7	14.7	9.0	9.7	11.8	13.0
R40	9.3	11.7	14.4	10.2	9.5	10.9	11.7
R50	-	11.8	14.7	12.0	9.2	10.3	11.2



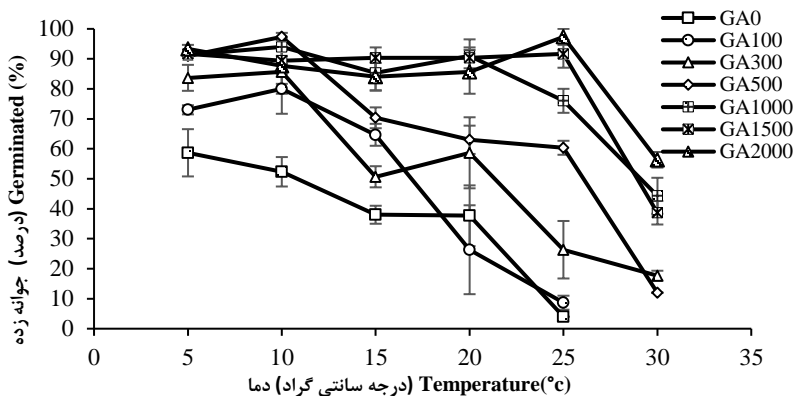
شکل ۵- رابطه بین دمای سقف بذر خردل وحشی طی رفع کمون با غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ درصد)

Figure 5. Relationship between the temperature of the ceiling of wild mustard seed during dormancy elimination with different concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm) for different germination (10, 20, 30, 40, 50%)

جدول ۳- تغییرات دامنه بردباری دمایی برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی بذر خردل وحشی طی رفع کمون با غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام)

Table 3. Temporal tolerance amplitudes for different decidences of wild mustard germination during dormancy elimination with different concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm)

دهک	GA ₀	GA ₁₀₀	GA ₃₀₀	GA ₅₀₀	GA ₁₀₀₀	GA ₁₅₀₀	GA ₂₀₀₀
R10	22.1	22.2	28.7	29.0	30.5	33.9	35.0
R20	21.6	22.4	24.6	26.6	31.0	33.8	35.3
R30	21.9	22.4	25.5	27.6	30.5	32.6	34.7
R40	21.9	22.3	25.6	27.3	28.6	31.2	32.8
R50	-	22.1	24.1	27.1	27.6	30.3	32.4



شکل ۶- درصد جوانه‌زنی نهایی بذر خردل وحشی در پاسخ به دما طی رفع کمون با غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام)، نشانگر گسترش پنجره دمایی برای جوانه‌زنی است چرا که کمون کاهش می‌یابد.

Figure 6 - The final germination percentage of *wild mustard* seeds in response to temperature during dormancy elimination with various concentrations of gibberellic acid (0, 100, 300, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm), illustrating the widening of the temperature window for germination as dormancy is alleviated

درجه سانتی‌گراد گزارش کردند؛ اما میزان دمایی سقف را برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی متنوع و برای دهک ۱۶، ۵۰، ۸۴ به ترتیب ۲۹/۹، ۳۲/۱ و ۳۴/۳ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. برادفورد (Beradford, 2002) در مطالعه خود برای تعیین دمایی کاردینال با استفاده از مدل دو تکه‌ای برای بذرهای سیب‌زمینی، برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۶، ۱۵ و ۸۴)، دمایی پایه را یکسان و برابر با ۵ درجه سانتی‌گراد و دمایی مطلوب را یکسان ولی دمایی سقف را متنوع و بین ۳۱ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد گزارش کرد. کاول و همکاران (Covell *et al.*, 1986) در مطالعه خود بر روی چند لگوم (نخودفرنگی، سویا، عدس) تغییرات دمایی کاردینال را برای رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۰ تا ۹۰ درصد) بررسی کردند. ایشان دمایی پایه را بدون تغییر و برای نخود، عدس، سویا به ترتیب صفر، ۲/۵، ۴ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند و دمایی مطلوب را

انصاری و همکاران (Ansari *et al.*, 2017) گزارش کردند که دمایی پایه با استفاده از مدل دو تکه‌ای، برای زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی بذر چاودار کوهی از لحاظ آماری باهم تفاوتی ندارند و میزان آن را بین ۲/۹ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین دمایی مطلوب و سقف برای زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی با استفاده از مدل دو تکه‌ای نیز از لحاظ آماری تفاوتی نداشتند و به ترتیب بین ۲۸/۲ تا ۲۸/۷ و ۳۵/۰ تا ۳۵/۶ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند.

آلواردو و برادفورد (Alvarado and Beradford, 2002) در مطالعه خود بر روی بذرهای سیب‌زمینی، دمایی پایه را برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (۱۶، ۱۵، ۸۴ درصد) را با مدل دو تکه‌ای، ۳/۲ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. همچنین دمایی مطلوب را برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی بدون تغییر و ۱۹/۳

بررسی تغییرات جوانه‌زنی بذر خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) طی رفع کمون

بذر خردل وحشی با استفاده از مدل بتا، پس از رفع کمون اولیه آن با GA₂₀₀₀، ۲/۹- درجه سانتی‌گراد برای دهک ۵۰ درصد به دست آمد؛ که حدود ۱/۷ درجه سانتی‌گراد (دمای پایه، ۱/۲-) کمتر از دمای پایه برآورد شده در تحقیق حاضر بود. همچنین دمای سقف را ۳۵/۰ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند که حدود ۳/۹ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای سقف برآورد شده (۳۱/۲) درجه سانتی-گراد) در تحقیق حاضر بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش بر اساس تابع دمایی دندان مانند برآورد دمای پایه، دمای سقف، دامنه بردباری دمایی، دامنه دمای مطلوب برای دهک‌های مختلف در هیچ‌یک از سطوح GA اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نتایج نشان داد دمای پایه از ۳/۴ تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد در GA₀ به ۱/۲- تا ۲- درجه سانتی‌گراد در GA₂₀₀₀ کاهش یافت. دمای سقف از ۲۵/۱ درجه سانتی‌گراد در GA₀ به ۳۱/۲ تا ۳۳/۳ درجه سانتی‌گراد در GA₂₀₀₀ افزایش یافت. با افزایش سطوح GA دامنه بردباری دمایی از طریق کاهش در میزان دمای پایه و افزایش در میزان دمای سقف، حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. میزان دامنه دمای مطلوب با افزایش سطوح GA تغییرات محسوسی نشان نداد. حداقل زمان موردنیاز برای رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی (G₀) برای تمام سطوح GA اختلاف معنی‌دار داشت. به طوری که کمترین و بیشترین میزان G₀ مربوط به دهک ۱۰ و دهک ۵۰ بود. میزان G₀ با افزایش سطوح GA کاهش یافت. همچنین احتمالاً نوع کمون بذر خردل وحشی با توجه به پاسخ دمایی برای جوانه‌زنی، از نوع کمون فیزیولوژیک غیر عمیق از نوع تیپ یک باشد.

با استفاده از مدل‌سازی جوانه‌زنی می‌توان اثرات زوال بذر، پرایمینگ بذر و کمون بذر را مورد مطالعه قرارداد. همچنین برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و سبز شدن، تعیین زمان جوانه‌زنی استفاده شده است. کاربرد مدل‌سازی جوانه‌زنی در ایران کمتر مشاهده شده است و می‌توان از این مدل‌ها بیشتر در پژوهش‌های علوم بذر استفاده نمود. از طرفی پارامترهای به‌دست آمده در این پژوهش برای مدل‌های پیش‌بینی پویایی بانک بذر مورد نیاز هستند.

برای نخود، عدس، سویا به ترتیب ۳۱/۸ تا ۳۳/۰، ۲۴/۰ تا ۲۴/۴، ۳۴/۰ تا ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد به دست آوردند. همچنین دمای سقف را برای نخود، عدس و سویا به ترتیب ۴۸/۰ تا ۶۰/۸، ۳۱/۸ تا ۳۴/۴ و ۴۶/۸ تا ۵۵/۲ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند.

در برخی موارد دمای پایه را برای کسرهای مختلف جوانه‌زنی جمعیت بذر، متغیر پیش‌بینی کرده‌اند از جمله (Fyfield and Phelps and Finch-Savage, 1997 Gregory, 1989 Kebreab and Murdoch, 2000). دمای سقف برای کسرهای مختلف جوانه‌زنی جمعیت بذر را برخی محققین متنوع پیش‌بینی کردند از جمله (Ellis et al., 1987 Cavell et al., 1986 Ellis and Butcher, 1988 Garcia-Huidobro et al., 1982; Orozco-Segovia et al., 1996). در برخی موارد به‌جای یک دمای مطلوب، محدوده‌ای از دمای مطلوب وجود دارد (Orozco-Segovia et al., ;Labouriau and Osborn, 1984). (1996).

همچنین برادفورد و همکاران (Bradford, 2002) در مطالعه خود بر روی بذرهای واقعی سیب‌زمینی، دمای کاردینال را برای دهک‌های مختلف (۱۰، ۵۰، ۹۰ درصد) جوانه‌زنی با استفاده از تابع دمایی دوتکه‌ای برآورد کردند. دمای پایه را برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی مشترک و ۵ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف را برای دهک‌های ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد به ترتیب ۴۰، ۳۵ و ۳۰ درجه سانتی-گراد و دمای مطلوب را ۲۳، ۲۴ و ۲۴ به ترتیب برای دهک‌های ۹۰، ۵۰ و ۱۰ درصد گزارش کردند. بصیری و همکاران (Basiri et al., 2017)، در مطالعه خود بر روی بروموس بر اساس مدل دوتکه‌ای برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی اختلاف قابل توجهی در برآورد دمای پایه مشاهده نکردند و برای همه دهک‌ها بین ۱/۷ تا ۰/۳- درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. ایشان بر اساس مدل دوتکه‌ای دمای مطلوب برای همه دهک‌های جوانه‌زنی را بین ۱۰/۸ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. دمای سقف برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی را متنوع و برای دهک‌های ۱۰، ۵۰، ۹۰ درصد به ترتیب ۴۲/۲، ۴۲/۸ و ۴۷/۸ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013b) گزارش نمودند که دمای پایه

References

- Alvarado, V. and K. J. Bradford. 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell and Environment*. 25 (8): 1061-1069.
- Ansari, O., F. Ghadiri Far., F. Sharifzadeh., and A. Morad. 2017.** Evaluation of Nonlinear Regression Models to Describe Seed Germination Response of Mountain Rye (*Secale mountainum*) to Temperature. *Iranian Journal of Seed Research*. 3 (2): 31-39.
- Basiri, M., S. M. Mousavi Nik., A. Siahmarguee., and S. K. Sabbagh. 2017.** Estimation of Cardinal Temperatures and Thermal Time Requirement for *Bromus japonicas* Seed Germination. *Journal of Weed Research*. 8 (3): 13-26.
- Baskin, C. C., and J. M. Baskin. 2014.** Seeds: Ecology, Biogeography, and evolution of dormancy and Germination. Academic Press, San Diego, California. 666 p.
- Benech-Arnold, R. L., R. A. Sanchez., F. Forcella., B. C. Kruk., and C. M. Ghera. 2000.** Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*. 67 (2):105-122.
- Bradford, K. J. 2002.** Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*. 50 (2): 248-260.
- Chauhan, B. S., G. Gill., and C. Preston. 2006.** Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of Oriental mustard (*Sisymbrium orientale*). *Weed Science*. 54 (6): 1025-1031.
- Chetinbas, M., and F. Koyuncu. 2006.** Improving germination of *Prunus avium* L. seeds by gibberlic acid, potassium nitrate and thiourea. *Horticultural Science*. 33 (3): 119-123.
- Copeland, L.O., and M.B. McDonald. 2001.** Seed germination: Principles of Seed Science and Technology. Springer, Boston. pp 72-123.
- Covell, S., R.H. Ellis., E. H. Roberts., and R. J. Summerfield. 1986.** The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. 1: A comparison of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperatures. *Journal of experimental botany*. 37 (5): 705-715.
- Dahal, P., and K. J. Bradford .1990.** Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. II: Germination at reduced water potential. *Journal of experimental botany*. 41: (11) 1441-1453.
- Derakhshan, A., J. Gherekhloo., A. Ribas., and D. P. Rafael. 2014.** Quantitative Description of the Germination of Little seed Canary grass (*Phalaris minor*) in Response to Temperature. *Weed Science*. 62:250-257.
- Ellis, R. H. Simon., and S. Covell. 1987.** The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. III: A comparison of five faba bean genotypes at constant temperatures using a new screening method. *Journal of experimental botany*. 38 (6): 1033-1043.
- Ellis, R. H., and P.D. Butcher .1988.** The effects of priming and natural differences in quality amongst onion seed lots on the response of the rate of germination to temperature and the identification of the characteristics under genotypic control. *Journal of experimental botany*. 39 (7): 935-950.
- Fenner, M. 2000.** Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. Wallingford, United Kingdom, CABI Publishing. 410 p.
- Forcella, F., R. L. Benech-Arnold., R. A. Sanchez., and C. M. Ghera. 2000.** Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*. 67 (2): 123-139.
- Fyfield, T. P., and P. J. Gregory. 1989.** Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of moonbeam. *Journal of Experimental Botany*. 40 (6): 667-674.
- Garcia-Huidobro, J., J. L., Monteith., and Saquire, G.R. 1982.** Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. and H.) 1. Constant temperature. *Journal of Experimental Botany*. 33 (2): 288-296.

- Ghaderi-Far, F., J. Gherekhloo., and M. Alimagham. 2010.** Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of yellow sweet clover (*Melilotus offinalis*). *Plantae Daninha*. 28 (3):463-469.
- Gulden, R.H., S.J. Shirliffe., and A. G. Thomas. 2003.** Harvest losses of canola (*Brassica napus*) cause large seed bank inputs. *Weed Science*. 51 (1): 83–86.
- Hakansson, I., A. Myrbeck., and E. Ararso. 2002.** A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil and Tillage Research*. 64 (1-2): 23-40.
- Huang, J. Z., A. Shrestha., M. Tollenaar., W. Deen., I. Rajcan., H. Rahimian., and C. J. Swanton. 2001.** Effect of temperature and photoperiod on the phenological development of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). *Field Crops Research*. 70 (1): 75-86.
- Kebreab, E., and A. J. Murdoch. 2000.** The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanche aegyptiaca* seeds. *Seed Science Research*. 10 (2): 127–133.
- Kucera, B., M. A. Cohn., and G. Leubner-Metzger. 2005.** Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research*. 15 (4):281–307.
- Labouriau, L. G., and J. H. Osborn. 1984.** Temperature dependence of the germination of tomato seeds. *Journal of Thermal Biology*. 9 (4): 285–295.
- Martinson, K., B. Durgan., F. Forcella., J. Wiersma., K. Spokas., and D. Archer. 2007.** An Emergence Model for Wild Oat (*Avena fatua*). *Weed Science*. 55 (6): 584 – 591.
- Minbashi, M., M. A. Baghestani., H. Rahimi., and M. Alefard. 2008.** Weed mapping for irrigated wheat fields of Tehran province using Geographic Information System (GIS). (In Persian, with English Abstract.) *Iranian Journal of Weed Science*. 4: 97-118.
- Orozco-Segovia, A., L. Gonzalez-Zertuche., A. Mendoza., and S. Orozco. 1996.** A mathematical model that uses Gaussian distribution to analyze the germination of *Manfreda brachystachya* (Agavaceae) in a thermo gradient. *Physiologia Plantarum*. 98 (3): 431–438.
- Phelps, K., and W. E. Finch-Savage. 1997.** A statistical perspective on threshold-type germination models. In: *Basic and Applied Aspects of Seed Biology* (eds R.H. Ellis, M. Black, A.J. Murdoch and T.D. Hong). pp 361–368. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Probert, R. J .1992.** The role of temperature in germination Eco physiology. In: *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities* (ed. M. Fenner). pp. 285–325. Centre for Agriculture and Bioscience International, Melksham.
- Roman, E. S., A. G. Thomas., S. D. Murphy., and C. G. Swanton. 1999.** Modeling Germination and seedling elongation of common lamb squatters (*Chenopodium album*). *Weed Science*. 47: 149-155.
- Schutte, B. J., E. E. Regnier., S. K. Harrison., J. T. Schmoll., K. Spokasand., and F. Forcella. 2008.** A Hydrothermal Seedling Emergence Model for Giant Ragweed (*Ambrosia trifida*). *Weed Science*. 56: (4) 555–560.
- Shafii, B., and Price, W. J. 2001.** Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*. 6 (3): 356–366.
- Soltani, A., M. J. Robertson., B. Torabi., M. Yousefi-Daz., and R. Sarparast. 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*. 138 (1-4): 156 - 167.
- Soltani, A., S. Galeshi, E. Zeinali., and N. Latifi. 2002.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected salinity and seed size. *Seed Science and Technology*. 30 (1):51 - 60.

- Soltani, E., A. Soltani., and M. Oveisi. 2013a.** Modeling seed aging effects on the wheat seedling emergence in drought stress: optimizing Germin program to predict emergence pattern. *Journal of Crop Improvement*. 15: 147-160. (In Persian)
- Soltani, E., A. Soltani., S. Galeshi., F. Ghaderi-Far., and E. Zeinali. 2013b.** Seed germination modeling of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. *International Journal of Plant Production*. 20: 19-32.
- Soltani, E., C. C. Baskin., and J. M. Baskin. 2017.** A graphical method for identifying the six types of non-deep physiological dormancy in seeds. *Plant Biology*. 19 (5): 673–682.
- Tanveer, A., M. Tasneem., A. Khaliq., M. M. Javaid., and M. N. Chaudhry. 2013.** Influence of seed size and ecological factors on the germination and emergence of field bindweed (*Convolvulus arvensis*). *Planta Daninha*. 31 (1): 39–51.
- Thygerson, T., J. M. Harris., B. N. Smith., L. D. Hansen., R. L. Pendleton., and D. T. Booth. 2002.** Metabolic response to temperature for six populations of winterfat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta*. 394 (1): 211-217.
- Torabi, B., E. Soltan., V. A. Sotirios., and A. Rabii. 2016.** Temperature and water potential effects on *Carthamus tinctorius* L. seed germination: measurements and modeling using hydrothermal and multiplicative approaches. *Brazilian Journal of Botany*. 39 (2): 427-436.
- Torabi, B., M. Adibniya., and A. Rahimi. 2015.** Seedling emergence response to temperature in safflower: measurements and modeling. *International Journal of Plant Production*. 9 (3): 393-412.
- Torabi, B., M. Attarzadeh., and A. Soltani., 2013.** Germination response to temperature in different safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars. *Seed Science and Technology*. 35: 47-59.

Investigation of the process of seed germination of wild mustard (*Sinapis arvensis*) during dormancy elimination

H. Rahimi¹, B. Torabi², E. Soltani³, F. Ghaderifar⁴

Abstract

In order to investigate the changes in cardinal temperatures of wild mustard seed germination during the dormancy elimination, a split plot experiment was conducted as completely randomized design in three replications in the Seed Research Laboratory of Agricultural and Resource University Natural Gorgan in 2017. The main factor was different temperatures (5, 10, 15, 20, 25 and 30°C) and sub-factor was different concentrations of gibberellic acid (GA: 0, 100, 300, 500, 1000, 1500, 2000 ppm). A dent-like function was used to describe the response of the germination rate to temperature. For different germination stages, the base temperature decreased from 2.9 to 3.4 °C in GA₀ towards -1.2 to -2/0 °C in GA₂₀₀₀; the ceiling temperature was 25 °C at GA₀ and increased to 33.3 °C in GA₂₀₀₀; the temperature tolerance range from 21.6 to 22.1 °C in GA₀ reached 32.4 to 35.1 °C in GA₂₀₀₀. Due to cardinal temperature changes, the dormancy of wild mustard is a non-deep physiological dormancy type 1. Seeds with dormancy initially have the highest germination at low temperatures, and when they come out of dormancy, they germinate at high temperatures and the temperature range of germination increase. The estimated parameters in the present study can be useful in simulation models of seed bank and for further studies on the biology and ecology of wild mustard.

Keyword: Gibberellic acid, Model, Physiological dormancy, Temperature

Received date: 09 April 2017

Accepted date: 06 June 2017

1- Msc Student in Seed Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2- Associated Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Abureyhan Campus of University of Tehran 4Associated Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of of Agricultural Sciences and Natural Resources

*- Corresponding author E-mail: ben_Torabi@Yahoo.com